

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**И. А. Левицкий**

**КРИСТАЛЛОГРАФИЯ,  
МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ.  
ПРАКТИКУМ**

*Допущено  
Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений по специальности  
«Химическая технология неорганических веществ,  
материалов и изделий»*

Минск 2008

УДК 548/549(076.5)  
ББК 22.37+26.303я7  
ЛЗ7

Рецензенты:  
кафедра динамической геологии  
Белорусского государственного университета;  
главный научный сотрудник Института геохимии и геофизики  
Национальной академии наук Беларуси,  
доктор геолого-минералогических наук *Н. В. Аксаментова*

**Левицкий, И. А.**

ЛЗ7 Кристаллография, минералогия и петрография. Практикум: учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / И. А. Левицкий. – Минск : БГТУ, 2008. – 198 с.

ISBN 978-985-434-802-5

Практикум включает комплекс работ по курсу «Кристаллография, минералогия и петрография», охватывая геометрическую кристаллографию, основы кристаллохимии, физической кристаллографии, а также минералогии и петрографии. Отдельный раздел практикума посвящен технической петрографии.

В лабораторных работах рассматриваются общие теоретические вопросы, порядок выполнения работ, приводятся контрольные вопросы по изучаемому материалу.

**УДК 548/549(076.5)**  
**ББК 22.37+26.303я7**

**ISBN 978-985-434-802-5**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2008  
© Левицкий И. А., 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие содержит материал, осваиваемый студентами на лабораторных занятиях и в период самостоятельной работы при изучении курса элементарной кристаллографии и минералогии с основами петрографии и микроскопических методов исследования. Оно рассчитано на студентов химико-технологического профиля дневной и заочной формы обучения.

Студентам, специализирующимся по технологии производства и переработки неорганических веществ, материалов и изделий, необходимы широкие знания как о кристаллических веществах вообще, так и об условиях их возникновения и распространения в природе.

В разделе «Кристаллография» рассматриваются формы кристаллов, элементы симметрии, сингонии и категории, вопросы кристаллогенезиса. Представлены типы решеток Браве и элементы симметрии пространственных групп симметрии.

В разделе «Минералогия» рассмотрены физические свойства минералов, изучаются морфологические особенности и физико-химические свойства основных представителей.

В разделе «Петрография» приводится описание наиболее распространенных и применяемых в промышленности горных пород, условий их образования и форм залегания.

Раздел «Техническая петрография» посвящен силикатным искусственным материалам – ситаллам, стеклам, пористым заполнителям, шлакам, огнеупорным изделиям и вяжущим материалам.

Материал лабораторного практикума изложен в соответствии с разделами лекционного курса и отражает последовательный переход от изучения идеальных кристаллов и пространственных решеток к аморфным и поликристаллическим веществам – минералам и горным породам.

Знание кристаллографии поможет усвоению студентами теоретических законов строения материи и изучению природных минералов, руд, горных пород, продуктов химической промышленности и технологии неорганических веществ. Химику-технологу необходимо также знание минералогии и петрографии, так как оно помогает освоить технологию процессов производства веществ и материалов, использовать новые виды минерального сырья, создавать новые, более совершенные методы его переработки.

Каждая из работ лабораторного практикума начинается с изложения кратких сведений, необходимых для выполнения работы. Затем

формулируются задания, даются рекомендации, указывается форма выполнения задания. Для закрепления знаний при подготовке материала во всех лабораторных работах предложены контрольные вопросы.

Особенностью предлагаемого пособия является расширенное и более детальное рассмотрение вопросов курса по сравнению с предыдущим изданием: Шарай, В. Н. Пособие к лабораторным работам по курсу минералогии и кристаллографии. – Минск: Вышэйшая школа, 1964. – 148 с.

Автор выражает благодарность заведующему кафедрой динамической геологии Белорусского государственного университета доктору геолого-минералогических наук профессору В. Н. Губину, профессору кафедры динамической геологии, доктору геолого-минералогических наук Высоцкому Э. А. и главному научному сотруднику Института геохимии и геофизики НАН Беларуси, доктору геолого-минералогических наук Аксаментовой Н. М. за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи, а также сотрудникам кафедры технологии стекла и керамики БГТУ за помощь при редактировании пособия.

# 1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Кристаллография – наука о кристаллах и кристаллическом состоянии вещества. Подразделы этой науки, посвященные геометрии внешней формы кристаллов, изучающие законы симметрии кристаллических тел, объединяются под названием геометрической кристаллографии. Разделы, описывающие связь между внутренним строением кристаллов и их химическим составом, являются предметом изучения кристаллохимии. Физическая кристаллография рассматривает следующие свойства кристаллов: механические, оптические, магнитные, электрические и др.

Кристаллом называется твердое тело, химически однородное, в котором элементарные частицы (атомы, молекулы и ионы) располагаются закономерно в виде узлов пространственной (кристаллической) решетки.

Кристаллические вещества обладают следующими основными свойствами: однородностью, анизотропностью, способностью самоограничиваться, симметричностью, статичностью, минимальной внутренней энергией. В отличие от них в аморфных веществах частицы располагаются беспорядочно, свойства этих веществ во всех направлениях одинаковы. Аморфные тела изотропны, т. е. равносвойственны.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИММЕТРИИ, СИНГОНИИ И КАТЕГОРИИ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: определение элементов симметрии кристаллов и по их совокупности – класса симметрии, сингонии и категории.

Материалы и оборудование: набор деревянных макетов кристаллов простых форм; таблица классов симметрии кристаллов.

### 1. Общие сведения

Кристаллы – это твердые природные или получаемые искусственно тела, образующиеся в форме многогранников. Геометрически правильная форма кристаллов обусловлена их внутренним строением.

*Элементами ограничения кристаллов* являются грани, ребра, вершины. *Грани* – это плоскости, ограничивающие кристалл. Они

соответствуют плоским сеткам пространственной решетки кристалла. *Ребра* образуются на пересечениях граней и отвечают рядам решетки. *Вершины* располагаются на пересечении нескольких ребер.

В кристаллах атомы, молекулы или ионы располагаются в строгом порядке с четким внутренним узором, повторяющимся во всех направлениях. Величина и форма граней у различных кристаллов одного и того же вещества, расстояние между ними и даже их число могут меняться, но углы между соответствующими гранями и ребрами остаются постоянными. В этом суть закона постоянства углов.

Диагностическими признаками кристаллов являются их симметрия, сингония, кристаллографическая форма, тип пространственной решетки.

**Симметрия кристаллов** – закономерное повторение одинаковых элементов ограничения кристалла относительно элементов его симметрии – точек, линий и плоскостей. Простыми элементами симметрии являются центр симметрии, оси симметрии и плоскости симметрии.

*Центр симметрии* (инверсии)  $C$  – точка внутри фигуры, в которой делятся пополам все прямые, соединяющие одинаковые элементы

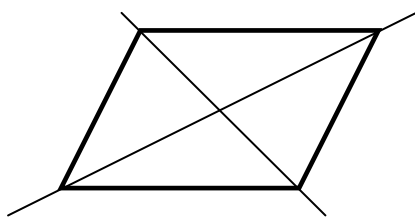


Рис. 1. Центр симметрии

ограничения кристалла (рис. 1). При наличии центра симметрии все грани в кристалле парные: каждой грани соответствует противолежащая, равная ей, параллельная грань.

*Ось симметрии*  $L$  – это мысленно проведенная прямая линия, при вращении вокруг которой фигура совмещается сама с собой определенное число раз. Наименование оси определяется числом совмещений при повороте фигуры на  $360^\circ$ . У реальных кристаллов наблюдаются оси симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядков. Оси первого порядка не учитываются, так как их в любом кристалле бесконечное множество, а осей 5-го порядка и выше 6-го не допускают особенности пространственных решеток кристаллов. Оси симметрии обозначаются буквой  $L$ , а на порядок осей указывает цифра, записываемая справа внизу (рис. 2).

Наличие нескольких осей одного порядка показывается цифрой перед буквой. Например, кристаллографическая формула  $L_44L_2$  обозначает, что в кристалле имеется одна ось симметрии четвертого порядка (единица не пишется) и четыре оси второго порядка.

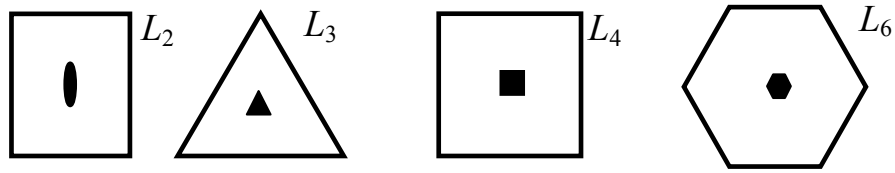


Рис. 2. Оси симметрии плоских фигур

В кристаллических многогранниках оси симметрии обязательно проходят через центр фигуры, а их выводы на поверхности совпадают либо с вершинами, либо с центрами граней, либо с серединами ребер (рис. 3).

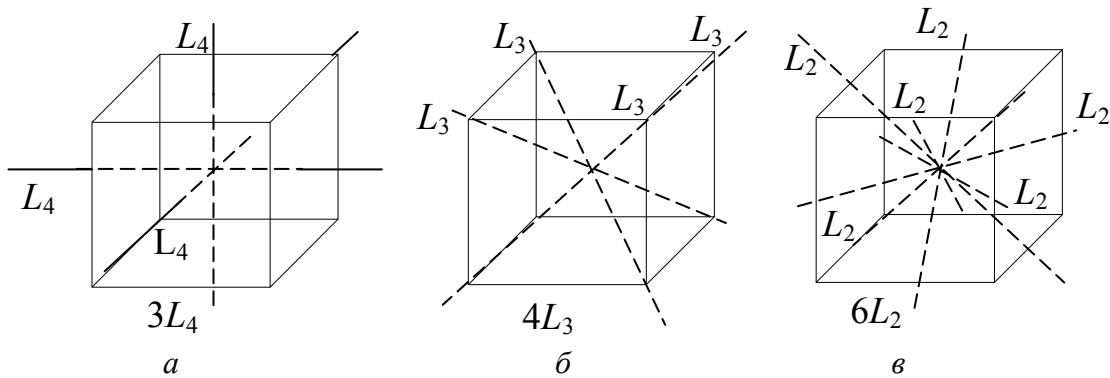


Рис. 3. Оси симметрии гексаэдра:

*a* – вывод через центр граней;

*б* – вывод через вершины; *в* – вывод через середины ребер

Для фигур, не имеющих центра симметрии, оси могут проходить по линиям: вершина – центр грани, центр ребра – центр грани (рис. 4). При наличии осей, сходящихся в вершинах кристалла, порядок оси соответствует числу граней (см. рис. 3, *б*; 4, *а*).

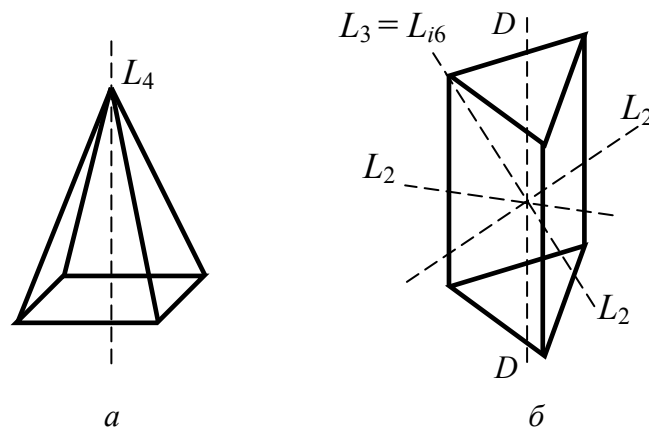


Рис. 4. Оси симметрии в несимметричных фигурах

*a* – в тетрагональной пирамиде; *б* – в тригональной призме

Помимо простых осей симметрии существуют еще и сложные – *инверсионные оси*. Инверсионной осью  $L_i$  кристалла называется линия, при вращении вокруг которой на некоторый определенный угол и последующим отражении в центральной точке многогранника (как в центре симметрии) совмещаются одинаковые элементы ограничения. Существуют инверсионные оси первого, второго, третьего, четвертого и шестого порядков –  $L_{i2}, L_{i3}, L_{i4}, L_{i6}$ . Ось  $L_{i4}$  всегда совпадает с простой двойной осью симметрии, а ось  $L_{i6}$  – с простой тройной осью симметрии при наличии перпендикулярной к ней плоскости симметрии  $DD$  (см. рис. 4, б).

*Плоскость симметрии  $P$*  – плоскость, разделяющая фигуру на две зеркально равные части, расположенные относительно друг друга как предмет и его зеркальное отображение (рис. 5).

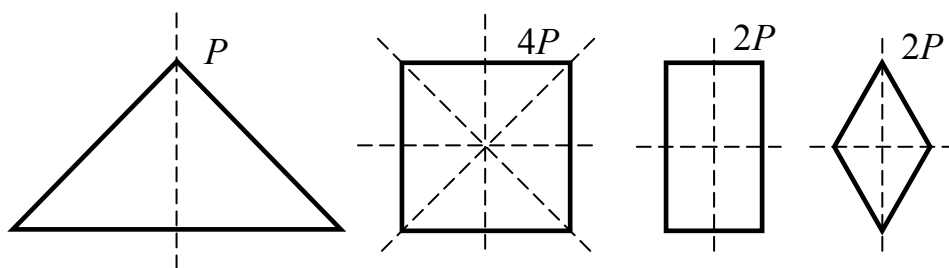


Рис. 5. Плоскости симметрии в равнобедренном треугольнике, квадрате, прямоугольнике, ромбе

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. Количество плоскостей бывает 1–7 и 9. Максимальное количество плоскостей (9) присутствует в кубе: 3 взаимно перпендикулярные проходят через середины граней и ребер, шесть плоскостей – диагональные (рис. 6).

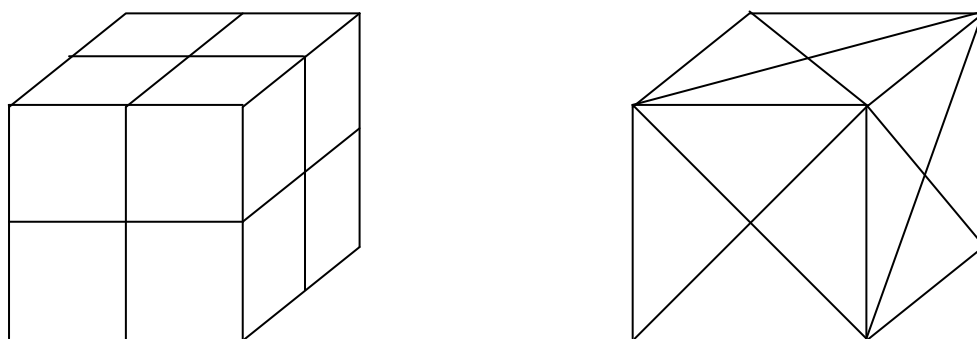


Рис. 6. Плоскость симметрии в кубе



Сочетание элементов симметрии показывается в виде формулы, в которой последовательно записываются оси симметрии, начиная с осей высшего порядка, затем плоскости и центр симметрии. Например, формула симметрии куба –  $3L_44L_36L_29PC$ .

Математически обоснована возможность существования лишь 32 комбинаций (классов) элементов симметрии.

**Классы симметрии** бывают 7 типов:

- примитивные, состоящие только из какой-либо одной оси симметрии;
- центральные, состоящие только из какой-либо одной оси симметрии, центра симметрии;
- планальные, состоящие из одной оси симметрии и плоскости симметрии;
- аксиальные, состоящие из осей симметрии различных наименований;
- планаксиальные, состоящие из комбинации плоскостей симметрии, центра симметрии и различных осей симметрии;
- инверсионно-примитивные, в которых единичное направление совмещено с инверсионной осью;
- инверсионно-планальные, в которых кроме единичного направления, совпадающего с инверсионной осью, имеется плоскость симметрии, идущая вдоль него.

Единичным направлением в кристалле называется единственное неповторяющееся направление (рис. 7).

Так, направление  $AA$  единичное, так как у фигуры других таких направлений нет. Направление  $BB$  не будет единичным, так как у фигуры есть такое же симметричное направление  $B_1B_1$ .

Кристаллографические классы, или виды симметрии, объединяются в более крупные группировки, называемые системами, или сингониями (табл. 1).

**Сингония** – это группа видов симметрии, обладающих одним или несколькими одинаковыми элементами симметрии и имеющих одинаковое расположение кристаллографических осей – единичных направлений. Различается 7 типов сингоний.

1. *Триклинная*. Название дано по трем косым углам между кристаллографическими осями. У кристаллов, относящихся к этой сингонии, или совершенно нет элементов симметрии, или имеется только центр симметрии  $C$ . Все направления в кристалле единичны. Кристаллы триклинной сингонии наименее симметричны по своему внешнему облику по сравнению с формами кристаллов остальных сингоний.

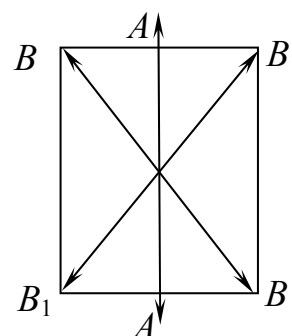


Рис. 7. Направления в кристалле

Распределение видов и классов симметрии по сингониям

Категория	Сингония	Примитивный	Центральный	Планальный	Аксиальный	Плاناксиальный	Инверсионно-примитивный	Инверсионно-планальный
Низшая	Триклинная	<b>1</b> –	<b>2</b> <i>C</i>					
	Моноклинная			<b>3</b> <i>P</i>	<b>4</b> <i>L<sub>2</sub></i>	<b>5</b> <i>L<sub>2</sub>PC</i>		
	Ромбическая			<b>6</b> <i>L<sub>2</sub>2P</i>	<b>7</b> <i>3L<sub>2</sub></i>	<b>8</b> <i>3L<sub>2</sub>3PC</i>		
Средняя	Тригональная	<b>9</b> <i>L<sub>3</sub></i>	<b>10</b> <i>L<sub>3</sub>C</i>	<b>11</b> <i>L<sub>3</sub>3P</i>	<b>12</b> <i>L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub></i>	<b>13</b> <i>L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub>3PC</i>		
	Тетрагональная	<b>14</b> <i>L<sub>4</sub></i>	<b>15</b> <i>L<sub>4</sub>PC</i>	<b>16</b> <i>L<sub>4</sub>4P</i>	<b>17</b> <i>L<sub>4</sub>4L<sub>2</sub></i>	<b>18</b> <i>L<sub>4</sub>4L<sub>2</sub>5PC</i>	<b>19</b> <i>L<sub>i4</sub></i>	<b>20</b> <i>L<sub>i4</sub>2L<sub>2</sub>2P = 3L<sub>2</sub>2P</i>
	Гексагональная	<b>21</b> <i>L<sub>6</sub></i>	<b>22</b> <i>L<sub>6</sub>PC</i>	<b>23</b> <i>L<sub>6</sub>6P</i>	<b>24</b> <i>L<sub>6</sub>6L<sub>2</sub></i>	<b>25</b> <i>L<sub>6</sub>6L<sub>2</sub>7PC</i>	<b>26</b> <i>L<sub>i6</sub> = L<sub>3</sub>P</i>	<b>27</b> <i>L<sub>i6</sub>3L<sub>2</sub>3P = L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub>4P</i>
Высшая	Кубическая	<b>28</b> <i>4L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub></i>	<b>29</b> <i>4L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub>PC</i>	<b>30</b> <i>4L<sub>3</sub>3L<sub>2</sub>6P</i>	<b>31</b> <i>3L<sub>4</sub>4L<sub>3</sub>6L<sub>2</sub></i>	<b>32</b> <i>3L<sub>4</sub>4L<sub>3</sub>6L<sub>2</sub>9PC</i>		

2. *Моноклинная*. Кристаллы имеют каждый элемент симметрии лишь в единичном числе: или одну ось  $L_2$ , или одну плоскость  $P$ , или сочетание  $PC$ . Единичных направлений много.

3. *Ромбическая*. В кристаллах число осей или плоскостей симметрии больше единицы. Осей порядка выше  $L_2$  нет. Единичных направлений – три.

4. *Тригональная*. Кристаллы помимо остальных элементов симметрии обязательно имеют одну ось третьего порядка, с которой совпадает единичное направление.

5. *Тетрагональная*. Кристаллы имеют помимо двух элементов симметрии одну ось симметрии  $L_4$  (или сложную ось инверсии  $L_{i4}$ ) и одно единичное направление, которое совпадает с осью четвертого порядка.

6. *Гексагональная*. Кристаллы обязательно имеют одну простую ось симметрии шестого порядка (или сложную ось инверсии шестого порядка), с которой совпадает одно единичное направление.

7. *Кубическая*. Кристаллы равномерно развиты по всем направлениям (их фигуры можно вписать в шар) и наиболее симметричны из всех – обладают самым большим числом элементов симметрии, из которых обязательны четыре оси третьего порядка. Единичных направлений нет.

Сингонии группируют в более крупные систематические единицы – **категории**.

*Низшая категория* – единичных направлений больше одного, отсутствуют оси выше второго порядка. К этой категории относятся триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии.

*Средняя категория* – кристаллы имеют одно единичное направление, совпадающее с единственной осью высшего порядка (выше  $L_6$ ). Сюда относятся тригональные, тетрагональные и гексагональные сингонии.

*Высшая категории* – единичных направлений нет, несколько осей высшего порядка. К высшей категории относится кубическая сингония.

## 2. Порядок выполнения работы

Чтобы найти центр симметрии, надо положить многогранник на стол поочередно каждой гранью и проверить, есть ли вверху грань, расположенная горизонтально; обе грани – верхняя и нижняя – должны

быть не только одинаковыми параллельными, но и «антипараллельными», т. е. обратно расположенными.

Для определения порядка оси симметрии фигуру в точках выхода предполагаемой оси закрепляют пальцами руки. Запомнив исходное положение всех элементов ограничения, следует вращать модель вокруг закрепленной оси и наблюдать, сколько раз при полном обороте фигура совместится с первоначальным положением. Число совмещений, включая начальное, определяет порядок оси. Заметим, что пока найдена одна ось, а чтобы найти все остальные, надо таким же образом проверить попарно все противоположащие вершины, середины граней и ребер.

При нахождении осей симметрии необходимо помнить, что оси симметрии проходят: 1) через тело кристалла; 2) через вершины, в которых сходятся одинаковые ребра и грани (порядок оси равен числу сходящихся ребер и может быть 3-го, 4-го и 6-го порядка); 3) через середины противоположных граней, если они параллельны и являются правильными треугольниками, квадратами, ромбами и прямоугольниками; 4) через середины параллельных или накрест параллельных ребер, при этом порядок оси равен 2.

Плоскости симметрии определяются путем мысленного разделения фигуры на две зеркально равные части, располагающиеся относительно друг друга как предмет и его зеркальное отображение. Такие плоскости следует определять по всем граням и углам фигуры.

После определения элементов симметрии записывается кристаллографическая формула симметрии. По формуле симметрии определяется вид симметрии, затем – единичные направления, а по ним определяется сингония и категория. Правильность определения вида симметрии, сингонии, а также класса симметрии устанавливается по табл. 1.

Результаты определений заносятся в табл. 2 по следующей форме.

Таблица 2

**Результаты определений элементов и вида симметрии, сингонии и категории кристаллов простых форм**

Название фигуры	Элементы симметрии					
	Центр симметрии (инверсии)	Оси второго порядка	Оси третьего порядка	Оси четвертого порядка	Оси шестого порядка	Плоскости симметрии
Формула симметрии	Вид симметрии	Класс симметрии		Сингония	Категория	

## Контрольные вопросы

1. Что представляет собой кристаллическое вещество и чем оно отличается от аморфного?
2. Какие тела называются анизотропными?
3. Что такое ось симметрии?
4. Какие элементы симметрии обозначаются как  $3L_2$ ,  $L_6$ ,  $7P$ ?
5. Поясните формулу  $3L_44L_36L_29PC$  и назовите вид симметрии, сингонию, категорию.
6. Как различаются кристаллы средней и высшей категории?
7. Почему не может быть осей симметрии 5-го и 7-го порядков?
8. Что отличает ромбическую и гексагональную сингонию?
9. В кристаллах какой сингонии отсутствует центр симметрии?
10. Как записываются элементы симметрии в международной системе?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СИНГОНИЙ

Цель работы: отработка на моделях кристаллов названий простых форм и их комбинаций, открытых и закрытых форм.

Материалы и оборудование: набор моделей кристаллов различных форм и сингоний.

### 1. Общие сведения

В природе кристаллы минералов отличаются большим разнообразием и сложностью. Классификация кристаллов по виду кристаллографических формул еще не дает полного представления об описываемых фигурах. Так, гексаэдр и октаэдр принадлежат к одной и той же кубической сингонии и характеризуются одной и той же формулой  $3L_44L_36L_29PC$ , хотя внешняя их форма различна. В связи с этим в описаниях кристаллов необходимо, помимо категории и вида симметрии, уметь определять их простые формы.

*Простой формой* называется совокупность граней, выводящихся друг из друга с помощью элементов симметрии кристалла. Говоря иными словами, кристалл имеет простую форму тогда, когда все его грани совершенно одинаковы и связаны между собой элементами симметрии. Главные типы граней приведены на рис. 8.

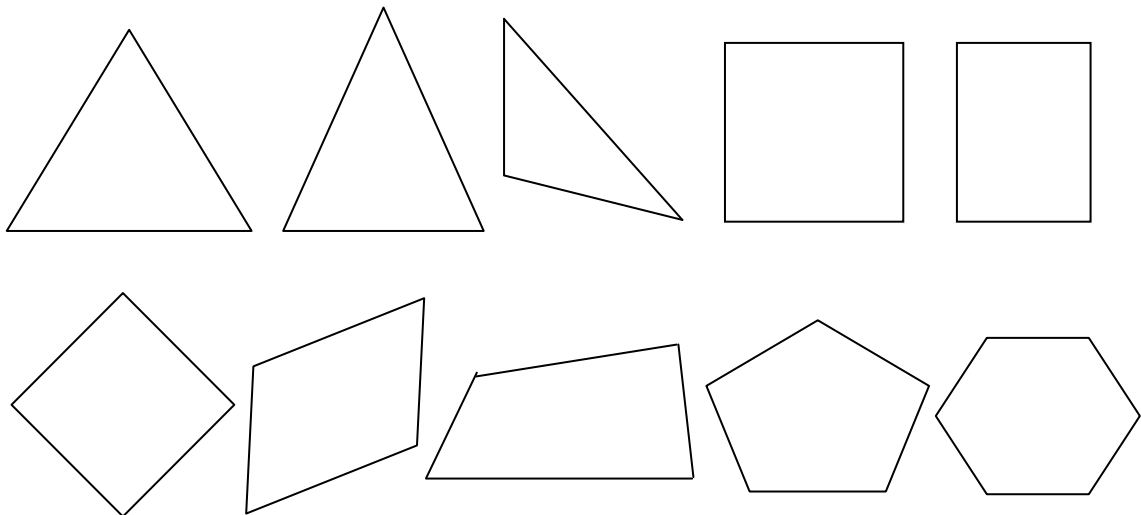


Рис. 8. Главные типы граней простых форм

В кристаллографии известно всего 47 различных простых форм (рис. 9, 10, 11). Названия большинства форм основаны на следующих древнегреческих словах: моно – один; ди – два; три – три; тетра – четыре; пента – пять; гекса – шесть; окта – восемь; додека – двенадцать; эдра – грань; скалес – косой треугольник; скаленас – кривой, неровный; трапеца – неравносторонний; пинакос – доска; аксон – ось; планум – плоскость; поли – много; сингония – сходноугольность; гонис – угол.

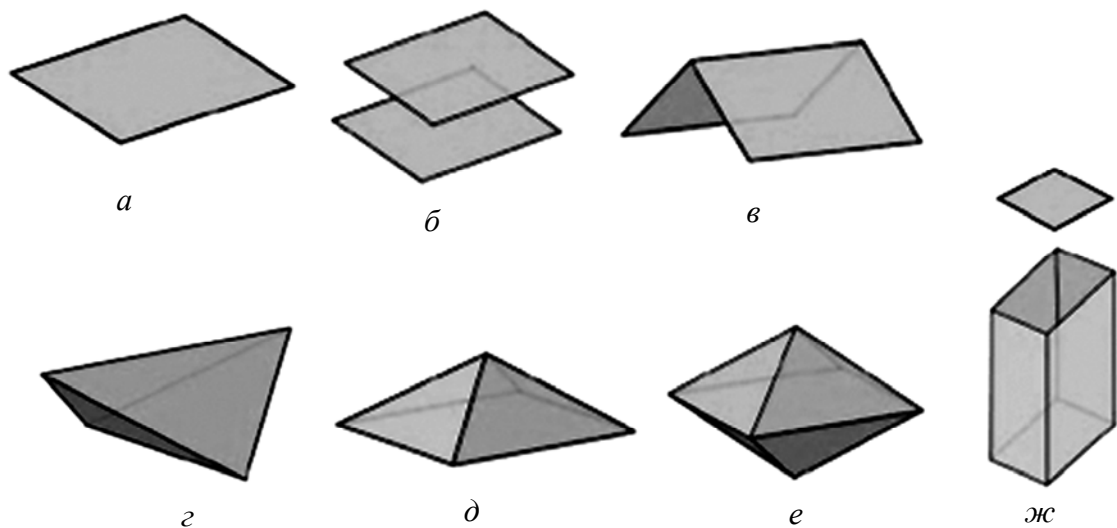


Рис. 9. Простые формы сингоний низшей категории:  
*a* – моноэдр; *б* – пинакоид; *в* – диэдр;  
*г* – ромбический тетраэдр; *д* – ромбическая пирамида;  
*е* – ромбическая дипирамида; *ж* – ромбическая призма

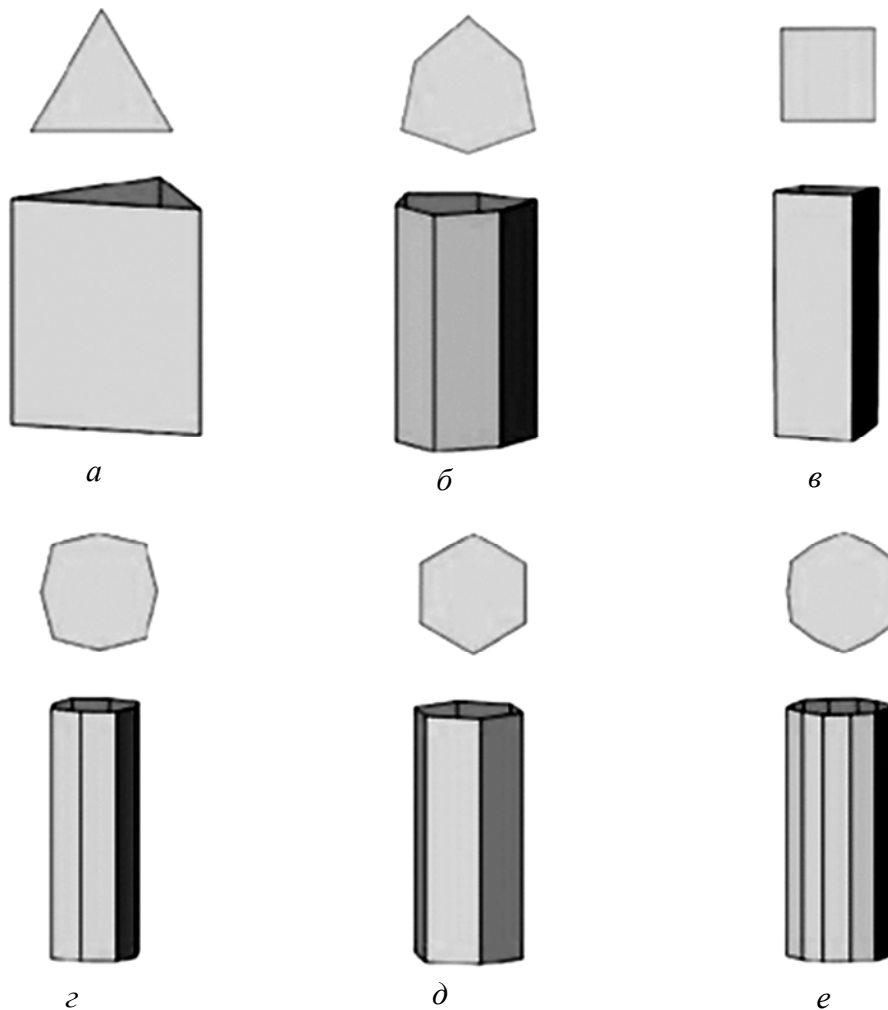


Рис. 10а. Простые формы сингоний средней категории:  
*a* – тригональная призма; *б* – дитригональная призма;  
*в* – тетрагональная призма; *г* – дитетрагональная призма;  
*д* – гексагональная призма; *е* – дигексагональная призма

Простые формы подразделяются на открытые и закрытые. Открытые формы не замыкают полностью пространство и самостоятельно существовать не могут, встречаясь только совместно (в комбинации) с другими формами (моноэдр, диэдр, пинакоид, призмы, пирамиды). Закрытые формы имеют фигуры, состоящие из одинаковых граней, связанных между собой элементами симметрии и полностью закрывающими объем (гексаэдр, октаэдр, тетраэдр, дипирамида, ромбоэдр, трапецоэдр, скаленоэдр, дидодекаэдр и др.).

Все простые формы распределяются по категориям и сингониям: для кристаллов низшей категории возможны 7 простых форм, средней – 25, высшей – 15. Совокупность двух или нескольких простых форм называется *сложной формой*, или *комбинацией*.

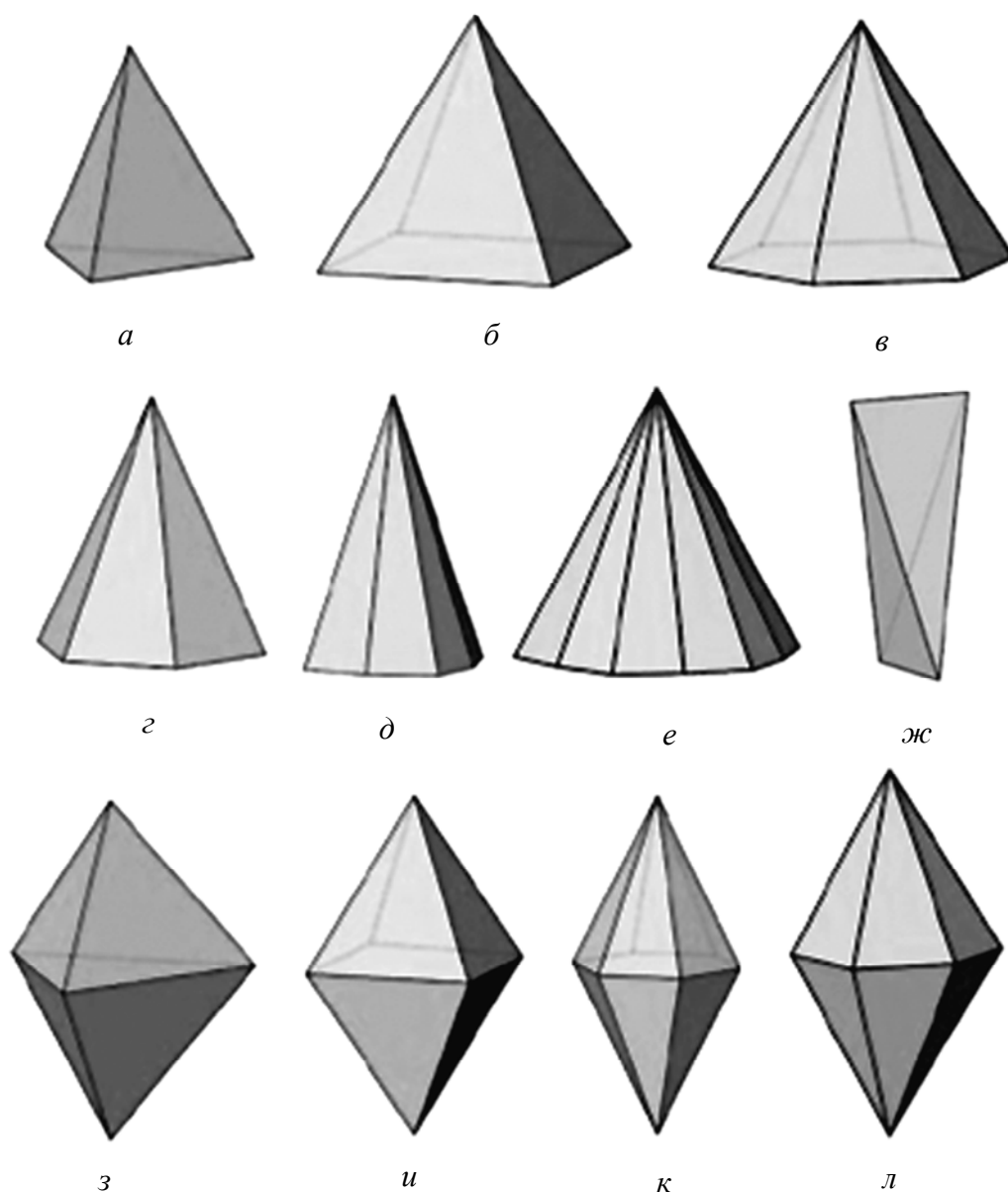


Рис. 106. Простые формы сингоний средней категории:  
*а* – тригональная пирамида; *б* – тетрагональная пирамида;  
*в* – гексагональная пирамида; *г* – дитригональная пирамида;  
*д* – дитетрагональная пирамида; *е* – дигексагональная пирамида;  
*ж* – тетрагональный тетраэдр; *з* – тригональная дипирамида;  
*и* – тетрагональная дипирамида; *к* – гексагональная дипирамида;  
*л* – дитригональная дипирамида

В реальных кристаллах грани одной простой формы усекают грани другой простой формы, и в таком усеченном виде расшифровка комбинации затруднена. Для этого определяют кристаллографическую формулу многогранника и число сортов граней и по ним воссоздают простую форму.



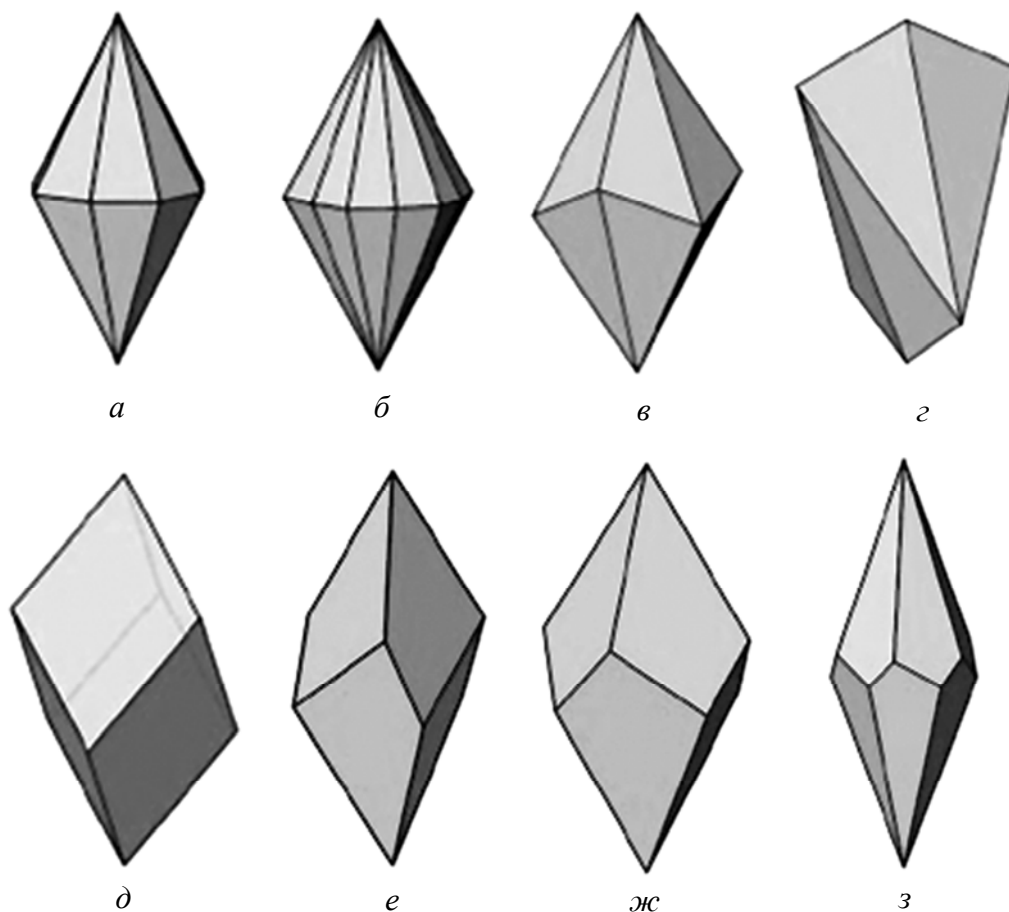


Рис. 10в. Простые формы сингоний средней категории:  
*a* – дитетрагональная дипирамида; *б* – дигексагональная дипирамида;  
*в* – дитригональный скаленоэдр; *г* – тетрагональный скаленоэдр;  
*д* – ромбоэдр; *е* – тригональный трапецоэдр;  
*ж* – тетрагональный трапецоэдр; *з* – гексагональный трапецоэдр

Тетраэдр кубической сингонии отличается от тетрагонального и ромбического тетраэдра тем, что его грани являются равносторонними, у тетрагонального – равнобедренными треугольниками, а у ромбического – треугольниками с тремя неравными ребрами. Если взять за исходные простые формы тетраэдр и октаэдр, то можно получить ряд произвольных простых форм (рис. 3). Для правильного кубического тетраэдра гранью служит равносторонний треугольник. Если вместо одной грани появляются три, то фигура называется тритетраэдр, если шесть – гексатетраэдр. Так как тритетраэдров может быть несколько, то перед названием указывается форма каждой из получающихся граней. Грани могут быть треугольные, четырехугольные и пятиугольные. Соответственно фигуры, имеющие такие грани, получают название тригонтритетраэдр, тетрагонтритетраэдр и пентагонтритетраэдр.

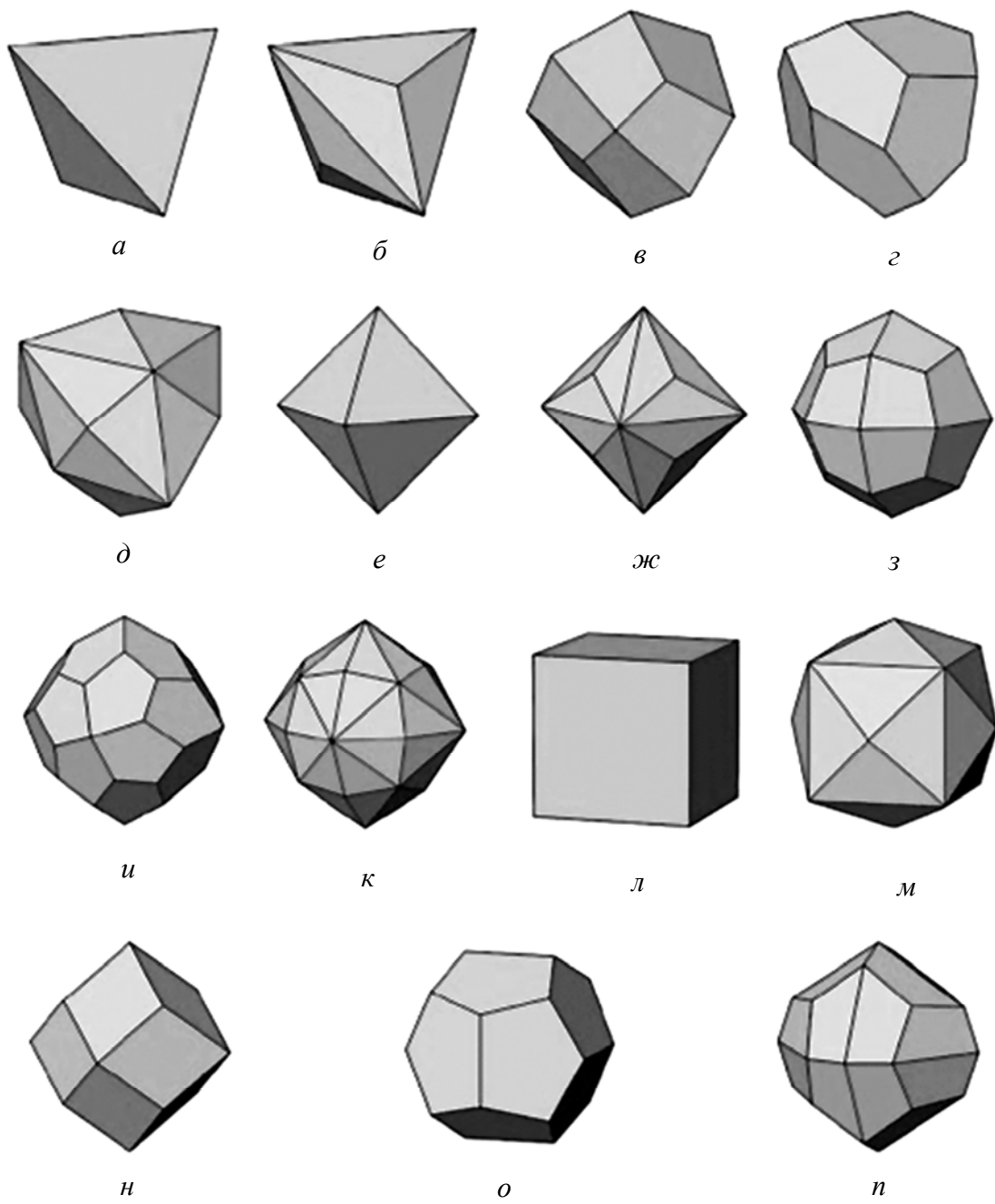


Рис. 11. Простые формы высшей категории (кубическая сингония):

- а* – тетраэдр; *б* – тригонритетраэдр; *в* – тетрагонритетраэдр;
- г* – пентагонритетраэдр; *д* – гексатетраэдр (тригонгексатетраэдр); *е* – октаэдр;
- ж* – тригонтриоктаэдр; *з* – тетрагонтриоктаэдр; *и* – пентагонтриоктаэдр;
- к* – гексаоктаэдр (тригонгексаоктаэдр); *л* – гексаэдр (куб);
- м* – тетрагексаэдр (тригонтетрагексаэдр); *н* – пентагондодокаэдр;
- о* – ромбододокаэдр; *п* – дидодокаэдр

Те же самые по форме грани могут быть и у октаэдров, их названия образуются таким же образом, как и для тетраэдров. Соответст-

венно получаем пять простых форм кубической сингонии – октаэдр, тригонтриоктаэдр, тетрагонтриоктаэдр, пентагонтриоктаэдр, гексаоктаэдр.

Кроме этих 10 форм в кубической сингонии может быть еще пять: гексаэдр (куб), тетрагексаэдр (пирамидальный куб) и три додекаэдра. Если форма грани у додекаэдра ромб, то фигура называется ромбододекаэдром, если пятиугольник – пентагондодекаэдром. В результате удвоения каждой грани пентагондодекаэдра получается двадцатичетырехгранник, называемый дидодекаэдром.

## 2. Порядок выполнения работы

Произвести расшифровку форм кристаллов согласно заданию. Для этого необходимо определить кристаллографическую формулу многогранника, установить сингонию и категорию. Подсчитать число сортов граней, которое совпадает с числом простых форм кристалла.

Многогранники, отнесенные к определенной категории, имеют простые формы для каждого сорта граней в пределах данной категории. Исключение составляют две формы – моноэдр и пинакоид, которые встречаются у кристаллов низшей и средней категорий.

По сингониям низшей категории простые формы (рис. 9) распределены следующим образом:

в триклинной – существуют лишь две формы – моноэдр (грань, существующая лишь в единственном числе) и пинакоид (две параллельные грани);

в моноклинной – к этим двум формам добавляются диэдр (две грани, пересекающиеся под углом) и ромбическая призма;

в ромбической – ко всем предыдущим формам добавляются ромбические пирамида, дипирамида и тетраэдр.

В средней категории, кроме моноэдра и пинакоида, существуют призмы, пирамиды и дипирамиды (рис. 10). Они различаются по сингониям в зависимости от порядка оси и форм сечения, перпендикулярного к главной оси.

К важнейшим формам средней категории относится ромбоэдр, причисляемый к кристаллам тригональной сингонии. Он представляет собой куб, сплюснутый или вытянутый по оси  $L_3$ . Форма граней – ромб.

В сингониях средней категории существуют также трапецоэдры, в которых в отличие от дипирамид нижняя сторона находится не точно над верхней, а смещена относительно нее, образуя трехгранный угол.

Угол смещения произвольный, он может быть осуществлен по часовой стрелке или против нее. Существующие трапецоэдры называются левым и правым.

Скаленоэдр характеризуется расположением верхних пар граней симметрично между двумя парами нижних граней и образован равными разносторонними треугольниками. На боковых косых гранях при этом образуется четырехгранный угол.

В кристаллах кубической сингонии нет простых форм, характерных для низших и средней категорий (рис. 11). Все они замкнутые. Имеются исходные и производные простые формы.

При изучении сложных форм (комбинаций) необходимо определить простые формы, слагающие комбинацию. Для этого одинаковые грани нужно мысленно продлить до взаимного пересечения, при этом все другие грани игнорируются. Воссоздав простую форму в полном виде, дают ей наименование. Аналогичным образом поступают и со всеми остальными сортами граней, учитывая, что наименование для каждого сорта граней следует искать только в пределах данной сингонии (за исключением моноэдра и пинакоида). Результаты определения заносят в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты определения элементов, вида симметрии, сингонии и категории кристаллов сложных форм**

Кристалло-графическая формула	Категория, сингония	Вид, класс и симметрии	Количество и наименование простых форм граней	Наименование простых форм кристалла
-------------------------------	---------------------	------------------------	---	-------------------------------------

### Контрольные вопросы

1. Что такое простая форма и комбинация?
2. К какой форме относятся гексагональная призма, гексагональная пирамида, ромбоэдр, тригональный трапецоэдр?
3. Какие простые формы называются открытыми и какие закрытыми?
4. Сколько граней имеет ромбододекаэдр, тетрагонтриоктаэдр, гексаэдр?
5. Что представляет собой кристалл в виде спичечной коробки – простую форму или комбинацию?
6. Что представляет собой тетрагональный трапецоэдр?
7. В чем отличия реальных и идеальных кристаллов?
8. Определите число граней пинакоида, тригональной призмы, тригональной пирамиды.
9. Какие простые формы имеются в кристаллах средних сингоний?
10. Назовите простые формы кубической сингонии.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

## УСТАНОВКА КРИСТАЛЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМВОЛОВ (ИНДЕКСОВ) ГРАНЕЙ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: определение индексов граней для кристаллов различных сингоний.

Оборудование и материалы: набор моделей кристаллов различных сингоний; таблицы классов симметрии кристаллов; измерительные линейки, угольники.

### 1. Общие сведения

Для полной характеристики кристаллических многогранников необходимо иметь точные сведения о взаимном пространственном расположении граней в кристаллах. Для этого используются *кристаллографические символы*, определяющие положение любой грани относительно некоторых координатных осей и некоторой грани, принятой за единичную (масштабную). Выбор кристаллографических осей и единичной грани называется установкой кристаллов.

Для кристаллов тригональной и гексагональной сингоний принимаются оси  $X, Y, U, Z$ , а для остальных сингоний –  $X, Y, Z$ .

В кристаллографии принята правая система координат, то есть положительными направлениями считаются: для оси  $X$  – вперед на наблюдателя,  $Y$  – вправо от наблюдателя,  $Z$  – вверх (рис. 12).

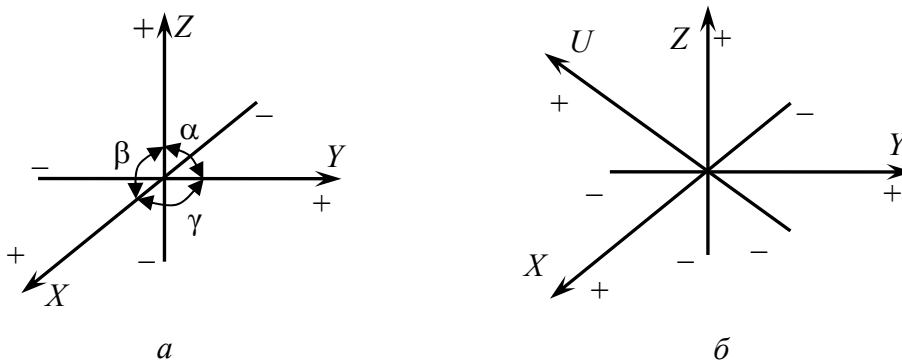


Рис. 12. Направления кристаллографических осей в системах:  
 $a$  – трехкоординатной;  $b$  – четырехкоординатной

*Оси координат* располагаются в соответствии с симметрией кристаллов либо по осям симметрии, либо по нормальям к плоскостям, а если их нет – по ребрам кристаллического многогранника (действительным или возможным).

Единичную грань принимают таким образом, чтобы она пересекала либо все координатные оси, либо максимальное их число. При этом масштабные отрезки, отсекаемые ею, принимаются за единицы измерения по соответствующей координатной оси.

Для каждой сингонии характерными являются углы между координатными осями (между  $Z$  и  $Y - \alpha$ , между  $X$  и  $Z - \beta$ , между  $X$  и  $Y - \gamma$ ) и масштабные отрезки (единичные параметры) на координатных осях (на оси  $X$  отрезок  $a$ ; на  $Y - b$ ; на оси  $Z - c$ ) (рис. 12). В табл. 4 приведены правила установки кристаллов в соответствии с их сингониями.

Таблица 4

**Установка кристалла различных сингоний**

Сингония	Выбор координатных осей	Координатные углы и единичные параметры	Элементарная примитивная ячейка
Триклинная	За оси $X, Y, Z$ принимают три ребра, которые пересекались бы под углами, более близкими к $90^\circ$ . За вертикальную ось принимают ребро наиболее развитой зоны	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	Комбинация трех пинакоидов – косоугольный параллелепипед
Моноклиная	Ось $Z - L_2$ или $\perp P$ ; $X$ и $Y -$ два ребра, перпендикулярные оси $Y$ ; $X -$ вперед наклонно вниз, $Z -$ вертикально вдоль ребра наиболее развитой зоны	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$ $a \neq b \neq c$	Комбинация трех пинакоидов – прямоугольный параллелепипед
Ромбическая	$X, Y - 2L_2$ или нормали к $2P$ , $Z - L_2$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$	Комбинация трех пинакоидов – «кирпичик»
Тетрагональная	$Z - L_4$ ; $X, Y - 2L_2$ , или нормали к $2P$ (под $90^\circ$ ), при их отсутствии – два перпендикулярных ребра под углом $90^\circ$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b \neq c$	Тетрагональная призма с пинакоидом
Тригональная	$Z - L_3$ ; $X, Y, U - 3L_2$ или нормали к $3P$ , при их отсутствии – три перпендикулярных к оси $Z$ ребра под углами $60^\circ$ .	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$	Ромбоэдр
Гексагональная	$Z - L_6 (L_{i6})$ ; $X, U, Z - 3L_2$ или нормали к $3P$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$	Гексагональная призма с пинакоидом
Кубическая	$X, Y, Z - 3L_4 (3L_{i4})$ , при их отсутствии – $3L_2$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b = c$	Октаэдр

Учение о символах граней основывается на одном из важнейших законов кристаллографии – законе рациональности отношений параметров (закон Гаюи).

**Закон Гаюи** гласит: двойные отношения параметров, отсекаемых двумя любыми гранями кристалла на трех пересекающихся его ребрах, равны отношениям целых и сравнительно малых чисел. Для изображенного на рис. 13 кристалла эти соотношения выглядят:

$$\frac{OA_x}{OA_1} \cdot \frac{OB_x}{OB_1} \cdot \frac{OC_x}{OC_1} = p : q : r .$$

Наличие целых чисел объясняется решетчатым строением кристаллов. Ребра кристалла соответствуют рядам кристаллической решетки, грани – плоским сеткам. Плоские сетки (грани), пересекая три ряда решетки (ребра), образуют на них отрезки (параметры), содержащие целые числа промежутков между узлами решетки (элементарными частицами).

Закон Гаюи связывает внешнюю форму кристаллов с их внутренним решетчатым строением. Для удобства математических преобразований пользуются обратными величинами отношений параметров, получивших название *индексов Миллера*:

$$\frac{OA_x}{OA_1} \cdot \frac{OB_x}{OB_1} \cdot \frac{OC_x}{OC_1} = \frac{1}{p} : \frac{1}{q} : \frac{1}{r} = h : k : l .$$

Таким образом, любую грань в кристалле можно охарактеризовать тремя целыми и взаимно простыми числами ( $h, k, l$ ) – индексами граней, представляющими отношение трех дробей, числители которых являются параметрами единичной грани ( $OA_1, OB_1, OC_1$ ), а знаменатели соответствуют параметрам определяемой грани ( $OA_x, OB_x, OC_x$ ).

После математических преобразований индексы как двойные параметры имеют вид небольших целых чисел. Но следует помнить, что чем больший параметр грани, т. е. чем больше отрезок отсекает грань на координатной оси, тем меньший индекс она имеет по данной оси.

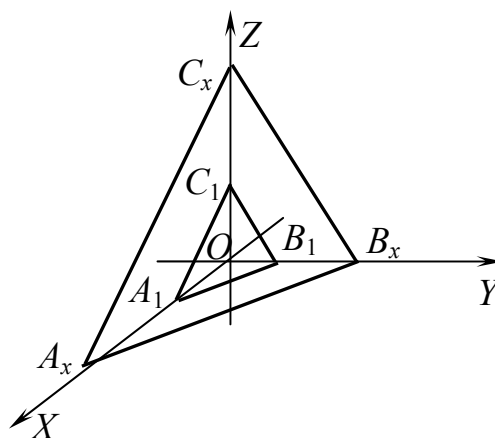


Рис. 13. Параметры граней кристалла и кристаллографические оси

Условные обозначения символов: грани –  $(hkl)$ , или  $(hkil)$ , где  $h$  – индекс по оси  $X$ ,  $k$  – по оси  $Y$ ,  $i$  – по оси  $U$ ,  $l$  – по оси  $Z$ .

Для примера найдем индекс грани  $A_x B_x C_x$ . Параметры выражаем числом промежутков между элементарными частицами:

$$\frac{OA_1}{OA_x} : \frac{OB_1}{OB_x} : \frac{OC_1}{OC_x} = \frac{2}{4} : \frac{2}{3} : \frac{1}{2} = \frac{2 \cdot 3 : 2 \cdot 4 : 1 \cdot 12}{12} = 6 : 8 : 12 = 3 : 4 : 6.$$

Индекс грани  $A_x B_x C_x = (346)$  (читается три – четыре – шесть, а не триста сорок шесть).

Если грань пересекает какую-либо ось со стороны отрицательного значения (минуса), над индексом этой оси ставится знак минус ( $\bar{h} \bar{k} \bar{l}$ ). Символ единичной грани всегда  $(111)$ , независимо от того, какие отрезки, равные или неравные, отсекает она на координатных осях. Если грань, в том числе и единичная, параллельна одной или двум координатным осям, то индекс, соответствующий данным осям, равен нулю.

Каждое семейство плоскостей с индексами  $hkl$  характеризуется своим межплоскостным расстоянием  $d$ , т. е. расстоянием между двумя соседними параллельными плоскостями, которое измеряется в нм или ангстремах  $\text{Å}$  ( $1 \text{ Å} = 0,1 \text{ нм}$ ). Связь параметров элементарной ячейки ( $a, b, c$  и  $\alpha, \beta, \gamma$ ) и индексов граней выражается формулами в соответствии с сингонией кристалла.

Для кристаллов кубической сингонии (гранат, флюорит, пирит и др.) зависимость параметров выражается формулой

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}.$$

Параметр элементарной ячейки будет равен:

$$a = d \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}.$$

Межплоскостное расстояние определится уравнением:

$$d = a / \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}.$$

Для тетрагональной сингонии (рутил, циркон, скаполит и др.):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}.$$

Для гексагональной сингонии (апатит, берилл):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{3}{4} \frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}.$$

Для тригональной сингонии (кварц, корунд, кальцит, гематит и др.):



$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)\sin^2 \alpha + 2(hk + kl + hl)(\cos^2 \alpha - \cos \alpha)}{a^2(1 - 3\cos^2 \alpha + 2\cos^3 \alpha)}.$$

Для ромбической сингонии (оливин, анортит, кордиерит, андалузит и др.):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}.$$

Для моноклинной сингонии (диопсид, роговая обманка, гипс и др.):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2 \sin^2 \beta} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2 \sin^2 \beta} - \frac{2hl \cos \beta}{ac \sin^2 \beta}.$$

Для триклинной сингонии (плаггиоклаз, родонит, кианит и др.):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{\frac{h^2}{a^2} \sin^2 \alpha + \frac{k^2}{b^2} \sin^2 \beta + \frac{l^2}{c^2} \sin^2 \gamma + \frac{2hk}{ab} (\cos \alpha - \cos \beta - \cos \gamma)}{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma} + \frac{\frac{2kl}{bc} (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) + \frac{2lh}{ca} (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)}{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma}.$$

## 2. Порядок выполнения работы

Определить сингонию кристалла, произвести его установку относительно кристаллографических осей в соответствии с правилами, выполнить чертеж фигуры с нанесением кристаллографических осей. Записать название фигуры, определить формулу симметрии, указать вид и класс симметрии, сингонию и категорию кристалла.

Выбрав единичную грань в кристалле, произвести определение индексов всех граней (индексов Миллера) для исследуемого кристалла.

### Контрольные вопросы

1. Что такое кристаллографическая система координат? В чем ее логика? Как располагаются и обозначаются кристаллографические оси?
2. Как обозначаются углы между осями?
3. Как определять символы плоскостей кристаллической решетки?
4. Дайте определение закона рациональных отношений.
5. Что такое символ грани?
6. Как обозначаются символы граней простых форм?

7. Сколько координатных систем используется для описания кристаллов?

8. Чем отличается установка кристаллов в кубической и гексагональной сингониях?

9. Назовите символы граней на примере гексаэдра.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РЕШЕТКИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: определение типов кристаллических решеток и элементов, их характеризующих.

Материалы и оборудование: макеты кристаллических решеток; линейки измерительные.

### 1. Общие сведения

**Пространственная решетка** представляет собой систему точек, расположенных в вершинах равных, параллельно ориентированных и смежных по граням параллелепипедов, заполняющих пространство. Узлы пространственной решетки располагаются в одной плоскости в виде геометрически правильной *плоской сетки*, которая представляет собой совокупность рядов. Узлы находятся в вершинах системы равных, параллельно ориентированных параллелограммов (рис. 14).

Элементарные параллелепипеды, совокупность которых образует пространственную решетку, называются ее *элементарными ячейками*.

Три угла между направлениями, принимаемыми за основные оси ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) и три отрезка ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) расстояний между узлами вдоль этих осей называются *параметрами ячейки*.

Характеристика параметров элементарной ячейки для кристаллов различных сингоний приведены в табл. 2.

Начало координат, т. е. вершину элементарного параллелепипеда пространственной решетки, можно представить себе в любой точке кристаллической структуры, но обычно его помещают в центрах тяжести тех материальных частиц (атомов, ионов, молекул), которые являются узлами пространственной решетки.

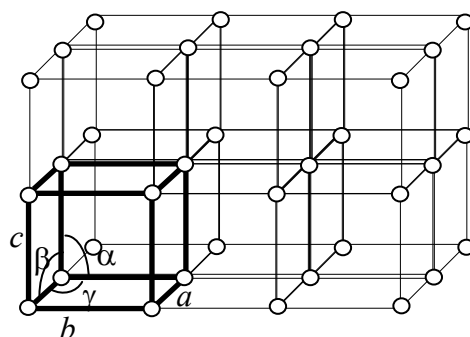
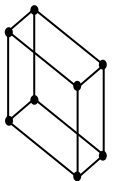
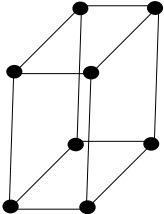
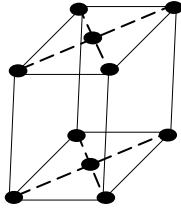
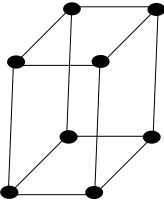
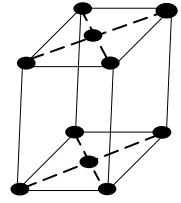
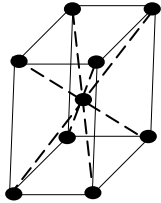
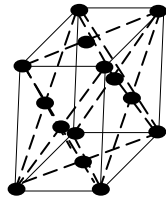
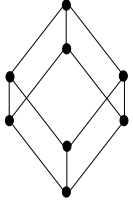
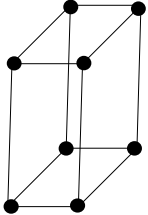
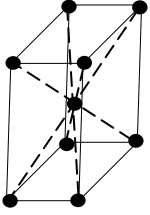
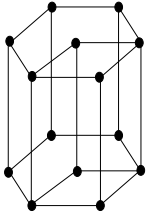
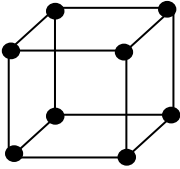
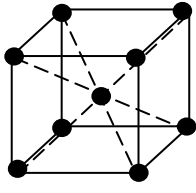
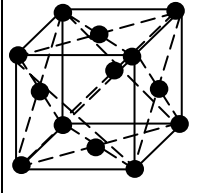


Рис. 14. Пространственная решетка с элементарной ячейкой

## 14 типов решеток Браве

Сингония	Тип решетки Браве			
	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>F</i>
Триклинная				
Моноклинная				
Ромбическая				
Тригональная (ромбоэдрическая)				
Тетрагональная				
Гексагональная				
Кубическая				

Французский ученый О. Браве доказал, что существует четырнадцать типов пространственных решеток, элементарные ячейки которых подразделяются соответственно по семи сингониям. Эти ячейки бывают примитивными ( $P$ ), все узлы которых расположены только в вершинах элементарного параллелепипеда, и сложными – узлы размещены не только в вершинах элементарных ячеек, но и на гранях, ребрах и в объеме (табл. 5).

Четырнадцать типов решеток Браве отражают все возможные симметричные расположения точек в пространстве. Сложные ячейки бывают гранецентрированными ( $F$ ), базоцентрированными ( $C$ ) и объемноцентрированными ( $J$ ).

Для определения структуры кристаллов необходимо определить количество атомов каждого химического элемента, приходящегося на одну элементарную ячейку – число формульных единиц ( $Z$ ). Такой подсчет возможен на пространственных моделях кристаллов. Начало координат при подсчете обычно совмещают с центром того или иного атома или с центром координационного многогранника, хотя любая точка в объеме структуры может быть с этой целью принята за исходную. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку, легко определяется на основании данных, приведенных на рис. 15.

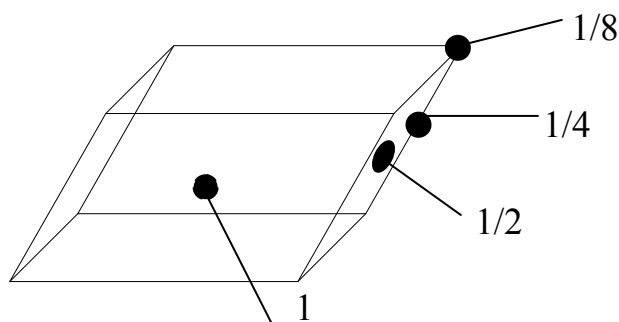


Рис. 15. Подсчет количества атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку

Элементы симметрии кристаллических многогранников, как отмечалось ранее в лабораторных работах № 1 и № 2, описываются с помощью таких элементов симметрии, как оси симметрии, плоскости симметрии и инверсионные оси. Поскольку кристаллическая решетка подразумевается бесконечной (из-за чрезвычайно малых расстояний между атомами по сравнению с величиной кристалла), то и элементы ее симметрии повторяются бесконечно. К открытым элементам симметрии относятся:

- 1) трансляции;
- 2) винтовые оси симметрии;
- 3) плоскости скользящего отражения.

*Трансляция (T)* – поступательный перенос некоторого расположения (системы точек, линий фигуры, атомов и т. д.), при котором это расположение совмещается само собой. Направления, при перемещении вдоль которых на определенный отрезок (*шаг трансляции*) происходит совмещение, называются осями переносов или осями трансляции. Наличие трансляций – наиболее характерное свойство расположения атомов в кристалле. Их величину и направление характеризуют с помощью вектора, который также называется трансляцией. При перемещении вектора параллельно самому себе в его концах оказываются совершенно одинаковые точки.

*Винтовые оси симметрии* – сложные оси. При симметрических преобразованиях вдоль винтовых осей совмещение точек осуществляется их перемещением на определенный отрезок вдоль оси и одновременно поворотом на угол  $360^\circ/n$ , где  $n$  может быть равно 2, 3, 4 или 6. Кристаллические решетки могут обладать, таким образом, винтовыми осями второго, третьего, четвертого и шестого порядков и различаться при этом по величине трансляции.

Винтовые оси обозначают  $2_1, 3_1, 3_2, 4_1, 4_2, 4_3, 6_1, 6_2, 6_3, 6_4, 6_5$ . Здесь частное от деления малой цифры на большую даст величину поступания  $t$  вдоль оси по отношению к элементарной трансляции  $T$  структуры в направлении, параллельном данной оси. Различают правые и левые винтовые оси. Винтовая ось называется правой, если вращение вокруг нее происходит по часовой стрелке, и левой, если поворот производится против часовой стрелки.

Двойная винтовая ось  $2_1$  – действие ее сводится к повороту на  $180^\circ$  с последующим переносом вдоль нее на половину элементарной трансляции. Отсюда понятно обозначение этой оси –  $2_1$ . Двойная винтовая ось одновременно является и правой, и левой, так как повороты вокруг нее на  $180^\circ$  и вправо и влево приводят к тождественному результату (рис. 16, а, б).

Действие тройной оси ( $3_1$ ) состоит в повороте на  $120^\circ$  и последующем переносе на  $1/3$  элементарной трансляции (рис. 16, в, г, д).

*Плоскость скользящего отражения* – сочетание трансляции с отражением, т. е. скользящее отражение состоит из параллельного переноса и зеркального отражения: узел отражается плоскостью симметрии и одновременно перемещается на расстояние, равное периоду идентичности в направлении трансляции.

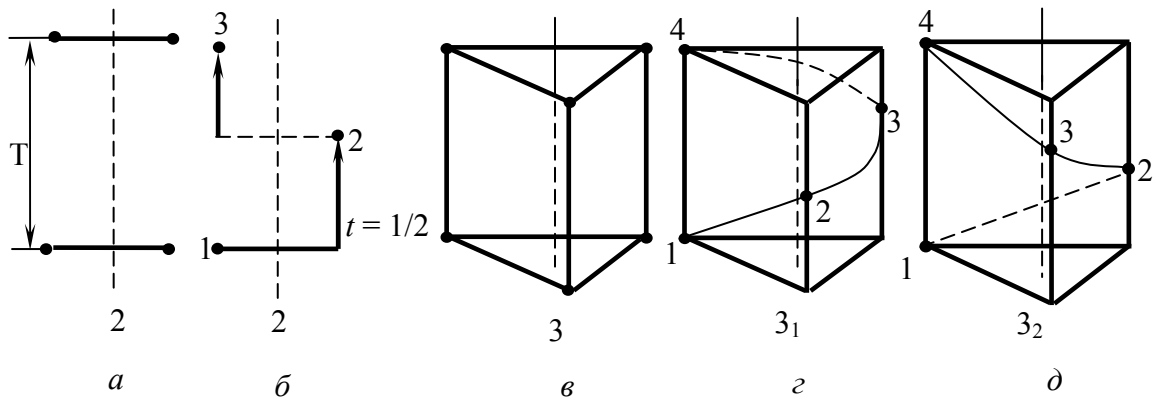


Рис. 16. Поворотные оси симметрии:  
*a* – двойная 2; *б* – двойная винтовая  $2_1$ ; *в* – тройная 3;  
*г* – тройная винтовая правая ось  $3_1$ ; *д* – тройная винтовая левая ось  $3_2$

Действие плоскостей скользящего отражения легко можно понять на примере узора шахматной доски, представив его себе бесконечным. Плоскость скользящего отражения здесь проходит вдоль линии *aa*. Чтобы совместить квадраты 1 и 2 (рис. 17, 1), надо первый перенести параллельно самому себе на место нижележащего заштрихованного квадрата и затем отразить в плоскости, перпендикулярной рисунку, проходящей вдоль линии *aa*. При этом совместится весь узор доски. Такие же плоскости будут проходить и вдоль линии  $a_1a_1$ ,  $b\bar{b}$ ,  $b_1\bar{b}_1$ .

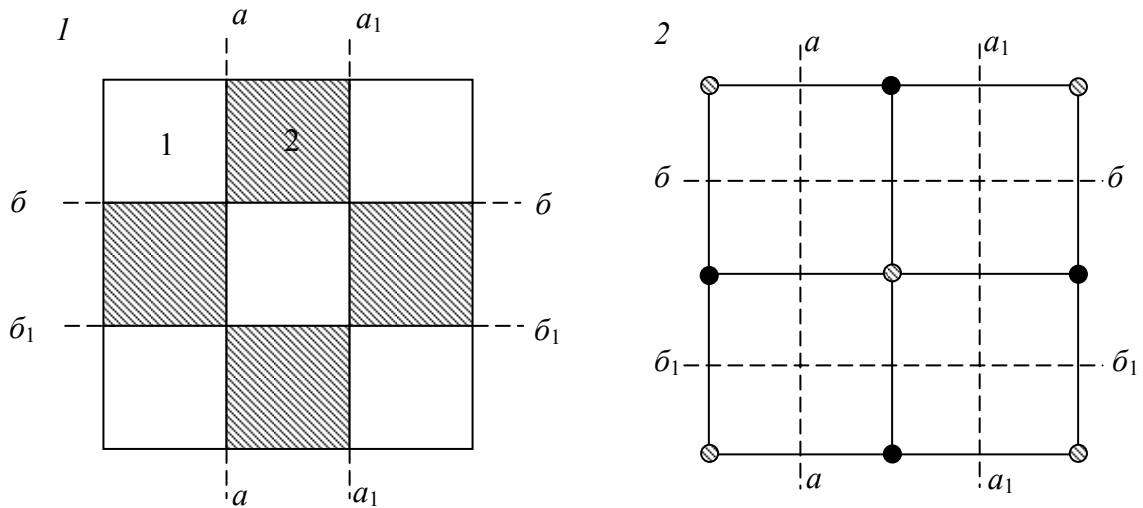


Рис. 17. Плоскости скользящего отражения:  
1 – плоскости типов *a* и *б* на узоре шахматной доски;  
2 – плоскости *a* и *б* на сетке куба элементарной ячейки NaCl

Для пространственных решеток также определяются *координационные числа* (КЧ) по кислороду – числа ближайших атомов (ионов), окружающих центральный атом (ион). Устойчивость того или иного типа координации в структуре определяется таким их взаимным расположением, которое исключает соприкосновение одинаковых и, стало быть, одноименно заряженных ионов. Вокруг большого центрального катиона легко располагаются без взаимного соприкосновения большее число анионов, чем вокруг малого.

При описании структуры в дополнение к числовой характеристике ближайшего окружения каждого атома – координационному числу – следует указать и геометрическую форму координационного полиэдра (КП), т. е. описать фигуру, внутри которой находится данный атом, а в вершинах – атомы-соседи. Такая дополнительная характеристика необходима потому, что одному и тому же координационному числу могут отвечать разные координационные полиэдры.

## **2. Порядок выполнения работы**

Определить тип предлагаемой к изучению пространственной решетки.

Выполнить ее схематический рисунок, где обозначить координаты узлов и индексы сеток.

Выбрать элементарную ячейку на плоской сетке, а затем и в объеме решетки, соблюдая следующие условия:

- элементарная ячейка должна обладать симметрией всей решетки;
- объем ячейки должен быть минимальный;
- должны быть кратчайшие трансляции по ребрам ячейки и максимальное число прямых углов и равных сторон (первое условие важнее второго, второе важнее третьего).

Определить координационное число и форму координационного полиэдра.

Определить число формульных единиц, приходящихся на одну элементарную ячейку.

Установить индексы сеток пространственной решетки.

Найти простые и трансляционные (сложные) элементы симметрии пространственной решетки.

## **Контрольные вопросы**

1. Назовите элементы пространственной решетки.
2. Что такое элементарная ячейка? Назовите их типы и параметры для различных сингоний.

3. Перечислите типы решеток Браве.
4. Как определяется число формульных единиц, приходящихся на одну элементарную ячейку?
5. Какие элементы симметрии пространственной решетки являются сложными? Дайте их определение.
6. Что такое винтовые оси симметрии и каких типов они бывают?
7. Что определяет координационное число? Какими параметрами ионов оно определяется?
8. Назовите координационные числа и соответствующие им координационные полиэдры.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ЗАРОЖДЕНИЕ И РОСТ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: изучение основных закономерностей зарождения и роста кристаллов из растворов на примере хорошо растворимых химических соединений.

Материалы и оборудование: реактивы; ступка фарфоровая; весы технические с разновесом; стаканы химические; плитка электрическая; сетка асбестовая; кристаллизатор; мензурка; стекла для закрывания стакана и кристаллизатора; воронка; палочка стеклянная для размешивания; бумага фильтровальная; штатив для воронки; пинцет; пластилин для крепления нити к крышке сосуда.

### 1. Общие представления о процессе кристаллизации

Кристаллические тела могут образоваться путем фазового перехода из любого неупорядоченного состояния: из паров, растворов, расплавов, из аморфного состояния или путем перекристаллизации из другой кристаллической фазы. Газ, жидкость, твердое тело, из которых происходит кристаллизация, называются *средами кристаллизации*. Кристалл представляет собой обычно более конденсированное, чем жидкость, состояние вещества. В связи с этим кристаллизацию вещества можно назвать процессом насыщения ближних и дальних связей между составляющими частицами. Переход из жидкого состояния в кристаллическое происходит двойным путем: из раствора и из расплава.

Как известно, в определенном растворе при определенной температуре и давлении твердое вещество может растворяться до известного предела. В зависимости от этого различаются растворы ненасыщенные, насыщенные и пересыщенные.



Раствор, в котором при данных условиях возможно растворение добавочных порций твердого вещества, называют *ненасыщенным*. Раствор, в котором при данных условиях прибавление новых порций данного вещества не сопровождается их дальнейшим растворением и который вместе с тем не содержит избытка растворенного вещества, называется *насыщенным*. Поскольку растворимость вещества, как правило, возрастает с повышением температуры и уменьшается с ее понижением, возможно получение *пересыщенного* раствора, содержащего по сравнению с насыщенным избыток растворенного вещества. С течением времени избыток вещества из такого раствора обычно выпадает в осадок.

Пересыщенный раствор нельзя получить простым прибавлением к насыщенному раствору новой порции данного вещества. Эта новая порция не растворится. Пересыщенные растворы твердых веществ в жидкостях получают при следующих трех условиях: понижении температуры насыщенных растворов, испарении насыщенных растворов (температура неизменна) и некоторых химических реакциях.

При испарении из раствора удаляется почти исключительно растворитель; растворенное твердое вещество испаряется в ничтожно малых количествах и его испарение можно не принимать во внимание. Таким образом увеличивается число частиц растворенного вещества на единицу объема раствора, и раствор из насыщенного становится пересыщенным.

Пересыщение раствора может происходить также при химических реакциях. Так, при смешении насыщенных растворов хорошо растворимых солей  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$  выпадает кристаллический осадок соли бария –  $\text{BaSO}_4$ , согласно реакции  $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{KCl}$ . Кристаллический осадок образуется вследствие весьма малой растворимости  $\text{BaSO}_4$  и образования этой солью пересыщенного раствора.

## 2. Возникновение кристаллических зародышей

В растворе хлористого натрия имеются положительно заряженные ионы натрия и отрицательно заряженные ионы хлора. С понижением температуры уменьшается энергия колебательных и поступательных движений этих ионов, большую роль начинают играть силы притяжения разноименно заряженных ионов. В пересыщенном растворе разноименно заряженные ионы, столкнувшись друг с другом, уже не расходятся. Поступательное движение каждого иона в

отдельности прекращается, они прочно связываются силами притяжения. К двум ионам примыкает третий, четвертый и т. д. Такие цепочки можно назвать одномерными кристаллами.

Одномерные кристаллы, сближаясь друг с другом разноименными ионами, образуют двумерный кристалл. Из последних образуются фрагменты кристаллических решеток – мельчайшие кристаллики, называемые *кристаллическими зародышами*.

Пересыщенные растворы или переохлажденные жидкости, находясь в спокойном состоянии в герметически закрытом сосуде, могут сохраняться долгое время без выпадения в них кристаллов. С течением времени в большинстве случаев происходит самопроизвольная (спонтанная) кристаллизация.

Чтобы ускорить кристаллизацию пересыщенного раствора (или переохлажденной жидкости), в него вводят уже готовые кристаллики – зародыши данного вещества, или кристаллики соединений, изоморфных данному растворенному веществу. Кристаллизация может быть вызвана также микроскопическими или субмикроскопическими пылинками, попавшими в раствор из воздуха. Появлению кристаллических зародышей способствует энергичное перемешивание раствора, его встряхивание, трение стеклянной палочки о стенки сосуда. Все это ускоряет движение частиц растворенного вещества, способствует их правильной ориентировке относительно друг друга, их сцеплению друг с другом, образованию зародышей. Кристаллизацию могут вызывать и такие факторы, как трещины, царапины на стенках сосуда, острые выступы и т. д. Зарождению кристаллов способствуют также электрические и магнитные поля, ионизирующее излучение, например,  $\gamma$ -излучение.

Форма кристаллов зависит от степени пересыщения раствора и относительной скорости нарастания различных его граней. Так, например, в сильно пересыщенных растворах вырастают кристаллы алюмокалиевых квасцов в форме октаэдров, при уменьшении концентрации раствора появляются кристаллы в виде гексаэдра и ромбододекаэдра. Правильная симметричная форма роста кристаллов получается только при равномерном питании его граней пересыщенным раствором.

Резкие изменения относительной скорости нарастания граней вызываются присутствием в растворе примесей посторонних веществ. Если, например, в пересыщенном растворе квасцов растворить некоторое количество буры и поместить в такой раствор кристалл квасцов в виде октаэдра, то вскоре на нем появятся грани гек-

саэдра, притупляющие вершины. В дальнейшем будут нарастать почти исключительно грани октаэдра, в конечном итоге образуется кубический кристалл.

В лабораторной практике применяются два основных метода выращивания кристаллов из растворов: метод закрытой банки и метод испарения.

*Метод закрытой банки* – самый простой способ выращивания кристаллов. Насыщенный раствор нагревают до температуры, несколько превышающей температуру насыщения, выливают в банку с завинчивающейся крышкой и охлаждают до комнатной температуры. Если растворимость достаточно высока, и охлаждение происходит медленно, на затравке обычно вырастают хорошо образованные кристаллы.

При *методе испарения* банку накрывают куском ткани (закрепленным у края сосуда резиновым кольцом), который задерживает пыль и препятствует испарению. Сначала рост происходит за счет медленного охлаждения, но после того, как температура раствора достигает комнатной, дальнейший рост кристаллов осуществляется за счет диффузии молекул растворенного вещества к растущему кристаллу.

В этом методе проблемой является чрезмерно интенсивное образование зародышей у поверхности раствора. Иногда применяют вазелиновое масло, покрывающее внутренние стенки банки как раз над поверхностью раствора и препятствующие образованию кольца паразитных кристаллов, зарождающихся здесь и растущих в направлении верхней части банки. Такой рост обусловлен тем, что раствор поднимается за счет капиллярных сил по кристалликам и затем испаряется в верхней части кольца зародышей.

### 3. Порядок выполнения работы

Подготовить измельченную в порошок навеску той или иной соли, взятой в качестве материала для кристаллизации. Сведения о растворимости приведены в табл. 6.

Приготовленную навеску высыпать в химический стеклянный или фарфоровый стакан и налить с помощью градуированной мензурки требуемое количество воды.

Практические рекомендации к приготовлению растворов:

Сегнетова соль  $\text{KCOOC}(\text{CHON})_2 \cdot \text{COONa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Приготавливают раствор, нагревая до полного насыщения, для выращивания кристаллов методом испарения, содержащий  $130 \text{ г}/100 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$ .

Для выращивания кристаллов в закрытой банке готовят раствор, содержащий 134 г/100см<sup>3</sup> Н<sub>2</sub>О.

Таблица 6

**Растворимость некоторых солей  
(в граммах на 100 см<sup>3</sup> воды) при различных температурах**

Температура, °С	Алюмокалиевые квасцы	Натриевая селитра	Сегнетова соль	Сернокислый магний (семиводный)	Медный купорос	Хлорат натрия
0	3,9	73,0	42	76,9	31,6	45,1
10	9,52	80,6	54	96,5	36,95	–
20	15,13	88,5	90	119,5	42,31	49,7
30	22,01	96,6	150	146,3	48,81	–
40	30,92	104,9	234	179,5	56,90	56,5

Алюмокалиевые квасцы  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Для метода испарения – 20 г/100 см<sup>3</sup>, для метода закрытой банки – 24 г/100 см<sup>3</sup>.

Хромокалиевые квасцы  $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Для метода испарения – 60 г/100 см<sup>3</sup>, для метода закрытой банки – 65 г/100 см<sup>3</sup>.

Натриевая селитра  $NaNO_3$ . Для метода испарения – 110 г/100 см<sup>3</sup>, для метода закрытой банки – 113 г/100 см<sup>3</sup>.

Хлорат натрия  $NaClO_3$ . Для метода испарения – 113,4 г/100 см<sup>3</sup>, для метода закрытой банки – 117,4 г/100 см<sup>3</sup>.

Медный купорос  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ . Для метода испарения – 40 г/100 см<sup>3</sup>, для метода закрытой банки – 50 г/100 см<sup>3</sup>.

Закрывать стакан стеклом, нагреть его содержимое, чтобы ускорить растворение соли в воде. Полученный раствор необходимо отфильтровать через фильтровальную бумагу для удаления твердых частиц; это вмешательство и некоторое охлаждение раствора могут вызвать появление целого ряда зародышей. Их следует растворить повторным нагреванием.

Затем раствор слить в плоский сосуд (кристаллизатор), закрыть крышкой и дать спокойно остывать до следующего дня. В результате охлаждения и испарения получаем вначале насыщенный, а затем пересыщенный раствор. При этом в кристаллизаторе начинают выпадать кристаллики, растущие с течением времени.

В конце занятий или на следующий день после приготовления раствора выбрать несколько наилучших из выпавших кристаллов, а остальное снова растворить нагреванием. Затем отфильтровать раствор. Еще раз немного подогреть раствор на 10–15° для удаления нежелательных примесей и поместить туда отобранные кристаллы.

Для получения более или менее равномерно ограниченных кристаллических многогранников необходимо подвешивать их на нити к крышке сосуда или ткани, закрывающей кристаллизатор.

### **Контрольные вопросы**

1. При каких условиях возникают кристаллы в жидких растворах?
2. Как влияют скорости роста граней на форму кристалла?
3. Что такое концентрационные потоки, в чем состоит их влияние на процесс роста кристаллов?
4. Каков простейший метод выращивания кристаллов?
5. Охарактеризуйте процесс роста идеальных и реальных кристаллов.

## 2. МИНЕРАЛОГИЯ

### 2.1. Классификация минералов

Минералогия – наука о минералах. Минералами называются довольно однородные химические элементы или химические соединения, образующиеся в результате физико-химических процессов, протекающих в земной коре, в водной оболочке или атмосфере, а также в результате взаимодействия между ними, или их аналоги, полученные искусственным путем.

В природе известно более 3500 минералов. Существуют различные способы их классификации: кристаллохимическая, химическая, генетическая, технологическая и др. Наибольшее распространение получила кристаллохимическая систематика минералов, в основу которой положен их химический состав и кристаллическая структура. В соответствии с этим минералы объединяются в минеральные типы, классы, семейства и группы.

*Минеральный тип* – совокупность минеральных видов, объединенных родственным характером химических связей между структурными единицами, типом их координации и упаковки. Различают пять минеральных типов: простые вещества, кислородные соединения, галоиды, сульфиды, органические минералы.

*Минеральный класс* – совокупность минеральных видов, родственных по характеру анионов (кислотных остатков и катионов в комплексных анионах). Выделяют более 10 минеральных классов: самородные минералы, сульфиды, карбонаты, галогениды, оксиды и гидроксиды, сульфаты, фосфаты, бораты, силикаты, нитраты и др.

*Подкласс минералов* – совокупность минеральных видов, объединенных общностью их структуры. Различают подклассы минералов с координационной, островной, кольцевой, цепочечной, ленточной, слоистой и каркасной структурами.

*Семейство минералов* – совокупность минеральных видов переменного химического состава, но с близкой структурой, или же одинакового состава, но с разной структурой.

*Группа минералов* – совокупность минеральных видов сходного химического состава с близкой структурой. Например, группы полевых шпатов, амфиболов, пироксенов и др.

Класс самородных минералов объединяет минералы, состоящие из одного химического элемента (Au, Ag, S, Cu и др.). В самородном состоянии в природе встречается более 80 химических элементов.

Минералы класса сульфидов – это разнообразные сернистые соединения. Некоторые из них, такие как сульфиды Cu (халькозин), Fe (пирит), Pb (галенит), Zn (сфалерит), Mo (молибденит), Ni (пентландит) и др., являются важнейшими компонентами руд цветных металлов; пирит используется для производства серной кислоты.

Минералы класса карбонатов применяются в строительстве, производстве силикатных материалов и металлургии; минералы фосфатов – для выпуска фосфорных удобрений, изготовления стекол и эмалей; минералы боратов – для производства стекол и эмалей.

Многие минералы класса оксидов и гидроксидов также являются ценными полезными ископаемыми, образуя промышленные месторождения Fe (магнетит, гематит), Ti (титаномагнетит), Cr (хромит), Mn (пиролюзит), Al (боксит, кианит, корунд), Mo (шеелит), Sn (касситерит), W (вольфрамит) и др. Некоторые минералы этого класса используются для получения шихт в производстве стекла, керамики, огнеупоров. В частности, в огнеупорной промышленности используются оксиды Al (корунд), Ti (рутил), Cr (хромит), Mg (периклаз). Особенно широкое применение находит оксид Si (кварц) – основной сырьевой компонент для производства силикатных материалов.

Минералы класса сульфатов используются в производстве вяжущих материалов, серной кислоты, стекол и эмалей; галогениды – в химической, пищевой промышленности, медицине, для изготовления стекол и эмалей, нитраты – для изготовления минеральных удобрений, стекол и эмалей, взрывчатых веществ и др.

Обширная группа минералов класса силикатов является основным компонентом горных пород – гранитов, диоритов, базальтов и др., широко используемых в строительстве. Отдельные виды силикатов применяются в стекольном, керамическом и огнеупорном производствах (полевые шпаты, нефелин, каолинит, хризотил-асбест и др.), в сельском хозяйстве как удобрения (нефелин, глауконит), в электротехнике и радиотехнике (слюды) и др.

Каждый минерал имеет определенный химический состав. Все минералы, кроме самородных, состоят из нескольких химических элементов. При написании их кристаллохимических формул принято раздельное написание катионов и анионов: вначале записывают катионы, затем анионы – простые или комплексные. Использование цифровых обозначений у знака элемента, а также круглых и квадратных скобок отражает количественные соотношения между элементами и структурные особенности минералов.

Знание основных свойств и химического состава минералов необходимо для планирования и рационального ведения технологических процессов и получения изделий с высокими потребительскими свойствами.

Далее в серии лабораторных работ (№ 6–13) последовательно рассматриваются физические свойства минералов и способы их определения, методы изучения минералов под микроскопом и в иммерсионных жидкостях, морфологические особенности и свойства наиболее распространенных и часто используемых минералов всех классов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ И ДИАГНОСТИКА ИХ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ

Цель работы: изучить физические свойства минералов – твердость, цвет, цвет черты, блеск, прозрачность, а также ряд особых свойств – магнитность, растворимость, запах, вкус и др.

Материалы и оборудование: набор минералов; шкала твердости Мооса; спиртовка; магнит; фарфоровые пластинки; 10%-ная и концентрированная соляная кислота (HCl); концентрированные серная кислота (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и едкая щелочь (KOH); вода; предметное стекло; лупа; определитель минералов.

### 1. Общие сведения

Свойства минералов обусловлены их структурой и химическим составом. Многие из них являются диагностическими признаками минералов. Вместе с тем они могут изменяться в зависимости от формы нахождения минералов в природе. Например, гетит может встречаться в виде плотных мелкозернистых агрегатов, натечных форм и землистых агрегатов. В каждом из указанных случаев твердость этого минерала различна, хотя другое его свойство – цвет черты – остается всегда постоянным (черта бурая). Поэтому для первичной (визуальной или макроскопической) диагностики минералов необходимо изучение всех перечисленных свойств.

**Цвет** минерала определяется способностью поглощать ту или иную часть светового спектра. Окраска минерала является важнейшим диагностическим признаком, но в большинстве случаев к ней надо относиться с осторожностью и для окончательного определения минерала учитывать другие его свойства.



Различают *идиохроматическую* окраску (греч. «идиос» – свой, собственный), обусловленную собственными свойствами минерала; *аллохроматическую* (греч. «аллос» – посторонний), вызванную наличием посторонних механических примесей; *псевдохроматическую* окраску, которая связана с рассеянием света, отраженного от минерала, и интерференцией световых волн с поверхностных слоев минерала. Псевдохроматическая окраска обуславливает явление *побежалости*, или *иризации* – тонкой пленки, окрашенной в иной цвет, чем сам минерал. Появление такой пленки обусловлено процессами химического выветривания. Побежалость может быть как одноцветной (золотистая – у пирита, синяя – у ковеллина), так и радужной, пестрой (у борнита, халькопирита). В последнем случае поверхность минерала переливается синим, зеленым, красным и розовато-фиолетовым цветами. При наличии побежалости цвет минерала следует определять только в свежем изломе (у халькопирита цвет латунно-желтый, а побежалость – пестрая).

**Цвет черты** – цвет порошка минерала. Он обычно определяется следом, оставляемым минералом на неглазурованной фарфоровой пластинке («бисквите»), имеющей твердость 6–7 (по шкале Мооса).

По сравнению с окраской минерала цвет черты является более постоянным признаком, и поэтому имеет важное диагностическое значение, особенно для непрозрачных и полупрозрачных окрашенных минералов, мягких или средней твердости. Цвет черты может совпадать с цветом минерала (киноварь, магнетит, лазурит) или же отличаться от него (халькопирит, пирит). Твердые минералы, как правило, не дают черты, а могут царапать «бисквит», создавая вид черты. Можно считать, что минерал дает черту, если она стирается пальцем.

**Прозрачность** – свойство вещества пропускать свет. По степени прозрачности минералы, наблюдающиеся в крупных кристаллах, делятся на прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные.

*Прозрачные, просвечивающие* – предметы ясно видны сквозь минерал (горный хрусталь, исландский шпат, топаз, мусковит).

*Полупрозрачные* – предметы только неясно распознаются сквозь минерал (некоторые халцедоны и опалы, изумруд).

*Непрозрачные* – свет практически не проходит через минерал (магнетит, сульфиды).

**Блеск** – способность минералов отражать своими поверхностями свет. По блеску минералы делятся на три группы:

с *металлическим* блеском (пирит, магнетит), поверхность которых напоминает блеск поверхности металла;

с полуметаллическим (металлоидным) блеском (ильменит, графит), характерным для потускневшего металла;

с неметаллическим блеском, включающим несколько разновидностей:

- алмазный, редко встречающийся (алмаз, касситерит);
- стеклянный, как на поверхности излома разбитого стекла (кварц, лед, каменная соль, флюорит);
- жирный похож на смоляной, но применяется обычно для характеристики светлоокрашенных мягких минералов; поверхность их как бы смазана жиром (тальк, сера, галит);
- перламутровый, аналогичный блеску перламутра (отливает радужным светом); он обычно проявляется на поверхностях спайности минералов (кальцит, гипс, мусковит);
- шелковистый, характерный для волокнистых минералов (хризотил-асбест);
- восковой встречается у некоторых тонкозернистых и спутанно-волокнистых агрегатов светлоокрашенных минералов (халцедон, нефрит);
- матовый – блеска нет, характерен для землистых минералов (каолинит, монтмориллонит, пиролюзит).

**Твердость минерала** – способность его противостоять механическому воздействию (истиранию, царапанию другими минералами, острыми предметами и пр.). Твердость представляет собой меру связанности атомной структуры вещества. Относительная твердость определяется с помощью *шкалы твердости Мооса*, состоящей из десяти минералов-эталонов, твердость которых обозначается условно целыми числами и которые расположены в таком порядке, что каждый последующий минерал процарапывает все предыдущие (табл. 7).

Таблица 7

#### Шкала Мооса

Минерал	Химическая формула	Твердость (относительная)	Микротвердость, МПа
Тальк	$Mg(OH)_2[Si_4O_{10}]$	1	24
Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	360
Кальцит	$CaCO_3$	3	1050
Флюорит	$CaF_2$	4	1640
Апатит	$Ca_5[PO_4]_3(F, Cl)$	5	5360
Ортоклаз	$K[AlSi_3O_8]$	6	7140
Кварц	$SiO_2$	7	10000
Топаз	$Al_2(F, OH)_2[SiO_4]$	8	14270
Корунд	$Al_2O_3$	9	20500
Алмаз	C	10	28500

При отсутствии минералов, перечисленных в шкале Мооса, для определения твердости можно пользоваться некоторыми доступными предметами, твердость которых известна в цифрах шкалы твердости. Например, если минерал пишет на бумаге, не царапая ее, то его твердость равна 1; если минерал чертится ногтем – 2–2,5; медной монетой или медной иглой – 3–3,5; оконным стеклом – 5–5,5; стальным напильником – 6,5–7.

По твердости минералы делятся на четыре группы: *мягкие* – твердость не более 2,5 (тальк, графит, гипс); *средней твердости* – твердость составляет 3,0–4,5 (ангидрит, кальцит, халькопирит); *твердые* – твердость 5,0–6,5 (полевые шпаты, нефелин); *очень твердые* – твердость более 7,0 (топаз, корунд). Основная масса природных минералов имеет твердость 2–6. Наиболее твердыми минералами являются оксиды и силикаты. Некоторые минералы обладают различной твердостью в двух направлениях. Например, у кианита твердость вдоль кристалла равна 4,5, а поперек – 7.

Для определения твердости по гладкой поверхности минерала проводят, слегка надавливая, острым углом минерала из шкалы Мооса и наблюдают полученную черту. Если она видна и сохраняется после стирания пальцем, то минерал-эталон тверже испытуемого, если нет – мягче. Например, испытуемый минерал царапается кристаллом апатита, а сам царапает флюорит, следовательно, твердость испытуемого материала ниже, чем у апатита и выше, чем у флюорита, т. е. примерно равна 4,5. Равные по твердости минералы должны относиться друг к другу инертно.

Если определяют твердость минерала в порошке, то натирают минерал-эталон или заменяющие его материалы порошком определяемого минерала. Если на поверхности эталона видны царапины, и она становится матовой, значит твердость испытуемого минерала больше; если поверхность эталона остается блестящей, то твердость испытуемого минерала ниже твердости эталона.

**Спайность** – способность минералов раскалываться или расщепляться по определенным плоскостям с образованием ровных, гладких, блестящих поверхностей. Спайностью обладают только кристаллические вещества. Она объясняется разницей в силе связей между атомами, которые в одних направлениях оказываются очень сильными, в других – слабыми. Последние и определяют положение плоскостей спайности в кристалле. По степени совершенства спайность бывает весьма совершенной, совершенной, средней, несовершенной и весьма несовершенной.

*Весьма совершенная* – кристалл легко расщепляется на тонкие листочки, пластинки или чешуйки. Плоскости раскола – зеркально-гладкие (слюды, тальк, хлорит).

*Совершенная* – при ударе получают обломки, по форме напоминающие кристаллы; поверхности спайности менее гладкие. Другие поверхности излома получить очень трудно (галит, галенит, кальцит).

*Средняя* – при ударе получают обломки кристалла, ограниченные как плоскостями спайности, так и неровными поверхностями излома по случайным направлениям (полевые шпаты, амфиболы).

*Несовершенная* – спайность выражена слабо. При ударе получают обломки, ограниченные главным образом неправильными поверхностями излома; плоскости спайности обнаруживаются при помощи лупы (апатит, оливин, сера).

*Весьма несовершенная* – спайность отсутствует. При ударе кристалл раскалывается по случайным направлениям и дает неправильные поверхности излома (кварц, магнетит, титанит, хромит, корунд).

Спайность у разных минералов может наблюдаться по одной, двум, трем, четырем или шести плоскостям, причем по разным плоскостям спайность может проявляться с разной степенью совершенства.

**Излом** – поверхность раскола, прошедшая в минерале не по спайности. Излом особенно характерен для минералов, не обладающих спайностью или с несовершенной спайностью; он может быть ровный, неровный, раковистый, занозистый, крючковатый, землистый, ступенчатый.

*Ровный* – поверхность раскола ровная, более или менее плоская, но не зеркально-гладкая, как в случае совершенной спайности (халькопирит).

*Неровный* – поверхность раскола неровная, характерная для минералов с несовершенной спайностью (апатит, нефелин).

*Раковистый* – волнистая поверхность раскола, напоминающая внутреннюю поверхность раковины. Особенно отчетливо наблюдается у минералов без спайности или со скрытокристаллическим строением (кварц).

*Занозистый* – наблюдается обычно на поперечных разломах минералов волокнистого или игольчатого строения; напоминает излом древесины поперек волокна (селенит, актинолит, тремолит).

*Крючковатый* – на поверхности минералов наблюдаются как бы острые крючочки. Характерен для самородных минералов, обладающих ковкостью (золото, медь, серебро).

*Землистый* – поверхность раскола матовая (монтмориллонит, каолинит).

*Ступенчатый* – получается, если раскол происходит частично по спайности, частично под некоторым углом к ней (полевые шпаты).

**Плотность** – это характеристика, находящаяся для каждой разновидности минералов в узком постоянном интервале, и поэтому

очень важна для их диагностики. Плотность определяется величиной массы вещества, приходящейся на единицу объема, и измеряется в  $\text{г/см}^3$  или  $\text{кг/м}^3$ . По плотности минералы делятся на 3 группы: *легкие* – плотность  $0,80\text{--}2,50 \text{ г/см}^3$  (гипс, графит, сера, галит); *средние* – плотность  $2,50\text{--}4,00 \text{ г/см}^3$  (кварц, полевые шпаты); *тяжелые* – плотность более  $4,00 \text{ г/см}^3$  (барит, галенит).

**Хрупкость** – свойство минерала легко распадаться при ударе на мелкие обломки, крошиться. Около места удара образуется густая сеть трещин (гипс).

**Вязкость** и **ковкость** – свойства, противоположные хрупкости. Минерал называется вязким, если он трудно раскалывается. Около места удара трещины не возникают или их образуется мало, а минерал превращается в пыль (нефрит, халцедон). Ковкие минералы при ударе сплющиваются и закругляются по углам (серебро, медь, золото).

**Шероховатость** – свойство поверхности граней кристаллов, которые могут быть покрыты бороздами или штрихами, ориентированными либо в одном направлении (параллельная штриховатость), либо в нескольких, пересекаясь под определенными углами. Например, кварц на гранях призмы имеет поперечную штриховку, турмалин и берилл – вертикальную; в пирите штриховатость наблюдается параллельно граням куба. Очень характерна штриховатость для плагиоклазов, что позволяет отличить их от близких к ним по другим физическим свойствам калиевых полевых шпатов.

**Жирность** – ощущения, воспринимаемые на ощупь при растирании минералов. Различают жирные (тальк, каолинит) и тощие – сухие, шероховатые (алунит) минералы.

**Гибкость** и **упругость** свойственна многим листовым минералам. Минерал называется гибким, если его тонкие пластинки или волокна можно изгибать, не ломая. Гибкие минералы делятся на упругие (мусковит, биотит) и неупругие (тальк, хлорит).

**Магнитность** – способность минералов притягиваться магнитом, а в больших объемах – действовать на магнитную стрелку (магнетит, пирротин).

**Люминесценция** – способность минералов светиться без теплового излучения под влиянием извне приложенной энергии, например, под влиянием ультрафиолетовых и катодных лучей (шеелит).

**Горючесть** – свойство некоторых минералов (самородная сера) при нагревании легко загораться, издавая характерные запахи.

**Гигроскопичность** – способность минералов увлажняться, поглощая воду (каолинит, карналлит, вермикулит).

**Растворимость** – способность некоторых минералов легко растворяться в воде (галит, мирабилит).

**Вкус** имеют только растворимые в воде минералы: каменная соль (галит) соленая, квасцы кислые, карналлит горько-соленый, сильвин горьковато-соленый, эпсомит горький.

**Запах** характерен для некоторых минералов: пирит и марказит имеют запах сернистого газа, мышьяковистые минералы – чесночный запах.

Диагностическим признаком для многих минералов также является их взаимодействие с кислотами и щелочами (кальцит реагирует с холодной 10%-ной HCl, а магнезит – только при нагревании).

Происхождение минералов или горных пород в результате эндогенных процессов – магматическое, пневматолитовое и гидротермальное; экзогенных процессов – выветривание, разложение, растворение, окисление, гидратация и др.; метаморфических – преобразование ранее образованных эндогенным и экзогенным путем минералов и горных пород под действием высокой температуры, давления и др.

## 2. Порядок выполнения работы

Визуальная диагностика минералов осуществляется на основе определения их физических свойств. Прежде всего определяются такие свойства, как цвет, цвет черты, прозрачность, блеск, твердость, спайность, характер излома, затем последовательно остальные свойства, рассмотренные выше. На основании комплекса диагностических признаков с использованием таблицы для определения минералов (табл. 1 в приложении) дается название исследуемому минералу.

*Пример.* В результате изучения физических свойств минерала установлено: твердость – 1 (минерал царапается тальком и сам оставляет на нем царапину); пишет на бумаге, не царапая ее; блеск – полуметаллический, цвет – черный, черта – черная; спайность совершенная, жирен на ощупь. Этих свойств достаточно для диагностики графита. От сходного с ним молибденита исследуемый минерал отличается блеском, цветом черты, а также особыми свойствами: графит – хрупкий, молибденит – ковкий.

Результаты определения оформить в виде табл. 8.

Таблица 8

**Физические свойства минерала и его диагностика**

Цвет	Цвет черты	Прозрачность	Блеск	Твердость	Спайность	Излом
Облик агрегата	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Особые свойства	Наименование минерала			

## Контрольные вопросы

1. Чем обусловлена окраска минералов?
2. Как определить цвет черты минерала в куске и в порошке?
3. Какой блеск имеет кварц, гематит, каолинит, мусковит, кальцит, алмаз, хризотил-асбест, пирролюзит, галит?
4. Назовите виды неметаллического блеска минералов, приведите примеры.
5. Назовите минералы, входящие в шкалу Мооса.
6. Как произвести определение твердости минералов, используя шкалу Мооса и подручные инструменты?
7. Назовите типы минералов по плотности и твердости.
8. Назовите типы спайности, приведите примеры.
9. Чем отличается спайность минералов от излома?
10. Назовите виды излома минералов. Какой излом имеют металлы, волокнистые минералы?
11. Назовите особые свойства минералов, приведите примеры минералов с данными свойствами.
12. Для каких классов минералов характерно взаимодействие с HCl, какие минералы хорошо растворяются в воде?

### 2.2. Микроскопические методы исследования минералов и определение их оптических свойств (лабораторные работы № 7–9)

Цель работ: изучение устройства поляризационного микроскопа, овладение навыками работы с микроскопом, изучение и определение оптических свойств минералов под микроскопом и иммерсионным методом.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп; прозрачные шлифы; мономинеральные фракции; иммерсионные препараты; агатовая ступка; спиртовка; минералогическая игла.

#### 1. Общие сведения

Одним из методов диагностики природных и искусственных минералов является изучение их оптических свойств. Оптические свойства могут изучаться при помощи поляризационного микроскопа, который широко используется благодаря сравнительной

простоте работы с ним и высокой точности получаемых результатов. Увеличительная система микроскопа позволяет наблюдать объекты размером 0,01–0,02 мм (10–20 мкм), что весьма существенно, поскольку многие горные породы и искусственно полученные неорганические материалы часто обладают мелко- и тонкозернистой структурой.

## 2. Устройство поляризационного микроскопа

Основными частями поляризационного микроскопа являются штатив (станина), тубус, столик, увеличительная система (окуляр и объектив), поляризационная система (анализатор и поляризатор), конденсатор, линза Лазо, ирисовая диафрагма, линза Бертрана, осветительная система (рис. 18).

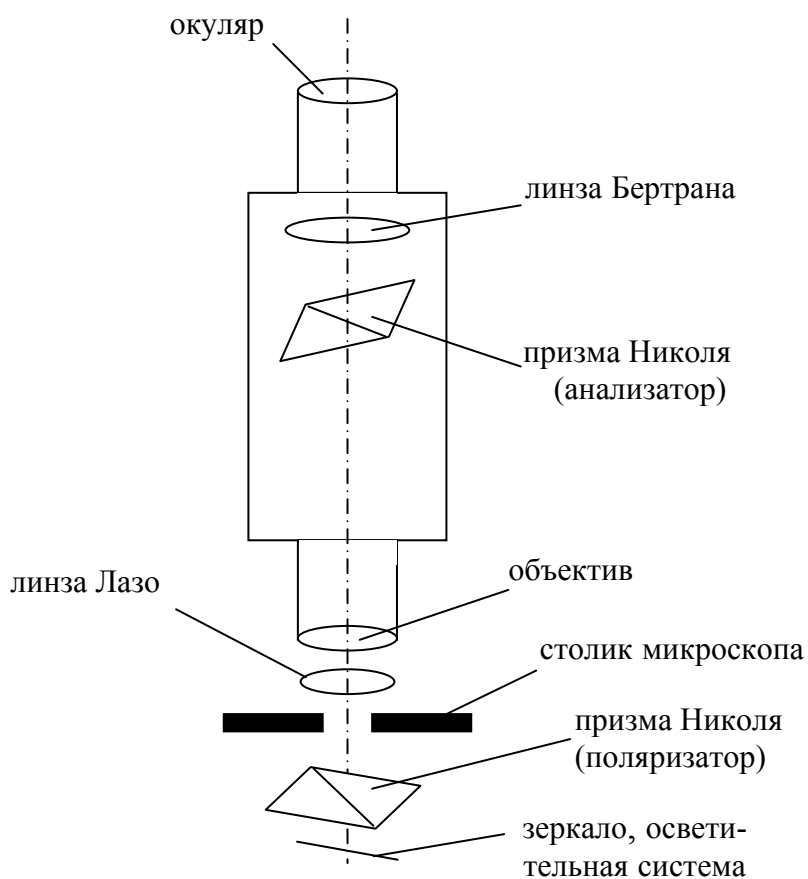


Рис. 18. Схема устройства поляризационного микроскопа

**Штатив** является наиболее массивной частью микроскопа, которая придает ему устойчивость.



*Тубус* представляет собой полую металлическую цилиндрическую трубу, в которую монтируются увеличительная система микроскопа, анализатор и линза Бертрана. Та часть штатива, в которой закрепляется тубус, – тубусодержатель – снабжена нарезкой, что позволяет при помощи макрометрического и микрометрического винтов поднимать и опускать тубус.

*Столик микроскопа* располагается под тубусом и может вращаться. На нем имеется лимб с делениями ( $360^\circ$ ). Отсчеты углов поворота столика производятся по нониусам, располагающимся слева и справа от штатива. На столик над отверстием в его центре помещается исследуемый препарат.

*Увеличительная система* микроскопа состоит из двух систем увеличительных линз – объективов и окуляров, комплекты которых прилагаются к микроскопу.

Общее увеличение микроскопа  $V = V_1 V_2$ , где  $V_1$  – увеличение объектива,  $V_2$  – увеличение окуляра. Максимальное увеличение новейших поляризационных микроскопов составляет 1000–1020. Обычно исследования проводятся при меньших увеличениях (72–480), достаточных для определения оптических свойств объектов величиной 0,01–0,02 мм.

*Окуляр* представляет собой систему двух линз, вставленных в цилиндрическую оправу. На расстоянии ясного видения от верхней линзы окуляра находятся две тонкие паутиновые нити, перекрещивающиеся под прямым углом в центре линзы. Это так называемый крест нитей. Нити в окуляре указывают направление колебаний лучей, пропускаемых поляризационной системой микроскопа – поляризатором и анализатором. Они служат для привязки и ориентировки изучаемых объектов в поле зрения микроскопа. Вставлять окуляр в тубус необходимо так, чтобы одна нить креста была направлена сверху вниз, а другая – слева направо.

В комплект микроскопа входит также измерительный окуляр, в поле зрения которого может быть установлена шкала или сетка. Длина шкалы составляет 10 мм, цена деления – 0,1 мм. Он используется для замера линейных размеров объектов. Сетчатый окуляр-микрометр применяется для измерения площадей объектов. Размер нанесенной на стекло квадратной сетки  $15 \times 15$  мм, цена деления 1 мм.

*Объектив* – увеличительное стекло, представляющее собой сложную оптическую систему, составленную из нескольких линз. Друг от друга объективы отличаются фокусным расстоянием, а следовательно, и увеличением. Кратность увеличения объектива указывается на его оправе. Объективы закрепляются на нижнем конце

тубуса при помощи пружинных щипцов (в старых моделях микроскопов) либо револьверного устройства.

**Поляризационная система** включает анализатор и поляризатор, состоящих из призм Николя. *Анализатор (верхний николю)* расположен в средней части тубуса микроскопа и может выдвигаться из него, т. е. выводиться из оптической системы микроскопа. *Поляризатор (нижний николю)* помещается под столиком микроскопа. Он установлен в оправе, в которой может свободно вращаться. Оправа снабжена градусными делениями для определения углов поворота поляризатора.

Анализатор и поляризатор отличаются друг от друга тем, что плоскости прохождения в них пучка поляризованных лучей расположены взаимно перпендикулярно. Поэтому при включении в систему микроскопа обоих николей (николи скрещены) пучок лучей, прошедший через нижний николю, будет поглощаться верхним николюм, и поле зрения микроскопа будет темным.

Призмы Николя изготавливаются из спайного куска кристалла исландского шпата (прозрачная разновидность кальцита), выбитого так, чтобы длина его была в 3,5 раза больше поперечника. Верхняя и нижняя грани слегка пришлифовываются так, чтобы углы между ними и длинным ребром составляли  $68^\circ$  (у естественного кристалла  $71^\circ$ ). Затем кристалл распиливают пополам вдоль короткой диагонали и снова склеивают канадским бальзамом (смола некоторых видов пихты, лишенная эфирных масел), показатель преломления которого  $N = 1,530-1,540$ .

Световая волна, поступающая снизу в поляризатор, распадается в нем вследствие двойного лучепреломления на две строго поляризованные волны – *обыкновенную и необыкновенную* (рис. 19), имеющие различные показатели преломления. Исландский шпат кристаллизуется в тригональной сингонии. Показатель преломления для обыкновенной длины волны в нем  $N_o = 1,658$ . В данном случае световая волна подходит к оптической оси косо и ее показатель преломления  $N'_e = 1,516$ . Колебания необыкновенной волны совершаются в плоскости главного сечения николя, а обыкновенной – в плоскости, перпендикулярной главному сечению призмы.

Необыкновенная волна, показатель преломления которой близок к показателю канадского бальзама, беспрепятственно проходит через него. Показатель же преломления обыкновенной волны значительно больше, чем показатель преломления канадского бальзама, поэтому эта волна претерпевает полное внутреннее отражение на

границе канадского бальзама и исландского шпата и отбрасывается к зачерненной оправе поляризатора, где и поглощается. Таким образом, после выхода из призмы Николя получается *поляризованная волна*, колебания которой совершаются в плоскости главного сечения призмы (в направлении короткой диагонали ромбического сечения призмы).

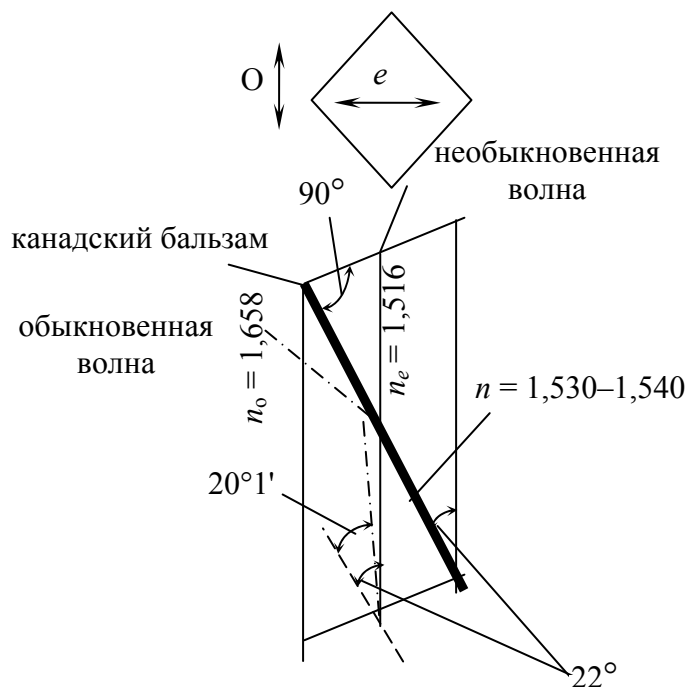


Рис. 19. Устройство призмы Николя

**Конденсатор** находится между столиком микроскопа и поляризатором. Он служит для конденсирования света на исследуемый объект. Обычно он состоит из двух или трех линз. Нижняя линза конденсатора постоянная. Она превращает направленный снизу свет в сходящийся, что усиливает освещенность объекта. На оправе конденсатора имеется риска, относительно которой учитываются углы поворота поляризатора. При «скрещенном» положении поляризатора и анализатора с рисккой должно быть совмещено нулевое деление оправы поляризатора. Верхняя линза конденсатора – *линза Лазо* – служит для получения сходящегося света и применяется обычно при больших увеличениях. При помощи специального рычага она легко откидывается в сторону, т. е. выводится из оптической системы микроскопа.

Конденсатор и поляризатор могут совместно перемещаться вверх и вниз вдоль оси микроскопа, а также отводиться в сторону при помощи специального винта.

Над конденсатором расположена *ирисовая диафрагма*, снабженная рукояткой, позволяющая раздвигать и сдвигать диафрагму. Сужая диафрагму, можно сделать пучок лучей более параллельным.

*Линза Бертрана* расположена под окуляром в тубусе микроскопа и служит слабым объективом с большим полем зрения. Она заключена в специальную оправу и может вдвигаться в тубус в специальное отверстие. Оправа линзы Бертрана снабжена ирис-диафрагмой, позволяющей сужать и расширять поле зрения. Линза Бертрана применяется при исследованиях минералов в сходящемся (коноскопическом) свете.

Над объективом в нижнем конце тубуса имеется *щель* – ориентированный под углом  $45^\circ$  к кресту нитей окуляра сквозной прорез, в который вставляются компенсаторы.

### **3. Микроскопические препараты**

Для изучения веществ с помощью поляризационного микроскопа могут быть использованы различные препараты, среди которых основными являются прозрачные шлифы и иммерсионные препараты.

*Шлифы* представляют собой тонкие пластинки горной породы или минерала толщиной 0,02–0,03 мм, наклеенные с помощью канадского (или другого) бальзама на предметное стекло (размер около 25×50 мм при толщине около 1 мм) и покрытые сверху также с помощью бальзама покровным стеклом (размер от 15×15 до 20×20 мм при толщине 0,02–0,03 мм). Площадь таких препаратов 3–4 см<sup>2</sup>. Исследование минералов в шлифах включает два этапа: 1) изучение в проходящем (параллельном) свете при одном николе; 2) изучение в сходящемся свете при скрещенных николях. *Иммерсионные препараты* готовятся из выделенных из пород фракций минералов путем помещения их в жидкость с известным показателем преломления.

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7**

### **МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФАХ В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ ПРИ ОДНОМ НИКОЛЕ**

#### **1. Общие сведения**

При одном николе в параллельном свете в шлифах определяют следующие оптические характеристики кристаллов и зерен минералов:

- 1) форма и конфигурация сечений в плоскости шлифа;
- 2) величина угла между линиями ограничения кристаллов;

- 3) размер;
- 4) цвет;
- 5) плеохроизм;
- 6) спайность;
- 7) показатель преломления (ориентировочно);
- 8) количественное содержание минералов, отличающихся названными выше свойствами.

**Форма и конфигурация сечений** кристаллов и зерен минералов в плоскости шлифа определяется как их кристаллографическим габитусом, так и направлением плоскости его сечения, наблюдаемой в шлифе. Если зерна минерала имеют свойственные ему кристаллографические очертания, их называют *идиоморфными*. Если же зерна лишены свойственных им граней, их называют *ксеноморфными*; форма их зависит от ограничений ранее выделившихся минералов.

Наиболее распространенными являются следующие формы зерен минералов (рис. 20):

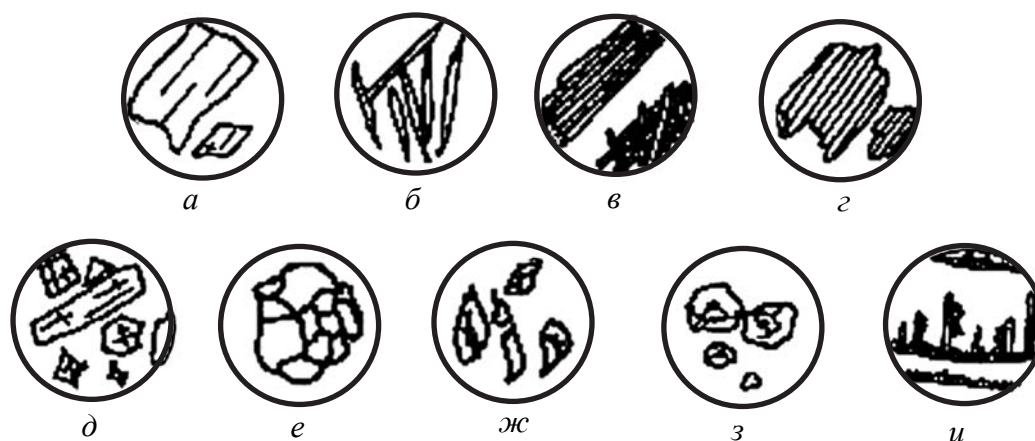


Рис. 20. Типичные формы зерен минералов в шлифах:

- а* – призматические; *б* – игольчатые; *в* – волокнистые;  
*г* – чешуйчатые; *д* – правильной формы; *е, ж* – неизометрические;  
*з* – изометрические; *и* – скелетные или дендритные

*Призматические* – разрезы вытянуты в одном направлении и имеют прямоугольные ограничения.

*Игольчатые* – в продольных разрезах размеры по оси значительно превосходят поперечные сечения.

*Волокнистые* – исключительно тонкие, сильно вытянутые. Если они располагаются параллельно друг другу, образуются параллельно-волокнистые агрегаты, если же они переплетаются – спутанно-волокнистые.

*Чешуйчатые* – зерна образуют веерообразные агрегаты, в совокупности напоминая строение рыбьей чешуи.

*Правильной геометрической формы* кристаллики соответствуют тем геометрическим формам, которые образуются при свободной кристаллизации; в сечении они квадратные, трех-, четырех-, шести-, восьмиугольные, прямоугольные и др.

*Неправильной формы* зерна характеризуются отсутствием четких геометрических элементов ограничения. Среди правильных и неправильных форм различают изометрические, равномерно развитые во всех направлениях, и неизометрические, развитые в одном направлении.

*Скелетные или дендритные формы* – древовидные сростки.

*Величина угла между линиями ограничения кристаллов* являются важной их характеристикой. Для замера вершину измеряемого угла совмещают с крестом нити, а затем поворотом столика микроскопа совмещают (или устанавливают параллельно) с одной из нитей окуляра сперва одно, а затем другое ребро кристалла. В обоих случаях берут отсчет по лимбу столика. Разность получаемых отсчетов и будет искомым углом. Микроскоп должен быть центрирован.

*Цвет* минерала. Минералы в шлифах могут быть *бесцветными* или *окрашенными*. Окраска прозрачных тел в проходящем свете обуславливается неодинаковым поглощением веществом световых колебаний разной длины волны, входящих в состав используемого источника света. В кристаллах кубической сингонии и в аморфных телах поглощение световых колебаний не зависит от направления, и они в любых положениях представляются одинаково окрашенными. В кристаллах всех других сингоний поглощение света имеет неодинаковый в разных направлениях (анизотропный) характер, и окраска кристалла изменяется в зависимости от направления проходящих через него световых колебаний.

*Плеохроизм* – это способность некоторых анизотропных минералов неодинаково поглощать лучи света в различных направлениях и в силу этого выявлять различную окраску. Плеохроизм обнаруживается при вращении столика микроскопа с находящимся на нем шлифом. Если при этом окрашенный минерал будет менять свой цвет или густоту окраски, то говорят, что он обладает плеохроизмом (плеохроирует).

*Спайность* – способность минералов раскалываться по определенным плоскостям. Спайность в шлифах выявляется в виде системы прерывистых трещин, по характеру которых судят о степени совершенства спайности (рис. 21).

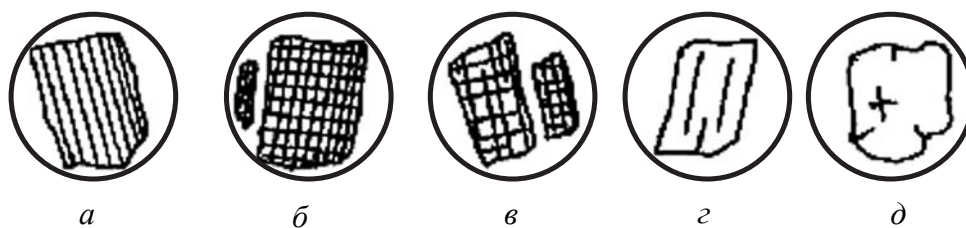


Рис. 21. Разновидности спайности, видимой под микроскопом:  
*а* – весьма совершенная спайность в одном направлении;  
*б* – весьма совершенная спайность в двух направлениях;  
*в* – совершенная спайность в двух направлениях;  
*г* – несовершенная; *д* – спайность отсутствует

*Весьма совершенная* спайность характеризуется наличием многочисленных, строго параллельных между собой трещин (слюды, карбонаты).

*Совершенная* спайность характеризуется прямолинейными прерывистыми трещинами (полевые шпаты, амфиболы и др.).

*Несовершенная* спайность – короткие и не строго параллельные между собой трещины (апатит).

*Спайность отсутствует* – трещин нет или они расположены беспорядочно (кварц).

Кроме степени совершенства, при характеристике спайности учитывается также число плоскостей, по которым наблюдается спайность (у гексаэдра – три, у призмы – две и т. д.). При этом степень совершенства спайности, ориентированной по разным плоскостям в разных минералах, может быть различной, равно как и углы между различными системами трещин спайности, которые должны быть замерены.

**Показатель светопреломления** является одним из важнейших диагностических признаков минералов. Приблизительно о нем можно судить по внешнему виду минерала в шлифе. В том случае, когда показатель преломления минерала резко отличается от показателя преломления окружающей среды, минерал выглядит рельефным, его контуры, форма отчетливо видны. При равенстве или близости показателей преломления минерала и окружающей среды контуры минерала не видны или видны очень слабо, минерал кажется плоским, безрельефным. При этом минералы с большим показателем преломления на границе с менее преломляющим веществом кажутся как бы более толстыми, рельефно выступающими на фоне более гладкой поверхности. Минералы с низким показателем преломления в окружении более преломляющих, напротив, кажутся лежащими ниже, как бы вогнутыми,

более тонкими. В действительности в шлифе все минералы имеют одинаковую толщину, но различие в показателях преломления вызывают явления, получившие название «рельеф» и «шагрень».

**Рельеф** минерала зависит от показателя его преломления и определяется при сравнении с рельефом окружающей среды. По отношению к канадскому бальзаму, присутствующему во всех шлифах и имеющему показатель преломления 1,540, различаются три типа минералов: с *отрицательным рельефом* ( $N < 1,540$ ) – кажутся лежащими ниже уровня канадского бальзама, *не имеющие рельефа* ( $N \sim 1,540$ ) – кажутся лежащими на одном уровне с канадским бальзамом (бесцветные минералы почти не отличаются от него) и с *положительным рельефом* ( $N > 1,540$ ) – кажутся расположенными выше уровня канадского бальзама.

**Шагрень (шагреновая поверхность)** – свойство минерала, близкое к рельефу, которое также определяется разницей между величиной показателей преломления минерала и канадского бальзама, и кроме того характером поверхности минерала, образующейся при изготовлении шлифа. Обычно такая поверхность получается неровной, и в случае, когда показатель преломления минерала значительно отличается от показателя преломления канадского бальзама, поверхность минерала выглядит шероховатой, как поверхность шагреновой кожи или ватмана. Тогда говорят, что минерал имеет резкую *шагреновую поверхность* или просто резкую *шагрень*. Шагрень будет тем резче выражена, чем больше отличаются друг от друга показатели преломления минерала и канадского бальзама. При равенстве или близости их показателей преломления проходящие через шлиф лучи не будут испытывать преломления или внутреннего отражения, и поверхность минерала будет казаться ровной, а если при этом минерал бесцветный, то он вообще не будет отличим от канадского бальзама. Тогда говорят о *слабой шагрени* или ее отсутствии.

Для сравнительного определения показателей преломления минералов в шлифе пользуются **методом Бекке**. Этот метод основан на том, что на стороне с более высоким показателем преломления скапливается больше лучей, и на самой границе двух контактирующих веществ с разными показателями преломления появляется узкая светлая полоска – *полоска Бекке*. Если слегка опустить тубус микроскопа, то полоска смещается в сторону минерала с меньшим показателем преломления, при поднятии тубуса – в сторону вещества с большим показателем преломления. Следовательно, следя за перемещениями полоски Бекке, можно сравнить пока-



затели преломления двух контактирующих минералов или минерала и канадского бальзама. Этот эффект виден четче при прикрытой диафрагме.

При работе с микроскопом следует соблюдать следующие правила: 1) вынутые объективы и окуляры не развинчивать и не класть набок, а ставить вертикально; 2) для чистки наружных поверхностей стекол окуляров и объективов использовать только мягкую замшу или чистую вату.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Установить микроскоп в рабочее положение, выключить анализатор, линзы Лазо и Бертрана, наладить освещение.

2. Закрепить шлиф на столике микроскопа, положив его покровным стеклом вверх.

3. Вставить объектив и произвести его фокусировку. При фокусировке объективов со слабым увеличением ( $3\times$ ,  $8\times$ ,  $9\times$ ) тубус необходимо опустить винтом макроподачи до появления изображения, а затем уточнить фокусировку микрометрическим винтом. Фокусировку объективов с сильным увеличением ( $20\times$ ,  $40\times$ ,  $60\times$ ) во избежание раздавливания препарата объективом осуществляют следующим образом: осторожно, наблюдая сбоку, микрометрическим винтом опустить тубус до соприкосновения объектива с покровным стеклом препарата, а затем, поднимая тубус с помощью того же винта, добиться качественного изображения.

4. Проверить центрировку объектива. Для этого передвижением шлифа по предметному столику установить на центр креста нитей какую-либо маленькую четко заметную точку и вращать столик. Если объектив центрирован, то выбранная точка не сойдет с перекрестия нитей. При отсутствии центрировки точка сойдет с перекрестия. Центрировку объектива осуществляют следующим образом:

а) после выбора точки в шлифе и установки ее на перекрестке нитей поворачивают предметный столик на  $180^\circ$ ;

б) перемещением шлифа по предметному стеклу подвигают выбранную точку к кресту нитей на половину того расстояния, на которое она отошла при вращении;

в) надевают на центрировочные винты объектива специальные ключи, и, вывинчивая их или ввинчивая, изменяют положение объектива так, чтобы выбранная точка попала на перекрытие нитей;

г) проверяют проведенную центрировку вращением столика микроскопа. Если же объектив оказывается не центрированным, то указанные операции повторяются снова.

5. Проверить, отключен ли анализатор.

6. После этой подготовительной работы можно приступить к определению охарактеризованных выше свойств минералов. Напомним, что в проходящем свете при одном никеле определяются:

а) форма кристаллов или конфигурация сечения зерен;

б) размер зерен; для этого измеряемое зерно устанавливается в поле зрения так, чтобы первое деление шкалы окуляра-микрометра совпало с его краем. Отсчитывается, сколько делений шкалы укладывается в его поперечнике и вычисляется размер зерна перемножением полученного числа делений на цену деления окуляра-микрометра при данном объективе;

в) цвет минерала;

г) плеохроизм минерала; определяется при вращении столика микроскопа;

д) спайность; для характеристики спайности выбирают зерно минерала, в котором трещины представлены одинаково тонкими линиями, не смещающимися при изменении фокусировки микроскопа;

е) угол между системами спайности; при наличии двух систем спайности определяют величину угла между ними, для чего одну из систем трещин спайности располагают вдоль вертикальной или горизонтальной нити окуляра и берут отсчет по лимбу столика микроскопа. Затем поворотом столика микроскопа совмещают вторую систему трещин спайности с этой же нитью окуляра и снова берут отсчет. По разности взятых отсчетов определяют угол спайности;

ж) показатель преломления минерала определяется по характеру рельефа, шагреновой поверхности минерала и полоске Бекке в сравнении с канадским бальзамом или минералом с известным показателем преломления.

Следует заметить, что при изучении спайности и показателей преломления бесцветных минералов рекомендуется прикрывать диафрагму; при этом названные свойства минералов проявляются более отчетливо;

з) количественное содержание минерала в препарате примерно оценивается путем определения процента площади, занимаемой изучаемым минералом в видимом поле зрения микроскопа, приняв его за 100%. Определение повторяют на нескольких участках шлифа (не менее 5), затем вычисляется среднее значение.

Результаты определений записать в табл. 9.

**Определение оптических характеристик кристаллов и зерен минералов**

№ п/п	Оптические характеристики кристаллов и зерен минералов	Исследуемые минералы			
		1	2	3	4
1	Форма преобладающих кристаллов или зерен				
2	Цвет				
3	Размер, мм				
4	Плеохроизм и характер измерения окраски				
5	Характер спайности				
6	Угол между системами спайности				
7	Характер рельефа или шагрени				
8	Показатель преломления минерала				
9	Количественное содержание				
<b>Предварительное определение минерала (название)</b>					

**Контрольные вопросы**

1. Назовите кристаллооптические методы исследования минералов.
2. Изобразите устройство и ход лучей в призме Николя.
3. Какое положение оптической системы микроскопа называют «скрещенными николями»?
4. Как определить кратность увеличения микроскопа?
5. Как определить размер зерен минералов?
6. Что такое рельеф и шагрень и каких типов они бывают?
7. Как наблюдается плеохроизм?
8. Как наблюдать спайность под микроскопом? Назовите ее виды.
9. Каким способом можно ориентировочно определить показатель преломления минерала?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**  
**МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ**  
**В ШЛИФАХ ПРИ СКРЕЩЕННЫХ НИКОЛЯХ**

**1. Общие сведения**

При микроскопическом исследовании минералы диагностируются в скрещенных николях (анализатор включен) в параллельном и сходящемся свете.

**В параллельном свете (объективы 3,5<sup>×</sup>, 8<sup>×</sup>, 20<sup>×</sup>) определяются:**

1. Оптический характер минерала (изотропный или анизотропный).
2. Интерференционная окраска и сила двойного лучепреломления.

3. Характер погасания и угол угасания.
4. Знак удлинения (знак главной зоны).
5. Схема абсорбции.
6. Двойникование, зональность.

**Изотропные (однопреломляющие) минералы от анизотропных (двупреломляющих)** можно отличить при скрещенных николях путем вращения столика микроскопа. *Изотропные минералы* (а это минералы кубической сингонии), а также аморфные вещества имеют одинаковые оптические свойства во всех направлениях, поэтому поступающая из нижнего николя плоско поляризованная волна света будет проходить через любой их разрез, не меняя своего направления, а затем поглощаться верхним николем, и минерал (или аморфное вещество) при вращении столика микроскопа все время будет оставаться затемненным.

В разрезах *анизотропных минералов*, относящихся ко всем другим сингониям, при повороте их на столике микроскопа на  $360^\circ$  будет наблюдаться четырехкратное погасание в момент, когда направления, по которым в нем совершаются световые колебания, установлены параллельно главным сечениям николей (параллельно кресту нитей в окуляре). Если направления колебания в кристалле не совпадают с направлениями колебаний в николях, кристалл будет освещенным. Сечения анизотропных минералов, перпендикулярные оптической оси, всегда остаются затемненными, поэтому для определения оптического характера минерала следует просматривать несколько его зерен.

Таким образом, если все зерна данного минерала в шлифе в скрещенных николях темные – минерал изотропный, если же наравне с темными сечениями наблюдаются светлые – минерал анизотропный.

**Интерференционная окраска и сила двойного лучепреломления минералов.** В анизотропных минералах две волны света (обыкновенный и необыкновенный лучи), выходящие из нижнего николя, проходят с различными скоростями, в результате чего между ними возникает некоторая разность хода  $\Delta$ , которая прямо пропорциональна толщине кристаллической пластинки ( $d$ ) и разнице показателей преломления ( $n_g - n_p$ ) этих волн, колебания которых совершаются в данной сечении минерала, т. е.  $\Delta = d(n_g - n_p)$ . Разность хода выражается в нм.

Каждой разности хода в кристалле соответствует некоторая определенная *интерференционная окраска*. Она возникает в результате сложения колебательных движений, соответствующих двум световым волнам, прошедшим через кристаллическую пластинку. Всю гамму интерференционных цветов можно наблюдать, постепенно вводя в тубус микроскопа кварцевый клин – клинообразную пластинку кварца,

закрепленную между стеклами, вмонтированными в металлическую оправу. От тонкой части клина к толстой наблюдается смена интерференционных цветов I, II, III, IV порядков, границей между которыми является красный цвет.

Сила двойного лучепреломления ( $n_g - n_p$ ) может быть приблизительно определена на основании интерференционной окраски минерала путем разделения цветов интерференции на ряд групп (табл. 10) или по таблице Мишель-Леви [19, 22].

Таблица 10

Разделение цветов интерференции на группы (по В. Б. Татарскому)

№ п/п	Двупреломление	$n_g - n_p$	Интерференционная окраска
1	Очень слабое	$<0,005$	Не выше светло-серой I порядка
2	Слабое	$0,005-0,010$	Не выше светло-желтой I порядка
3	Среднее	$0,010-0,025$	Не выше синей II порядка (нет зеленой)
4	Сильное	$0,026-0,100$	Есть зеленые, нет перламутровых
5	Очень сильное	$0,101-0,180$	Перламутровые, нет белого цвета высших порядков
6	Исключительно сильное	$>0,180$	Только белые цвета высших порядков

Чтобы определить, какого порядка интерференционная окраска минерала, при большом увеличении в скрещенных николях наблюдают его край, где видна тончайшая каемка со спектрами более низких порядков, чем основная интерференционная окраска минерала.

**Характер погасания и угол угасания минералов.** Погасание минералов при вращении столика микроскопа наступает в тот момент, когда главные оси  $n_g$  ( $n_g'$ ) и  $n_p$  ( $n_p'$ ) его индикатрисы (воображаемого эллипсоида вращения, построенного на оптических осях) приходят в совпадение с направлениями колебаний в николях (с нитями креста окуляра). Таким образом, положение нитей окулярного креста в момент погасания указывает на расположение в разрезе главных геометрических осей индикатрисы. Если при этом ребра, трещины или ребра фигур травления кристалла в момент его погасания также оказываются параллельными нитям окуляра, это указывает на совпадение кристаллографических направлений (ребер, трещин спайности и т. д.) с геометрическими осями индикатрисы кристалла. В этом случае кристалл имеет *прямое* погасание. Если же ребра или трещины спайности в момент погасания кристалла расположены косо к нитям окуляра, погасание кристалла называется *косым*.

При косом погасании его кристаллографические оси расположены косо к геометрическим осям индикатрисы. В случае косого погасания

определяют *угол погасания* – между одной из геометрических осей индикатрисы [ $n_g$  ( $n_g'$ ),  $n_p$  ( $n_p'$ )] и каким-либо геометрическим элементом (ребром, трещиной спайности, ребром фигуры травления и т. д.). Для одного и того же минерала видимые углы погасания будут различны в зависимости от сечения и от того, между какими именно направлениями измеряется угол. При замере угла погасания необходимо указывать, относительно какой геометрической оси индикатрисы этот угол замерен. Обычно выбирают сечения с максимальным двупреломлением, где геометрическими осями будут  $n_g$  и  $n_p$ .

**Знак удлинения.** В сечении любого анизотропного минерала проявляются два направления колебаний, которые располагаются перпендикулярно друг к другу. Для определения характера направления колебаний, пропускаемых кристаллом ( $n_g$  или  $n_p$ ), используется *компенсационная пластинка (компенсатор)*, в которую вмонтирован кристалл кварца, ориентированный так, что в направлении длинной стороны пластинки он пропускает колебания луча  $n_g$ , а в поперечном направлении –  $n_p$ . Компенсатор вставляется в прорезь в нижней части тубуса микроскопа, ориентированную под углом  $45^\circ$  к кресту нитей окуляра, и в зависимости от оптической ориентировки минерала увеличивает или уменьшает разность хода световых волн, что и позволяет определить направления колебаний ( $n_g$  или  $n_p$ ) в исследуемом зерне.

Определение производят следующим образом. Из зерен одного минерала выбирают зерно с наиболее высокой интерференционной окраской и четкими трещинами спайности и ставят его на погасание. Затем поворачивают столик микроскопа против часовой стрелки на  $45^\circ$  и вводят компенсатор. Если при этом происходит увеличение интенсивности интерференционной окраски, следовательно, с данным направлением в минерале совпадает ось  $n_g$ , при понижении окраски – ось  $n_p$ . Соответственно, перпендикулярно им располагаются оси  $n_p$  и  $n_g$ .

**Схема абсорбции** является показателем интенсивности окраски минерала в проходящем свете (при выключенном анализаторе) вдоль той или иной оптической оси. Определив при включенном анализаторе положение осей охарактеризованным выше способом (п. 4), поворачивают столик микроскопа и ориентируют зерно минерала так, чтобы его ось  $n_g$ , а затем  $n_p$  совместились с вертикальной нитью, выключают анализатор и записывают соответствующую окраску минерала. Если окраска минерала по оси  $n_g$  более интенсивная, чем по оси  $n_p$ , схема абсорбции имеет вид  $n_g > n_p$  и называется *прямой*, если же соотношения обратные ( $n_p > n_g$ ) – *обратной* схемой абсорбции. В двухос-

ных кристаллах помимо направлений  $n_g$  и  $n_p$  в круговых сечениях, перпендикулярных оптической оси, наблюдаются колебания по оси  $n_m$ , одинаковые во всех направлениях. Поэтому минералы в таком сечении не плеохроируют, а в скрещенных николях кажутся изотропными. Интенсивность окраски их обычно промежуточная между окрасками по  $n_p > n_g$ , т. е.  $n_g > n_m > n_p$  или  $n_p > n_m > n_g$ .

Для большинства минералов схема абсорбции имеет вид  $n_g > n_p$ . Например, для роговой обманки окраска варьирует от зеленой по  $n_g$ , бурозеленой по  $n_m$  до светло-желтой по  $n_p$ ; т. е. роговая обманка плеохроирует в зелено-буро-желтых тонах, а схема абсорбции ее  $n_g > n_m > n_p$ .

**Двойникование, зональность.** *Двойники* обнаруживаются по одновременному погасанию сростшихся индивидов при вращении столика микроскопа. Это происходит вследствие различной ориентировки оптической индикатрисы относительно плоскости срастания в различных индивидах двойника. След *плоскости срастания* (двойниковой плоскости) называется *двойниковым швом*. При одновременном срастании нескольких или большого количества индивидов образуются *сложные* или *полисинтетические* двойники (рис. 22). В скрещенных николях они имеют полосчатую структуру, причем при вращении столика наблюдается поочередное погасание одновременно четных и нечетных составляющих двойника.



Рис. 22. Двойники под микроскопом:  
*а* – простой двойник; *б* – полисинтетический двойник;  
*в* – система пересекающихся двойников

Различная ориентировка разрезов индикатрисы относительно двойникового шва позволяет измерить углы погасания каждого индивида двойника. В случае симметричного погасания величина этих углов одинакова; при асимметричном погасании наблюдается различия в величинах углов. Так как сечения минералов в шлифе носят произвольный характер, измерение углов и определение степени их симметричности следует производить на нескольких разрезах.

От двойников следует отличать *сферолиты*, которые представляют собой радиально-лучистые сростки игольчатых или волокнистых кристаллов. Если сросток слагают игольчатые кристаллы, то он имеет

в целом прямое крестообразное погасание с положением ветвей креста параллельно нитям окуляра; при косом погасании наблюдается поворот креста от них на некоторый угол.

**Зональность** выражается в разновременном погасании отдельных, concentрически расположенных зон минерала, которая может быть резкой или нечеткой с постепенным изменением погасания от центра к краю зерна.

**В сходящемся свете (объективы 40<sup>x</sup>, 60<sup>x</sup>) определяются:**

1. Осность минералов (одноосные или двухосные).
2. Оптический знак (положительный или отрицательный).
3. Углы между оптическими осями (для двуосных минералов).

**Осность минералов.** Оптически одноосные и двухосные минералы различаются в сходящемся свете при включенной линзе Бертрана по характерным для них интерференционным фигурам.

**Одноосные минералы** в сечении, перпендикулярном к оптической оси (или близком к нему) дают *темный крест*, центр которого соответствует месту выхода оптической оси, а ветви параллельны главным сечениям николей (рис. 23, а, б, в). Эта фигура может быть осложнена цветными изохроматическими кольцами, число которых тем больше, чем выше сила двупреломления минерала.

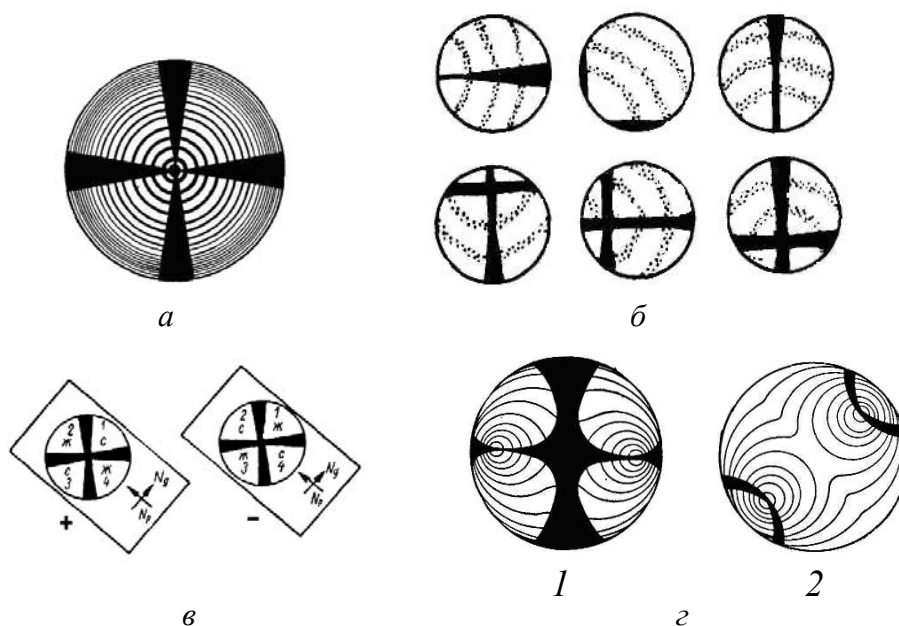


Рис. 23. Интерференционные фигуры одноосных и двухосных минералов: а – одноосный кристалл в разрезе, перпендикулярном оптической оси; б – косые разрезы одноосного кристалла; в – определение оптического знака одноосного кристалла компенсатором; z – двухосный кристалл в разрезе, перпендикулярном острой биссектрисе (1 – малый и 2 – большой угол оптических осей)



**Оптически двухосные минералы** в разрезе, перпендикулярном к острой биссектрисе, дают черный крест, образованный двумя взаимно перпендикулярными балками, одна из которых тонкая и длинная, другая – широкая и короткая. На тонкой балке намечаются две точки – места выхода оптических осей, окруженные цветными кольцами (рис. 23, з, 1). При большом угле оптических осей выходы их не видны, и при вращении столика микроскопа темный крест распадается на две гиперболы, вершины ветвей которых совпадают с выходом оптических осей (рис. 23, з, 2).

**Оптический знак минерала** устанавливается с помощью компенсатора. Для одноосного кристалла, интерференционная фигура которого имеет вид креста, крест окрашивается в красно-фиолетовый цвет, а у его основания появляются окраски: у положительного кристалла параллельно длинному ребру кварцевой пластинки – два желтых пятна, а перпендикулярно к нему – два синих; у отрицательного кристалла, параллельно длинному ребру – два синих пятна, а перпендикулярно ему – два желтых. Для двухосного положительного кристалла, интерференционная фигура которого имеет вид гипербол, на выпуклой стороне гиперболы появляется синяя окраска, а на вогнутой – желтая, у отрицательного кристалла – синяя окраска на вогнутой, а желтая – на выпуклой стороне.

**Углы между оптическими осями** определяются в двухосных минералах путем измерения окулярной линейкой расстояния между вершинами веток интерференционных фигур гиперболы.

## 2. Порядок выполнения работы

**Получение коноскопической фигуры.** При малом и среднем увеличении (объективы  $3\times$ ;  $8\times$ ;  $20\times$ ) в параллельном свете в скрещенных николях выбрать изотропный или слабо двупреломляющий разрез минерала (с серой интерференционной окраской). Желательно, чтобы зерно было по возможности большим и не содержало включений других минералов. Установить зерно на крест нитей. Сменить объектив на более сильный ( $40\times$  или  $60\times$ ), сфокусировать и тщательно центрировать микроскоп. Последний должен быть центрирован настолько, чтобы исследуемое сечение кристалла при вращении столика не смещалось с центра креста нитей. Полностью открыть диафрагму, ввести линзу Лазо и линзу Бертрана.

Проверить освещение. Поле зрения должно быть равномерно ярко освещенным. При наличии же в поле зрения теней необходимо от них избавиться перемещением зеркальца. Если затемнены края поля

зрения, то необходимо поднять или опустить осветительную систему с конденсором. Добившись равномерного яркого освещения поля зрения микроскопа, ввести анализатор. Вращая столик микроскопа, наблюдают коноскопическую фигуру.

**Определение оптического знака кристалла.** По характеру коноскопической фигуры определяют осность минерала – одноосный или двухосный, а затем, введя компенсатор, оптический знак – положительный или отрицательный (рис. 23, в). Результаты определений записать в табл. 11 (продолжить таблицу работы № 7).

Таблица 11

**Определение оптических характеристик кристаллов и зерен минералов**

№ п/п	Оптические характеристики кристаллов и зерен минералов	Исследуемые минералы				
		1	2	3	4	5
1	Форма преобладающих кристаллов или зерен					
2	Цвет					
3	Размер, мм					
4	Плеохроизм и характер измерения окраски					
5	Характер спайности					
6	Угол между системами спайности					
7	Показатель преломления минерала					
8	Количественное содержание, %					
<b>Предварительное определение минерала (название)</b>						
9	Оптический характер минерала					
10	Интерференционная окраска					
11	Характер погасания и угол погасания					
12	Знак удлинения					
13	Схема абсорбции					
14	Наличие двойников и сферолитов					
15	Осность минерала					
16	Оптический знак					
<b>Диагностируемый минерал (название)</b>						

**Контрольные вопросы**

1. Как отличить изотропное оптическое вещество от анизотропного?
2. Что такое двойное лучепреломление и чем определяется его величина?
3. Что такое погасание минералов и как оно определяется?
4. Как определить знак удлинения минералов?
5. Для чего используются компенсаторы? Какой знак их главной зоны?
6. Как определяется схема абсорбции минерала?

7. Какие коноскопические фигуры наблюдаются для одноосных и двуосных минералов?

8. Как определить оптический знак минерала?

9. Какие типы двойников бывают, и как они разнятся под микроскопом?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ИММЕРСИОННЫЙ МЕТОД МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы: исследование оптических свойств минералов иммерсионным методом.

Материалы и оборудование: поляризационный микроскоп; иммерсионные жидкости; минералы; микроскопические препараты; агатовая ступка; спиртовка; минералогическая игла.

### 1. Общие сведения

Иммерсионный метод представляет собой микроскопический метод исследования мелкозернистых кристаллических веществ, погруженных в иммерсионные среды с известными показателями преломления. Название происходит от латинского слова *immersio*, что означает *погружение*.

Метод основан на том, что при погружении зерен минералов в иммерсионную жидкость вследствие разницы показателей преломления на их границе образуется световая полоска, называемая полоской Бекке. Появление ее объясняется следующим образом.

Представим себе, что исследуемое зерно с показателем преломления  $n_1$  погружено в иммерсионную жидкость с показателем преломления  $n_2$ , причем  $n_1 > n_2$ . Пусть снизу на такой препарат падает параллельный световой пучок, направленный вдоль оси микроскопа. Лучи освещающего пучка, падающие на плоскопараллельные участки препарата и помеченные цифрами 1 и 3 (рис. 24), идут через эти участки, не меняя направления (прямой свет). Лучи того же пучка (например, луч 2), прошедшие через границу раздела двух сред, в результате преломления отклоняются от первоначального направления и выходят из препарата под некоторым углом к оптической оси микроскопа. Если микроскоп сфокусирован на препарат (рис. 24, а), то в плоскости изображения препарата, совпадающей в данном случае с фокальной плоскостью окуляра, наблюдают равномерное распределение света.

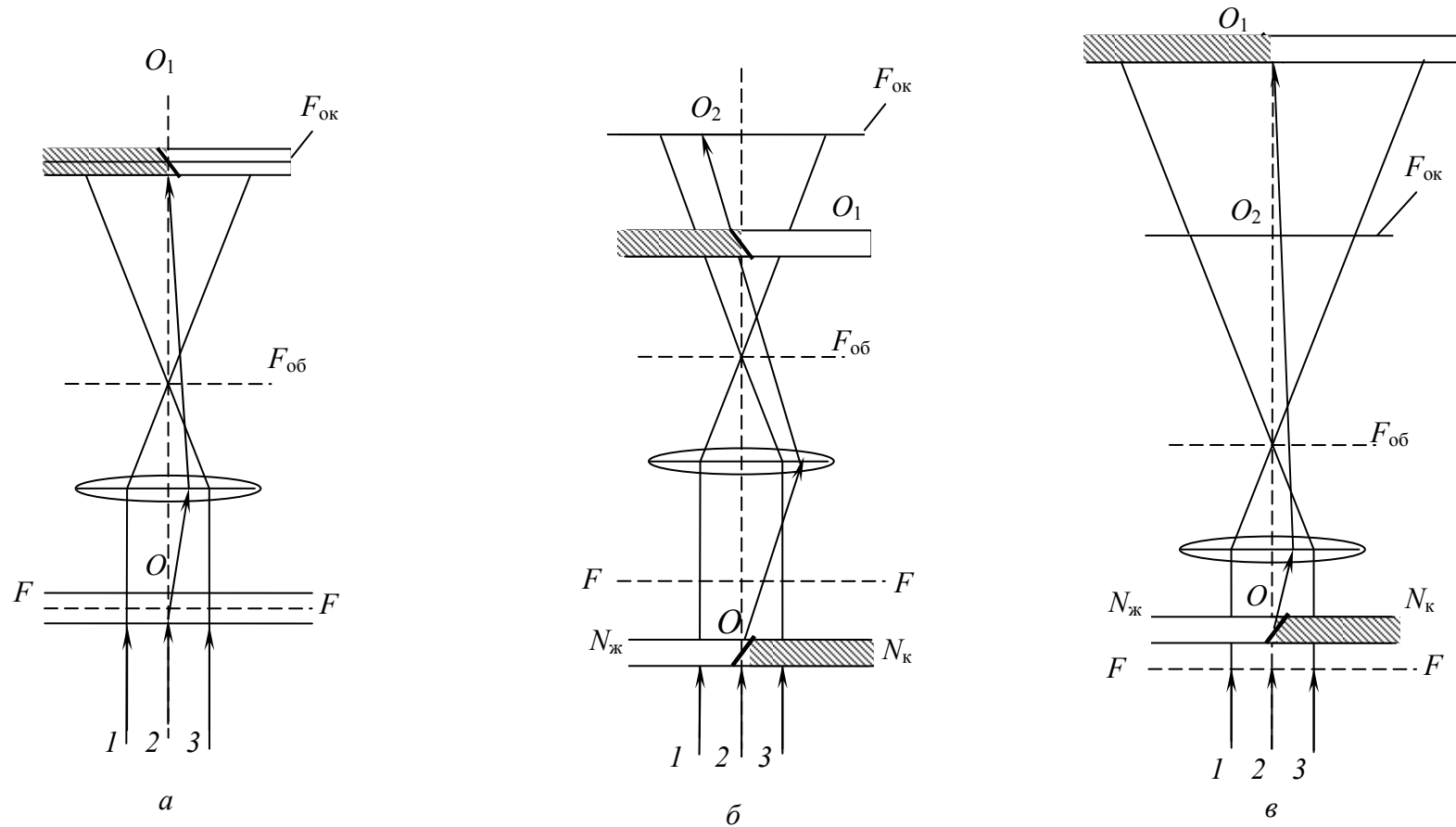


Рис. 24. Схема образования полоски Бекке при фокусировке микроскопа:  
 а – ход лучей при наведении на фокус; б – при опускании столика (поднятии тубуса) микроскопа; в – при поднятии столика (опускании тубуса) микроскопа;  $F_{об}$  – задняя фокальная плоскость объектива;  $F_{ок}$  – фокальная плоскость окуляра; 1, 3 – лучи, прошедшие без преломления; 2 – преломленные лучи;  $N_{ж}$  и  $N_{к}$  – показатели преломления жидкости и кристалла соответственно;  $OO_1$  – ход преломленного луча при наведении микроскопа на фокус;  $OO_1O_2$  – ход преломленного луча при опускании столика микроскопа (б) и при его поднятии (в)

Если же изменить положение рассматриваемого препарата по отношению к плоскости установки, т. е. поднять или опустить столик или тубус микроскопа (рис. 24, б, в), то в обоих случаях лучи, отклоненные краем кристаллического зерна, пересекут фокальную плоскость окуляра на участках, освещаемых прямым светом. Взаимодействие прямого и отклоненного луча вызывает усиление яркости света на данных участках, что и выражается в появлении в изображении препарата, вблизи границы раздела двух сред, полосы Бекке (рис. 25).

При поднятии тубуса микроскопа полоска смещается в сторону более высокопреломляющей среды, а при опускании – в противоположную сторону. Таким образом, если показатель преломления минерала меньше показателя преломления иммерсионной жидкости, то при поднятии тубуса микроскопа полоска Бекке будет смещаться в сторону последней (рис. 25, а), и напротив, при более высоком показателе преломления минерала полоска будет смещаться в сторону минерала, образуя тонкую светлую каемку в минерале вдоль его границы. При равенстве показателей преломления двух сред полоска Бекке исчезает, так как в этом случае не происходит преломления света на границе двух сред.



Рис. 25. Схема возникновения полосы Бекке:

а – показатель преломления кристалла меньше, чем среды;  
 б – показатель преломления кристалла больше, чем среды

**Иммерсионные жидкости.** Для определения показателей преломления иммерсионным методом служат эталонные жидкости и твердые среды (сплавы) с различными показателями преломления. Стандартный набор иммерсионных жидкостей, выпускаемых Львовским заводом химических реактивов, состоит из 98 жидкостей с показателями от 1,408 до 1,780 (табл. 12). Значения показателей преломления жидкостей набора даны для света с длиной волны 589 нм (спектральная линия  $D$  паров натрия) при температуре 20°C. Показатели, определенные в этих условиях, обозначаются символом  $N_D^{20}$ . Практически используется интервал спектра, близкий по длине к 589 нм (область желтого цвета).

Показатели преломления ( $N_D$ ) иммерсионных жидкостей при 20°C

№	$N_D$	№	$N_D$	№	$N_D$
1	1,408	34	1,528	67	1,630
2	1,412	35	1,531	68	1,630
3	1,416	36	1,534	69	1,633
4	1,420	37	1,537	70	1,638
5	1,425	38	1,540	71	1,642
6	1,430	39	1,543	72	1,646
7	1,435	40	1,546	73	1,650
8	1,440	41	1,549	74	1,654
9	1,445	42	1,552	75	1,658
10	1,450	43	1,555	76	1,662
11	1,455	44	1,558	77	1,666
12	1,460	45	1,561	78	1,670
13	1,464	46	1,564	79	1,674
14	1,469	47	1,567	80	1,678
15	1,471	48	1,570	81	1,682
16	1,474	49	1,573	82	1,686
17	1,477	50	1,576	83	1,690
18	1,480	51	1,579	84	1,694
19	1,483	52	1,583	85	1,698
20	1,486	53	1,585	86	1,702
21	1,489	54	1,588	87	1,706
22	1,492	55	1,591	88	1,710
23	1,495	56	1,594	89	1,714
24	1,498	57	1,597	90	1,718
25	1,501	58	1,600	91	1,722
26	1,504	59	1,603	92	1,726
27	1,507	60	1,606	93	1,730
28	1,510	61	1,612	94	1,734
29	1,513	62	1,615	95	1,737
30	1,516	63	1,618	96	1,754
31	1,519	64	1,621	97	1,767
32	1,522	65	1,624	98	1,780
33	1,525	66	1,627		

*Примечания:* 1. № – номер жидкости. С повышением температуры показатель преломления уменьшается, с понижением – увеличивается.

2. Определение показателей преломления жидкостей № 1–85 производится с точностью  $\pm 0,001$ , № 86–98 – с точностью  $\pm 0,002$ .

3. Температурная поправка на 1°C для жидкостей № 1–52 = 0,0004; № 53–84 = 0,0005; № 85–98 = 0,0006.

Иммерсионные жидкости должны отвечать следующим требованиям:

- 1) не вступать в химическую реакцию с исследуемым веществом и не растворять его;
- 2) быть устойчивыми, т. е. не разлагаться на свету, в воздухе и т. д. и не менять показатель преломления при хранении;
- 3) не изменять значительно показатель преломления при изменении температуры;
- 4) легко смешиваться друг с другом во избежание образования остаточных оболочек вокруг зерен при смене жидкости;
- 5) должны быть бесцветными или слабо окрашенными;
- 6) по возможности быть безвредными;
- 7) не должны быть летучими;
- 8) в составе смесей должны обладать близкими скоростями испарения.

Иммерсионные жидкости стандартного набора приготавливаются из нескольких исходных путем смешивания их в различных пропорциях. В качестве исходных жидкостей для составления смесей используются изоамиловый спирт ( $N_D = 1,408$ ), легкие погоны нефти и фракция керосина с температурой кипения  $220\text{--}240^\circ$  ( $N_D$  от 1,408 до 1,460),  $\alpha$ -хлорнафталин ( $N_D = 1,633$ ), йодистый метилен ( $N_D = 1,737$ ), насыщенный раствор серы в йодистом метилена ( $N_D = 1,780$ ).

Жидкости иммерсионного набора, имеющие в своем составе йодистый метилен, на свету легко разлагаются и темнеют. Чтобы не допустить порчи указанных жидкостей, в них помещают металлические стружки, которые поглощают йод, выделяющийся при разложении йодистого метилена.

Жидкости иммерсионного набора должны храниться в закупоренном состоянии в специальном деревянном ящике при температурах, близких к  $+20^\circ$ , но не ниже  $+10^\circ$ . Для хранения жидкостей употребляют стеклянные флаконы со стеклянными притертыми пробками, имеющими оттянутый закругленный конец, погруженный в жидкость. При вынимании пробки на ее оттянутом конце всегда будет находиться капля иммерсионной жидкости, которая легко может быть перенесена на предметное стекло.

К набору прилагаются данные (табл. 12) со значениями показателей преломления  $N_D$ , определенными с точностью до  $\pm 0,001$ , и величиной температурных поправок.

Показатель преломления иммерсионных жидкостей может заметно изменяться в зависимости от температуры: уменьшаться с ее

повышением и наоборот. В связи с этим при определении показателей преломления исследуемых минералов следует вводить температурную поправку. Температурный коэффициент (поправка)  $\frac{dn}{dt} = \Delta n$  характеризует изменение показателя преломления жидкости при изменении температуры на  $1^\circ$ .

Показатель преломления жидкости при температуре  $t$  вычисляется по формуле

$$N_D = n_D^{20} + (20^\circ - t^\circ)\Delta n,$$

где  $n_D^t$  – показатель преломления жидкости при температуре  $t^\circ$ ,  $t^\circ$  – температура рабочего помещения;  $\Delta n$  – температурная поправка, взятая по табл. 12.

Например, жидкость с показателем преломления при температуре  $20^\circ\text{C}$   $n_D^{20} = 1,615$ , при  $t = 30^\circ$  будет иметь показатель  $n_D^{30} = 1,610$ , а при  $10^\circ$   $n_D^{10} = 1,620$ .

При правильном хранении стандартного иммерсионного набора жидкости со средними значениями показателей преломления ( $N_D$  от 1,45 до 1,63) устойчивы и мало изменяются со временем. Показатели преломления низкопреломляющих жидкостей набора ( $N_D$  меньше 1,45) со временем повышаются. Наиболее неустойчивы жидкости с показателями преломления 1,64–1,73, представляющие смеси с йодистым метиленом, вследствие испарения которого со временем происходит понижение показателей преломления. Для жидкости № 98 ( $N_D = 1,780$ ), представляющей собой насыщенный раствор серы в йодистом метиле, с понижением температуры показатель уменьшается вследствие выпадения серы из раствора. В этих случаях флакон с жидкостью следует слегка подогреть на водяной бане до растворения серы.

Для определения показателя преломления со значениями выше 1,743 до 2,150 используется выпускаемый в настоящее время набор высокопреломляющих иммерсионных (ВИЖ) сред, включающий 46 жидкостей. Эти жидкости весьма ядовиты и работа с ними требует особой осторожности. После перенесения капли жидкости на предметное стекло набор тотчас же необходимо плотно закрыть. Нельзя допускать попадания жидкости на кожу и особенно в порезы или царапины. В случае попадания пораженные места необходимо сразу же тщательно промыть водой с мылом.

Потребность в низкопреломляющих жидкостях в минералогической практике более ограничена. Эти жидкости применяются для оп-



ределения показателей преломления фторидов, некоторых сульфатов, фторсодержащих стекол и некоторых других веществ. Для работы в интервале значений 1,330–1,450 применяются смеси легких фракций нефти, а также смеси глицерина и спирта с водой.

В связи с изменением показателя преломления иммерсионных жидкостей при длительном хранении определение их показателей преломления производится на специальных приборах – рефрактометрах. Принцип работы рефрактометров основан на определении величины предельного угла полного внутреннего отражения (угла  $\varphi$ ), происходящего на границе двух сред. Согласно закону преломления света лучи, падающие на границу раздела двух сред со стороны более преломляющей среды под углом, превышающем предельный угол  $\varphi$ , полностью отражаются от границы раздела.

**Иммерсионные препараты.** Препараты для работы иммерсионным методом подготавливаются в виде мелкозернистого материала. С этой целью исследуемые зерна минералов размельчаются в агатовой или фарфоровой ступке. Минералы с невысокой твердостью удобно измельчать непосредственно на предметном стекле с помощью шпателя или стеклянной палочки. Измельчение материала должно быть по возможности равномерным, поэтому тонкая и наиболее крупная фракции могут быть отсеяны на сите.

**Размер зерен.** Наиболее удобны для работы зерна размером 0,05–0,20 мм. При подготовке препаратов необходимо иметь чистые, тщательно протертые спиртом или ацетоном сухие предметные и покровные стекла. Размер последних определяется задачами исследования. При определении показателя преломления и других оптических констант можно использовать не целое стандартное покровное стекло 18×18 мм, а его 1/4 и 1/8 части. При иммерсионных исследованиях для изготовления первых препаратов рекомендуется выбирать жидкости с показателем преломления, близким к значению показателя преломления предполагаемого минерала. При работе с неизвестным веществом следует начинать со среднего значения показателя преломления (1,52–1,56).

**Изготовление препаратов** с использованием жидких иммерсионных сред производится двумя способами: без закрепления минеральных зерен и с закреплением их.

Приготовление препаратов *без закрепления зерен* осуществляется следующим образом. Небольшое количество исследуемого вещества насыпается на чистое предметное стекло. Легким потряхиванием или при помощи минералогической иглы порошок тщательно разравнивается. Зерна в препарате должны лежать в один слой, не накладываясь

друг на друга, излишняя густота зерен в препарате нежелательна. Препарат накрывается покровным стеклом. Иммерсионную жидкость извлекают из флакончика с помощью оттянутого закругленного конца стеклянной пробки. Капля жидкости переносится на предметное стекло и помещается рядом с краем покровного стекла, накрывающего порошок. Капиллярными силами иммерсионная жидкость засасывается под покровное стекло. Для лучшего проникновения жидкости препарат можно слегка наклонить, приподняв край предметного стекла на 2–3 мм. Надо внимательно следить, чтобы в препарате не оставалось пузырьков воздуха. В случае их наличия следует слабо надавить на покровное стекло для «выжимания» пузырей. Жидкость должна полностью заполнить промежуток между зернами, для чего операцию перенесения жидкости обычно повторяют несколько раз. Избыток жидкости удаляют полоской фильтровальной бумаги.

В некоторых случаях, например, при работе с тонкозернистым веществом можно предварительно поместить каплю иммерсионной жидкости на предметное стекло и вводить в нее исследуемый материал с помощью иглы, добиваясь его равномерного распределения, после чего накрыть агрегат покровным стеклом.

При необходимости длительного сохранения препарата для предотвращения испарения жидкости край покровного стекла следует промазать парафином или менделеевской замазкой. Подобная осторожность особенно необходима при работе с легколетучими или ядовитыми жидкостями.

*Прикрепление зерен* к предметному стеклу, в случае нерастворимых в воде веществ, осуществляется с помощью очень слабого (0,5%) водного раствора желатина. Следует избегать более концентрированных растворов, так как при его высыхании может происходить обволакивание зерен, мешающее наблюдению эффекта применяемого способа сравнения.

В тех случаях, когда исследуемое вещество имеется в неограниченном количестве или нет необходимости производить измерения на определенных разрезах, при смене жидкости изготавливается новый препарат. Когда количество материала ограничено или необходимо сохранить выбранный разрез зерна, работа ведется в одном и том же препарате со сменой жидкости. Зерна в препарате в этих случаях обязательно должны быть закреплены.

*Смена жидкости* может осуществляться непосредственно на столике микроскопа. Исследуемое зерно в этих случаях ставится на крест нитей, и препарат тщательно закрепляется на столике микроскопа. Полоску фильтровальной бумаги осторожно подносят к краю

покровного стекла и приводят в соприкосновение с жидкостью. Покровное стекло при этом следует слегка приподнять, придерживая иголкой. Для полного удаления жидкости фильтровальную бумагу следует сменить несколько раз. После тщательного отсасывания в препарат вводится новая иммерсионная жидкость.

Обычно при тщательной работе количество жидкости, остающееся между зернами препарата, невелико, и ошибкой, происходящей от неполного удаления жидкости, можно пренебречь.

**Определение показателей преломления минералов.** Для определения показателя преломления *изотропного минерала* теоретически достаточно одного зерна. Однако для удобства работы и большей уверенности в результатах определения рекомендуется готовить препарат с 5–6 зернами. Исследование ведут следующим образом:

1. Устанавливают иммерсионный препарат под микроскопом и, перемещая по высоте с помощью микрометрического винта тубус микроскопа, наблюдают за направлением перемещения полоски Бекке. Определив при помощи последней, какая из двух сред имеет больший показатель преломления, производят смену жидкости в препарате в направлении сближения показателей преломления минерала и жидкости.

2. При достижении равенства показателей преломления двух сред полоска Бекке исчезает, а зерна едва заметны на фоне поля зрения или сливаются полностью с ним, как бы «растворяясь». В этом случае показатель преломления кристалла принимают равным показателю преломления той жидкости, в которой наблюдают указанный эффект.

3. Если не удастся добиться полного исчезновения полоски Бекке ввиду того, что применяемые для приготовления препарата наборы иммерсионных жидкостей не образуют непрерывного ряда значений показателей преломления, искомый показатель преломления находят как среднее арифметическое значение из значений показателей преломления двух соседних жидкостей набора, показатель преломления одной из которых больше, а другой меньше, чем показатель испытуемого образца зерна минерала:

$$N_m = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления жидкостей.

Определение показателей преломления *анизотропных минералов* производят также, как изотропных, но в зерне определения ведутся по двум направлениям, соответствующим лучам с большим и меньшим показателем преломления.

При сравнении показателей преломления минерала и жидкости можно пользоваться *косвенными признаками*. В случае, если показатель преломления минерала меньше жидкости, то минерал как бы имеет светлую буроватую окраску, а если наоборот – очень бледную зеленоватую. О близости или, наоборот, расхождении в показателях светопреломления минерала и жидкости можно судить и по рельефу минерала. Последний может быть положительным, когда показатель светопреломления минерала больше, чем у жидкости. В этом случае минерал кажется как бы выступающим над окружающей средой. Если показатель преломления минерала меньше показателя преломления жидкости, минерал имеет отрицательный рельеф и кажется как бы ниже общей поверхности или утоплен в ней.

Различные типы рельефов приведены в табл. 13.

Таблица 13

**Типы рельефа**

Тип рельефа	Разница в показателях светопреломления
Очень резкий	$\pm 0,2$
Резкий	$\pm 0,1$
Сильный	$\pm 0,05$
Слабый	$\pm 0,03-0,01$
Очень слабый	$\pm 0,002$

## 2. Порядок выполнения работы

1. Приготовить иммерсионный препарат исследуемого вещества, для чего минерал измельчить в яшмовой ступке до такой тонкости, чтобы при растирании приготовленного порошка между пальцами не чувствовалось крупинок (крупность зерен должна составлять 0,05–0,20 мм). Если исследуемое вещество имеет мелкокристаллическое строение, его измельчают до крупности гораздо меньшей, чем оптимальная, так как необходимо, чтобы исследуемые зерна представляли собой не агрегаты, а монокристаллы.

2. Измельченную пробу шпателем или кончиком лезвия безопасной бритвы поместить на чистое и обезжиренное предметное стекло в незначительном количестве так, чтобы частицы лежали изолированно друг от друга. Препарат прикрывают чистым обезжиренным покровным стеклом, беря его за уголки, чтобы не загрязнить покровное стекло. Затем из набора иммерсионных жидкостей берут один из флакончиков и стеклянной пробкой наносят каплю жидкости на предметное стекло у самого края покровного стекла. Вследствие капиллярности

жидкость быстро растекается под покровным стеклом, смачивая порошок. Для равномерного растекания последнего карандашной резинкой слегка надавливают на покровное стекло, передвигая его на небольшое расстояние и тем самым раздвигая зерна порошка.

3. Проверить микроскоп и установить его в рабочее положение. Проверить, выключены ли линзы Бертрана и Лазо, а также анализатор, открыть диафрагму, наладить правильное освещение.

4. Поместить препарат на столик микроскопа, закрепить и при увеличении (окуляр  $5\times$  или  $8\times$ , объектив  $20\times$  или  $40\times$ ) наблюдать, как при перемещении тубуса микроскопа ведет себя полоска Бекке на контакте минерала с иммерсионной жидкостью. Исследования следует проводить оперативно во избежание испарения иммерсионной жидкости.

5. Отработать методику определения показателя преломления на примере галита (каменная соль, NaCl). Исследование ведут в следующем порядке:

а) приготовленный препарат помещают в жидкость № 85 с показателем преломления  $N_D = 1,698$ . Корректируя его на температуру помещения ( $17^\circ\text{C}$ ), получаем  $(0,0006 \cdot 3) + 1,698 = 1,6998$ ;

б) при медленном поднятии тубуса микроскопа наблюдается, что полоска Бекке перемещается на жидкость, т. е. показатель преломления минерала меньше, чем жидкости –  $N_M < N_D$ . Косвенные признаки: минерал имеет зеленоватую окраску, рельеф очень слабый;

в) готовим новый препарат и берем жидкость № 12 с  $N_D = 1,46$ , корректируем  $0,0004 \cdot 3 + 1,46 = 1,4612$ . Полоска Бекке теперь перемещается на минерал, т. е.  $N_M > N_D$ . Косвенные признаки: минерал имеет буроватую окраску, рельеф резкий. По результатам двух замеров показатель преломления минерала ниже, чем 1,6998, и выше, чем 1,4612;

г) путем последовательного исследования жидкостей №№ 42, 39, 37 находим, что в жидкости № 39, имеющей скорректированный показатель преломления 1,5442, линия Бекке не наблюдается, минерал имеет очень слабый рельеф и как бы растворяется. Следовательно, его показатель преломления равен  $N_M = 1,544$ ;

д) по показателю преломления, изотропности (отсутствие интерференции при включенном анализаторе и вращении столика микроскопа), низкой твердости, прозрачности, стеклянному блеску, растворимости порошка в воде, по справочнику (Шарай, В. Н. Пособие к лабораторным работам по курсу минералогии и петрографии. – Минск: Вышэйшая школа, 1964, с. 128–142) находим, что исследуемый минерал относится к галиту.

6. Результаты исследования занести в табл. 14.

Таблица 14

**Результаты определения показателей преломления минералов**

№ п/п	№ иммерсионной жидкости	Показатель преломления иммерсионной жидкости	Температура помещения, °С	Скорректированный показатель преломления	Характер перемещения тубуса микроскопа и полоски Бекке
-------	-------------------------	--	---------------------------	--	--

Окончание табл. 14

Характер рельефа	Цвет минерала	Характер спайности	Форма кристалла	Исследуемый минерал
------------------	---------------	--------------------	-----------------	---------------------

**Контрольные вопросы**

1. Что такое показатель преломления минералов и как он определяется?
2. Перечислите типы иммерсионных жидкостей и требования, предъявляемые к ним.
3. Как изменяется рельеф минерала при его погружении в различные иммерсионные среды? Как определить характер показателя преломления (больше или меньше) минерала по отношению к окружающей среде?
4. Как приготовить препарат минерала для определения его показателя преломления?
5. Как определить показатель преломления анизотропных кристаллов?
6. Что такое полоска Бекке и как она зависит от показателя преломления минерала и иммерсионной жидкости?
7. Что такое шагреня и как она определяется?
8. Как отличается показатель преломления в изотропных и анизотропных средах?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10**

**ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ САМОРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ И СУЛЬФИДОВ**

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов самородных элементов и сульфидов, изучить их основные диагностические признаки, условия образования и области применения, научиться определять минералы этих классов.

Оборудование и материалы: минералы классов самородных элементов и сульфидов; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; спиртовка; концентрированная и 10%-ная HCl; концентрированная KOH и NaOH; лупа.

## 1. Общие сведения

**Минералы самородных элементов.** В природе в самородном состоянии встречаются Cu, Au, Ag, Hg, S, C, Fe, Pt и др. Почти все они, за исключением C и S, являются *самородными металлами*, обладают металлическим типом связи, обуславливающим хорошую электро- и теплопроводность, имеют серебристо-белый или желтовато-белый цвет, сильный металлический блеск в полированном виде, малую прозрачность, значительную плотность, высокую ковкость и небольшую твердость. Cu, Au, Ag, Pt могут встречаться совместно, образуя твердые растворы.

**Металлоиды** (C, S) представлены несколькими полиморфными модификациями: сера – тремя ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), углерод – двумя (алмаз, графит). За исключением алмаза, они характеризуются низкой твердостью и высокой хрупкостью. Высокая твердость алмаза обусловлена тетраэдрической ориентировкой и четверной координацией орбиталей электронов вокруг атома углерода. Для графита характерна тройная координация и очень непрочная слоистая структура.

Наиболее важное практическое значение имеют золото, серебро, алмаз, платина, графит, сера.

**Сульфиды.** К минералам данного класса относятся как собственно сернистые (сульфиды), так и аналогичные им мышьяковистые, сурьмянистые, селенистые, теллуристые соединения. В основном это соединения цветных металлов – Fe, Cu, Pb, Zn, Hg, Co, Ni и др. В природе известно около 200 минералов этого класса. Они составляют 0,15–0,25% массы земной коры. Различают простые (представленные катионом одного металла) и сложные (представленные катионами нескольких металлов) сульфиды. Для некоторых из них характерен полиморфизм.

Сульфиды имеют преимущественно ионный тип связи между металлами и анионами. Однако значительная роль принадлежит также ковалентной и металлической типам связей. Координационные полиэдры чаще всего октаэдрические и гексаоктаэдрические, координация обычно шестерная или четверная. Наиболее распространены сульфиды с координационной структурой, значительно реже в этом классе встречаются минералы с островным, цепочечным и слоевым типом структуры.

### Характеристика самородных элементов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Самородные металлы</b>				
Медь Cu	Кубическая	Гидротермальное, в зонах окисления медносulfидных месторождений, осадочное	Машиностроение, электро-техника	Россия (Урал, Якутия)
Серебро Ag	Кубическая	Гидротермальное, в зонах окисления месторождений сернистых руд	Изготовление серебряных изделий (в сплавах с медью)	Россия (Урал, Алтай), Казахстан
Золото Au	Кубическая	Гидротермальное, в россыпях	Основной валютный металл, изготовление украшений	Россия (Урал, Восточная Сибирь)
Ртуть Hg	Жидкость Ромбическая при $T = -38,9^\circ$	Продукт разложения киновари	Приборостроительная промышленность	Россия (Алтай), Украина
Железо (феррит) $\alpha$ -Fe	Кубическая	Магматическое	Практического значения не имеет	Россия (Якутия)
Поликсен (Pt, Fe) Платина Pt	Кубическая	Магматическое	Химическая, электротехническая промышленность, ювелирное производство	Россия (Урал)
<b>Металлоиды</b>				
Алмаз C	Кубическая	Магматическое – в глубинных породах (кимберлиты, перидотиты), россыпях	Изготовление буровых коронок, вращающихся алмазных пил, штампов-фильер, шлифовального камня, в ювелирном производстве	Россия (Якутия, Урал)
Графит C	Гексагональная	Метаморфическое, магматическое	Производство электродов, тиглей, машинных смазок, огнеупоров, грифелей футеровки, высокотемпературных печей	Россия (Восточная Сибирь, Красноярский край), Украина



Окончание табл. 15

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Шунгит С	Аморфный	Осадочное, метаморфическое	Облицовочный камень, производство художественных красок	Россия (Карелия)
Сера S	Ромбическая	Сольфатарное, осадочное, экзогенное – разложение сернистых соединений и гипсоносных толщ	Производство серной кислоты, красок, спичек и др., в составах стекол	Узбекистан, Туркменистан, Россия (Поволжье)

Таблица 16

#### Характеристика сульфидов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Халькозин $Cu_2S$	Кубическая, ромбическая	Гидротермальное, экзогенное в зонах окисления медных месторождений	Медная руда	Россия (Урал), Казахстан
Галенит (свинцовый блеск) $PbS$	Кубическая	Гидротермальное, метасоматическое	Свинцовая руда. Получение свинцовых препаратов, стекольная промышленность	Россия (Алтай, Забайкалье), Казахстан
Сфалерит (цинковая обманка) $ZnS$	Кубическая	Гидротермальное	Цинковая руда, изготовление сплавов (бронза, латунь), цинковых белил	Россия (Урал), Украина, Грузия
Пирит (серный колчедан, железный колчедан) $FeS_2$	Кубическая	Магматическое, гидротермальное, осадочное	Производство серной кислоты, изготовление керамических красок, глазурей, стекол	Россия (Урал), Азербайджан
Пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$	Кубическая	Магматическое	Никелевая руда	Россия (Урал)
Пирротин (магнитный колчедан) $Fe_{(1-n)}S$	Гексагональная	Магматическое, гидротермальное, контактово-метасоматическое	Производство серной кислоты	Россия (Урал, Кузнецкий Алатау), Кавказ

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Ковеллин CuS	Гексагональная	Зоны окисления сульфидов меди	Медная руда	Россия (Урал)
Молибденит (молибденовый блеск) MoS <sub>2</sub>	Гексагональная	Гидротермальное	Руда на молибден, изготовление жароупорной стали, электротехника, стекольное производство	Россия (Забайкалье), Грузия, Армения
Халькопирит (медный колчедан) CuFeS <sub>2</sub>	Тетрагональная	Магматическое, гидротермальное	Медная руда	Россия (Урал, Кузнецкий Алатау), Казахстан
Киноварь HgS	Тригональная	Гидротермальное	Руда на ртуть, приготовление красок, взрывчатых веществ, в медицине	Украина (Донбасс), Россия (Западная Сибирь), Кыргызстан
Антимонит (сурьмяный блеск, стибнит) Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Ромбическая	Гидротермальное	Руда для получения сурьмы	Россия (Красноярский край), Казахстан
Марказит (лучистый колчедан) FeS <sub>2</sub>	Ромбическая	Гидротермальное, продукт выветривания пирротина, осадочное	Производство серной кислоты	Россия (Урал, Ленинградская область)
Аурипигмент (обманка мышьяковистая желтая) As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Моноклинная	Гидротермальное	Руда для получения оксидов мышьяка	Грузия

Для большинства сульфидов характерен металлический блеск, высокая плотность (свыше  $3,50 \text{ г/см}^3$ ), непрозрачность, электропроводность, незначительная твердость, колеблющаяся от 2 до 4 и редко доходящая до 6–7 (пирит, арсенопирит) или снижающаяся до 1–2 (молибденит). Для прозрачных сульфидов характерен сильный алмазный или металловидный блеск (сфалерит, киноварь).

В природе сульфиды образуются в различных условиях: непосредственно выделяясь из магмы, выпадая из гидротермальных растворов и в результате жизнедеятельности организмов.

Наиболее распространенным и важными в промышленном отношении являются пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, арсенопирит, киноварь, антимонит, висмутин, молибденит и др.

Основные диагностические характеристики самородных элементов и сульфидов приведены в табл. 15, 16 и в определителе минералов (табл. 1, 2 в приложении).

## 2. Порядок выполнения работы

Пользуясь названными таблицами, произвести диагностику минералов, написать их кристаллохимическую формулу, охарактеризовать физические свойства, описать условия образования и применение в производстве силикатных материалов. Результаты оформить в виде табл. 17.

Таблица 17

### Описание морфологических особенностей и свойств самородных элементов и сульфидов

Наименование минерала и кристаллохимическая формула	Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
---	-----------------	---------------	-----------------------------	---------------	------------	-------

Окончание табл. 17

Твердость	Спайность, излом	Плотность, $\text{г/см}^3$	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение	Месторождения
-----------	------------------	----------------------------	---------------------------------	---------------	------------	---------------

### Контрольные вопросы

1. Как классифицируются самородные минералы по физическому состоянию?
2. Назовите полиморфные модификации углерода, в чем их разница?

3. Какими общими чертами характеризуется минералы класса сульфидов?
4. Приведите примеры сложных сульфидов. В чем их особенность?
5. Как отличить пирит от халькопирита, галенит от сфалерита? Чем объяснить различие их свойств?
6. Укажите области применения углерода и платины.
7. Что такое изоморфизм и полиморфизм? Назовите примеры данных явлений.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ КАРБОНАТОВ, ФОСФАТОВ, БОРАТОВ

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов классов карбонатов, фосфатов и боратов, изучить их основные диагностические признаки, условия образования и области применения.

Оборудование и материалы: минералы классов карбонатов, фосфатов, боратов; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; спиртовка; магнит; концентрированная и 10%-ная HCl; вода.

### 1. Общие сведения

**Карбонаты.** К классу карбонатов относятся минералы – соли угольной кислоты  $H_2CO_3$ . Известно около 80 представителей карбонатов, масса которых в земной коре составляет около 1,7%. Наиболее распространены карбонаты Ca и Mg (кальцит, арагонит, доломит, магнезит). Широко известны также карбонаты Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Na, Ba, Sr (сидерит, витерит, малахит, азурит и др.). Различают карбонаты безводные и водные, а также простые – без дополнительных анионов, и сложные – с дополнительными анионами:  $[OH]^-$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $[SO_4]^{2-}$ ,  $[PO_4]^{3-}$ .

Карбонаты преимущественно светлоокрашены, однако встречаются и окрашенные разновидности: сидерит – бурый до черного, малахит – зеленый, азурит – синий. Твердость карбонатов 3–4, блеск стеклянный, спайность весьма совершенная. Карбонаты с крупными катионами (радиус больше 0,1 нм) кристаллизуются в ромбической сингонии, а с малыми катионами (менее 0,1 нм) – в тригональной; кальцит, занимающий промежуточное положение, является диморфным (встречается в той и другой сингонии), сложные карбонаты (малахит и азурит) – в моноклинной.

В структурном отношении карбонаты представлены плоскими группами  $[\text{CO}_3]^{2-}$ , в которых катион углерода симметрично окружен тремя ионами кислорода, расположенными в вершинах разностороннего треугольника. Радикалы  $[\text{CO}_3]^{2-}$  могут быть изолированы друг от друга катионами и добавочными анионами (островные карбонаты) или образовывать цепочки (цепочечные карбонаты), а также слои (слоистые карбонаты). При этом характерна смешанная связь: ковалентная – в анионных радикалах  $[\text{CO}_3]^{2-}$  и ионная – между анионами и катионами; в сложных карбонатах с дополнительными анионами и водных карбонатах развиты водородные связи.

Важным диагностическим признаком карбонатов является их реакция с разбавленной  $\text{HCl}$  (10%-ный раствор), которая протекает с выделением  $\text{CO}_2$ . При этом некоторые карбонаты легко разлагаются в  $\text{HCl}$  (кальцит), другие же только в порошке (доломит) и при нагревании (магнезит).

Карбонаты  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Ba}$  и некоторые другие накапливаются в основном осадочным путем в водоемах, образуя нередко мощные пласты (известняк, доломит, сидерит и др.). Причем иногда их образование связано с жизнедеятельностью организмов (мел, известняк-ракушечник). Карбонаты  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$  и др. формируются из низкотемпературных гидротермальных растворов и зонах окисления соответствующих рудных месторождений.

**Фосфаты** и их аналоги (арсенаты, ванадаты) – это обширный класс минералов (до 350 минеральных видов), составляющих 0,7–1,0% массы земной коры. Преобладают соединения  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ , отчасти  $\text{Al}$ ; часто встречаются соединения  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ . Наибольшее распространение и значение имеют фосфаты – соли ортофосфорной кислоты.

В структурном отношении фосфаты характеризуются тетраэдрическим кислородным комплексом  $[\text{PO}_4]^{3-}$ . Для фосфатов характерна ковалентная связь в пределах анионного комплекса и ионная между анионами и катионами. Размеры анионов велики, поэтому они дают наиболее устойчивые соединения с крупными катионами, находящимися главным образом в шестерной координации. Преобладающими среди минералов этого класса являются представители с островными и слоистыми структурами. Фосфаты имеют разнообразную окраску и твердость в интервале 4,5–7,0.

подавляющее большинство фосфатов накапливается в осадочных породах (вивианит). Некоторые имеют магматическое происхождение (апатит) или образуются в зонах окисления медных месторождений (бирюза). Иногда фосфаты возникают в результате разложения органических веществ.

## Характеристика карбонатов, фосфатов, боратов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Карбонаты</b>				
Кальцит (известковый шпат) Исландский шпат $\text{CaCO}_3$	Тригональная	Осадочное преимущественно в морских бассейнах хемогенным и биогенным путем, гидротермальное, метаморфическое (мрамор)	Горные породы, состоящие из кальцита (известняк, мел), используются в строительной (производство цемента, силикатного кирпича, огнеупоров), стекольной, керамической, металлургической промышленности; исландский шпат – в оптике; мрамор – облицовочный материал	Россия (Московская, Белгородская, Курская области), Украина (Донбасс), Кавказ; мрамор – Россия (Урал); исландский шпат – Россия (Якутия), Узбекистан
Магнезит (магнезиальный шпат) $\text{MgCO}_3$	Тригональная	Гидротермальное, экзогенное – химическое выветривание богатых Mg горных пород	Магнезитовые огнеупоры, магнезиальные цементы, строительная штукатурка	Россия (Южный Урал)
Доломит (известняк горький) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Тригональная	Осадочное в соленосных водных бассейнах, редко гидротермальное	Строительный камень; производство огнеупоров, вяжущих материалов, стекла; в металлургии	Россия (Урал), Украина (Донбасс)
Сидерит (железный шпат) $\text{FeCO}_3$	Тригональная	Осадочное, реже гидротермальное	Руда на железо	Россия (Урал),
Арагонит $\text{CaCO}_3$	Ромбическая	Гидротермальное, экзогенное	Поделочный камень	Узбекистан
Витерит $\text{BaCO}_3$	Ромбическая	Гидротермальное	Получение бариевых соединений, глазурей, специальных стекол	Россия (Алтай)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Малахит (медная зелень) $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$	Моноклинная	Окисление медных сульфидных руд	Поделочный камень, изготовление красок	Россия (Урал), Казахстан
Азурит (медная синь) $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$	Моноклинная	Окисление медных сульфидных руд	Руда на медь, изготовление красок	Россия (Урал)
<b>Фосфаты</b>				
Апатит: хлорапатит и фторапатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})$	Гексагональная	Магматическое, гидротермальное	Производство фосфатных удобрений, стекольное, керамическое производство, получение эмалей	Апатит – Россия (Кольский полуостров); фосфорит – Казахстан, Россия (Саратовская область)
Вивианит $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Экзогенное – за счет органики	Синяя краска	Украина (Крым)
<b>Бораты водные</b>				
Бура $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Осадочное в соляных озерах	Получение бора, производство стекла, эмалей, глазурей	Украина (Крым), Азербайджан
Гидроборатит $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Осадочное хемогенное	Получение бора, боросиликатных глазурей, стекло	Казахстан

**Бораты.** Известно около 80 представителей этого класса, но в строении земной коры они играют незначительную роль. Основная масса бора сосредоточена в силикатах. Преобладают бораты Ca, Mg, Na, образующие соли различных борных кислот: метаборной  $\text{HBO}_2$ , ортоборной  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , тетраборной  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  и полиборных кислот –  $\text{H}_4\text{B}_6\text{O}_{11}$ ,  $\text{H}_6\text{B}_8\text{O}_{15}$ . В состав боратов часто входит вода.

В структурном отношении бораты представлены треугольными плоскостными группами  $[\text{BO}_3]^{3-}$ , в которых бор находится в центре равностороннего треугольника, а кислород – в его вершине. Соединяясь между собой, эти группы могут образовывать кольцевые, цепочечные и ленточные структуры. Большинство минералов имеет цепочечную структуру, что обуславливает игольчатую и призматическую форму кристаллов.

Физические свойства боратов близки: они обычно бесцветны или белого цвета, прозрачны, имеют стеклянный блеск, небольшую плотность (1,70–2,10 г/см<sup>3</sup>) и твердость (не выше 4,5), почти все легко разлагаются в  $\text{HCl}$ , многие растворяются в воде, окрашивают пламя в зеленый цвет за счет выделения  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Бораты образуются преимущественно экзогенным путем (бура, гидроборацит и др.), реже гидротермальным путем.

Основные диагностические характеристики карбонатов, фосфатов, боратов приведены в табл. 18 и в табл. 1, 2 приложения.

## 2. Порядок выполнения работы

Пользуясь определителем минералов (табл. 1 приложения), произвести диагностику карбонатов, фосфатов и боратов, написать их кристаллохимическую формулу, определить и описать физические свойства, условия образования и применение. Результаты определения оформить в виде табл. 19.

Таблица 19

**Описание морфологических особенностей и свойств самородных элементов и сульфидов**

Наименование минерала и кристаллохимическая формула		Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
Твердость	Спайность, излом	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Реакция с 10%-ной $\text{HCl}$	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение	



## Контрольные вопросы

1. Какие общие свойства характерны для наиболее распространенных карбонатов?
2. По каким свойствам можно определить исландский шпат?
3. Как отличить кальцит, магнезит, доломит друг от друга?
4. В чем различия простых и сложных карбонатов?
5. Назовите области применения доломита и магнезита.
6. Напишите формулу основной углекислой соли меди. Составу какого минерала отвечает формула?
7. По каким признакам можно диагностировать фосфаты?
8. Укажите характерные структуры и свойства боратов.
9. Как отличить апатит от топаза, кварца?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов класса оксидов и гидроксидов, изучить их основные диагностические признаки, условия образования и области применения.

Оборудование и материалы: минералы класса оксидов и гидроксидов; определитель минералов; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; спиртовка; магнит; концентрированная и 10%-ная HCl; концентрированная KOH.

### 1. Общие сведения

В настоящее время известно примерно 200 минералов этого класса, которые составляют около 17% земной коры. Из них на долю кварца приходится 12,6%. Различают простые и сложные оксиды. Простые оксиды имеют общую формулу  $R_2O$ ,  $RO$ ,  $R_2O_3$  и  $RO_2$ , к сложным относятся комплексные оксиды, общая формула которых  $RO \cdot R_2O_3$  и  $RO \cdot R_2O_5$ . В гидроксидов неперменной составляющей является  $H_2O$  или анион  $(OH)^-$ .

Окраска минералов-оксидов зависит от их состава. Соединения Mg, Al и др. бесцветны или имеют аллохроматическую окраску. Большинство оксидов Fe, Mn, Cr и др. обычно густо окрашены в темные, до черных, цвета. При этом многие из них прозрачны или

просвечивают в тонких шлифах, обнаруживая преимущественно бурые и красные оттенки. Блеск таких минералов полуметаллический. Для некоторых оксидов характерны повышенные магнитные свойства (магнетит, гематит), иногда радиоактивность (U- и Th-содержащие).

В структурном отношении для большинства оксидов и гидроксидов характерен ионный тип связи. Кислород и гидроксильные группы обычно располагаются в вершинах тетраэдров и октаэдров, а катионы находятся в четверном или шестерном окружении кислорода. В зависимости от группировки атомов выделяют оксиды с координационными, островными, цепочечными, листовыми (слоевыми) и каркасными структурами. Среди оксидов широко распространено явление изоморфизма – гетеровалентного (титановые и тантало-ниобиевые соединения, оксиды железа) и изовалентного (между  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Nb}^{2+}$  и др.) типов.

Физические свойства оксидов находятся в прямой связи с их структурой. Многие из них, обладая прочным кристаллическим строением, имеют большую твердость (6–9 по шкале Мооса), высокую химическую стойкость, тугоплавкость, низкую растворимость. Плотность зависит от состава, особенно высока она у оксидов Sn, Ta и U.

Значительно меньшей прочностью характеризуются решетки гидроксидов со слоистыми кристаллическими структурами. Слабая связь между отдельными слоями обуславливает их спайность, по которой они легко расщепляются на тонкие листочки. Гидроксиды двухвалентных металлов имеют низкую твердость, которая увеличивается при замене катионами трехвалентных металлов. Твердость возрастает при наличии в структурах ионных групп  $[\text{OH}]^{3-}$ , например, у диаспора.

Форма нахождения оксидов в природе весьма разнообразна. Они встречаются как в виде хорошо образованных кристаллов (кварц, корунд, магнетит, рутил и др.), так и в виде сплошных зернистых масс и рыхлых или порошковидных агрегатов, часто скрытокристаллических (опал, халцедон, лимонит). Образуются оксиды как эндогенным путем – при магматических, пегматитовых и гидротермальных процессах (кварц, шпинель, рутил и др.) и при региональном и контактовом метаморфизме (корунд), так и в экзогенных процессах. Главная масса гидроксидов образуется в результате выветривания горных пород и окисления рудных минералов (гидраргиллит, лимонит), сосредотачиваясь в верхних частях земной коры, на ее границе с атмосферой, содержащей свободный кислород.

Основные диагностические характеристики оксидов и гидроксидов приведены в табл. 20, 21 и в определителе минералов (табл. 1, 2 в приложении).

Таблица 20

## Характеристика оксидов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Периклаз MgO	Кубическая	Контактово-пневматолитовое	Огнеупорная промышленность (периклазовые огнеупоры). Для промышленных целей получают обжигом магнезита	Россия (Урал)
Шпинель MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Кубическая	Контактово-метасоматическое, изредка магматическое	Производство абразивов, огнеупоров, ювелирных изделий	Россия (Урал, Забайкалье), Таджикистан (Памир)
Магнетит (магнитный железняк) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Титаномагнетит Хромомангнетит	Кубическая	Магматическое, контактово-метасоматическое, метаморфическое, встречается в магматических породах	Железная руда, цементная промышленность (корректирующая добавка), производство ферромагнитной керамики	Россия (КМА, Урал, Карелия, Кольский полуостров), Украина (Кривой Рог)
Хромит (хромистый железняк) FeCr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Хромшпинелиды (Mg, Fe) · (Cr, Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Кубическая	Магматическое в ультраосновных породах	Руда на хром, производство феррохрома, химическая промышленность	Россия (Урал), Армения
Перовскит CaTiO <sub>3</sub>	Кубическая	Магматическое, встречается в контактовых известняках	Производство титансодержащей керамики и сварных материалов	Россия (Урал)
Касситерит (оловянный камень) SnO <sub>2</sub>	Тетрагональная	Гидротермальное, контактово-метасоматическое	Руда на олово, производство красок, эмалей	Россия (Забайкалье), Казахстан
Пиролюзит (полиант) MnO <sub>2</sub>	Тетрагональная	Зоны окисления марганцевых минералов	Руда на марганец, стекольная, химическая промышленность	Украина, Грузия
Рутил TiO <sub>2</sub>	Тригональная	Магматическое, метаморфическое, встречается в пегматитовых жилах	В стекольной, огнеупорной промышленности, для получения особых сортов стали, белил	Россия (Урал), Казахстан
Корунд Рубин Сапфир Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Тригональная	Метаморфическое, иногда магматическое, присутствует в россыпях	Абразивный материал, огнеупорная, электротехническая промышленность, ювелирное производство	Россия (Урал), Казахстан

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Гематит (красный железняк, железный блеск) $Fe_2O_3$	Тригональная	Гидротермальное, контакто-пневматолитовое, метаморфическое (железистые кварциты)	Железная руда, цементная промышленность (корректирующая добавка), производство ферромагнитной керамики	Россия (Курская магнитная аномалия – КМА, Урал), Украина (Кривой Рог)
Ильменит (титанистый железняк) $FeTiO_3$	Тригональная	Магматическое	Руда на титан, производство ферротитана, титановых белил	Россия (Урал, Кольский полуостров)
Кварц Горный хрусталь Аметист Морион $SiO_2$	Тригональная ( $\alpha$ -кварц), гексагональная ( $\beta$ -кварц)	Магматическое, гидротермальное (кварцевые жилы), метаморфическое (кварцит), экзогенное при раскristализации гелей кремнезема, биогенное (диатомит), при выветривании горных пород (кварцевый песок)	Получение диасовых огнеупоров; фарфора, фаянса, химической посуды, ювелирных изделий; песок – наполнитель для бетона; кварциты, кварцевые песчаники – строительный и отделочный материал	Россия (Урал, Сибирь), Украина (Волынь), Казахстан, Грузия
Халцедон Агат Оникс $SiO_2$	Аморфная	Экзогенное при раскristализации гелей кремнезема, в эффузивных породах	Для изготовления ступок, подпятников весов, в ювелирном производстве	Россия (Урал, Вост. Сибирь), Украина (Крым), Грузия
Опал Благородный опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	Аморфная	Экзогенное – разложение силикатов при выветривании, гидротермальное в вулканических областях	Цементная промышленность (богатые опалом породы – трепелы, диатомиты, опоки), теплоизоляционный и шлифовально-полирующий материал, ювелирное производство	Россия (Урал, Саратовская обл., Камчатка), Грузия

**Характеристика гидроксидов**

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Брусит $Mg(OH)_2$	Тригональная	Гидротермальное изменение ультрабазитов, в доломитах	Сырье для получения магнезия, производство магнезитовых огнеупоров, стекольное производство	Россия (Урал, Сибирь)
Диаспор $Al_2O_3$ ( $AlO(OH)$ )	Ромбическая	Экзогенное – в корках выветривания силикатных пород, гидротермальное	Руда на глинозем (бокситы)	Россия (Урал), Узбекистан
Гетит (бурый железняк) $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ Лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	Ромбическая	Экзогенное – осадки минеральных источников, озер, болот, окисление железосодержащих минералов	Железная руда, производство керамических красок	Россия (Урал, Липецкая область), Украина (Крым, Кривой рог)
Гидраргиллит $Al(OH)_3$	Моноклинная	Экзогенное – в корках выветривания силикатных пород	Руда на глинозем (бокситы)	Россия (Урал, Ленинградская область)

**2. Порядок выполнения работы**

Пользуясь определителем минералов (табл. 1, 2 в приложении), произвести диагностику оксидов и гидроксидов, написать кристаллическую формулу, охарактеризовать физические свойства, описать условия образования и применения в производстве силикатных материалов. Результаты оформить в виде табл. 22.

**Описание морфологических особенностей и свойств оксидов и гидроксидов**

Наименование минерала и кристаллохимическая формула	Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
---	-----------------	---------------	-----------------------------	---------------	------------	-------

Окончание табл. 22

Твердость	Спайность, излом	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение
-----------	------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------	------------

## Контрольные вопросы

1. Назовите типы структур оксидов и гидроксидов, приведите примеры минералов различных структур.
2. Какие оксиды относятся к простым, какие – к сложным? Приведите примеры.
3. Чем обусловлена высокая твердость корунда? Назовите его полиморфные разновидности.
4. Охарактеризуйте различие в структуре химической связи рутила, кварца, халцедона.
5. Назовите специфические свойства гематита, лимонита, магнетита.
6. По каким признакам можно различить минералы групп  $\text{SiO}_2$  (кварц, халцедон, сердолик, агат, опал)? К какому еще классу минералов можно отнести  $\text{SiO}_2$ ?
7. Укажите окраску минералов и цвет черты следующей группы минералов: пиролюзит, гематит, магнетит, кварц, корунд, лимонит, рутил.
8. Назовите типы химических связей оксидов и гидроксидов.
9. Назовите области применения кварца и его разновидностей.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

## ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ ГАЛОГЕНИДОВ, НИТРАТОВ И СУЛЬФАТОВ

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов класса сульфатов, галогенидов и нитратов, определить их; изучить их основные диагностические признаки, условия образования и области применения.

Оборудование и материалы: минералы классов сульфатов, галогенидов и нитратов, шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка, спиртовка, концентрированная и 10%-ная  $\text{HCl}$ , концентрированные  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### 1. Общие сведения

**Галогениды.** К минералам этого класса относятся соли галоидоводородных кислот  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$  или соединения со сложными анионными группами  $[\text{AlF}_6]^{3-}$ ,  $[\text{SiF}_6]^{2-}$  и др. Всего известно около 120 минералов данного класса. Существенную роль в составе земной коры играют лишь хлориды  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$  (галит, сильвинит, карналлит) и фториды (флюорит, криолит и др.). Остальные соединения встречаются в малых количествах, чаще всего в виде изоморфных примесей, твердых растворов или продуктов присоединения к солям других кислот.

В чистом виде минералы класса галогенидов обычно прозрачны и бесцветны, но из-за присутствия механических примесей или образования твердых растворов с  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  приобретают разнообразную окраску: зеленую, сине-зеленую, желтую, красную. Галоиды тяжелых металлов (Ag, Cu, Hg) обычно окрашены в желтые цвета. Минералы этого класса отличаются совершенной спайностью, невысокой твердостью (2–4), хорошей растворимостью в воде, горько-соленым вкусом; большая часть галогенидов относится к диэлектрикам.

В подавляющем большинстве галоидные соединения легких металлов характеризуются типичной ионной связью, а галоиды тяжелых металлов имеют ковалентную связь. Галогениды типов AX и AX<sub>2</sub> характеризуются кубической и октаэдрической формами кристаллов. Низшие сингонии характерны лишь для галоидов тяжелых металлов, содержащих воду или гидроксильную группу. В соответствии со структурой среди галогенидов встречаются координационные, островные, слоистые, реже цепочечные представители, из которых наиболее распространены координационные.

Образуются галоидные минералы осадочным путем.

**Нитраты.** К данному классу относятся минералы – соли азотной кислоты. Их обычно называют селитрами. Все эти минералы относительно редкие, вместе с промежуточными минералами, в которых нитратная группа частично замещена сульфатной, известно 9 представителей этого класса. Важнейшее значение имеют нитраты щелочных металлов – Na и K (натриевая и калиевая селитры); подчиненную роль играют нитраты щелочноземельных металлов – Mg, Ca и Ba.

Обычно селитры встречаются в виде гелеобразных масс, выцветов, корочек, налетов. Для них характерна хорошая растворимость в воде, жгучий вкус. При нагревании с порошком угля селитры вспыхивают, особенно после предварительного просушивания.

Для нитратов характерна островная структура. Их структурной основой являются треугольные группы  $[\text{NO}_3]^-$ , которые соединяются друг с другом с помощью катионов.

**Сульфаты.** В природе известно около 120 минералов класса сульфатов, составляющих примерно 0,1% массы земной коры. Сульфаты – это соли серной кислоты, в состав которых входят щелочноземельные (Mg, Ca, Sr, Ba) и щелочные (K, Na) элементы, а также Pb, Cu, Fe, Al. Некоторые сульфаты содержат добавочные анионы  $[\text{PO}_4]^{3-}$ ,  $[\text{AsO}_4]^{3-}$  и др. Среди сульфатов выделяют безводные, водные и сложные – с добавочными анионами  $[\text{OH}]^-$ . Наиболее распространенными представителями класса сульфатов являются гипс, барит, целестин, ангидрит, алунит, мирабилит и др.

## Характеристика галогенидов, нитратов, сульфатов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Галогениды</b>				
Галит (каменная соль) NaCl	Кубическая	Экзогенное – химическое осадение из вод соленых озер и мелководных лагун	Пищевая, химическая промышленность, производство глазурей, эмалей, соляной кислоты, соды, хлора	Украина (Артемовское), Россия (Соликамск), Беларусь (Солигорск)
Сильвин KCl	Кубическая	Экзогенное – химическое осадение из вод соленых озер и мелководных лагун	Производство удобрений, химическая промышленность, производство эмалей и глазурей	Украина (Артемовск), Россия (Соликамск), Беларусь (Солигорск)
Флюорит (плавиковый шпат) CaF <sub>2</sub>	Кубическая	Гидротермальное, иногда экзогенное – отложения из соленосных растворов	Металлургическая, химическая промышленность – производство плавиковой кислоты, эмалей, глазурей, в оптике	Россия (Забайкалье, Московская область), Казахстан, Кыргызстан
Карналлит KMgCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Ромбическая	Экзогенное – химическое осадение из вод соленых озер	Сырье для получения удобрений	Россия (Соликамск), Беларусь (Солигорск)
Криолит Na <sub>3</sub> [AlF <sub>6</sub> ]	Моноклинная	Магматическое (в пегматитах)	Производство молочно-белого стекла, эмалей	Россия (Южный Урал)
<b>Нитраты</b>				
Селитра натриевая (чилийская, нитронатрит) NaNO <sub>3</sub> Селитра калиевая (индийская, нитрокалит) KNO <sub>3</sub>	Тригональная	Экзогенное (биохимическое разложение азотсодержащих органических веществ)	Производство минеральных удобрений, пищевая, стекольная промышленность, получение глазурей, взрывчатых веществ	Казахстан, Средняя Азия



Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Сульфаты</b>				
Барит (тяжелый шпат) $Ba[SO_4]$	Ромбическая	Гидротермальное, осадочное совместно с карбонатами	Утяжелитель в составе глинистых буровых растворов, химическая, бумажная, лакокрасочная промышленность, составная часть штукатурки для рентгенкабинетов	Западная Грузия, Туркмения
Целестин $Sr[SO_4]$	Ромбическая	Осадочное совместно с доломитом, гипсом	Химическая, стекольная промышленность, производство глазурей, керамики	Россия (Поволжье, Башкирия), Украина (Крым)
Англезит $Pb[SO_4]$	Ромбическая	Зоны окисления свинцово-цинковых месторождений	Свинцовая руда, производство стекла, глазурей, керамики	Россия (Урал, Забайкалье, Алтай)
Ангидрит $Ca[SO_4]$	Ромбическая	Осадочное из испаряющихся соленосных бассейнов	Производство цемента, применяется как отделочный и поделочный камень	Украина (Донбасс), Россия (Приуралье)
Алунит (квасцовый камень) $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$	Тригональная	Гидротермальное низкотемпературное	Сырье для получения квасцов, сульфата алюминия и оксида алюминия	Азербайджан, Россия (Урал)
Гипс $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	Моноклиная	Осадочное из испаряющихся соленосных бассейнов	Цементная промышленность, получение отливок, лепных украшений, штукатурных растворов, эмалей, глазурей	Украина (Донбасс), Россия (Приуралье, Башкирия), Дагестан, Туркменистан
Мирабилит (глауберова соль) $Na_2[SO_4] \cdot 10H_2O$	Моноклиная	Осадочное из испаряющихся соленосных бассейнов	Производство соды, стекольная промышленность, изготовление красок	Туркменистан (Кара-Богазгол), Казахстан

Несмотря на большое разнообразие сульфатов, число устойчивых и широко распространенных в земной коре минералов этого класса сравнительно невелико. Наиболее устойчивы сульфаты Ba, Sr и Pb.

Основной структурой сульфатов является тетраэдр  $[SO_4]^{2-}$ , в центре которого расположен ион серы, а в вершинах – ионы кислорода. В общую структуру такие группы соединяются с помощью катионов, добавочных анионов или молекул воды, вследствие чего возникают островные, цепочечные и слоистые типы структур. В зависимости от размеров катионов они имеют координации 6, 8 или 12. Структура сульфатов существенно изменяется, когда в их состав входит кристаллизационная вода. Общность кристаллической структуры сульфатов обуславливает их близкие химические и физические свойства: светлую, часто белую окраску, низкую твердость (менее 3,5), совершенную спайность, ромбическую или моноклинную сингонию; они практически не реагируют с 10%-ным раствором соляной кислоты.

Сульфаты образуются в основном осадочным путем или при гидротермальных процессах.

Основные диагностические характеристики минералов классов сульфатов, галогенидов и нитратов приведены в табл. 23 и в определителе минералов (табл. 1, 2 в приложении).

## 2. Порядок выполнения работы

Пользуясь определителем минералов (табл. 1, 2 в приложении), произвести диагностику минералов, написать кристаллохимическую формулу, охарактеризовать физические свойства, описать условия образования и применение в производстве силикатных материалов.

Результаты определения оформить в виде табл. 24.

Таблица 24

### Описание морфологических особенностей и свойств галогенидов, нитратов и сульфатов

Наименование минерала и кристаллохимическая формула	Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
---	-----------------	---------------	-----------------------------	---------------	------------	-------

Окончание табл. 24

Твердость	Спайность, излом	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение
-----------	------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------	------------

## Контрольные вопросы

1. На какие типы делятся сульфаты по составу?
2. Укажите основные типы структур сульфатов.
3. Какие минералы образует соединение  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ? Чем они отличаются?
7. Как отличить гипс от ангидрита?
4. Какой вид излома и спайности у различных форм кристаллического гипса (алебастра, селенита, пластинчатого гипса)?
5. В чем особенность свойств барита и алунита?
6. Какими общими особенностями структуры и свойств обладают галогениды?
7. В чем особенность структуры и свойств нитратов?
8. По каким диагностическим признакам можно отличать натриевую селитру от галита?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14 ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ СИЛИКАТОВ

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов класса силикатов, изучить их основные диагностические признаки во взаимосвязи с типами структур, области применения и условия образования.

Оборудование и материалы: минералы класса силикатов; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; концентрированные  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaOH}$ , лупа; спиртовка.

### 1. Общие сведения

Силикаты представляют собой наиболее многочисленный класс минералов, включающий в себя совместно с разновидностями до 500 представителей, что составляет около четверти всех известных минералов и около 85% массы земной коры. Силикаты весьма разнообразны как по своим физическим характеристикам, так и оптическим свойствам, которые определяются их внутренней структурой. Основой структуры силикатов является кремнекислородный тетраэдр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (рис. 26). Такие тетраэдры объединяются в группы, образующие различные типы кремнекислородных структур: островные (отдельные группы  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ) и отдельные кремнекислородные комплексы  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ , кольцевые, цепочечные, ленточные, листовые и каркасные.

Большинство силикатов (73%) кристаллизуется в низших сингониях (главным образом в моноклинной), реже (18%) встречаются силикаты, кристаллизующиеся в средних сингониях, а еще более редки (9%) силикаты кубической сингонии.

Аналогично оксидам силикаты – устойчивые минералы, трудно растворимые в воде и кислотах. Однако на земной поверхности они с течением времени разрушаются, часто образуя различные глинистые минералы.

**Островные силикаты.** Среди них различаются силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами и с изолированными группами тетраэдров.

Структурными единицами *силикатов с изолированными кремнекислородными тетраэдрами* являются кремнекислородные тетраэдры  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , расположенные изолировано друг от друга (рис. 26, а), которые связываются друг с другом только посредством катионов –  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , реже  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ , иногда  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{Th}^{4+}$ .

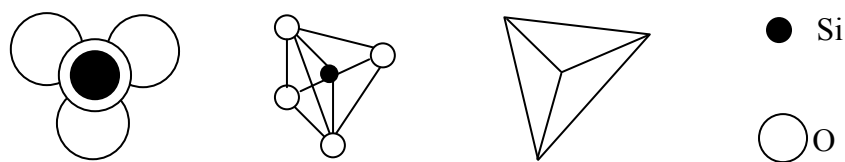


Рис. 26. Различные способы изображения кремнекислородного тетраэдра

Минералы данного подкласса нередко встречаются в виде хорошо образованных изометричных кристаллов, имеют высокую твердость (6,5–8), сильный блеск, высокие показатели преломления и часто повышенную температуру плавления. В большинстве своем они слабо окрашены, а окраску приобретают за счет хромофоров. При взаимодействии с HCl они образуют студенистый кремнезем.

Главными представителями островных силикатов с изолированными кремнекислородными тетраэдрами являются оливин, минералы группы граната (альмандин, пироп, андрадит и др.), группы кианита (кианит, андалузит, силлиманит), циркон, топаз, сфен.

Среди *силикатов с изолированными группами тетраэдров* могут быть выделены силикаты с изолированными группами  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$  – дисиликаты, структура которых образована обособленными парами кремнекислородных тетраэдров, содержащих по одному общему атому кислорода (рис. 27, б). Катионами этих силикатов являются преимущественно ионы с большими радиусами –  $\text{Ca}^{2+}$ ,

$\text{Na}^+$ ,  $\text{Ce}^{2+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Se}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{2+}$ , а в сложных соединениях – в комбинации с  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ .

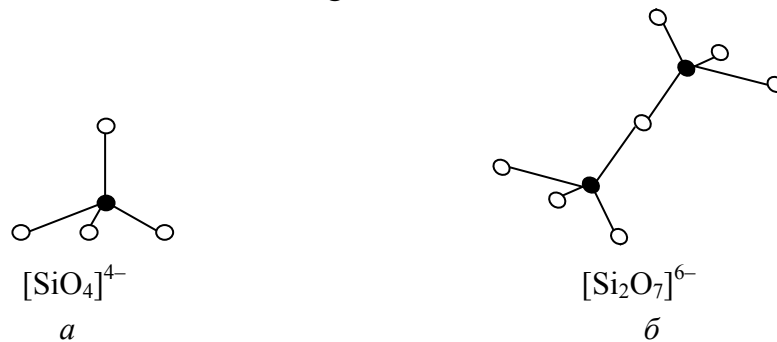


Рис. 27. Островной тип структуры силикатов:  
*a* – с единичными изолированными тетраэдрами; *б* – дисиликаты

Дисиликаты характеризуются высокими плотностью и показателем преломления. Твердость и кислотостойкость повышается с увеличением содержания Al и Be; при наличии Fe минералы интенсивно окрашиваются.

К силикатам с изолированными группами  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$  относятся эпидот и минералы группы мелилита (геленит, окерманит).

**Кольцевые силикаты.** Для силикатов с кольцевыми анионами характерно содержание изолированных групп  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , связанных в кольца (рис. 28). Такие кольцевые группировки могут состоять из 3, 4, 6, также 8 и 12 тетраэдров с анионными радикалами  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ ,  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ ,  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$  и др.

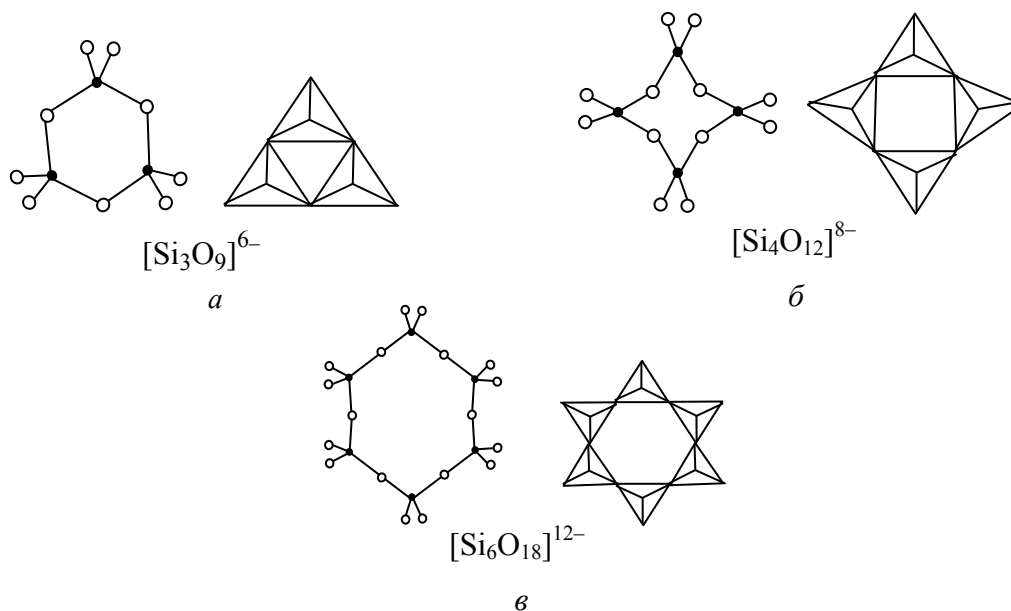


Рис. 28. Кольцевой тип структуры:  
*a* – трех-, *б* – четырех-, *в* – шестичленные обособленные кольца

К этому подклассу минералов относятся берилл, кордиерит, турмалин и др.

**Цепочечные силикаты.** Основу структуры силикатов этого подкласса образуют кремнекислородные цепочки – сочленения кремнекислородных тетраэдров  $[\text{SiO}_3]^{2-}$ , в которых два атома кислорода связаны с кремнием полностью, а два другие – лишь наполовину (рис. 29). Соединение в структуре кристалла осуществляется посредством катионов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , иногда  $\text{Li}^+$ , а также  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  за счет свободной валентности кислорода. Радикалом этих силикатов является бесконечная цепочка из кремнекислородных тетраэдров  $[\text{SiO}_3]^{2-}$  или  $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$  и более сложных. Среди анионов в цепочечных силикатах, кроме  $[\text{SiO}_4]^{6-}$ , может присутствовать радикал  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ , а также  $[\text{OH}]^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ .

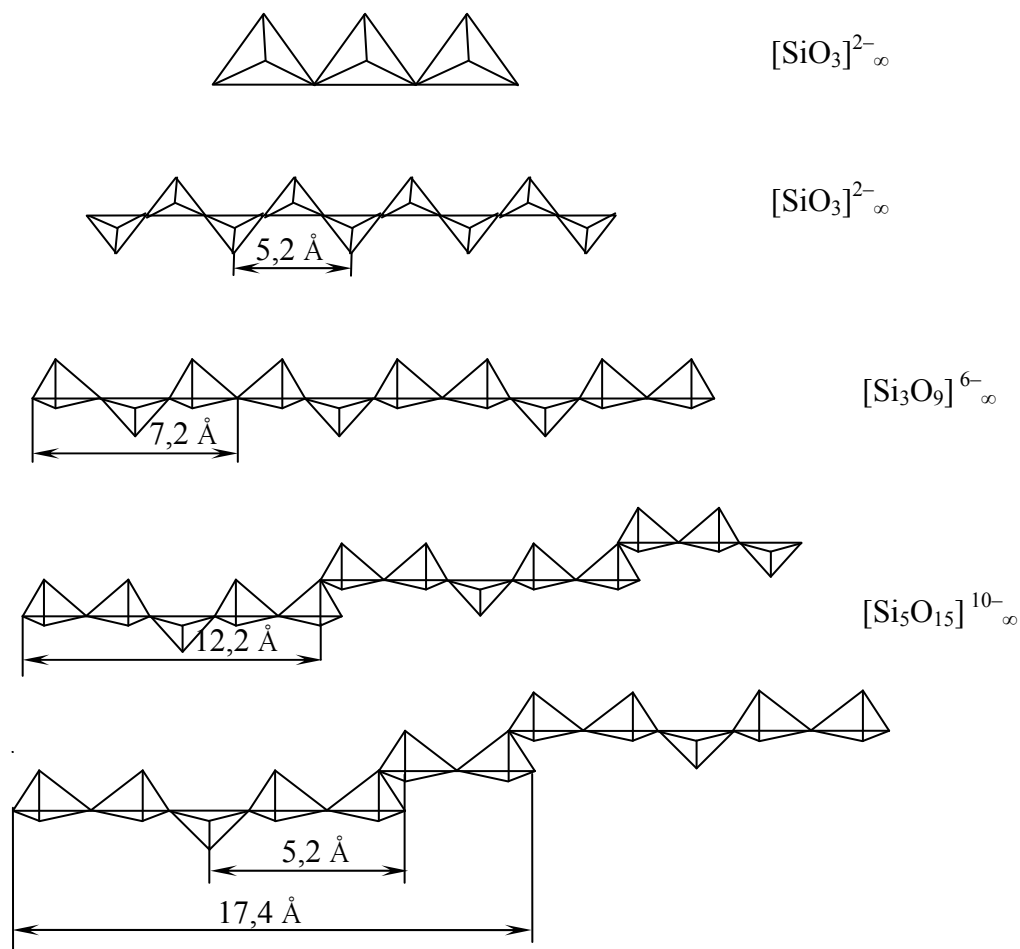


Рис. 29. Цепочечный тип структуры

Главнейшими представителями цепочечных силикатов являются пироксены (энстатит, гиперстен, диопсид, авгит).

**Ленточные силикаты.** К этой группе относятся силикаты, основу структуры которых составляют обособленные пояса или ленты, представляющие собой свободные цепочки. Радикал для этого типа силикатов  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$  или  $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]^{10-}$  (рис. 30). В каждом кольце ленты присутствует один анион  $[\text{OH}]^-$ , иногда  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$ .

Наиболее распространенными минералами ленточных силикатов являются минералы группы амфиболов (роговая обманка, тремолит, актинолит, антофиллит). К силикатам, имеющим анионную группу  $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]^{10-}$ , относятся пироксеноиды – волластонит и родонит.

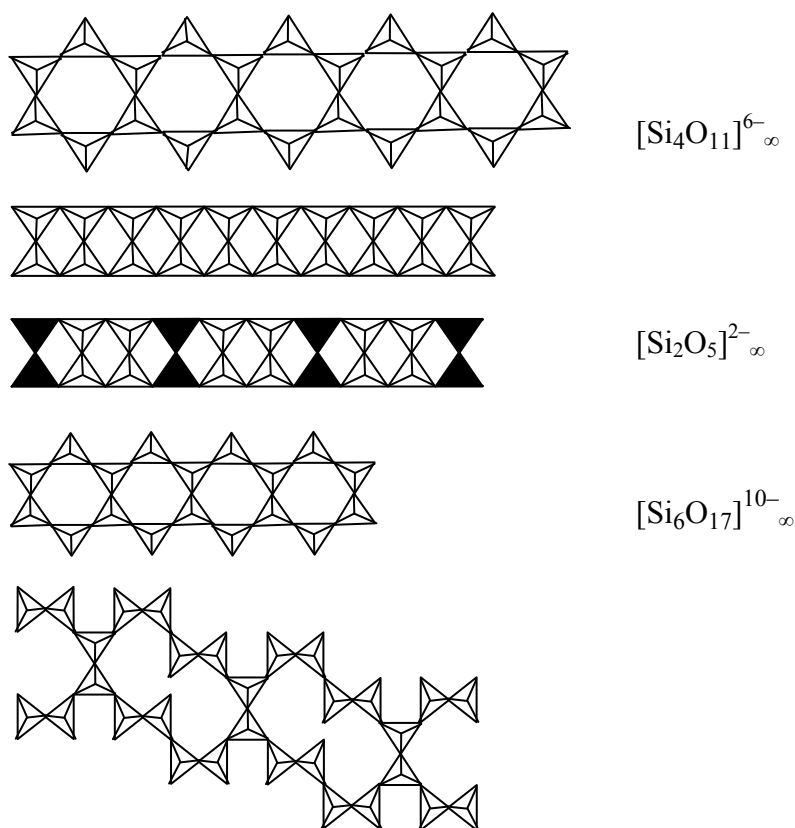


Рис. 30. Ленточная структура

**Слоистые силикаты.** К ним относятся минералы слоевой (листовой) структуры, состоящие из кремнекислородных тетраэдров  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$  (рис. 31), образующих слои, которые связаны друг с другом катионами. Главными из них являются  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ , при этом  $\text{Mg}^{2+}$  часто замещается  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , реже  $\text{Mn}^{2+}$ . Иногда место  $\text{Al}^{3+}$  занимает  $\text{Fe}^{3+}$ , реже  $\text{Cr}^{3+}$  или  $\text{V}^{3+}$ . В тех случаях, когда в радикале  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$  часть ионов  $\text{Si}^{4+}$  замещена ионами  $\text{Al}^{3+}$  (тетраэдры  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  частично заменены на тетраэдры  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ), в состав минерала входят дополнительные крупные катионы  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , а также молекулы воды.

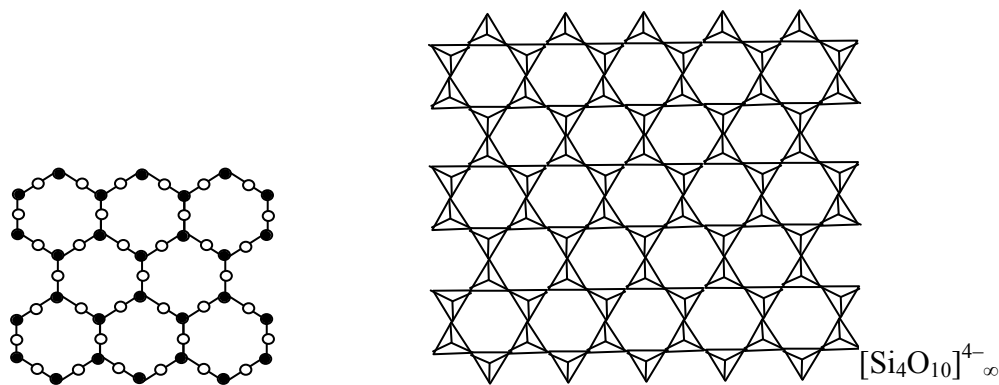


Рис. 31. Листовой тип структуры

Для минералов этого подкласса характерно наличие в их составе группы  $[\text{OH}]^-$ , нередко вместе с  $\text{F}^-$ . В химическом отношении эти минералы являются гидроксилсодержащими силикатами Mg, Fe, K и других элементов.

Физические свойства минералов данного класса находятся в прямой зависимости от их структуры. Для них характерна совершенная спайность, благодаря чему они легко расщепляются на тонкие листочки и чешуйки вследствие того, что связь внутри кремнекислородных слоев намного прочнее, чем между отдельными кремнекислородными слоями, где она осуществляется в основном катионами.

Главными представителями листовых силикатов являются минералы группы слюд (мусковит, биотит, флогопит), тальк, пирофиллит, минералы группы глин (каолинит, галлуазит, монтмориллонит, хлорит, серпентин), минералы группы гидрослюд (глауконит, вермикулит).

**Каркасные силикаты и алюмосиликаты.** Основой структуры каркасных силикатов является непрерывный трехмерный каркас из связанных между собой кремнекислородных тетраэдров. Атомы

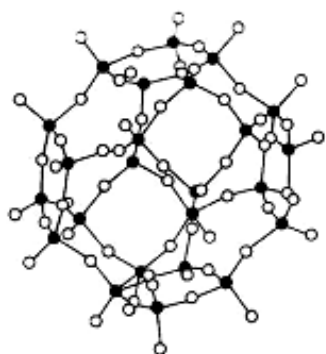


Рис. 32. Каркасный тип структуры

кислорода всех тетраэдров являются общими, поэтому в чистой структуре такого типа все связи кремния насыщены кислородом, и возможность вхождения в структуру других атомов в данном случае исключается (рис. 32).

В том случае, когда часть четырехвалентного кремния в кремнекислородном тетраэдре замещается трехвалентным алюминием, появляется одна ненасыщенная связь, компенсируемая другими металлическими катионами –  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , реже  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Rb}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^{2+}$ .



## Характеристика силикатов

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Силикаты с изолированными тетраэдрами [SiO<sub>4</sub>] (островные)</b>				
Циркон Zr[SiO <sub>4</sub> ]	Тетрагональная	Магматическое, иногда россыпи	Изготовление кислото- и огнеупорных тиглей, посуды, эмалей, устойчивых красок	Россия (Урал)
Оливин (Mg, Fe) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] Форстерит Mg <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] Фаялит Fe <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	Ромбическая	Магматическое, метаморфическое (в доломитовых мраморах)	Изготовление форстеритовых огнеупоров, ювелирное производство	Россия (Урал, Забайкалье), Закавказье
Топаз («тяжеловес») Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ](F, OH) <sub>2</sub>	Ромбическая	Гидротермальное, пневматолитовое – пегматиты, грейзены	Ювелирное производство	Россия (Урал, Вост. Сибирь), Украина (Вольнь)
Андалузит Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]O	Ромбическая	Метаморфическое	Высокоглиноземистое сырье, производство огнеупорных изделий, футеровка печей	Казахстан (Семиз-Бугу)
Силлиманит Al[SiAlO <sub>5</sub> ]	Ромбическая	Контактово-метаморфическое	Высокоглиноземистое сырье, производство огнеупорных изделий, футеровка печей	Россия (Кольский полуостров)
Ставролит Fe <sup>2+</sup> Al <sub>4</sub> [SiO <sub>4</sub> ]O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	Ромбическая	Метаморфическое	Практического применения не имеет	Россия (Урал, Таймыр)
Кианит (дистен) Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]O	Триклинная	Метаморфическое	Высокоглиноземистое сырье, производство огнеупорных изделий, футеровка печей	Россия (Кольский полуостров, Урал)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Гранаты: пироп $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$ альмандин $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$ гроссуляр $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$ андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ уваровит $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$	Кубическая	Контактово-метасоматическое (в скарнах), метаморфическое (в кристаллических сланцах), иногда магматическое	Абразивные материалы, ювелирное производство (полудрагоценные камни)	Россия (Урал), Закавказье
Сфен (титанит) $CaTi[SiO_4]O$	Моноклинная	Магматическое, метаморфическое	Сырье для получения оксида титана, производство красок	Россия (Урал, Кольский полуостров)
<b>Силикаты с изолированными группами тетраэдров <math>[SiO_4]</math> (кольцевые)</b>				
Берилл Аквамарин Изумруд $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	Гексагональная	Магматическое (в пегматитах)	Руда на бериллий, ювелирное производство	Россия (Урал, Забайкалье)
Турмалин $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_3Al_3Si_6O_{27}](OH)_2$	Тригональная	Магматическое (в пегматитах), гидротермальное	Ювелирное производство, радиотехника	Россия (Урал, Забайкалье), Средняя Азия
Данбурит $CaB_2[SiO_4]_2$	Ромбическая	Контактно-метаморфическое	Производство стекол, керамических изделий	Украина (Крым), Россия (Сибирь)
Кордиерит (иолит) $Al_3(Mg, Fe)_2 \cdot [Si_5AlO_{18}]$	Ромбическая	Метаморфическое (в гнейсах, сланцах)	Изготовление кордиеритовой керамики	Россия (Забайкалье, Урал)
Волластонит (дощатый шпат) $Ca_3[Si_3O_9]$	Триклинная	Контактово-метасоматическое (в мраморах)	Высококачественная керамика, глазури, эмали, материал для теплоизоляции	Россия (Урал), Северный Казахстан
Родонит (орлец) $(Mn, Ca)[SiO_3]$	Триклинная	Контактово-метасоматическое	Поделочный и облицовочный камень	Россия (Урал)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Силикаты с непрерывными цепочками тетраэдров [SiO<sub>4</sub>] (цепочечные)</b>				
Энстатит Mg <sub>2</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	Моноклинная	Магматическое	Энстатитовая керамика	Россия (Урал, Сибирь), Кавказ
Диопсид CaMg[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	Моноклинная	Магматическое, контактово-метасоматическое, метаморфическое	Производство облицовочной керамики, ситаллов, кислотоупорных и футеровочных материалов	Россия (Урал, Сибирь, Кольский полуостров), Средняя Азия
Авгит Ca(Mg, Fe, Al)[(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	Моноклинная	Магматическое, контактово-метасоматическое	Производство кислотоупорных материалов	Россия (Урал)
Сподумен LiAl[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	Моноклинная	Магматическое	Производство специальных стекол, ситаллов, огнеупорных изделий	Россия (Забайкалье), Казахстан
<b>Силикаты с двойными цепочками тетраэдров [SiO<sub>4</sub>] (ленточные)</b>				
Тремолит Асбест волокнистый Ca <sub>2</sub> Mg <sub>3</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	Моноклинная	Метаморфическое	Теплоизоляционный материал	Россия (Урал, Прибайкалье)
Актинолит (лучистый камень), нефрит скрытокристаллический, асбест Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>5</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	Моноклинная	Метаморфическое	Производство кислотоупоров, ювелирное производство	Россия (Урал, Прибайкалье), Средняя Азия
Роговая обманка Ca <sub>2</sub> Na(Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> ) [(Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	Моноклинная	Магматическое, метаморфическое	Керамическое производство	Россия (Урал, Забайкалье), Беларусь (Микашевичи)
Эпидот Ca <sub>2</sub> (Al, Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> ](OH)	Моноклинная	Метаморфическое, гидротермальное	Поделочный камень	Россия (Южный Урал)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Силикаты с непрерывными слоями тетраэдров [SiO<sub>4</sub>] (листовые)</b>				
Тальк (стеатит, жировик) $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	Моноклинная	Гидротермальное изменение богатых магнием ультраосновных пород	Производство электротехнической (стеатитовой) и кордиеритовой керамики, глазурей, кислото- и огнеупорных материалов	Россия (Урал, Забайкалье)
Флогопит (магнезиальная слюда) $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Моноклинная	Контактово-метасоматическое, магматическое (в пегматитах), метаморфическое (в кристаллических сланцах)	Электропромышленность (изоляторы), производство огнестойких строительных материалов, керамических изделий	Россия (Забайкалье, Вост. Сибирь)
Биотит (черная железисто-магнезиальная слюда) $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Моноклинная	Магматическое, метаморфическое	Практического значения не имеет	Россия (Урал, Забайкалье)
Мусковит (белая калийная слюда) Серицит – скрыточешуйчатый $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	Моноклинная	Магматическое, гидротермальное, метаморфическое (в гнейсах, кварцитах)	Электропромышленность (изоляторы), производство огнестойких строительных материалов, керамических изделий	Россия (Карелия, Восточная Сибирь, Урал)
Хлорит $(Mg, Fe)_{4-5}Al_{1-2}[Al_{1-2}Si_{2-3}O_{10}](OH)_8$	Моноклинная	Гидротермальное низкотемпературное, метаморфическое	Бумажное производство	Россия (Урал)
Вермикулит $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$	Моноклинная	Химическое выветривание и гидротермальное изменение биотита, флогопита	Тепло- и звукоизоляционный материал, легкий наполнитель бетона	Россия (Урал)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Глауконит $K_{<1}(Fe^{+3}, Fe^{2+}, Al, Mg)_{2-3}$ $[Si_3(Si, Al)O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$	Моноклинная	Осадочное	Калийные удобрения, стойкая зеленая краска, умягчитель жесткой воды	Россия (Поволжье), Беларусь, Украина
Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	Моноклинная	Химическое выветривание алюмосиликатных горных пород	Производство керамики (фарфор, фаянс), огнеупоров, цементного клинкера	Украина, Россия (Урал)
Монтмориллонит $m\{Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot p\{(Al, Fe^{3+})_2[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot nH_2O$	Моноклинная	Химическое выветривание основных пород	Производство керамики, очистка нефтепродуктов, изготовление текстиля, резины, бумаги, мыла и др.	Украина (Крым), Россия (Нальчик, Куйбышевская область), Грузия
Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Моноклинная	Гидротермальное изменение ультраосновных пород	Изготовление форстеритовых огнеупоров, облицовочный камень	Россия (Урал), Закавказье
Галлуазит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \cdot 4H_2O$	Моноклинная	Химическое выветривание основных пород	Практического значения не имеет	Россия (Урал), Украина (Кривой Рог)
Аллофан $mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot pH_2O$	Аморфная	Экзогенное – в зонах окисления рудных месторождений и пород	Керамическая промышленность, производство неорганических красителей	Россия (Урал, Хакассия, Нальчик), Таджикистан
<b>Силикаты с непрерывными трехмерными каркасами из тетраэдров <math>[(Si, Al)O_4]</math> (каркасные)</b>				
Плагиоклазы $(100 - n)NaAlSi_3O_8 + nCaAl_2Si_2O_8$ Альбит (натриевый полевой шпат) $Pl_{0-10}$ Олигоклаз $Pl_{10-30}$ Андезин $Pl_{30-50}$ Лабрадор $Pl_{50-70}$ Битовнит $Pl_{70-90}$ Анортит (кальциевый полевой шпат) $Pl_{90-100}$	Триклинная	Магматическое, метаморфическое, в пегматитовых жилах	Керамическая промышленность, облицовочный камень (лабрадор)	Россия (Урал, Забайкалье, Карелия), Украина (Волынь)

Минерал	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
Ортоклаз (калиевый полевой шпат) Адуляр $K[AlSi_3O_8]$	Моноклинная	Магматическое в кислых породах, в пегматитах	Стекольная, керамическая промышленность	Россия (Урал), Украина
Микроклин (калиевый полевой шпат) Амазонит $K[AlSi_3O_8]$	Триклинная	Магматическое в кислых породах, в пегматитах, метасоматическое	Стекольная, керамическая промышленность	Россия (Урал, Карелия), Украина (Волянь), Беларусь (Микашевичи)
Цельзиан (бариевый полевой шпат) $Ba[Al_2Si_2O_8]$	Моноклинная	Контактово-метаморфическое	Производство специальных фарфоров и огнеупоров	Россия (Слюдянка)
Нефелин $Na[AlSiO_4]$	Гексагональная	Магматическое в щелочных породах	Источник алюминия, получение стекол высокой термической и механической стойкости, заменитель ортоклаза в керамике	Россия (Урал, Кольский полуостров), Таджикистан
Лазурит (ляпис-лазурь, лазоревый камень, ультрамарин) $Na_8[AlSiO_4]_6[SO_4]$	Кубическая	Контактово-метасоматическое	Поделочный камень, природная синяя краска	Россия (Слюдянка), Таджикистан
Натролит (натровый камень) $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$	Ромбическая	Гидротермальное низкотемпературное	Катализаторы, «молекулярные сита», очистка питьевой воды, удобрения	Россия (Урал), Украина (Крым), Кавказ

Так, при замещении одной четверти атомов кремния атомами алюминия группа  $[\text{Si}_4\text{O}_8]$  замещается группой  $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^-$ . Одна валентность кислорода остается ненасыщенной, алюмокремниевая группа сохраняет устойчивость лишь при введении в решетку дополнительных катионов, например, калия –  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ . Такое строение имеет микроклин и ортоклаз. При замене в такой группе  $[\text{Si}_4\text{O}_8]$  половины кремния алюминием возникают две ненасыщенные связи и алюмокремниевая группа  $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]^{2-}$  получает два заряда, что дает возможность внедрения в решетку иона кальция –  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ . Такое строение имеет анортит.

Примером каркасных силикатов являются минералы группы полевых шпатов (альбит, микроклин, ортоклаз, анортит, цельзиан), группы фельдшпатоидов (лейцит, нефелин, лазурит, содалит), группы цеолитов (натролит). Плаггиоклазами называют минералы, образованные изоморфной смесью альбита  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  и анортита  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ . Номер плаггиоклаза указывает на массовое содержание анортита (An) в молекуле минерала в процентах. По содержанию анортита различаются собственно анортит (90–100% An), битовнит (70–90% An), лабрадор (50–70% An), андезин (30–50% An), олигоклаз (10–30% An) и альбит (0–10% An).

Основные диагностические признаки силикатов приведены в табл. 25 и в определителе минералов (табл. 1, 2 в приложении).

## 2. Порядок выполнения работы

Пользуясь определителем минералов (табл. 1, 2 в приложении), произвести диагностику силикатов, написать кристаллохимическую формулу, охарактеризовать физические свойства, описать условия образования и применение в производстве силикатных материалов.

Результаты оформить в виде табл. 26.

Таблица 26

### Описание морфологических особенностей и свойств силикатов

Наименование минерала и кристаллохимическая формула	Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
---	-----------------	---------------	-----------------------------	---------------	------------	-------

Окончание табл. 26

Твердость	Спайность, излом	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение	Месторождения
-----------	------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------	------------	---------------

## Контрольные вопросы

1. Назовите типы структур силикатов.
2. Охарактеризуйте особенности строения дисиликатов.
3. Чем отличаются пироксены от амфиболов?
4. В чем особенность структуры волластонита и родонита?
5. Напишите формулу кальциевого силиката кольцевой структуры с тремя звеньями в кольце из кремнекислородных тетраэдров.
6. Напишите формулу альбита – натриевого силиката, в котором алюминием замещена одна четвертая часть атомов кремния.
7. Напишите формулу нефелина – натриевого силиката каркасной структуры, в котором половина кремния замещена алюминием.
8. Охарактеризуйте плагиоклаз № 70.
9. Как отличать микроклин от ортоклаза?
10. Чем отличаются полевые шпаты от фельдшпатоидов? Приведите примеры минералов обеих групп.
11. Охарактеризуйте особенности строения минералов семейства цеолитов.
12. Охарактеризуйте группу глинистых минералов.
13. К какому типу структуры силикатов относится полевой шпат, мусковит, монтмориллонит?
14. По каким признакам определяют тальк и хризотил-асбест?
15. Какие силикаты могут встречаться при кристаллизации стекол, содержащих оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ?



### 3. ПЕТРОГРАФИЯ

Знание горных пород, используемых наряду с минералами в качестве основного сырья для силикатного и химического производства, является необходимым условием при изучении специальных курсов и в последующей инженерной деятельности.

Петрография – наука о горных породах, их минеральном и химическом составе, их структурах и текстурах, распространении, условиях залегания, происхождения и изменения в земной коре и на поверхности.

**Горная порода** – выдержанная ассоциация минеральных зерен или агрегатов зерен определенного состава и строения, сформированных в близких геологических условиях в земной коре или на ее поверхности. Горные породы образуют геологические тела, которые характеризуются определенной формой, объемом и условиями залегания. В настоящее время известно около тысячи разновидностей горных пород, которые по условиям образования (генезису) разделяются на 3 класса.

**Магматические**, или изверженные, горные породы образуются в результате охлаждения и кристаллизации магм (флюидно-силикатных расплавов) в недрах Земли (плутонические или интрузивные породы) или на ее поверхности (вулканические породы).

**Осадочные** породы возникают в результате поверхностных (экзогенных) процессов механического, химического или биологического разрушений других пород с последующим отложением материала и его уплотнением или в результате жизнедеятельности организмов в условиях поверхностной температуры и давления.

**Метаморфические** породы образуются в результате преобразования (перекристаллизации, минералогического или химического изменения) горных пород под влиянием изменившихся физико-химических условий.

Горные породы состоят из одного или нескольких минералов. Минералы, составляющие основную массу породы, называются породообразующими, а присутствующие в виде примесей (<2–3%) – акцессорными.

**Породообразующие минералы** разделяются на две группы: *силикатные* (бесцветные) и *мафические* (феррические, темноцветные). К первой группе относятся кварц, полевые шпаты, фельдшпатоиды (нефелин, лейцит), ко второй – железомagneзиальные (титаномagneтит, оливин, ромбический пироксен, биотит, бескальциевый гранат,

кордиерит) и известково-магнезиальные (моноклинные пироксены, амфиболы). В аксессуарных количествах встречаются чаще всего циркон, апатит, рутил, ильменит и др.

Среди горных пород выделяются мономинеральные, состоящие из одного минерала (кварцит сложен кварцем, мрамор состоит из кальцита), и полиминеральные, в состав которых входит несколько минералов (гранит состоит из полевого шпата, кварца, слюды).

Условия формирования горных пород находят отражение в их структуре и текстуре.

**Структура** – это особенность внутреннего строения породы, определяемая размерами, формой и взаимными отношениями составных частей породы (минералов, обломочных зерен, стекла и пр.).

**Текстура** определяется общим обликом породы, расположением и распределением минеральных агрегатов, вызванных особенностями кристаллизации, осадконакопления или внешними воздействиями.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15 ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: изучение основных типов магматических горных пород, их диагностических свойств, особенностей структуры и текстуры, а также с применением их в производстве различных силикатных материалов.

Материалы и оборудование: образцы горных пород; таблица классификации горных пород; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; микроскоп; лупа.

### 1. Общие сведения

Магматическими, или изверженными, горными породами являются продукты застывания магматических расплавов глубинного происхождения. Выделяются две главнейшие группы магматических пород: **интрузивные**, или внедрившиеся, образовавшиеся под покровом вышележащих толщ на разных глубинах от поверхности, и **вулканические** (эффузивные – излившиеся и пирокластические), накопившиеся на поверхности Земли из материала, извергнутого при вулканических процессах. Каждой группе глубинных пород соответствуют их излившиеся аналоги. Например, аналогами глубинных гранитов являются риолиты, аналогами габбро – базальты.

Магматические породы различаются по формам залегания, структурным и текстурным особенностям, минеральному и химическому составу.

**Формы залегания.** Для *интрузивных пород*, образующихся при застывании магмы на глубине, характерны интрузивные массивы. Среди них различают согласные с вмещающими породами (конкордантные) и несогласные, пересекающие пласты вмещающих горных пород (дискордантные).

Согласные интрузивы:

*Силлы* – интрузивные залежи пластовой формы, залегающие параллельно напластованию вмещающих пород.

*Лакколиты* – интрузивные тела плоско-выпуклой формы, имеющие плоское основание и куполообразный верх.

*Лополиты* – интрузивные тела чашеобразной формы.

Несогласные интрузивы:

*Батолиты* – крупные интрузивные массивы неправильной в плане формы с куполообразной кровлей, имеющие вертикальную мощность 4–5 км и более.

*Штоки* – интрузивные тела, имеющие значительное протяжение на глубину, крутые стенки и изометричное поперечное сечение.

*Дайки* – интрузивные тела, ограниченные почти параллельными крутопадающими стенками и обладающие длиной, во много раз превосходящей его мощность; образуются в результате заполнения магматическим расплавом трещин в земной коре.

*Жилы* по форме близки к дайкам, но в отличие от них имеют не параллельные ограничения, а неправильные, волнистые; различают простые жилы (одна) и сложные, когда несколько жил соединяются вместе.

Типичными формами залегания *эффузивных пород* являются покровы и потоки.

*Покровы* – плоские тела, имеющие широкое площадное распространение и относительно малую мощность, сформированные преимущественно при излиянии жидкой лавы.

*Потоки* – узкие удлиненные в плане и относительно маломощные тела горной породы, образовавшиеся из затвердевшей лавы.

*Купола* представляют собой выведенные на земную поверхность массы вязкой лавы, имеющей в верхней части сферическую поверхность, а у подножия крутые склоны; высота купола может достигать многих сотен метров.

Помимо лав продуктами извержений являются *пирокластические породы* (туфы, вулканические брекчии), представляющие собой

раздробленную еще в горячем состоянии на обломки разной величины лаву, выброшенную из кратера вулкана взрывной волной и выпавшую на поверхность. При смешении пирокластического материала с осадочным образуются **вулканогенно-осадочные породы** (туффиты, туфогенные песчаники).

**Структуры.** В зависимости от условий формирования магматические породы имеют разную структуру.

**По степени кристалличности** различаются три главных типа структур:

*полнокристаллические*, характерные для интрузивных пород, формирующихся на глубине, где процесс охлаждения и кристаллизации магматического расплава идет медленно, что обеспечивает его полную кристаллизацию;

*неполнокристаллические*, свойственные породам, которые образуются вблизи поверхности Земли или на ней и содержат наряду с кристаллами минералов стекло;

*стекловатые*, возникающие в результате быстрого охлаждения расплава и резкой потери летучих веществ при излиянии его на поверхность во время вулканического извержения; кристаллическая фаза представлена редкими (до 5%) микроскопическими зернами – микролитами.

Для пирокластических пород характерны *витрокластическая, кристаллокластическая и литокластическая* структуры, образованные соответственно обломками вулканического стекла, кристаллов и эффузивных пород.

**По крупности зерен минералов** полнокристаллические породы подразделяются на гигантозернистые (>10 мм), крупнозернистые (5–10 мм), среднезернистые (1–5 мм) и мелкозернистые (<1 мм).

**По относительной величине** слагающих породу минеральных зерен различаются структуры:

*равномернозернистые* с одинаковым размером минеральных зерен;  
*неравномернозернистые*, состоящие из зерен различной величины;  
*порфировидные*, когда в мелко-, средне- или крупнозернистой основной массе породы присутствуют более крупные зерна;

*порфировые* – в мелко-, тонкозернистой или стекловатой основной массе содержатся кристаллы (вкрапленники), размеры которых в 10–15 раз превышают величину зерен в основной массе.

**Текстуры.** В зависимости от взаимного расположения минеральных агрегатов, слагающих горную породу, и способа заполнения ими пространства различаются однородные и такситовые текстуры.

При *однородной текстуре* все породообразующие минералы распределены равномерно, и любые участки породы одинаковы по составу и структуре. Породы с однородной текстурой могут быть массивными или пористыми. *Массивные текстуры* характерны для интрузивных пород. Специфической структурой является *пегматитовая* (графическая), характеризующаяся наличием в крупных выделениях одного минерала одинаково ориентированных вростков другого, которые в плоскости скола (или шлифа) имеют очертания, напоминающие клинопись. Формирование структуры связывается с одновременной (эвтектической) кристаллизацией двух минералов. *Пористые текстуры* типичны для эффузивных пород и являются следствием присутствия в относительно вязкой лаве пузырьков газа. По мере увеличения количества пор говорят о *пузыристой* и *пемзовой* текстуре. При заполнении пор минералами (опалом, кварцем, карбонатами и др.) получается *миндалекаменная* текстура.

*Такситовая текстура* характеризуется колебаниями состава и (или) структуры породы в пространстве и может быть обусловлена появлением неоднородностей при кристаллизации расплава, его движении. В последнем случае возникают *полосчатые* и *линейные* текстуры, которые особенно отчетливо проявляются в эффузивных породах и называются *флюидальными*.

Магматические горные породы различаются по минеральному и химическому составу.

**Минеральный состав.** Преобладающими породообразующими минералами изверженных пород являются полевые шпаты, кварц и темноцветные минералы – пироксен, оливин, амфибол, биотит. Количественное содержание этих минералов в различных породах неодинаково (табл. 27).

Таблица 27

**Минеральный и химический состав (мас. %) магматических пород нормального ряда**

Породы	Минеральный состав				Химический состав	
	кварц	калиевый полевой шпат	плагиоклаз	темноцветные минералы	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
Ультраосновные	–	–	–	100	33–45	0–1,5
Основные	<5	<5	35–65	35–65	45–52	0,5–4,0
Средние	5–20	1–5	55–95	5–40	52–63	<5,0–7,5
Кислые	20–60	40–90	65–90	<5–15	64–75	7,5–8,1
Ультракислые	20–60	40–90	10–60	<5	>75	7,5–8,1

**Основные диагностические признаки магматических горных пород**

Породы	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав, мас. %	Применение
<b>Ультраосновные породы</b>					
Дунит	Темно-зеленый, черный	Крупнозернистая	Массивная	O1 30–90 Px <5 Mt 5–10 Crt 5–10	Сырье для производства огнеупоров, строительный камень
Перидотит	Черный с зеленоватым оттенком	Грубо-, крупнозернистая	Массивная	O1 30–90 Px 10–60 Hbl <5–40, Rm	Строительный камень
<b>Основные породы</b>					
Пироксенит	Темный серовато-зеленый, зеленовато-черный	Средне-, крупнозернистая	Массивная	Px <50–100 O1 5–40 Hbl <10–50 Rm	Сырье для производства огнеупоров, строительный камень
Горнблендит	Темный зеленовато-серый до черного	Средне-, крупнозернистая	Массивная	Hbl 90–100 Pl <sub>50–70</sub> <5–10 Px <5–10 O1 <5–10	Строительный камень
Габбро	Темно-серый, зеленовато-серый	От мелко- до крупнозернистой	Массивная	Pl <sub>50–70</sub> 35–65 Px 35–65 Hbl <5 O1 5–35 Mt, Plm до 10	Строительный камень для гидротехнических сооружений, декоративный камень
Долерит, диабаз	Темный зеленовато-серый, темно-серый до черного	Мелко-, тонко- и микрозернистая, иногда порфировая	Массивная	Pl <sub>40–70</sub> 45–65 Px 15–45 O1 5–15 Rm 3–15	Строительный материал, сырье для базальтового литья

Породы	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав, мас. %	Применение
Базальт	Темно-серый до черного	Порфировая, афи- ровая	Массивная, мин- далекаменная	Pl <sub>50-80</sub> 25-65 Px 15-55 Ol 5-15 Rm 2-10 Стекло до 30	Строительный матери- ал, сырье для базальто- вого литья
<b>Средние породы</b>					
Диорит, квар- цевый диорит	Зеленовато-серый, темно-серый	От мелко- до круп- нозернистой	Массивная	Q 5-20 Pl <sub>20-50</sub> 55-90 Fsp <10 Hbl, Px, Bt 5-40	Сырье для керамиче- ской промышленности, облицовочный материал, строительный камень
Андезит	Серый, темно-се- рый, зеленовато-се- рый до черного	Порфировая	Массивная, пу- зыристая, иногда флюидальная	Вкрапленники (2-70%): Pl <sub>40-70</sub> , Bt, Hbl, Px, ос- новная масса неполно- кристаллическая	Изготовление брусчат- ки, кислотоупорный ма- териал
Сиенит, квар- цевый сиенит	Розовый, серый	От мелко- до круп- нозернистой, иног- да порфировидная	Массивная	Q 0-15 Pl <sub>18-30</sub> 10-35 Fsp 65-90 Px, Hbl, Bt 5-40	Сырье для стекольной и керамической промыш- ленности, строительный камень
Трахит	Розовый, розовато- серый, серый	Порфировая, афи- ровая	Массивная	Вкрапленники (5-60%): Pl <sub>25-35</sub> , Fsp, Px, Hbl, Bt, Ol, основная масса не- полнокристаллическая	Строительный камень
<b>Кислые и ультракислые породы</b>					
Гранодиорит	Серый, зеленовато- серый	От мелко- до круп- нозернистой, иног- да порфировидная	Массивная	Q 20-40 Pl <sub>30-50</sub> 65-90 Fsp 8-25 Hbl, Bt, Px 5-25	Строительный и обли- цовочный камень

Породы	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав, мас. %	Применение
Гранит	Розовый, розовато-серый, желтовато-серый	От мелко- до крупнозернистой, иногда порфировидная	Массивная	Q 20–60 Pl 10–60 Fsp 40–90 Bt, Hbl, Px 5–10	Облицовочный материал, строительный камень
Пегматит (письменный гранит, еврейский камень)	Светло-розовый, желтовато-белый	Неравномерно-грубозернистая	Массивная	Q, Fsp, Mu, Bt, Fl, Tu, Gr	Керамическое сырье, источник флюорита, пьезооптического кварца
Гранит-порфир, аплит	Розовый, розовато-серый, желтовато-серый	От тонко- до мелкозернистой, порфировая, в аплитах равномерно-зернистая	Массивная	Q 25–40 Pl, KFsp 60–65 Bt <5	Получение щебня
Риолит	Белый, желтовато-серый, светло-серый	Порфировая, афировая, сферолитовая	Массивная, флюидальная	Вкрапленники: кварц, полевые шпаты; стекло 50–90	Получение щебня и буттового камня
Обсидиан H <sub>2</sub> O <1%	Темно-серый, зеленовато-серый	Стекловатая	Полосчатая, пятнистая	Микролиты <5, стекло 95–100	Декоративный камень, сырье для стекольной промышленности
Перлит H <sub>2</sub> O 1–6%	Светло-серый, с желтоватым оттенком	Стекловатая концентрически-скорлуповатая (перлитовая)	Массивная	Микролиты <5, стекло 95–100	Сырье для производства керамики, стекла, теплоизоляционных материалов
Пемза	Белый, светло-серый, розовый	Стекловатая	Массивная, пемзовая	Микролиты <5, стекло 95–100	Абразивный, теплоизоляционный материал, наполнитель для бетонов, гидравлическая добавка



Породы	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав, мас. %	Применение
<b>Щелочные породы</b>					
Уртит	Светло-серый, серовато-розовый	Средне-, крупнозернистая, равномернозернистая	Массивная	Ne 70–80 Aeg <20 Ap, Sph	Руда на алюминий, сырье для получения стекла, керамики, цемента, искусственного корунда
Нефелиновый сиенит	Светло-серый, серый, иногда с оранжевым оттенком	Средне-, крупнозернистая	Массивная, полосчатая	Fsp 65–70 Ne ~20 Aeg, Amf 10–15 Zr, Ap, Sph	Руда на алюминий, сырье для стекольной и керамической промышленности
<b>Вулканогенно-осадочные породы от основного до кислого состава</b>					
Туф, туффит, туфопесчаник	Серый, зеленовато-серый, серовато-бурый	Витро-, кристалло- и литокластическая, от микро- до грубозернистой	Слоистая, линзовидно-слоистая, пористая	Смешанный, отвечающий составу пород от кислых до основных	Строительный и облицовочный камень, в производстве цемента

*Примечание.* Обозначения минералов: Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Fsp – калиевый полевой шпат, Ne – нефелин, Bt – биотит, Amf – амфибол, Hbl – роговая обманка, Px – пироксен, Aeg – эгирин, Mu – мусковит, Ol – оливин, Mt – магнетит, TiMt – титаномагнетит, Ilm – ильменит, Crт – хромшпинель, Sph – сфен, Ap – апатит, Zr – циркон, Fl – флюорит, Tu – турмалин, Gr – гранат, Rm – рудные минералы (магнетит, ильменит, сульфиды и др.).

Кварц является составной частью ультракислых и кислых пород; в средних и основных его либо нет, либо он присутствует в них как примесь. Это объясняется тем, что кварц способен выкристаллизовываться только в тех породах, где количества кремнезема хватает не только для образования силикатных минералов различного состава, но и для его выделения в свободном виде.

Полевые шпаты присутствуют практически во всех породах, кроме ультраосновных. Они представлены плагиоклазом, ортоклазом и микроклином. Плагиоклазы имеют большое значение для классификации изверженных пород. При одинаковых количественных содержаниях силикатных и мафических минералов порода может быть отнесена либо к габбро (плагиоклаз – лабрадор), либо к диориту (плагиоклаз – андезин).

Содержание темноцветных минералов растет от кислых к ультраосновным, которые полностью состоят из цветных компонентов.

**Химический состав.** По химическому составу все изверженные породы – это преимущественно силикатные образования. Важнейшими оксидами в них являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ . На их долю приходится около 98% состава большинства изверженных горных пород. Кроме них присутствуют летучие компоненты:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{F}^-$  и др.

Кислые породы содержат значительное количество оксидов калия и натрия. По мере увеличения кремнекислотности пород в них возрастает содержание оксидов щелочных металлов (табл. 27) и уменьшается количество оксидов кальция, железа и магния. Кроме указанных по кислотности групп пород выделяют еще и щелочные породы, отличающиеся большим содержанием оксидов щелочных металлов, количество которых может достигать 20–23%, а характерными минералами в них являются фельдшпатоиды (нефелин, лейцит и др.).

Основные диагностические признаки магматических пород приведены в табл. 28.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Разделите изучаемые горные породы на глубинные и излившиеся по их структуре.

Хорошо выраженную кристаллическую структуру имеют глубинные горные породы, излившиеся породы обладают стекловатой, иногда микрокристаллической структурой, порфировой или афировой.

2. Разделите горные породы по степени кислотности.

Чтобы отнести породу к определенному типу, нужно обратить внимание на ее минеральный состав. В связи с большим содержанием оксидов железа и магния основные и ультраосновные породы содержат большое количество темноцветных минералов и имеют темную окраску. Практическое отсутствие полевых шпатов свидетельствует об ультраосновном составе пород. Светлоокрашенные породы – это преимущественно породы кислого или среднего состава. В них обычно отчетливо видны зерна кварца.

3. Определите каждую горную породу в выделенных подгруппах, используя таблицу диагностических признаков магматических пород.

4. Опишите горную породу в соответствии с табл. 29.

Таблица 29

**Описание состава и свойств магматических горных пород**

Наименование породы	Окраска	Породообразующие минералы и их количество (мас. %)		Структура	Текстура
		основные	второстепенные		

Окончание табл. 29

Группа по кислотности (ориентировочно)	Происхождение (предполагаемое)	Возможная форма залегания	Использование в народном хозяйстве

**Контрольные вопросы**

1. Какие породы являются магматическими и как они подразделяются?
2. Как подразделяются изверженные породы по степени кислотности?
3. Каков основной минеральный состав магматических пород?
4. В каких породах всегда присутствует кварц?
5. Из каких минералов слагаются ультраосновные породы?
6. Как меняется цвет и структура пород при переходе от кислых к ультраосновным?
7. Назовите типы структур и текстур магматических пород.
8. Какие формы залегания имеют излившиеся и глубинные породы?
9. Как отличить обсидиан от пемзы?
10. Охарактеризуйте диагностические признаки пегматита, его текстуру и структуру.
11. Охарактеризуйте гранит, его минеральный состав, текстуру, структуру.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16 ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: произвести диагностику осадочных горных пород; их минеральный состав; текстурные и структурные особенности; области применения.

Оборудование и материалы: коллекция осадочных горных пород; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; лупа; предметное стекло; линейка; шкала окатанности; набор сит; микроскоп.

### 1. Общие сведения

Осадочные горные породы образуются на поверхности Земли в результате разрушения ранее образовавшихся пород, переотложения продуктов выветривания, различных химических процессов, включая выпадение из водной или воздушной среды материалов любого происхождения. Осадочные породы на поверхности земли распространены шире, чем все другие, составляя до 75% ее площади.

Осадки, из которых затем возникает большинство осадочных пород, могут формироваться в результате трех различных процессов: осаждение обломочного материала, выпадение из растворов определенных веществ химическим путем и в результате жизнедеятельности организмов. Поэтому по способу образования осадочные породы делятся на три группы:

**Обломочные** – осадки механического происхождения. Материал разрушенных магматических, осадочных, метаморфических пород переносится водными потоками, ледниками, ветром, морскими течениями и затем отлагается в виде обломков различной величины и формы, образуя толщи обломочных горных пород – песка, щебня, дресвы, гальки, глины.

**Хемогенные** – осадки химического происхождения. В данном случае осаждение происходит из растворов. Поскольку различные соединения в неодинаковой степени растворимы в воде, осаждение плохо растворимых происходит в пресных или слабосоленых водах (оксиды алюминия и железа), тогда как хорошо растворимые соединения выпадают лишь из концентрированных растворов (галит, сильвинит, карналлит).

**Органические** – осадки биохимического происхождения, образующиеся в результате жизнедеятельности организмов, которые могут

концентрировать соединения, находящиеся в ненасыщенном растворе, и служат источником органического вещества. Так образуются известковые, кремнистые, карбонатные, фосфатные, углистые породы.

Одним из признаков осадочных пород является *пористость*, т. е. наличие пор различной величины между слагающими их обломками и частицами. Другая особенность – наличие *органогенных остатков* (скелетные части организмов или обугленные растительные ткани) не только в органогенных породах, но и в породах другого происхождения. Характерной особенностью большинства осадочных пород является залегание слоями, пластами, т. е. они имеют *слоистую* или *полосчатую текстуру*. Во время перерывов в осадконакоплении поверхность отложившихся масс подвергается некоторым видоизменениям, уплотнениям, которые и делают ее слоистой.

В результате совокупности процессов, которая называется *диагенезом*, рыхлые осадки превращаются в плотные горные породы. Из этих процессов наибольшее значение имеют уплотнение и цементация материала под воздействием нагрузки вышележащих слоев, накапливающихся в течение времени, что приводит к образованию осадочной толщи. Цементация – заполнение пустот в рыхлых образованиях выпадающими из циркулирующих в них вод растворенными веществами. Наиболее существенную роль при цементации играют  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ , оксиды кремния и железа.

*Минеральный состав* осадочных пород определяется составом материнских пород и физико-химическими особенностями среды, в которых накапливались осадки. Поэтому в осадочных породах различают минералы, унаследованные от материнской породы (кварц, полевой шпат, темноцветные минералы, циркон, апатит и др.), и минералы, образовавшиеся путем химического и биохимического осаждения (халцедон, опал, каолинит, кальцит, доломит, гипс, ангидрит, гетит и др.).

**Обломочные породы.** Обломочные породы классифицируются прежде всего по структуре (величине обломков) и реже – по их форме, а также по тому, являются ли они рыхлыми или сцементированными и какой минералого-петрографический состав имеют слагающие их обломки. Классификация по составу и типу цемента имеет частное значение.

*По крупности обломков* различают (табл. 30) псефитовую (грубообломочную), псаммитовую (среднеобломочную, песчаную), алевроитовую (мелкообломочную) и пелитовую (тонкообломочную, глинистую) породы.

## Классификация обломочных пород

Диаметр, мм	Породы			
	Грубообломочные			
	рыхлые		сцементированные	
	окатанные	угловатые	окатанные	угловатые
1000–100	Валуны Галька	Глыбы Щебень	Конгломерат валунный	Брекчия глыбовая
<100–50	крупная	крупный	крупногалечный	крупная
<50–25	средняя	средний	среднегалечный	средняя
<25–10	мелкая	мелкий	мелкогалечный	мелкая
<10–5	Гравий крупный	Дресва крупная	Гравелит крупнозернистый	Дресвяник крупнозернистый
<5–2	мелкий	мелкая	мелкозернистый	мелкозернистый
	Средне-, мелко- и тонкообломочные			
2–1	Песок грубозернистый		Песчаник грубозернистый	
<1,0–0,5	крупнозернистый		крупнозернистый	
<0,5–0,25	среднезернистый		среднезернистый	
<0,25–0,10	мелкозернистый		мелкозернистый	
<0,10–0,05	тонкозернистый		тонкозернистый	
<0,05–0,025	Алеврит крупнозернистый		Алевролит крупнозернистый	
<0,025–0,010	среднезернистый		среднезернистый	
<0,010–0,005	мелкозернистый		мелкозернистый	
<0,005	Глина (пелит)		Аргиллит	

Среди грубообломочных пород *по форме обломков*, т. е. степени их окатанности, выделяются два ряда пород: породы, сложенные окатанными обломками – валунами, гальками, гравием, и породы, состоящие из неокатанного материала – глыб, щебня, дресвы (рис. 33). Независимо от размеров обломков все обломочные осадочные породы могут быть рыхлыми и сцементированными.

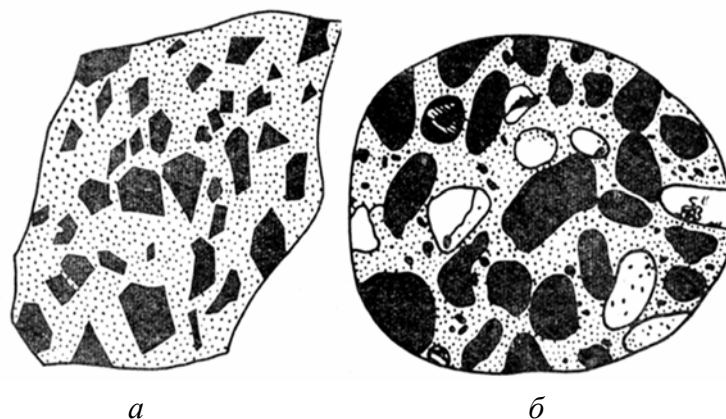


Рис. 33. Породы: *а* – брекчия; *б* – конгломерат

Породу называют гравием, песком, алевритом и т. д. при суммарном содержании соответствующих фракций свыше 50%. Наличие примесей выражается прилагательными. Так, если песок чистый мелкозернистый состоит на 90–95% из обломков 0,25–0,1 мм, то при наличии до 10–25% алевритового материала это песок алевритистый, а при наличии такого же количества глины – песок глинистый. Алеврит, содержащий до 25% песка, – алеврит песчанистый, 25–50% песка – сильно песчанистый, глина с 10–25% алеврита – глина алевритистая и т. д. Алевритовые породы, содержащие от 4–5 до 20–25% пелитовых частиц, а также карбонаты, гипс и небольшую примесь песчаных обломков и обладающие макропористостью получили особое название – *лесс*.

Грубо-, средне- и мелкообломочные породы *по минералогонетрографическому составу* обломков подразделяются на мономинеральные, олигомиктовые и полимиктовые.

*Мономинеральные породы* редки. К ним относятся породы, в которых содержание главного компонента приближается к 100%. Это кварцевые пески, изредка встречаются почти чисто полевошпатовые пески.

*Олигомиктовые породы* также характеризуются значительным преобладанием (60–90%) одного компонента над другим. Например, олигомиктовые песчаники содержат 75–90% кварца, остальное – обломки полевых шпатов и пород.

*Полимиктовые породы* имеют широкое распространение. По составу они подразделяются на аркозы и граувакки. Аркозы состоят из кварца (>25%), полевых шпатов (>25%) и обломков гранитов (<25%) и являются продуктами разрушения гранитоидов. Граувакки состоят из обломочных зерен разнообразных пород (>75%) – эффузивных, осадочных, метаморфических.

Особо выделяются *глауконитовые* и *слюдистые* песчаники, в составе которых преобладает, соответственно, глауконит и мелкочешуйчатый мусковит.

Тонкообломочные (глинистые) породы наиболее распространены: на их долю приходится свыше 50% всех осадочных пород. Под глиной подразумевается природный тонкозернистый материал, который при смешивании с ограниченным количеством воды обнаруживает пластичность, и более 50% объема которого составляют глинистые минералы.

В зависимости от условий формирования глинистые породы подразделяются на первичные (остаточные) и вторичные (переот-

ложенные). *Первичные глины* образуются на месте химического выветривания горных пород. Для них характерно отсутствие ясной слоистости и наличие зерен неразложившихся минералов. *Вторичные глины* возникают в результате осаждения из воды тонкоотмученного глинистого материала; для них характерна четко выраженная слоистость. Характерной особенностью глин является пористость.

Глины классифицируются также в зависимости от состава слагающих их глинистых минералов. Различаются мономинеральные, олигомиктовые и полимиктовые (смешанные) глины.

**К мономинеральным и олигомиктовым глинам** относятся:

*Каолинитовые глины* (каолины), главной составной частью которых является каолинит; в подчиненном количестве присутствуют иллит, галлуазит, аллофан, образующиеся в результате разложения полевошпатовых пород.

*Монтмориллонитовые глины* (сметитовые) состоят главным образом из монтмориллонита; образуются при разложении вулканического материала или продуктов его выветривания; отличаются чрезвычайно высокой адсорбционной способностью и малой огнеупорностью.

*Гидрослюдистые глины* содержат помимо гидрослюды типа серицита, иллита также каолинит; возникают при выветривании и разложении кислых магматических пород.

Полимиктовые (смешанные) глины состоят из двух-трех глинистых минералов, присутствующих примерно в равных количествах. Это каолинит-гидрослюдистые, гидрослюдисто-сметитовые, каолинит-хлорит-гидрослюдистые и др.

Помимо глинистых минералов в глинах может присутствовать то или иное количество карбонатных соединений, в зависимости от содержания которых различаются некарбонатные ( $\text{CaCO}_3 < 5\%$ ), известковые (5–25%  $\text{CaCO}_3$ ) и доломитовые (5–25%  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ ) глины. Глины, обогащенные песчаным материалом (песчанистые глины, суглинки), называются тощими, в отличие от жирных, состоящих на 40–70% из каолинита.

При диагенезе глины превращаются в аргиллиты, а при низкотемпературном метаморфизме – в глинистые сланцы (плотные, не размокающие под действием воды породы).

**Хемогенные и биохемогенные породы.** К этим породам относятся минеральные соли, карбонатные, кремнистые, фосфатные, железистые, марганцевые, алюминиевые породы.



**Минеральные соли.** В эту группу входят минералы, сравнительно хорошо растворяющиеся в воде – галоиды и сульфаты. Важнейшими из них являются галит, сильвин, карналлит, тенардит, мирабилит, ангидрит.

**Карбонатные породы** состоят главным образом из кальцита и доломита, с примесью песчаных и глинистых частиц. Основными представителями их являются известняки, доломиты и мергели.

**Известняки** сложены в основном кальцитом, реже – арагоном. Среди известняков выделяют разновидности: *органогенные* (известняк-ракушечник), образующиеся в результате массового скопления и последующего диагенеза скелетов и раковин морских животных, *биохемогенные* (коралловые известняки), *хемогенные* (известковые туфы, обломочные известняки, вторичные известняки). К органогенным известнякам относится также мел (рис. 34).



Рис. 34. Мел (под микроскопом)

**Доломиты** представляют собой осадочную породу, состоящую из доломита; в виде примесей в ней содержатся кальцит и глинистые минералы. Доломиты по внешнему виду очень похожи на известняки. Отличить их можно, пользуясь 10%-ным раствором HCl: доломиты на холоду в куске не вскипают, а известняки вскипают бурно, выделяя CO<sub>2</sub>.

**Мергели** – породы, переходные между карбонатными и глинистыми, содержащие от 25 до 95% CaCO<sub>3</sub>. По содержанию CaCO<sub>3</sub> мергели подразделяются на три группы: *собственно мергели*, содержащие от 50 до 75% CaCO<sub>3</sub>, *известковые мергели*, в которых содержание CaCO<sub>3</sub> изменяется в пределах 75–95%, и *глинистые мергели*, содержащие 25–50% CaCO<sub>3</sub>.

**Кремниевые породы (силициты).** К этой группе относятся диатомиты, радиоляриты, трепелы, опоки. По происхождению они могут быть как неорганическими химическими осадками, так и органогенными образованиями.

**Диатомит** – легкая рыхлая или сцементированная порода, состоящая более чем на 50% из панцирей диатомовых водорослей,



Рис. 35. Диатомит  
(под микроскопом)

скелетов радиолярий и губок, а также глинистого и алевроитового материала (рис. 35).

*Радиолярит* (радиоляриевый ил) – порода, состоящая более чем наполовину из скелетов радиолярий, редких спикул кремниевых губок и панцирей диатомей; минеральная часть (менее 50%) состоит из смеси минералов водных и безводных оксидов кремнезема с примесью фосфатов, глинистого и алевроитового вещества (рис. 36).

*Трепел* – очень легкая рыхлая (или слабо сцементированная), тонкопористая опаловая порода белого, серого, бурого цвета, отличающаяся от диатомита малым содержанием

или почти полным отсутствием органических остатков и состоящая из мелких (0,01–0,001 мм) округлых опаловых телец (глобул), с примесью глинистых минералов, глауконита, кварца, полевого шпата.

*Опока* – легкая пористая светлая или темно-серая порода кристаллит-опалового состава с примесью халцедона, глинистого вещества, иногда алевроитовых частиц и органических остатков (скелетов радиолярий, спикул губок, панцирей диатомей). В отличие от большинства силицитов имеет полураковистый или неровный излом.

*Яшма* – пестроокрашенная из-за присутствия оксидов железа и марганца полосчатая или пятнистая порода, сложенная ультрамикроскопическими кристаллами кварца (1–10 мкм), иногда содержащая остатки скелетов радиолярий и спикулы кремниевых губок; имеет высокую твердость – 7 (по шкале Мооса).

**Фосфатные породы** – это осадочные образования, более чем на 50% сложенные фосфатными минералами группы апатита (фторапатит, карбонатапатит, гидроксилapatит) или в пересчете на фосфорный ангидрит содержащие  $P_2O_5$  более 19,5%. Общепринятое название этих пород – фосфориты. Они имеют серую, темно-серую, желтую, бурю окраску, содержат значительное количество плохо раскристаллизованных минералов фосфата кальция, а также зерна кварца, глауконита, кальцита, глинистые частицы, остатки костей.



Рис. 36. Радиолярит  
(под микроскопом)

**Железистые породы.** К этой группе относятся осадочные породы преимущественно химического и биохимического происхождения, являющиеся рудами железа и состоящие, главным образом, из гидроксидов железа (гетита, гидрогетита и др.) с примесями кварца, опала, каолинита, бемита, диаспора и др. При значительном содержании каолинита их называют глинистыми железняками.

**Марганцевые породы** по происхождению аналогичны железистым, состоят из пиролюзита или псиломелана.

**Алюминиевые породы.** Породы более чем наполовину состоящие из глиноземистых минералов называются *аллитами*, или *бокситами*. Основными алюминиевыми минералами бокситов являются гидроксиды – гиббсит, бемит и диаспор. Характерно присутствие аморфных максимально гидратированных глиноземистых минералов – алюмогелей, а также примеси каолинита, галлуазита, опала, гематита, гидрогематита и др. Бокситы, богатые оксидами железа, относятся к *латеритам*.

**Органические породы (каустобиолиты).** В эту группу входят горючие органические породы, которые более чем на 50% состоят из углеводов или продуктов их преобразования. Они представлены твердыми (угли, горючие сланцы), жидкими (нефть) и газообразными (горючие газы) веществами. Характерной особенностью их является горючесть, что обусловлено высоким содержанием в них свободного углерода или смеси углеводов. Эти породы образовались в результате жизнедеятельности как растительных, так и животных организмов, но могут быть и неорганического происхождения (нефть, газ).

**Твердые углеродные породы (карболиты)** по степени преобразования углеродистого вещества (углефикации), проходящего под водой или под покровом осадочных пород и при отсутствии достаточного доступа кислорода, подразделяются на *торф*, *бурый уголь*, *каменный уголь*, *антрацит*, далее переходящий в графит.

Торф состоит из неполностью перегнивших растительных остатков. Промежуточную группу между торфом и углем представляют бурые угли. В отличие от них каменные угли представляют собой плотные, в большинстве случаев слоистые породы. Антрацит имеет черный цвет и стеклянный или полуметаллический блеск.

**Жидкие и полужидкие углеродные породы (битумолиты)** не имеют биоморфной структуры и представлены *озокеритом*, *асфальтами*, *нефтями*.

Основные диагностические признаки осадочных горных пород приведены в табл. 31–33.

## Характеристика осадочных обломочных пород

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
Конгломерат, гравелит	Обусловлен составляющими горными породами	Грубообломочная (псефитовая), обломки имеют окатанную форму	Массивная, грубослоистая	Обычно полимиктовый (обломки горных пород разного состава)	Нередко отсутствие сортировки блочков по величине	Строительный камень местного значения
Брекчия, щебень	Обусловлен составляющими горными породами	Грубообломочная (псефитовая), обломки имеют угловатую форму	Массивная, однородная	Обычно полимиктовый (обломки горных пород разного состава)	Отсутствие сортировки обломков по величине	Строительный камень местного значения, материал в дорожном строительстве
Песок	Белый, светло-серый, серый, бурый, серовато-белый	Псаммитовая от грубо- до тонкозернистой	Слоистая, тонкослоистая	Кварц, полевой шпат, слюда, глауконит, обломки различных пород	Рыхлый	Сырье для стекольной и керамической промышленности и для приготовления бетонов
Песчаник	Серый, светло-серый, бурый, серовато-белый	Псаммитовая от грубо- до тонкозернистой	Слоистая, тонкослоистая, кослоистая	Кварц, полевой шпат, слюда, глауконит, обломки различных пород	Сцементированный, плотный, поверхность скола зернистая, шероховатая	Сырье для производства динасовых огнеупоров, строительный материал
Песчанистая глина (суглинок)	Серый, коричнево-, зеленовато-серый, красновато-бурый, иногда пестрый	Тонко-мелкозернистая, алевропелитовая	Массивная, нечетко слоистая	Гидрослюда, каолинит, примесь песчаного материала до 10–50%	Рыхлая, песчаный материал ощутим визуально и при растирании породы пальцами	Производство керамического кирпича, изразцов, черепицы, дренажных и канализационных труб

Продолжение табл. 31

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
Каолинитовая глина (каолин)	Белый, светло-серый с буроватым или зеленоватым оттенком, темно-серый	Пелитовая, микрокристаллическая, почти изотропная	Массивная, часто слоистая	Каолинит, примесь иллита, галлуазита, оксидов и гидроксидов Al, Fe, органического вещества	Рыхлая, жирная на ощупь, пачкает руки, царапается ногтем, способна размокать в воде, не набухая	Керамическое производство, изготовление бумаги, резины
Сухарная глина (разновидность каолина)	Белый, светло-серый	Пелитовая	Массивная, олитовая, брекчиевая с раковистым изломом	Каолинит, примесь оксидов и гидроксидов Al, Fe, растительных остатков	В воде не размокает, имеет твердость 4–5	Сырье для производства огнеупорных изделий
Монтмориллонитовая, бентонитовая глина	Белый, желтовато-белый, светло-серый до черного	Пелитовая, коллоидальная, реликтовая пепловая	Массивная	Монтмориллонит, примесь иллита, карбонатов, цеолитов, кристобалита	Рыхлая, жирная на ощупь, царапается ногтем, в увлажненном состоянии липкая, разбухает в воде в 8–10 раз	В керамической, текстильной, пищевой промышленности
Гидролюдистая глина	Белый, светло-серый, буровато-зеленовато-серый	Тонкозернистая, пелитовая, алевропелитовая	Массивная, микрослойчатая	Гидромусковит, примесь каолинита, глауконита, алевроитового материала	В воде не разбухает	Производство керамического кирпича, изразцов, черепицы, дренажных труб
Аргиллит, аспидный сланец	Темно-серый, темно-бурый до черного	Тонкозернистая, пелитовая, алевропелитовая	Тонкослоистая, тонкоплитчатая	Кварц, серицит, кальцит, в аспидных сланцах – углистое вещество	Плотный (твердость 3–4), имеет раковистый излом, не размокает в воде	Сырье для производства огнеупоров

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
Лесс	Светло-желтый, светло-бурый	Пелитовая, алевроитовая	Массивная, пористая (40–55%)	Кварц, полевые шпаты, карбонаты, глинистые минералы	Пылеватый, легко растирается пальцами в тонкий порошок, размокает в воде, вскипает в 10%-ной HCl	Пористый строительный материал
Вулканический туф	Серый, темно-серый, буровато-коричневый до черного	Витрокластическая (пепловая), кристаллокластическая, литокластическая от грубо- до тонкозернистой	Слоистая от грубо- до тонкослоистой	Обломки вулканического стекла, кристаллов различных минералов, эффузивных пород	Преобладание материала вулканического происхождения	Добавка для производства цемента

Таблица 32

### Характеристика хомогенных и биохомогенных осадочных пород

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
<b>Минеральные соли</b>						
Каменная соль (галитит)	Белый, серый (в зависимости от примесей)	От мелко- до крупнокристаллической	Массивная, слоистая	Галит, примесь сильвина, доломита, гипса, ангидрита (до 30–40%), аргиллистых частиц	Соленая, хорошо растворяется в воде, царапается ногтем	Пищевая, легкая, химическая промышленность
Калийная соль (сильвинит)	От светло- до темно-оранжевого или сургучного	От мелко- до крупнокристаллической	Массивная, слоистая	Сильвин (15–75%), примесь галита, ангидрита, карналлита, глинистых частиц	Жгуче-соленая, горькая, царапается ногтем	Сырье для химического производства

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
<b>Карбонатные породы</b>						
Известняк	Белый, желтовато-, серовато-белый, бурый, темно-серый в зависимости от примесей	От грубо- до микрозернистой, органо-генно-обломочная, фораминиферовая и др.	Массивная, слоистая, иногда пористая	Кальцит, примесь доломита, кремнезема, песчаного и глинистого материала, иногда битумов, включения органических остатков	Вскипает с 10%-ной HCl, царапается ножом, часто содержит органические остатки	Стеновый и бутовый камень, стекольное производство, наполнитель бетонов, в качестве флюса в металлургии
Мел	Белый, светло-серый	Мелкозернистая, тонкозернистая	Массивная	Кальцит, включения органических остатков	Бурно вскипает с 10%-ной HCl, чертится ногтем, пачкает руки, сухой на ощупь	Стекольное, керамическое производство, резиновая и лакокрасочная промышленность, получение цемента
Доломит	Белый, серый, красновато-бурый, желтовато-серый и др.	От крупно- до микрозернистой	Массивная, слоистая	Доломит, примесь кальцита, кремнезема, магнезита, ангидрита, гипса, гидроксидов Fe и Mn и др.	Слабо реагирует с HCl (вскипает только в порошке), царапается ножом	Производство огнеупоров, цемента, используется в строительстве, в качестве флюса в металлургии
Известковый туф (травертин)	Светло-серый, серый, желтовато-серый	Мелкозернистая	Массивная, пористая	Кальцит, примесь доломита, кремнезема	Легкая, хорошо видны поры различных размеров, чертится ногтем	Строительный камень
Мергель	Светло-серый, желтовато-, красновато-, зеленовато-серый, пестрый	Тонкозернистая	Слоистая с раковистым изломом	Кальцит, доломит (50–75%), глинистые минералы (25–50%), примесь гипса, песка	Вскипает с 10%-ной HCl, образуя мутные пузырьки, оставляющие при разрыве колечки мути, имеет «глинистый» запах, чертится ногтем	Стеновой и бутовый камень, сырье для производства цемента

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
<b>Кремнистые породы</b>						
Диатомит	Белый, светло-серый, желтовато-белый	Тонкозернистая	Массивная, пористая, рыхлая или плотно сцементированная	Панцири диатомей, примесь спикул кремниевых губок, опала, глинистого и алевритового материала	Хорошо впитывает влагу, прилипает к влажному пальцу, царапается ногтем	Используется в производстве теплоизоляционных материалов, легких бетонов, керамических изделий
Радиолярит	Светло-серый, желтовато-белый	Тонкозернистая	Слоистая, полосчатая	Скелеты радиолярий, примесь спикул кремниевых губок, водных и безводных оксидов кремнезема, глинистого материала	Слабо сцементирован, хорошо впитывает влагу	Производство теплоизоляционных материалов, легких бетонов, керамики
Трепел	Белый, желтоватый, светло-серый	Тонкозернистая	Массивная, тонкопористая	Опал, примесь глинистого и алевритового материала, редкие, плохой сохранности скелетные остатки радиолярий	Рыхлая легкая порода, царапается ногтем	Производство теплоизоляционных материалов, легких бетонов, керамических изделий
Опока	Палевый, светло-желтый, темно-серый, иногда черный	Тонкозернистая	Массивная, пористая с раковистым изломом	Опал, примесь халцедона, глинистого и алевритового материала, органических остатков	От трепела отличается большей плотностью, при ударе колетя со звоном на мелкие остроугольные обломки	Производство теплоизоляционных материалов, легких бетонов, керамических изделий



Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
Яшма	Пестрый, серый, желтый, бурый, красный, серовато-зеленый	Скрыто- и микрористаллическая	Полосчатая, пятнистая с раковистым изломом	Халцедон, примесь оксидов железа и марганца, иногда остатки радиолярий	Твердость около 7	Поделочный и декоративный камень
Кремень	Светло-серый, желтый, бурый, красный, серовато-зеленый, черный	Микрокристаллическая	Массивная, пятнистая, полосчатая с раковистым изломом	Халцедон, кварц, примесь опала, карбонатов	Твердость около 7	Керамическая промышленность (кремневая плитка и мелющие тела), поделочный камень
<b>Фосфатные породы</b>						
Фосфорит	Серый, желтый, бурый, темно-серый до черного	Скрыто-кристаллическая, аморфная, тонкозернистая	Массивная, конкреционная	Фторапатит, карбонатапатит, примесь глауконита, гипса, глинистых минералов, кремнезема, органических остатков	При трении издает запах жженных костей	Для производства фосфатных удобрений, в стекольном производстве
<b>Железистые породы</b>						
Бурый железняк	Ржаво-бурый, охристо-землистый	Скрытокристаллическая	Массивная, пористая, бобовая	Лимонит, гетит, лепидокрокит	Почковидные формы, черта буро-коричневая, твердость 1–5	Сырье для производства стали и чугуна
<b>Марганцевые породы</b>						
Пирролюзитопсиломелановая руда	Черный, иногда серовато-бурый	Тонко- и скрытокристаллическая	Бобовая, массивная	Пирролюзит, псиломелан, примесь опала, иногда халцедона, кварца	Натечные, почковидные формы, твердость 3–6	Сырье для производства ферромарганца

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минералого-петрографический состав	Особые признаки	Применение
<b>Аллитовые породы</b>						
Боксит	Белый, желтый, темно-коричневый, серый, почти черный	Пелитовая, микрозернистая	Бобовая, массивная, брекчиевидная, рыхлая, редко слоистая с раковистым изломом	Гидроксиды Al, Fe, глинистые минералы, диаспор, гиббсит	При прокаливании рассыпается на тонкие чешуйки, стойкий к воздействию кислот, твердость около 4	Сырье для получения алюминия

Таблица 33

### Характеристика каустобиолитов

Наименование породы	Цвет	Структура	Текстура	Особые признаки	Применение
<b>Карболиты</b>					
Торф	Бурый до черного	Однородная, биоморфная	Слоистая, массивная, пористая	Обилие остатков растений и гумусовых веществ, гигроскопичность, низкая твердость	Топливо местного значения, сырье для производства уксусной кислоты, дегтя
Бурый уголь	От светло- до темно-коричневого, иногда черный	Однородная, аморфная	Слоистая, полосчатая, землистая	Бурая черта, водный раствор с KOH и KNO <sub>3</sub> окрашивает в бурый цвет	Топливо местного значения, химическое сырье
Каменный уголь	Черный, темно-серый, иногда со стальным оттенком	Аморфная, иногда однородная	Слоистая, полосчатая	Блеск матовый, шелковистый, растворы щелочей и HNO <sub>3</sub> не окрашиваются	Топливо

Наименование породы	Цвет	Структура	Текстура	Особые признаки	Применение
Антрацит	Черный	Однородная	Массивная	Блеск полуметаллический или стеклянный, черта черная, твердость около 3	Топливо
Горючий сланец	Светло-каштановый, темно-серый, черный	Тонко-, мелкозернистая	Тонкослоистая, сланцеватая	Легко загорается от спички, горит коптящим пламенем со своеобразным запахом	Топливо низкого качества
<b>Битумолиты</b>					
Нефть	Бесцветный, черный до красновато- и зеленовато-черного, реже буровато-коричневый	Нет	Нет	Маслянистая жидкость, плотность 0,75–1,10 г/см <sup>3</sup>	Топливо
Озокерит	Черный, бурый до светло-желтого или зеленовато-серого	Скрытокристаллическая однородная, иногда волокнистая	Массивная с неровным изломом	Воскоподобен, плавится на огне, воспламеняется и сгорает без остатка	Химическая, лакокрасочная промышленность, строительство, медицина
Асфальт	Черный, темно-коричневый	Аморфная, однородная	Массивная	Густой, вязкий или твердый, горит коптящим пламенем	В строительном деле или химической промышленности, электротехнике
<b>Ископаемые смолы</b>					
Янтарь	Желтый, желтовато-бурый, коричневый	Аморфная	Массивная	Легко плавится, при горении издает приятный запах, при трении электризуется	Ювелирное дело, химическая промышленность, медицина, электротехника

## 2. Порядок выполнения работы

1. Разделите горные породы на следующие группы по растворимости в воде: растворимые в воде (галогенные), впитывающие воду (глинистые горные породы) и не растворимые в воде (прочие горные породы).

2. Разделите породы, не растворимые в воде, по взаимодействию с HCl: взаимодействующие с холодной 10%-ной HCl (карбонатные породы); не реагирующие с HCl (сульфатные, кремнистые, железистые, глиноземистые породы и каоустобиолиты).

3. Разделите карбонатные породы по характеру взаимодействия с холодной 10%-ной HCl: реагируют с вскипанием (известняк, туф, мел); реагируют в порошке (доломит); реагируют с образованием осадка (мергель, известковая глина).

4. Разделите горные породы, не реагирующие с HCl, по цвету и твердости в соответствии с табл. 31–33 и предварительно их определите.

5. Определите каоустобиолиты (торф, бурый уголь, каменный уголь) по взаимодействию с KOH.

6. Определите другие свойства пород, их название и запишите результаты определения в табл. 34.

Таблица 34

### Описание состава и свойств осадочных горных пород

Название породы	Тип породы	Цвет	Цвет черты	Блеск	Растворимость в H <sub>2</sub> O	Взаимодействие с HCl
-----------------	------------	------	------------	-------	----------------------------------	----------------------

Окончание табл. 34

Составляющие минералы	Структура породы	Текстура породы	Прочие свойства	Применение
-----------------------	------------------	-----------------	-----------------	------------

### Контрольные вопросы

1. Перечислите геологические процессы, в результате которых образуются обломочные горные породы.

2. Как различить мергель, доломит и известняк?

3. Назовите типы структур обломочных горных пород.

4. Чем отличается конгломерат от брекчии?

5. Назовите кремнистые осадочные породы, укажите их диагностические признаки.

6. Укажите области применения карбонатных пород.

7. Как отличить каменные соли от калийных?

8. Перечислите полезные ископаемые – осадочные горные породы Республики Беларусь.
9. Как отличить доломит от мергеля и известняка?
10. Дайте название породы, состоящей из 60% песка, 30% гравия и 10% гальки.
11. Какие породы называются полимиктовыми глинами, какие суглинками?
12. Укажите минеральный состав каолина и огнеупорной глины.
13. Перечислите горные породы хомогенного происхождения.
14. Назовите типы текстур хомогенных пород.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17 ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель работы: провести диагностику метаморфических горных пород, изучить их минеральный состав, структуру, текстуру, условия образования, области применения.

Материалы и оборудование: коллекция метаморфических горных пород; 10%-ная HCl; шкала твердости Мооса; таблица классификации горных пород; фарфоровая пластинка; спиртовка; микроскоп; лупа.

### 1. Общие сведения

Метаморфические породы по распространению в земной коре стоят на втором месте после изверженных. Образуются они за счет магматических и осадочных пород в результате изменения физико-химических условий при участии водных растворов. При этом происходит изменение минерального состава, структуры и текстуры первоначальных пород.

По химическому составу метаморфические породы разнообразны. Большинство из них относится к силикатам и по минеральному составу близки к изверженным породам. В их состав в качестве породообразующих минералов входят кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены и др. Реже встречаются метаморфические породы иного состава, например, карбонатные, состоящие из кальцита и доломита.

Различают *несколько типов метаморфизма*: контактовый, контактово-метасоматический, пневмолитический, гидротермальный, региональный, автометаморфизм, динамометаморфизм и др.

*Контактовый метаморфизм* обусловлен тепловым воздействием интрузивных магматических масс на вмещающие их породы. Процесс

имеет почти изохимический характер. Интенсивность его проявления зависит от размеров интрузивного тела, удаленности от контакта, глубины процесса и температуры застывания интрузива. Течение химических реакций облегчается просачивающимися растворами и газами, выделяющимися из изверженной массы. В результате контактового метаморфизма образуются роговики.

*Контактово-метасоматический метаморфизм* также происходит под тепловым и химическим воздействием интрузивных магматических масс, но при вполне подвижном поведении щелочных и других компонентов, что приводит к изменению как минерального, так и химического состава вмещающих пород и образованию скарнов.

*Пневматолитический метаморфизм* происходит при воздействии на породы высокой температуры и летучих компонентов (газов, паров), выделяющихся из магмы при ее остывании и кристаллизации. В результате изменения кислых изверженных пород возникают грейзены. Характерными для них минералами являются мусковит, литиевая слюда, флюорит, турмалин, топаз, а из рудных минералов – молибденит, касситерит.

*Гидротермальный метаморфизм* проявляется в изменении горных пород под воздействием нагретых водных растворов (гидротерм), выделяющихся при остывании магматического расплава на глубине или в приповерхностных слоях в заключительных стадиях вулканических извержений. При этом происходит окварцевание, хлоритизация, карбонатизация пород, формирование разнообразных рудных жил.

*Региональный метаморфизм* – процесс метаморфических изменений горных пород, происходящий под влиянием температуры, одностороннего и гидростатического давления, проявляющийся на значительной площади без непосредственной связи с контактами интрузий. Региональный метаморфизм происходит при температурах от 300–400 до 900–1000°C и давлении от 0,3–0,5 до 1,0–1,5 ГПа.

*Автометаморфизм* представляет собой преобразование магматической породы, обусловленное изменением термодинамических условий в процессе ее кристаллизации под воздействием остаточных расплавов, летучих веществ и гидротермальных растворов, связанных с этой магмой. К автометасоматозу относятся процессы серпентинизации перидотитов.

*Динамометаморфизм* – метаморфическое преобразование горных пород под воздействием не только гидростатического, но и одностороннего давления (стресс). В зависимости от их величины происходит либо перекристаллизация пород, либо их дробление, разрушение. Продуктами динамометаморфизма являются милониты, катаклазиты и др.

Таблица 35

## Характеристика метаморфических горных пород

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав	Применение
<b>Контактово-метаморфические</b>					
Роговик	Серый, буровато-серый, зеленовато-серый	Гранобластовая (роговиковая)	Массивная, иногда пятнистая, раковистый излом	Кварц, слюды, полевые шпаты, гранат, андалузит, реже амфибол, пироксен	Может использоваться как бутовый камень
<b>Контактово-метасоматические</b>					
Скарн	Зеленовато-серый, бурый, зеленовато-бурый, серовато-белый	Неравномерно-зернистая гранобластовая	Полосчатая, массивная	Диопсид, гранат, волластонит, форстерит, эпидот, флогопит, магнетит, кварц, апатит	Со скарнами связаны месторождения Fe, Cu, Pb, Zn, Mo, W, флогопита, вермикулита и др.
<b>Пневматолито-гидротермальные</b>					
Грейзен	Белый, желтовато-белый, светло-серый	Гранобластовая	Массивная, нечетко полосчатая	Кварц, мусковит, литиевые слюды, примесь альбита, топаза, флюорита, турмалина, рутила	Среди грейзенов встречаются месторождения W, Be, реже Mo, As
<b>Гидротермальные</b>					
Вторичный кварцит	Белый, желтовато-белый, светло-серый	Гранобластовая	Массивная, нечетко полосчатая, пятнистая	Кварц, мусковит, серицит, пиррофиллит, андалузит	С вторичными кварцитами иногда связаны месторождения Cu, Mo, Au, глиноземистого сырья
<b>Гидротермально-метасоматические</b>					
Лиственит	Светлый серовато- или желтовато-зеленый	Мелкозернистая	Сланцеватая	Кварц, брейнерит, пирит, примесь фуксита, хлорита, серицита, талька	Золотоносная порода, используется также как поделочный камень

Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав	Применение
<b>Регионально-метаморфические</b>					
Филлит	Серый, темно-серый с шелковистым блеском	Лепидобластовая, мелко-, тонкозернистая	Тонкосланцеватая	Кварц, серицит, иногда хлорит, биотит, альбит	Практического значения не имеет
Кварцито-песчаник	Светло-серый, серый, иногда темно-малиновый	Гранобластовая, регенерационная, мозаичная	Массивная, полосчатая	Кварц, примесь серицита, гематита, полевого шпата	Применяется в производстве динаса, как флюс в металлургии, для изготовления облицовочных плит, щебня
Железистый кварцит	Темно-серый, буровато-серый	Мелкозернистая, гранобластовая	Тонкополосчатая	Кварц, гематит, магнетит, примесь граната, амфибола, эпидота, карбонатов	Железная руда
Мрамор	Белый, серый, розовый, красный, желтый, пестрый	Гранобластовая от крупно- до тонкозернистой	Массивная, полосчатая, пятнистая	Кальцит, доломит, магнетит, возможна примесь оливина, кварца, графита	Сырье для производства угольной кислоты и извести, облицовочный и декоративный камень
Кристаллический сланец пироксеновый, амфиболовый	Темно-серый, зеленовато-серый, зеленовато-черный	Гранобластовая от крупно- до мелкозернистой	Массивная, нечетко полосчатая	Пироксен, роговая обманка, плагиоклаз, иногда биотит, магнетит	Практического значения не имеет, может использоваться как бутовый камень и щебень
Амфиболит	Темно-серый, темный зеленовато-серый	Немагнетитовая от крупно- до мелкозернистой	Сланцеватая, полосчатая	Роговая обманка, плагиоклаз, иногда кварц, пироксен, гранат, биотит	Иногда содержит рудопроявления титаномагнетита, возможное сырье для получения каменного литья и других стеклокристаллических материалов



Порода	Цвет	Структура	Текстура	Минеральный состав	Применение
Гнейс	Серый от светлого до темного, светло-розовый	Гранобластовая, порфиробластовая, лепидогранобластовая	Гнейсовая, полосчатая, линзовидно-полосчатая	Плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц, биотит, гранат, роговая обманка, кордиерит, иногда графит	Материал для изготовления тротуарных плит, бутового камня и щебня
<b>Автометаморфические</b>					
Серпентинит	Зеленовато-серый, бледно-зеленый, породы с черными или темно-бурыми пятнами, пятнистый	Волокнистая, петьчатая	Массивная, полосчатая	Серпентин, реликты оливина, пироксена, хромита, примесь карбонатов, магнетита, иногда талька, тремолита, хлорита	Как порода, включающая волокнистую разновидность – асбест, декоративный и поделочный камень
<b>Динамометаморфические</b>					
Катаклазит	Зависит от окраски исходных пород	Катакластическая, цементная	Массивная	Остроугольные обломки исходных пород и кристаллов	Катаклазированные мраморы – декоративный и облицовочный камень
Милонит	Темно-серый, буровато-серый до черного	Тонкозернистая динамофлюидальная	Нечетко полосчатая	Кварц, полевые шпаты, серицит, хлорит	Практического значения не имеет

Различия в условиях образования метаморфических пород обуславливают разнообразие их структур и текстур.

**Структуры.** Все метаморфические породы являются полнокристаллическими образованиями. В зависимости от *размера зерен* они, также как и изверженные породы, подразделяются на крупно-, средне-, мелко- и тонкозернистые. По *характеру взаимосвязи* и взаиморасположения слагающих их минералов выделяются следующие главные типы структур метаморфических пород:

*гранобластовая*, образованная субизометричными зернами и кристаллами – кварцем, полевыми шпатами, гранатом и др.;

*нематобластовая*, сложенная удлиненными призматическими кристаллами, в основном амфиболами;

*лепидобластовая* – преобладающими минералами являются листоватые минералы – биотит, мусковит и др.;

*порфиробластовая*, характеризующаяся наличием крупных зерен (кристаллобластов) минералов (полевой шпат, гранат) в массе более мелких зерен.

При наличии в породах минералов разного габитуса различают *немато-гранобластовые*, *грано-лепидобластовые* и другие структуры

**Текстуры.** Большинству метаморфических горных пород свойственна *сланцеватая* текстура, возникающая вследствие одностороннего давления. Она особенно четко проявлена в породах, богатых слюдястыми минералами. Кроме того, широко распространены *гнейсовая* (гнейс), *полосчатая* (скарн, кварцит), *очковая* (очковый гнейс), *массивная* (мрамор, гранатит), *плойчатая* (сланцеватый сланец) текстуры.

По своим физическим свойствам метаморфические породы иногда уступают изверженным, так как сланцеватость делает их анизотропными, что способствует более быстрой их выветриваемости.

Характеристика метаморфических пород приведена в табл. 35.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Изучите горные породы по внешнему виду, разделите их по структурным признакам.
2. Разделите породы по минеральному составу.
3. Выделите метаморфические породы, образовавшиеся за счет осадочных пород.
4. Определите и опишите образцы пород в соответствии с табл. 36.

**Описание состава и свойств метаморфических горных пород**

Название породы	Окраска	Структура	Текстура	Взаимодействие с HCl
-----------------	---------	-----------	----------	----------------------

Окончание табл. 36

Составляющие минералы	Прочие свойства	Тип метаморфизма	Применение
-----------------------	-----------------	------------------	------------

**Контрольные вопросы**

1. Как образуются метаморфические горные породы?
2. Какие структуры и текстуры характерны для метаморфических пород?
3. Тектурные особенности метаморфических пород.
4. Как определить карбонатные метаморфические породы?
5. Как отличить мрамор от кварцита?
6. В каких условиях проявляется контактовый и региональный метаморфизм?
7. Какие образуются породы в процессе пневматолитического и гидротермального метаморфизма?
8. Охарактеризуйте текстуру и структуру гнейса, его минеральный состав.
9. Назовите основные генетические типы метаморфических горных пород.

## 4. ТЕХНИЧЕСКАЯ ПЕТРОГРАФИЯ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18 ИСКУССТВЕННЫЕ ТУГОПЛАВКИЕ СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ

#### 1. Общие сведения

Силикатные материалы и условия их получения во многом сходны с горными породами и процессами их образования. Например, изверженным горным породам соответствуют металлургические шлаки, плавный цемент, стекло, плавный корунд; метаморфическим горным породам – динас, шамот, цементный клинкер, фарфор и другая керамика; осадочным породам – бетон, цементный раствор, силикатный кирпич и другие; контактово-метаморфическим образованиям – новообразования минералов на стенках различных печей; включениям в горных породах – камни в стекле и т. д.

Среди силикатных материалов выделяются три основных типа: керамика, стекло и вяжущие материалы.

**Керамика и керамические изделия.** *Стеновые изделия* – один из наиболее древних искусственных строительных материалов. Они известны уже более 5 тыс. лет и широко применяются для строительства зданий и сооружений различного назначения. К стеновым материалам относят кирпич и керамические камни. Последние по размерам больше кирпича, имеющего форму параллелепипеда с размерами 250×120×65 и 250×120×88 мм. С целью улучшения теплоизоляционных свойств, снижения массы, расхода сырья и топлива кирпич и камни выпускаются со сквозными или несквозными пустотами.

Водопоглощение кирпича и камней составляет не менее 6–8%. Для производства стеновой керамики в качестве сырья используется преимущественно легко- и тугоплавкие глины, суглинки, а также глины с включением карбонатов.

*Фасадная керамика* – прекрасный облицовочный материал, имеющий хороший внешний вид, долговечность, невысокую стоимость. В строительстве наиболее экономична лицевая керамика (кирпич и камни), которые кроме конструктивных выполняют и декоративные функции. Кирпич вырабатывают с естественно окрашенной лицевой или двухслойной поверхностью. Лицевая поверхность может быть покрыта глазурью, ангобом, оплавлена плазмой.

*Фасадные керамические плитки* выпускают широкой цветовой гаммы, неглазурованные и покрытые глазурью. Водопоглощение их 8–10%. Кроме того, они должны обладать хорошей морозостойкостью.

*Фарфор* – важнейший и интереснейший керамический материал. Черепок его плотный, спекшийся, в изломе раковистый, просвечивающий в тонком слое. Открытая пористость фарфора менее 0,5%, истинная – 3–5%. Он обладает высокой прочностью, устойчивостью к действию кислот и щелочей.

*Хозяйственный фарфор* характеризуется белизной и просвечиваемостью. В состав его входят чистые разновидности каолина, кварца, полевого шпата, небольшое количество пластичной глины, наименее загрязненной красящими оксидами. Фарфор обжигают таким образом, чтобы часть материала расплавлялась при обжиге и при охлаждении застывала в стекловидном состоянии. В фарфоре содержится до 40–60% стекловидной фазы.

*Электротехнический фарфор* применяют в производстве изоляторов различного назначения. Этот фарфор обладает однородной, высокоплотной структурой с минимальным количеством пор.

*Фаянс* имеет плотный микропористый черепок (обычно белый), покрытый бесцветной прозрачной глазурью. От фарфора фаянс отличается большей пористостью и водопоглощением (10–14%), низкими физико-механическими свойствами, в связи с чем его использование в технике ограничено.

*Хозяйственный фаянс* изготавливают из сырья, аналогичного фарфору. Он включает столовую и чайно-кофейную посуду. Водопоглощение такого фаянса 10–14%.

*Фаянсовые облицовочные плитки* выпускают различных типов и размеров. Сырьем служат глины и каолины, отощители – кварцевый песок, жженный каолин, бой (брак) изделий. В качестве плавней применяются нефелиновый сиенит, перлит, шлаки, мел, стеклбой в сочетании с мелом, тальком, доломитом, волластонитом, металлургическими шлаками и отходами фосфорных производств. Водопоглощение плиток от 16% до 24%.

*Санитарно-технические изделия* изготавливают из фаянса, полуфарфора и фарфора. Для их изготовления применяются беложгущиеся каолиновые и каолинито-гидрослюдистые, огнеупорные и тугоплавкие глины, содержащие 27–35% глинозема и до 2–5% красящих оксидов.

*Керамзит* – гранулированный вспученный материал, имеющий в изломе структуру застывшей пены. Его выпускают в виде гравия (размер зерен 5–40 мм) и песка (менее 5 мм). Сырьем для получения

керамзита служат вспучивающиеся при быстром нагревании глины и глинистые породы. В зависимости от подготовки массы существуют сухой, пластический и шликерный методы получения керамзита.

*Аглопорит* – искусственный пористый материал, выпускаемый в виде щебня (фракции 5–40 мм) и песка (менее 5 мм). Сырьем для получения аглопорита служат глинистые и угленосные сланцы, глины, суглинки, а также золы ТЭЦ с добавками угля, опилок, извести.

*Майолика и художественная керамика* изготавливаются из естественно окрашенных легкоплавких глин, имеет различную окраску черепка; декорируется глухими (майолика) и цветными глазуриями. Температура обжига майолики до 1150°C, водопоглощение до 15%.

*Глазури* представляют собой тонкую стекловидную пленку толщиной 80–240 мкм, которой покрывают тонкокерамические изделия. Различают глухие, прозрачные, цветные, матовые, блестящие, кристаллические, кракле и др. глазури. Они препятствуют проникновению жидкости и газов в поры изделий, повышают их прочность, химическую стойкость и декоративные качества.

*Керамические пигменты, краски* применяются в производстве тонкой керамики и включают окрашенные минералы типа рубинов, шпинелей и гранатов. Они весьма устойчивы при высоких температурах и используются для декорирования керамических изделий.

*Дренажные трубы* применяют при мелиоративных работах для устройства водоотводных сетей, понижающих уровень грунтовых вод, в сельском хозяйстве, строительстве сооружений и дорог. Для производства дренажных труб используют в основном легкоплавкие глины, аналогичные используемым в производстве кирпича. В качестве отощителя применяют песок, дегидратированную глину, шамот; выгорающими добавками служат уголь, топливные шлаки, опилки. Черепок труб пористый с водопоглощением не более 18%.

*Канализационные керамические трубы* предназначены для транспортировки сточных вод и жидких отходов производств в хозяйственных и промышленных канализационных сетях. Керамический черепок труб плотный (водопоглощение не более 9%) и химически стойкий (кислотостойкость не менее 0,2%). Основное сырье – тугоплавкие или огнеупорные глины, в качестве отощителя используют шамот, полученный из тугоплавких глин.

*Техническая керамика* классифицируется по химико-минеральному составу, определяющему ее свойства. К этому классу относится керамика из высокоогнеупорных оксидов – тигли для плавки чистых металлов и сплавов, футеровка высокотемпературных печей, изоляции

термопар, конструктивные детали газовых турбин и ракетных двигателей. Оксидную керамику изготавливают на основе оксидов:  $Al_2O_3$  (корундовая),  $ZrO_2$ ,  $BeO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $ThO_2$ ,  $UO_2$ .

Муллитовая, муллитокорундовая, клиноэнстатитовая, форстеритовая, кордиеритовая, цельзиановая, цирконовая, литийсодержащая, волластонитовая керамика на основе силикатов и алюмосиликатов применяется в электронике, радио- и электротехнике, вакуумной технике.

Керамика на основе диоксида титана, титанатов, цирконатов, ниобатов и их соединений с пьезоэлектрическими свойствами применяется в радио- и электротехнике, конденсаторной технике для пьезоэлементов, в радиоэлектронике.

Керамика на основе шпинелей и хромитов (магнезиальная шпинель, феррошпинель, хромиты лантана и натрия) находит применение в качестве огнеупоров, в электровакуумной радиоэлектронике, в качестве высокотемпературных нагревателей и электропроводящих элементов.

Техническая керамика на основе тугоплавких неокислородных соединений (карбиды, нитриды, бориды, силициды) применяются как огнеупорные изделия, конструкционные детали, электронагреватели.

Композиционные материалы используются в качестве огнеупорных и конструкционных материалов.

Исходными компонентами для производства технической керамики являются чистые оксиды, которые подвергают, как правило, прокаливанию с целью стабилизации фазового состава, улетучивания влаги и легкоплавких примесей. Оксиды подвергаются тонкому помолу сухим и мокрым способом; компоненты смешивают методом соосаждения или при помолу. Изделия формуют всеми способами, используемыми для непластичных материалов (литье водными шликерами, горячее литье из термопластических шликеров, прессование порошков).

При обжиге оксидной керамики химические реакции не протекают и новые соединения не образуются. Уплотнение и упрочнение материала достигается при твердофазовом спекании с диффузионным переносом вещества.

Одним из видов технической оксидной керамики является кордиерит, синтез которого осуществляют твердофазным способом из смеси талька, глины и глинозема при  $1300\text{--}1410^\circ\text{C}$ . Кордиерит широко применяют для получения электроизоляционных и термостойких керамических и огнеупорных материалов. Основной кристаллической фазой является кордиерит ( $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ).

*Огнеупорные материалы* – это изделия, способные существенно сохранять свои свойства при высоких (выше  $1000^\circ\text{C}$ ) температурах под

влиянием процессов, происходящих в рабочих пространствах тепловых агрегатов. Все огнеупорные изделия условно делятся на 3 группы: кислые (кремнеземистые), основные (периклазовые, периклазохромитовые, доломитовые) и нейтральные (шамотные, высокоглиноземистые).

*Алюмосиликатные огнеупоры* в зависимости от содержания  $Al_2O_3$  подразделяются на полукислые (до 28%), шамотные (от 28 до 45%) и высокоглиноземистые (более 45%). Сырьем для производства полукислых и шамотных огнеупоров служат огнеупорные глины и каолины. При изготовлении высокоглиноземистых изделий в глины и каолины вводят технический глинозем или природные минералы силлиманитовой группы и гидраты глинозема. Единственной твердой фазой, устойчивой до  $1595^\circ C$ , у шамотных и полукислых огнеупоров является муллит –  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Кроме муллита при температуре выше  $1595^\circ C$  в равновесном состоянии всегда присутствует жидкая фаза, которая при охлаждении полностью не кристаллизуется и в обожженном материале находится в виде стекла. Максимальная температура обжига шамота находится в пределах  $1350$ – $1410^\circ C$ , а при получении высокоглиноземистого шамота достигает  $1500$ – $1600^\circ C$ .

В высокоглиноземистых материалах добавка технического глинозема (в муллитовых до 70%, муллитокорундовых более 95%  $Al_2O_3$ ) приводит к тому, что в муллитокорундовых изделиях в зернах шамота в большом количестве присутствуют зернышки корунда.

*Кремнеземистые огнеупоры* представлены главным образом диносом – огнеупорным материалом с содержанием не менее 93%  $SiO_2$ , обожженным при температуре, обеспечивающей полиморфное превращение кремнезема (кварца) в тридимит и кристобалит. Главными кремнеземистыми породами для производства динаса являются кварциты и кварцевые песчаники. Температура обжига динаса составляет  $1420$ – $1520^\circ C$ .

*Магнезиальные огнеупоры* являются наиболее распространенным видом основных огнеупорных материалов. Они применяются в металлургической, цементной и химической промышленности.

Магнезитовый огнеупор состоит в основном из периклаза ( $MgO$ ), содержание которого достигает 80–85%, а иногда и более. Минерал отличается огнеупорностью выше  $2000^\circ C$ . Получают его путем обжига природного магнезита ( $MgCO_3$ ), переходящего при температуре выше  $650^\circ C$  в тонкодисперсный оксид магния, называемый каустическим магнезитом. При температуре обжига  $1500$ – $1600^\circ C$  образуется «намертво» обожженный магнезит в виде хорошо закристаллизованного периклаза ( $MgO$ ), пригодного для изготовления огнеупорных изделий.



*Шпинелевые огнеупоры* в своем составе содержат магнезиальную шпинель ( $MgAl_2O_4$ ), изоструктурную с хромитом. Они также относятся к магнезиальным высокотемпературным материалам и характеризуются значительной огнеупорностью и шлакоустойчивостью. Получают их путем обжига смеси технического глинозема или боксита и каустического магнезита в соотношении 7 : 3. В качестве минерализатора добавляют 2% хромистой руды. Обжиг ведут при температуре 1600–1650°C.

*Карборундовые (карбидкремниевые) огнеупоры* изготавливают прессованием или трамбованием из смеси SiC с огнеупорной глиной. Обжиг ведут в окислительной среде при 1300–1350°C в углеродсодержащих засыпках. Огнеупоры отличаются невысоким коэффициентом термического расширения и высокой теплопроводностью, в связи с чем применяются для самых ответственных условий службы в обжигательных печах.

*Хромомagneзитовые огнеупоры* получают путем обжига шихты, состоящей из хромитовой руды и спекшегося магнезита. В процессе обжига двухвалентное железо хромшпинелида (хромита) замещается трехвалентным. В хромите  $Fe^{2+}$  замещается  $Mg^{2+}$ , при этом образуется магнезиохромит ( $MgCr_2O_4$ ). Однако полностью хромит все же не разлагается, и в структуре огнеупора всегда обнаруживаются зерна остаточного хромита. Хромомagneзитовые огнеупорные изделия отличаются большей стойкостью, чем обычные магнезитовые, что и определяет их широкое применение для футеровки зон спекания вращающихся цементных печей и в металлургической промышленности.

*Циркониево-глиноземистые или цирконо-муллитовые и бакоровые (бадделеито-корундовые) огнеупоры* применяются для футеровки бассейнов стекловаренных печей. Они состоят из плавленого муллита и корунда с введением  $ZrSiO_4$ , что приводит при плавлении к образованию кристаллов бадделеита ( $ZrO_2$ ).

*Циркониевые огнеупоры* в своем составе содержат значительное количество диоксида циркония ( $ZrO_2$ ). Сырьевыми материалами для их изготовления служат горные породы, содержащие циркон ( $ZrSiO_4$ ), бадделеит ( $ZrO_2$ ) или эвдиалит ( $Na_4Ca_2Zr[Si_3O_9]_2$ ). Материалы, состоящие в основном из чистого  $ZrO_2$ , отличаются весьма значительной огнеупорностью (более 2100–2200°C) и большой химической инертностью при высоких температурах. Для предупреждения растрескивания при эксплуатации огнеупоров в состав шихты вводят CaO и другие добавки.

*Форстеритовые огнеупоры* изготавливают из магнезитовых горных пород типа дунитов, оливинитов, серпентенитов, некоторых

разновидностей пироксенитов, тальковых пород и магнезитов. Форстеритовый огнеупор слагается кристаллами форстерита и периклаза, содержащих зерна магнезита.

**Стекло и стеклоизделия.** *Стеклом* называют все аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплава независимо от химического состава и температурной области затвердевания, обладающие в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел; процесс перехода из жидкого в стеклообразное состояние должен быть обратимым.

Важнейшими сырьевыми материалами для производства стекла являются кварциты, кварцевый песок, агат, яшма, опал, трепел, диатомит, песчаник, жильный кварц, пегматиты, полевые шпаты; в качестве добавок используются флюорит, касситерит, лепидолит, сподумен, известняк, мрамор, доломит, гематит, мел, магнезит и другие.

По строению различают кварцевые стекла, щелочно- и щелочно-земельносиликатные, щелочно-алюмосиликатные, боратные, фосфатные и др. Наибольшее значение в составе самых распространенных сортов имеют следующие оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ .

Процесс варки стекла ведется при температуре 1530–1580°C и включает этапы силикатообразования, стеклообразования, осветления, гомогенизации и студки. Изменяя состав сырьевых материалов, их количество и используя различные добавки и технологические режимы варки, получают самые разнообразные типы промышленного стекла.

*Листовое стекло* изготавливают методами вертикального вытягивания из стекломассы натриево-кальциево-силикатной системы оксидов с введением  $\text{MgO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

*Узорчатое, армированное и утолщенное листовое стекло*, которое используется в качестве облицовочного материала, получают методом проката.

*Тарное стекло* – это стеклянные полые изделия, предназначенные для разлива, упаковки, хранения и транспортировки различных продуктов в пищевой, химической, медицинской и парфюмерной промышленности. Это один из самых распространенных видов стеклянных изделий.

*Сортовое стекло* – стеклянная посуда (столовая, посуда для вина и напитков), а также изделия, используемые в быту (пепельницы, вазы, туалетные наборы, сувениры) и художественно-декоративные изделия. Вследствие очень высокого требования к качеству данной продукции для производства применяются особо чистые сырьевые мате-

риалы. Используются методы ручного и механизированного формования с последующей декоративной обработкой (или без нее).

*Техническое стекло* включает безосколочное трехслойное стекло триплекс, закаленное стекло и стекло, упрочненное ионным обменом. Триплекс состоит из двух листов стекла и эластичной прозрачной прокладки между ними; предназначен для безопасного остекления транспортных средств и специальных приборов. Закаленное стекло получают из обычного стекла путем его термической обработки – закалки.

*Стекланные трубы и трубки* предназначены для сооружения трубопроводов, по которым транспортируются пищевые и химические жидкости при температурах от  $-50$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ .

*Кварцевое стекло* по химическому составу представляет собой практически чистый  $\text{SiO}_2$ , который получают переохлаждением расплавленного кремнезема.

*Электровакуумное и электротехническое стекло* представлено стеклянными деталями электровакуумных приборов различного вида и назначения (лампы, электронно-лучевые трубки, телевизионные кинескопы), а также стеклом для рентгеновской и электронной техники, интегральных схем и т. д., в которых стекло играет роль конструктивного материала или рабочего элемента – диэлектрика, полупроводника, компонента резистора.

*Химико-лабораторное стекло* – это химическая посуда, приборы и приспособления, а также аппараты, применяемые в лабораторной практике.

*Термическое стекло* используется для изготовления термометров, ртутных переключателей, термоконтакторов.

*Медицинское стекло* идет для упаковки и хранения лекарственных средств, инъекционных и бактериологических растворов.

*Стекловолокно* подразделяется на непрерывное и штапельное (длиной нитей до 50 см). Получение его основано на способности расплавленной стекломассы вытягиваться в тонкие нити.

*Архитектурно-строительное стекло* включает *стеклоблоки* – стеклянные пустотелые блоки, полученные сваркой двух отпрессованных стеклянных коробок, *пеностекло* – тепло- и звукоизоляционный материал из стекла, пронизанного порами; *стеклопрофилит* – крупногабаритные изделия швеллерного или коробчатого сечения.

*Ситаллы* – это стеклокристаллические материалы, получаемые на основе стекла путем направленной регулируемой объемной кристаллизации. Количество кристаллической фазы в ситаллах может изменяться в широких пределах – от 10 до 90%. Ситаллы характеризуются

крайне мелкокристаллической структурой (0,01–0,30 мкм). Образование кристаллитов вызывается методом стимулированной кристаллизации за счет введения добавок оксидов Ti, Zr, Cr, сульфидов, Pt и др. Ситаллы обладают термостойкостью, повышенной прочностью, тугоплавкостью, электроизоляционными и радиотехническими свойствами.

Сырьем для получения ситаллов служат алюмосиликаты типа кордиерита или сподумена, а также разнообразные горные породы, которые позволяют изготавливать жаростойкие трубы, электроизоляторы, радиокерамические детали и подшипники.

*Шлакоситаллы* – стеклокристаллические материалы, получаемые путем направленной кристаллизации стекломасс, которые содержат более 50% металлургических шлаков.

**Вяжущие материалы и изделия из них.** *Минеральными вяжущими материалами* называются порошкообразные вещества, образующие при смешивании с водой пластичную удобоукладываемую массу, способную со временем затвердевать в прочное камнеподобное тело. Все современные вяжущие материалы являются искусственными синтетическими материалами, в готовом виде их нет в природе, как нет в природе и большинства минералов, из которых состоят вяжущие материалы.

подавляющая масса получаемых в народном хозяйстве вяжущих материалов потребляется в строительстве для получения бетонов и растворов, т. е. относится к строительным материалам. Вяжущие материалы в соответствии со строительными нормами и правилами делятся на 4 группы.

*Воздушные* материалы способны после смешивания с водой твердеть и длительно сохранять свою прочность только на воздухе. К ним относятся известковые, гипсовые, магнезиальные и другие вяжущие.

*Гидравлические* материалы могут после смешивания с водой твердеть и сохранять свою прочность как на воздухе, так и в воде. Эти вяжущие обычно называются цементами: портландцемент, шлаковые цементы, глиноземистый цемент и др.

*Вяжущие материалы автоклавного твердения* после смешивания с водой твердеют и набирают свою прочность только в автоклаве при обработке чистым паром под давлением более 0,8 МПа. В обычных условиях они не твердеют или обладают слабыми вяжущими свойствами. К ним относятся известково-кремнеземистые смеси и низкоосновные силикаты кальция.

*Кислоупорные* материалы после затвердения способны сохранять свою прочность при хранении в растворах кислот. К ним отно-

сится кварцевый цемент, затворяемый водным раствором жидкого стекла.

*Воздушная известь* – продукт обжига не до полного спекания известково-магнезиальных карбонатов, содержащих не более 6% глинистых и кремнеземистых пород. Сырьем служат известняки, мел, доломит, доломитизированные известняки, известковые туфы. Получают порошковую негашеную известь и порошковую гидратную известь (пушонку).

*Гипсовые вяжущие* – воздушные вяжущие, получаемые тонким помолом продуктов термообработки естественных и искусственных разновидностей сульфата кальция и способные при затворении в воде схватываться, твердеть и превращаться в камень.

*Изделия на основе гипса* бывают разных видов. Это сухая гипсовая штукатурка – листовая материал, изготавливаемый из гипсового вяжущего материала и картона; применяется для внутренней отделки помещений и для устройства перегородок; гипсовые и гипсобетонные плиты и панели из чистого гипса с добавками-наполнителями; гипсовые акустические перфорированные плиты, получаемые из сформованных гипсовых коробов путем заполнения их минеральной ватой с последующим закрытием листовой алюминиевой фольгой и гипсовым экраном – декоративной деталью; применяются для облицовки потолков и стен помещений.

*Портландцементный клинкер* представляет собой полуфабрикат при производстве портландцемента. Получается он путем обжига до спекания сырьевой смеси определенного химического состава, обеспечивающего преобладание в клинкере силикатов кальция. В промышленных печах клинкер получают обжигом до спекания при температуре около 1450°C. В зоне спекания промышленной печи достигается состояние, близкое к равновесному при данной температуре. При быстром охлаждении клинкера, что имеет место в промышленных печах, жидкая фаза клинкера может закристаллизоваться не полностью и частично застыть в виде стекла, поэтому в промышленных клинкерах всегда присутствует стеклофаза. В промышленной сырьевой смеси встречаются различные примеси.

*Портландцемент* – вяжущее вещество, состоящее в основном из силикатов кальция. В подчиненном количестве в нем содержатся алюмоферриты и алюминаты кальция. Сырьевыми материалами для производства портландцемента обычно являются природные горные породы, в основном известняк, мел, мергель. Вторым сырьевым компонентом сырьевой смеси являются различные алюмосиликатные

горные породы, вносящие в состав сырьевой смеси кремний и алюминий. В качестве этого компонента обычно используют глину, глинистые сланцы и лесс. Третий компонент сырьевой смеси, как правило, представляет собой добавку в виде оксидов железа. Широко используются в качестве сырьевых материалов также попутные продукты других отраслей промышленности: доменные и электротермофосфорные шлаки, нефелиновые шламы, золы от сжигания каменных углей и другие материалы, содержащие Ca, Si, Al, Fe.

*Глиноземистый цемент* – быстро твердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением клинкера, изготовляемого плавлением смеси, обеспечивающей по составу преобладание в готовом продукте низкоосновных алюминатов кальция. Он получается при плавлении в доменных или электрических печах шихты, состоящей из боксита, известняка и железной стружки. Основными носителями гидравлических вяжущих свойств являются моноалюминат кальция ( $\text{CaAlO}_4$ ) и метастабильная ромбическая модификация пятикальциевого трехалюмината ( $\alpha\text{-Ca}_5\text{Al}_6\text{O}_{14}$ ).

*Ячеистые изделия из силикатобетона* получают из извести и газообразователя – алюминиевой пудры, которая взаимодействует с выделением водорода; применяют для наружных и внутренних работ, плит и перекрытий зданий.

*Силикатный кирпич* – искусственный камень, полученный из смеси кварцевого песка-заполнителя и известкового вяжущего, твердеющий в автоклавах. Разделяют кирпич на лицевой и рядовой.

## 2. Петрографическое изучение искусственных тугоплавких силикатных материалов

Главными задачами петрографического исследования технических материалов являются детальное изучение их минерального состава и получение химической, физической и физико-химической характеристик отдельных минералов, входящих в различные материалы. Полученные данные используются для установления зависимости между минеральным составом и физико-химическими показателями исследуемого минерала.

Для петрографического исследования материалов в шлифах применяются поляризационные микроскопы.

**Керамика и огнеупоры.** Свойства керамики определяются ее микроструктурой, под которой подразумевается взаимное распределение и сочетание составляющих ее кристаллической, стекловидной и

газовой фаз. Микроструктура зависит от многих факторов, главные из которых – это тип исходных сырьевых материалов, технологические приемы их обработки и подготовки массы, методы формования, физико-химические процессы, протекающие при спекании.

**Кристаллическая фаза** может быть представлена либо одним минеральным видом, либо несколькими (несколько кристаллических фаз) в тех или иных соотношениях.

**Стекловидная фаза** в керамических материалах находится в виде прослоек, пленок между кристаллическими составляющими или межкристалльных обособлений, выполняющих роль цемента. Количество и состав стеклофазы обусловлены наличием примесей и вводимыми в состав массы плавнями. Например, некоторые виды технической керамики содержат менее 1% стеклофазы, а фарфор – 35–60%.

**Газовая фаза** представляет собой воздух и другие газы, содержащиеся в порах материала.

Распределение, количество, размер, форма и количественное соотношение кристаллических, стекловидной и газовой фаз и определяют *микроструктуру* и *текстуру* керамического материала. В простейшем идеальном случае монофазной керамики ее составляющей будет одна единственная кристаллическая фаза. Формирование микроструктуры такой керамики приводит к образованию агрегатов кристаллов, которые в период роста приобретают самую различную форму – столбчатую, призматическую, кубическую, сфероидальную и др. Большое значение в монофазных керамических материалах часто имеют природа и состав дислокаций, границ зерен. Текстура определяется взаимным расположением зерен и пор в материале, их размерами и объемом.

Микроструктура *фарфора и фаянса* обусловлена наличием в стеклофазе полевошпатового состава оплавленных зерен кварца и кристаллов муллита, количественные соотношения между которыми варьируют от 5 : 95–10 : 90 в фаянсе до 50 : 50 в фарфоре, что и придает ему уникальное свойство просвечиваемости. Высокое качество и механическая прочность фарфоровых изделий определяются наличием стекло-муллитовой массы, минимальным содержанием остаточных зерен кварца и мелких изолированных пор, отсутствием крупнокристаллических скоплений и ветвистых или цепочечных пор.

Микроструктура фаянса представлена зернами дегидратированного глинистого вещества (каолинита, монтмориллонита), кварца, сцементированных небольшим количеством стекловидной фазы, которая

образуется при взаимодействии легкоплавких составляющих массы с глиной, каолином, кварцем.

При микроскопическом изучении состава и структуры фарфора и фаянса при одном николе определяют:

1) наличие или отсутствие псевдоморфоз стекло-муллитовой массы по полевому шпату, максимальный и преобладающий размер игл муллита и их расположение;

2) наличие зоны изменения вокруг зерен остаточного кварца с изменением ширины каймы;

3) количество, расположение и размер (минимальный, максимальный, преобладающий) пор в фарфоре;

4) наличие газовых пузырей, их диаметр, а также размер игл муллита вокруг них.

В скрещенных николях определяют размеры и количество зерен остаточного кварца (минимальные, максимальные и средние), процент стекло-муллитовой фазы.

*Грубая строительная и художественная керамика* изготавливается преимущественно из местных легкоплавких гидрослюдистых глин, содержащих вермикулит, монтмориллонит, каолинит, хлорит и более крупные примеси – полево шпат, кварц, рутил, гидроксиды железа, карбонатные, органические и другие включения. Микроструктура керамики, изготовленной из этого сырья, представлена в основном зернами видоизмененного глинистого вещества и кремнеземсодержащими фазами, сцементированными стекловидной фазой. Наличие муллита наблюдается в незначительных количествах и только при температуре обжига выше 1000°C.

Для *кордиеритовой керамики*, изготавливаемой из огнеупорной глины, талька и глинозема, характерно наличие кристаллов кордиерита, а также видоизмененных глинистых минералов и единичных зерен корунда.

Для *керамзита и аглопорита* применяются легкоплавкие глинистые породы (лесс, суглинок, глинистые сланцы) с добавками угля, шлака, опилок и др. Глинистая составляющая должна обладать способностью вспучиваться при нагревании за счет образования вязкого силикатного расплава и одновременного выгорания газообразующих продуктов. Микроструктура этих материалов характеризуется наличием остаточной и вновь образованной кристаллической фаз, стекловидной фазы и значительным количеством газообразной фазы. Часто присутствуют новообразования в виде темных включений пирита и пирротина.



Структура огнеупоров может быть тонко- и грубозернистой в зависимости от состава и технологии производства. При этом должно обеспечиваться минимальное количество стекловидной фазы.

Для *динасовых огнеупоров*, содержащих более 93% кремнезема, основными минералами являются остаточный (сырьевой) кварц, стеклофаза и незначительное количество примесей. Остаточный кварц в печах в процессе службы огнеупора переходит в другие полиморфные модификации кремнезема – тридимит и кристобалит. Увеличение содержания тридимита в динасе способствует улучшению качества огнеупора, усиливает его устойчивость к резким изменениям температуры. В процессе работы в динасовом огнеупоре образуются следующие зоны:

1) неизменная светло-желтая зона, расположенная в наиболее холодной части печной кладки (состав огнеупора соответствует первоначальному);

2) переходная коричневая зона, в которой содержится большое количество тридимита, фаялита и монтичеллита;

3) светло-серая кристобалитовая зона, обращенная к плавному пространству печи; в ней происходит перерождение тридимита в высокотемпературный устойчивый кристобалит тонкозернистой, мраморовидной структуры.

В *шамотных огнеупорах* в процессе обжига образуется муллит и одновременно кристобалит (из несвязанного кремнезема), которые погружены в аморфное, слабораскристаллизованное вещество, содержащее отдельные зерна кварца. При одном никеле микроскопа в проходящем свете шамотный огнеупор выглядит в виде темно-серой или буровато-серой сильно пористой массы с отдельными неправильно ограниченными зернами бесцветного кварца. В скрещенных николях аморфное белое вещество слегка просвечивает. При больших увеличениях заметны мелкие иглы муллита, пронизывающие стекловатую массу.

Основным минералом *магнезитового огнеупора* является периклаз (MgO), содержание которого достигает 80–85%. Кроме того, имеют место такие минералы, как белит, брусит, доломит, кальцит, кварц, магнезит, монтичеллит, опал, форстерит и др.

**Стекло.** Для готового стекла важнейшим показателем его качества является изотропность. Готовое стекло может иметь недостатки, или, как принято их называть, пороки стекломассы.

Любые включения твердого вещества в стекле, нарушающие его однородность, прозрачность, прочность и др., называются **камнями**.

Размеры камней могут быть весьма разнообразными – от частиц величиной в доли миллиметра до десяти и более сантиметров. Камни могут образовываться как отдельными правильными кристаллами, так и разнообразными сростками кристаллов – сферолитами, волокнистыми агрегатами, неправильными образованиями. Технологическая классификация предусматривает выделение 4-х типов камней: камни расстекловывания, шамотные, шихтовые, сводовые.

*Камни расстекловывания.* Чтобы избежать кристаллизации стекла, необходим строгий режим его охлаждения, в противном случае может проходить процесс кристаллизации, либо образование крупных кристаллов. Это явление получило название девитрификации, или «зарухания», стекловидного вещества. Помимо нарушения режима охлаждения, причиной возникновения камней кристаллизации может служить очень низкая температура в некоторых местах печи, плохое перемешивание или неправильная дозировка сырьевых материалов – обогащение стекломассы оксидами, способствующими ее кристаллизации.

Камни расстекловывания могут быть представлены или отдельными кристаллами, разбросанными в стекломассе, или войлокоподобными скоплениями, скелетными формами, радиально-лучистыми агрегатами. Наиболее характерными кристаллическими образованиями среди камней расстекловывания являются: девитрит ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ ), тридимит ( $\text{SiO}_2$ ), кристобалит ( $\text{SiO}_2$ ),  $\beta$ -волластонит ( $\beta\text{-CaSiO}_3$ ). Реже встречается диопсид ( $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ). В бутылочном стекле наиболее часто присутствуют включения девитрита, кристобалита и тридимита, в листовом стекле – диопсида и  $\beta$ -волластонита.

*Шамотные камни (камни стеклоприпаса).* Источником шамотных камней являются огнеупоры, попадающие в стекломассу в виде осколков от стенок стекловаренных горшков, брусьев ванной печи и др. Они могут образовываться как на зеркале стекла, так и под ним. Шамотные камни представляют собой кусочки огнеупора белого цвета, измененные под воздействием стекольного расплава, с которым они контактируют. В их составе могут быть обнаружены муллит, кристобалит, силлиманит, корунд.

*Шихтовые камни* по внешнему виду похожи на шамотные. Они представляет собой не усреднившиеся до конца остатки сырьевых материалов, образующих стекольную шихту. Чаше всего это остатки непроплавившегося кремнезема – тридимит и кристобалит, которые нередко образуют скелетные и ветвистые обрамления кварцевых зерен. Помимо кварца шихтовыми камнями могут быть и другие минералы, входящие в состав кварцевого песка (циркон, кианит).

В том случае, когда при производстве стекла применяют нефелин и нефелиновые сиениты, шихтовыми камнями могут быть оплавленные зерна нефелина. Они обычно пронизаны многочисленными тонкими прожилками стекла. Иногда вблизи зерен нефелина образуется полевой шпат – альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ , представленный радиально-лучистыми сноповидными агрегатами. Вводимый в шихту сульфат натрия может явиться причиной образования сульфатных шихтовых камней. Обычно они имеют форму сгустков белого цвета с округленными краями. Внешне такие сгустки очень похожи на вату. Источником шихтовых камней также могут быть глинистые вещества, мел, известняк, доломит. Результатом реакции между известняком, стеклом и кремнеземом является образование в шихтовых камнях волластонита и псевдоволластонита, а вводимый в шихту доломит может привести к образованию диопсида и периклаза.

*Сводовые камни* образуются в результате частичного разрушения свода стекловаренных печей. Они обычно окрашены в буроватый или зеленоватый цвета и состоят целиком из изотропного стеклообразного вещества с редкими включениями анизотропного составляющего. Основные минералы сводовых камней – тридимит и кристобалит.

**Вяжущие материалы.** В составе промышленного *портландцементного клинкера* всегда присутствует стеклофаза, а в зависимости от примесей и режима охлаждения главными кристаллическими фазами могут быть алит (трехкальциевый силикат) –  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , белит ( $\beta$ -двухкальциевый силикат) –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , целит (кальциевый алюмоферрит переменного состава) –  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (он обычно занимает промежутки между зернами алита и белита), трехкальциевый алюминат –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . К второстепенным минералам относятся: оксиды магния ( $\text{MgO}$  – периклаз) и кальция ( $\text{CaO}$ ) и др. Минеральный состав колеблется в следующих пределах: алит 40–64%; белит 5–38%; трехкальциевый алюминат 3–15%; алюмоферрит 5–25%. Количество  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и щелочесодержащих минералов не превышает соответственно 6,2 и 1,2%.

При микроскопическом исследовании названные минералы имеют следующий вид:

– при одном никеле зерна белита округлые, слегка окрашены в желтоватый цвет, обычно разбиты неправильной системой трещин; кристаллы трехкальциевого алюмината бесцветны; зерна оксида Ca бесцветны, имеют высокий рельеф; связующее вещество, заполняющее пространство между зернами алита и белита, представлено хлопьевидной массой буроватого цвета;

– при двух николях алит имеет голубовато-серую интерференционную окраску и прямое погасание; для белита характерны желтые цвета интерференции; трехкальциевый алюминат и оксид Са, являющиеся изотропными образованиями, в скрешенных николях не просветляются, так же как и связующее вещество.

Оптические свойства наиболее распространенных кристаллических фаз приведены в табл. 37, 38.

Таблица 37

**Показатели светопреломления реликтовых минералов, встречающихся в искусственных силикатных материалах**

Минерал	Показатели светопреломления		
	Ng (No)	Nm (N)	Np (Ne)
Кальцит	1,658	–	1,486
Магнезит	1,700–1,719	–	1,509–1,527
Вермикулит	1,545	1,545	1,525
Корунд	1,767–1,771	–	1,759–1,763
Эпидот	1,778	1,761	1,729
Сфен	1,975–2,054	1,895–1,921	1,888–1,913
Брукит	2,700–2,741	2,584–2,586	2,583
Анатаз	2,561–2,562	–	2,488–2,489
Тальк	1,589–1,590	1,589	1,539–1,545
Микроклин	1,521–1,530	1,518–1,526	1,514–1,523
Сидерит	1,875	–	1,633
Гетит	2,398	2,393	2,260
Нефелин	1,532–1,547	–	1,529–1,542
Хризотил	1,545–1,567	–	1,532–1,560
Циркон	1,968–2,015	–	1,924–1,965
Апатит	1,633–1,667	–	1,630–1,664
Волластонит	1,632–1,636	1,630–1,634	1,618–1,622
Авгит	1,710–1,724	1,687–1,703	1,686–1,697
Криолит	1,339	1,338	1,338
Оливин	1,669–1,975	1,651–1,865	1,636–1,827
Мусковит	1,588–1,624	1,582–1,619	1,552–1,570
Биотит	1,609–1,697	1,609–1,696	–
Доломит	1,679–1,698	–	1,571–1,616
Гематит	2,90–3,22	–	2,69–2,94
Брусит	1,559–1,566	–	1,580–1,585

Минерал	Показатели светопреломления		
	Ng (No)	Nm (N)	Np (Ne)
Касситерит	1,997–2,001	–	2,093–2,098
Кварц	1,544	–	1,553
Тридимит	1,473	1,469	1,469
Кристобалит	1,487	–	1,484
Рутил	2,609–2,6162	–	2,895–2,903
Лимонит*	–	2,050	–
Кианит	1,728–1,729	1,720–1,722	1,712–1,717
Силлиманит	1,677–1,682	1,658–1,661	1,657–1,660
Кордиерит	1,575	1,569	1,558
Диопсид	1,696	1,672	1,655
Волластонит	1,632–1,636	1,630–1,634	1,618–1,622
Тальк	1,589–1,590	1,589	1,539–1,545
Биотит	1,654–1,697	1,653–1,696	1,598–1,616
Хлорит (пеннин)	1,571	1,571	1,569
Иллит (гидрослюда)*	–	1,550	–
Каолинит	1,560–1,570 0–6	1,559–1,569	1,553–1,563
Галлуазит*	–	1,520	–
Монтмориллонит	1,510	1,510	1,485
Альбит	1,536–1,539	1,325–1,529	1,525–1,529
Анортит	1,589	1,583	1,576
Ортоклаз	1,524–1,535	1,522–1,533	1,518–1,528
Микроклин	1,521–1,30	1,518–1,526	1,514–1,523
Нефелин	1,529–1,542	–	1,532–1,547
Монтчеллит	1,652	1,646	1,641

*Примечания:* 1. Показатели преломления по данным В. Е. Трегер (1988), отмеченные звездочкой по данным Е. Ларсен, Г. Берман (1965). Формулы и другие характеристики минералов приведены в табл. 18, 20, 21, 25 и приложении.

2. Приведенные значения показателей преломления соответствуют следующим обозначениям: а) для двухосных кристаллов – Ng – наибольший; Nm – средний; Np – наименьший; б) для одноосных кристаллов – No – наибольший в отрицательных кристаллах и наименьший – в положительных; Ne – наименьший в отрицательных кристаллах и наибольший в положительных; N – значение для изотропных одноосных кристаллов.

Оптические свойства новообразованных кристаллических фаз в искусственных силикатных материалах

Минерал	Цвет	Сингония, форма	Показатели светопреломления			Двойникование, спайность, погасание и другие свойства
			Ng (N <sub>0</sub> )	Nm	Np (N <sub>e</sub> )	
Тридимит высокотемпературный, синтетический $\beta$ -SiO <sub>2</sub>	Бесцветный	Гексагональная сингония, форма пластинчатая, игольчатая, скелетная	1,480	1,477	1,477	Клиновидные двойники, иногда копьевидные
Тридимит низкотемпературный $\alpha$ -SiO <sub>2</sub>	Белый, сероватобелый	Гексагональная сингония, форма пластинчатая	1,473	1,470	1,469	Образует тройники
Кристаллит высокотемпературный $\beta$ -SiO <sub>2</sub>	Бесцветный (мутный)	Кубическая сингония, форма октаэдрическая, кубическая, скелетная	1,487	–	1,484	Встречаются двойники
Кристаллит низкотемпературный $\alpha$ -SiO <sub>2</sub>	Бесцветный	Тетрагональная сингония, неправильные зерна	1,484	–	1,487	Полисинтетические двойники
Девитрит Na <sub>2</sub> O · 3CaO · 6SiO <sub>2</sub>	Белый	Игольчатая, стебельчатая, часто сферолиты	1,579	1,570	1,564	Прямое погасание
Псевдоволластонит $\beta$ -CaSiO <sub>3</sub>	Белый	Моноклинная сингония, пластинчатая форма	1,631	–	1,622	Полисинтетические двойники, прямое погасание, яркая интерференционная окраска
Муллит 3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>	Бесцветный, серый	Призматическая, игольчатая	1,653	1,642	1,638	Прямое погасание
Белит 2CaO · SiO <sub>2</sub>	Желтовато-бурый	Овальные зерна	1,735	–	1,717	Спайность в двух направлениях по призме, трещины в различных направлениях

Окончание табл. 38

Минерал	Цвет	Сингония, форма	Показатели светопреломления			Двойникование, спайность, погасание и другие свойства
			Ng (N <sub>0</sub> )	Nm	Np (N <sub>e</sub> )	
Целит (браумил-лерит) $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Бурый, желтый	Призматическая	2,04	–	1,91	Наличие плеохроизма
Алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Белый	Призматическая, таблитчатая	1,723	–	1,717	Спайность в одном направлении
Трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Белый	Кубическая, гексагональная	1,710	–	1,723	Спайность несовершенная в двух направлениях, прозрачный
Периклаз MgO	Бесцветный	Кубическая сингония, неправильные зерна	1,737	–	–	Спайность совершенная по кубу, изотропный
Корунд высокотемпературный $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$	Бесцветный, синевато-серый	Гексагональная сингония	1,768	1,768	1,760	Спайность практически отсутствует
Корунд низко- и высокотемпературный $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	Синевато-, желтовато-серый	Тригональная сингония, форма боченковидная, столбчатая, пластинчатая	1,768	1,768	1,760	Спайность практически отсутствует, погасание прямое

### 3. Порядок выполнения работы

1. Разделите тугоплавкие неметаллические и силикатные материалы на группы: керамика, стекло, ситаллы, огнеупоры, вяжущие материалы.

2. Определите материалы каждой группы по внешним признакам и физическим свойствам, используя определитель искусственных камней.

3. Опишите изучаемые искусственные камни по следующей схеме (табл. 39).

Таблица 39

**Описание искусственных силикатных материалов**

№	Наименование	Микроструктура	Текстура	Цвет	Класс
---	--------------	----------------	----------	------	-------

4. Произведите микроскопическое описание образцов в шлифах с помощью поляризационного микроскопа или иммерсионным методом. Для иммерсионного метода порошки готовятся дроблением в агатовой ступке до величины зерен 0,1–0,5 мм, не измельчая в пыль.

5. Порядок петрографического исследования описан в лабораторных работах № 7, 8.

Оформить результаты определений по следующей схеме (табл. 40).

Таблица 40

Минерал	Количество, %	Форма зерен	Окраска при одном николе	Плеохроизм	Другие свойства (двойники, погасание и т. д.)
---------	---------------	-------------	--------------------------	------------	---



**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**ВНЕШНИЕ ПРИЗНАКИ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ**  
**(А. Г. Бетехтин, 1956; В. Е. Трегер, 1988)**

Таблица 1

**Минералы с металлическим и полуметаллическим блеском, непрозрачные**

Минерал	Цвет	Черта	Твердость	Блеск	Спайность; излом	Форма кристаллов и агрегатов	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы белого и светло-серого цвета с металлическим блеском</i>								
Молибденит (молибденовый блеск) MoS <sub>2</sub>	Свинцово-серый с голубоватым отливом	Серая, часто с зеленоватым оттенком	1,0	Металлический	Весьма совершенная; неровный	Кристаллы гексагонально-таблитчатые, обычно листовые или чешуйчатые агрегаты, иногда сферолиты	4,70–5,00	Жирен на ощупь, гибок, разлагается в кипящей концентрированной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Антимонит (стибнит, сурьмяный блеск) Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Свинцово-серый	Свинцово-серая	2,0–2,5	Металлический	Совершенная; неровный	Призматические кристаллы, часто радиально- и спутанно-лучистые	4,50–4,60	Порошок под действием КОН окрашивается в желтый или оранжевый цвет
Галенит (блеск свинцовый) PbS	Свинцово-серый	Серовато-черная	2,0–3,0	Металлический	Весьма совершенная; ступенчатый	Кристаллы кубические, зернистые массы	7,40–7,60	Легко растворяется в HNO <sub>3</sub>
Серебро самородное Ag	Серебристо-белый	Металлически блестящая	2,5	Металлический	Отсутствует; крючковатый	Кристаллы редки, дендриты, неправильные пластинки, моховидные, провололочные формы	10,1–11,1	Характерна ковкость, растворяется в HNO <sub>3</sub> , с HCl дает белый осадок AgCl, на воздухе покрывается черной пленкой

Минерал	Цвет	Черта	Твердость	Блеск	Спайность; излом	Форма кристаллов и агрегатов	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы желтого цвета с металлическим блеском</i>								
Медь самородная Cu	Медно-красный, часто с побежалостью	Металлически блестящая	2,5–3,0	Металлический	Отсутствует; крючковатый	Пластинчатые дендриты, редко сплошные массы	8,50–8,90	Ковкость, тягучесть, легко растворяется в разбавленной HNO <sub>3</sub> , с трудом – в HCl, образуя хлорид меди
Халькопирит (медный колчедан) CuFeS <sub>2</sub>	Латунно-желтый с синей или пестрой побежалостью	Черная с зеленоватым оттенком	3,0–4,0	Сильный металлический	Несовершенная; неровный	Кристаллы редки – октаэдрического облика, зернистые агрегаты	4,10–4,30	В HNO <sub>3</sub> постепенно разлагается с выделением серы
Пирротин (магнитный колчедан) Fe <sub>(1-n)</sub> S	Темный бронзово-желтый с бурой побежалостью	Серовато-черная	3,5–4,5	Металлический	Несовершенная; неровный, раковистый	Кристаллы редки – таблитчатые, столбчатые, обычно сплошные массы	4,58–4,70	Часто магнитен
Марказит (лучистый колчедан) FeS <sub>2</sub>	Латунно-желтый с сероватым или зеленоватым оттенком	Темная зеленовато-серая	5,0–6,0	Металлический	Несовершенная; неровный	Кристаллы таблитчатые, копьевидные, гребенчатые сростки, радиально-лучистые, конкреции, натечные формы	4,60–4,90	В порошке легко разлагается в HNO <sub>3</sub> , в разбавленной HCl не растворяется
Пирит (железный колчедан, серный колчедан) FeS <sub>2</sub>	Латунно-желтый, часто с побежалостями пестрых цветов	Буровато- или зеленовато-черная	6,0–6,5	Сильный металлический	Весьма несовершенная; неровный, иногда раковистый	Кристаллы кубические, октаэдрические, кристаллические агрегаты, конкреции	4,90–5,20	Штриховка на гранях, порошок легко разлагается в HNO <sub>3</sub> , выделяя серу

Минерал	Цвет	Черта	Твердость	Блеск	Спайность; излом	Форма кристаллов и агрегатов	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<b>Минералы черного цвета с полуметаллическим блеском</b>								
Хромит (хромистый железняк) FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Черный	Бурая	5,5–6,0	Полуметаллический	Отсутствует; неровный	Кристаллы октаэдрические, сплошные зернистые массы	4,00–4,80	В кислотах не растворяется
Пирролюзит (полианит) MnO <sub>2</sub>	Черный	Черная	5,0–6,0 (кристаллы) 2,0 (агрегаты)	Полуметаллический	Совершенная; неровный, землистый	Кристаллы редки – игольчатые, шестоватые, обычно скрытокристаллические агрегаты, порошковатые, сажистые массы	4,70–5,00	Пачкает руки, растворяется в HCl, выделяя хлор
Ильменит (титанистый железняк) FeTiO <sub>3</sub>	Черный, стально-серый	Черная, иногда бурая	5,0–6,0	Полуметаллический	Весьма несовершенная; неровный	Кристаллы толсто-таблитчатые	4,72	Слабомагнитный
Магнетит (магнитный железняк) FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Черный	Черная	5,5–6,0	Полуметаллический	Отсутствует; раковистый	Кристаллы октаэдрического облика, чаще сплошные зернистые массы	4,90–5,20	Сильномагнитен, реагирует в порошке с HCl
Гематит (железный блеск, красный железняк, кровавик) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Черный, стально-серый, красновато-черный, вишневый, красный	Вишнево-красная	6,0–6,5	Полуметаллический	Отсутствует; неровный, полураковистый	Кристаллы пластинчатые, ромбоэдрические, таблитчатые, плотные скрытокристаллические массы, листоватые, чешуйчатые агрегаты	5,00–5,20	Немагнитен, очень медленно растворим в HCl

*Примечание.* Значения твердости 1,5, 2,5, 3,5 и т. д. означают, что данный минерал имеет твердость выше 1 и ниже 2, выше 2 и ниже 3, выше 3 и ниже 4 и т. д. в соответствии с твердостью минералов шкалы Мооса.

**Минералы с неметаллическим блеском**

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Пирофиллит $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	Белый с жел- товатым оттен- ком, бледно-зе- леный; полу- прозрачный	Белая	1,0	Стеклянный с перламут- ровым от- ливом	Совершен- ная; неров- ный	Пластинчато- лучистые агре- гаты, скрыточе- шуйчатые плот- ные массы	2,66– 2,90	В кислотах не разлагается
Тальк (стеатит, жиро- вик) $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	Бесцветный, белый, зелено- ватый; непро- зрачный	Белая	1,0	Стеклянный	Весьма со- вершенная; неровный	Кристаллы ред- ки – таблитча- тые, обычно ли- стовые, чешуй- чатые плотные массы	2,70– 2,80	Жирен на ощупь, листочки гибки, не упруги, в ки- слотах не рас- творим
Сода (натрит) $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Бесцветный, белый, серый; прозрачный	Белая	1,0– 1,5	Стеклянный	Совершен- ная; земли- стый	Кристаллы таб- литчатые, зерни- стые агрегаты	1,42– 1,47	Легко раство- ряется в воде, окрашивает пла- мя в желтый цвет
Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	Белый с жел- тым, краснова- тым, сероватым, буроватым от- тенком; непро- зрачный	Белая	1,0– 1,5	Матовый	Весьма со- вершенная; землистый	Кристаллы столбчатые, червеобразные, рыхлые, чешуй- чатые или плот- ные тонкозер- нистые агрега- ты, землистые массы	2,58– 2,60	Легко разлага- ется в нагретой $H_2SO_4$ , энергич- но поглощает воду, становясь пластичным, лег- ко растирается руками, жирен на ощупь

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Иллит (гидромус- ковит) $K_{<1}Al_2[(Si, Al)_4O_{10}]$ $(OH)_2 \cdot nH_2O$	Белый; непро- зрачный	Белая	1,0– 1,5	Стекланный	Совершен- ная	Тонкопластин- чатые и чешуй- чатые массы	2,64– 2,69	Жирный на ощупь
Бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Бесцветный, белый; непро- зрачный	Белая	1,0– 2,0	Стеклан- ный, туск- лый	Весьма несо- вершенная; неровный, зернистый	Кристаллы во- локнистые, зер- нистые массы	1,59– 1,65	Сильно гигро- скопичен, горь- кий на вкус, лег- ко стирается
Монтмориллонит $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \times$ $\times p\{(Al, Fe^{3+})_2[Si_4O_{10}]$ $[OH]_2\} \cdot nH_2O$	Белый, серый, бурый; непро- зрачный	От свет- лой соло- менно- желтой до зелено- вато-жел- той	1,0– 2,0	Матовый	Совершен- ная; земли- стый	Плотные, земли- стые, пластин- чатые массы	2,00	Сильно набу- хает от влаги, жирен на ощупь
Галлуазит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \times$ $\times 4H_2O$	Белый, серый, голубоватый; непрозрачный	Белая	1,0– 2,5	Матовый	Отсутствует; раковистый	Рыхлые тонко- зернистые мас- сы	2,00– 2,20	В воде распа- дается на ку- сочки, не разбу- хая, частично разлагается в кислотах
Гипс (алебастр, лег- кий шпат) $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	Бесцветный, за счет примесей серый, желтый, бурый; прозрач- ный, непрозрач- ный	Белая	1,5	Стеклан- ный	Весьма со- вершенная; ступенчатый	Кристаллы таб- литчатые, ред- ко столбчатые, призматические, обычно плотные тонкокристалли- ческие агрегаты	2,32	Медленно рас- творяется в во- де и HCl

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Вивианит $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный, при окислении голубой, инди- гово-синий, черно-синий; прозрачный	Белая	1,5– 2,0	Стеклян- ный, на плоскости спайности перламут- ровый	Весьма со- вершенная; ступенчатый	Кристаллы призматические, часто шаровид- ные агрегаты, землистые массы	2,95	Хрупкий, легко растворяется в $\text{HCl}$ и $\text{HNO}_3$
Мирабилит (глаубе- рова соль) $\text{Na}_2[\text{SO}_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный, иногда белый с желтоватым, синеватым от- тенком; про- зрачный	Белая	1,5– 2,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; ракови- стый	Кристаллы ко- роткостолбчатые, обычно зерни- стые агрегаты, корки, налеты	1,48	На воздухе по- степенно обез- воживается, пре- вращаясь в по- рошок, горько- соленый на вкус
Сильвин $\text{KCl}$	Бесцветный, за счет включе- ний буро-крас- ный, синий; про- зрачный	Белая	1,5– 2,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы ку- бические, сплошные зер- нистые массы	1,97– 1,99	Горько-соленый вкус, гигроско- пичен
Селитра калиевая (нитрокалит) $\text{KNO}_3$ Селитра натриевая (нитронатрит) $\text{NaNO}_3$	Бесцветный, бе- лый, серый, крас- новато-бурый, лимонно-жел- тый; прозрач- ный, полупро- зрачный	Белая	1,5– 2,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; зерни- стый	Кристаллы ром- бовидные, обыч- но сплошные зер- нистые массы в виде корок и вы- цветов	1,99 ( $\text{KNO}_3$ ) 2,24– 2,29 ( $\text{NaNO}_3$ )	Вкус слегка со- лоноватый, рас- творяется в во- де, легко пла- вится, натрие- вая селитра ок- рашивает пламя в желтый цвет, калиевая – в фиолетовый

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Гидроборацит $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \times 3\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный; прозрачный	Белая	2,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; занози- стый	Кристаллы воло- книстые, иголь- чатые, радиаль- но-лучистые агре- гаты	2,17	Хрупкий, рас- творяется в ки- слотах при сла- бом подогрева- нии
Галит (каменная соль) $\text{NaCl}$	Бесцветный, серовато-белый, а также серый, желтый за счет примесей; про- зрачный	Белая	2,0	Стеклян- ный, на вы- ветрелых по- верхно- стях жир- ный	Весьма со- вершенная; ступенча- тый	Кристаллы ку- бические, зер- нистые и сплош- ные массы	2,10– 2,20	Легко раство- ряется в воде, имеет соленый вкус
Эпсомит (горькая соль) $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Белый, иногда бесцветный; прозрачный	Белая	2,0– 2,5	Стеклян- ный	Весьма со- вершенная; зернистый	Кристаллы призматические, игольчатые, плотные натеч- ные и земли- стые агрегаты	1,68	Легко раство- ряется в воде, хрупкий, горь- кий на вкус
Гидрагиллит (гиб- сит) $\text{Al}(\text{OH})_3$	Белый, иногда сероватый; про- зрачный	Белая	2,0– 3,0	Стеклян- ный до пер- ламутрово- го	Весьма со- вершенная; неровный	Кристаллы таб- литчатые, обыч- но тонкочешуй- чатые или скры- токристалличе- ские массы	2,43	Не реагирует с кислотами, рас- творяется в го- рячих щелочах
Криолит (ледяной ка- мень) $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$	Бесцветный, серовато-белый, желтоватый; прозрачный	Белая	2,0– 3,0	Стеклян- ный	Отсутству- ет; неров- ный	Кристаллы ку- бовидные, сплошные крупнозерни- стые массы	2,95– 3,01	Полностью растворяется в $\text{HCl}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Бура (тинкал) $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный, белый с серо- ватым, синева- тым или зеле- новатым оттен- ком; прозрач- ный, просвечи- вающий	Белая	2,0– 2,5	Стеклян- ный	Несовер- шенная; ра- ковистый	Кристаллы призматические, землистые массы	1,69– 1,72	Легко раство- ряется в воде, вкус сладкова- тый
Карналлит $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный, в зависимости от примесей ро- зовый до крас- но-коричнево- го; прозрачный	Белая	2,0– 3,0	На свежем изломе стеклянный, на воздухе тусклый, жирный	Отсутствует; раковистый	Плотные зер- нистые агрегаты	1,60	Горький на вкус, растворяется в воде, легко пла- вится, гигроско- пичен
Мусковит (белая ка- лиевая слюда) $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	Бесцветный с желтоватым, зеленоватым оттенком; про- зрачный	Белая	2,0– 3,0	Стеклян- ный, на пло- скостях спайности перламут- ровый	Весьма со- вершенная; неровный, ступенча- тый	Кристаллы пластинчатые, линовато-зер- нистые и чешуй- чатые агрегаты	2,76– 3,10	Легко расщеп- ляется на тон- кие пластинки, в кислотах не разлагается
Тенардит $\text{Na}_2[\text{SO}_4]$	Бесцветный с красноватым или желтова- тым оттенком; прозрачный	Белая	2,0– 3,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; земли- стый	Кристаллы ди- пирамидально- го облика, дру- зы и зернистые агрегаты	2,66	Растворяется в воде, окраши- вает пламя в желтый цвет, хрупкий



Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Хризотил-асбест $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Белый, светло- зеленый; про- зрачный	Белая	2,0– 3,0	Шелковис- тый	Несовершен- ная, неров- ный, занози- стый	Волокнистые агрегаты	2,51	Растворяется в HCl, оставляя волоконный скелет кремне- зема
Брусит $Mg(OH)_2$	Белый, изредка зеленоватый или бесцветный; непрозрачный	Белая	2,5	Стеглян- ный	Отсутствует; неровный	Кристаллы тол- стостолбчатые, листовые чешуй- чатые агрегаты	2,30– 2,40	В кислотах лег- ко растворяет- ся без вскипа- ния
Кальцит (шпат из- вестковый) $CaCO_3$	Белый, за счет примесей от- тенки серого, желтого, розо- вого, бурого цвета; непро- зрачный	Белая	3,0	Стеглян- ный	Совершен- ная; неров- ный, ступен- чатый	Кристаллы ска- леноэдрические, таблитчатые, пластинчатые, плотные скры- токристалличе- ские массы (из- вестняки)	2,60– 2,80	Бурно реагиру- ет с 10% HCl, выделяя $CO_2$ , исландский шпат прозрач- ный
Трона $3Na_2O \cdot 4CO_2 \cdot 5H_2O$	Белый, серый, желтоватый; прозрачный	Желтова- то-бурая	3,0	Стеглян- ный, туск- лый	Весьма со- вершенная; раковистый	Волокнистые шестоватые аг- регаты, корки, слоистые обра- зования	2,13	Растворяется в воде, бурно реа- гирует с HCl
Барит (тяжелый шпат) $Ba[SO_4]$	Бесцветный, белый, серый, желтый, голу- боватый; проз- рачный	Белая	3,0– 3,5	Стеглян- ный, на плоскости спайности перламут- ровый	Совершен- ная; неров- ный, зерни- стый	Кристаллы таб- литчатые, реже призматические, зернистые агре- гаты, землистые массы	4,30– 4,60	Не растворяет- ся в HCl, чем отличается от карбонатов

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Ангидрит Ca[SO <sub>4</sub> ]	Белый с голу- боватым, серо- ватым оттен- ком; полупро- зрачный	Белая	3,0– 3,5	Стеклян- ный, зер- нистый на плоскости спайности перламут- ровый	Совершен- ная; зерни- стый	Кристаллы таб- литчатые, обыч- но сплошные зер- нистые массы	2,08– 3,00	При воздейст- вии водой пре- вращается в гипс, увеличи- ваясь в объеме, в HCl слабо растворим
Бемит AlOОН	Бесцветный, белый с жел- товатым оттен- ком; прозрач- ный, полупро- зрачный	Белая	3,5	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы мелкие пла- стинчатые, че- чевицеобраз- ные, обычно скрытокри- сталлические массы	3,01– 3,06	Легко реагиру- ет со щелоча- ми, не реаги- рует с кисло- тами
Алунит (квасцовый камень) KAl <sub>3</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	Белый с серо- ватым, желто- ватым или красноватым оттенком; про- зрачный	Белая	3,5– 4,0	Стеклян- ный, на плоскостях спайности перламут- ровый	Совершен- ная; ракови- стый	Мелкие кри- сталлы; плот- ные, зернистые, рыхлые и зем- листые агрега- ты	2,60– 2,80	В HCl не раз- лагается, в концентриро- ванной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> растворяется с трудом
Доломит (известняк горький) CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Серовато- белый, иногда с желтоватым, буроватым от- тенком; непро- зрачный	Белая, се- рая	3,5– 4,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; ракови- стый	Кристаллы ромбоэдриче- ские, обычно кристалличе- ски-зернистые агрегаты	1,80– 2,90	Реагирует с HCl в порошке

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Сидерит (шпат же- лезный) FeCO <sub>3</sub>	Белый, желто- вато-, серова- то-белый, ино- гда с бурова- тым оттенком; непрозрачный	Белая	3,5– 4,5	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы пластинчатые, кристалличе- ски-зернистые агрегаты, кон- креции	3,90	Энергично взаимодейст- вует с нагретой HCl, оставляя зеленовато- желтое пятно
Магнезит (шпат маг- незиальный) MgCO <sub>3</sub>	Белый, серый, желтоватый; прозрачный	Белая, серая	4,0– 4,5	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы ромбоэдриче- ские, чаще круп- нозернистые агрегаты	2,90– 3,10	Характерна ромбоэдриче- ская спайность, растворяется в горячих кисло- тах
Флюорит (шпат пла- виковый) CaF <sub>2</sub>	Бесцветный, желтый, зеле- ный, голубой, фиолетовый, редко бесцвет- ный; прозрач- ный	Белая	4,0	Стеклян- ный, перла- мутровый	Совершен- ная; ракови- стый	Кристаллы ку- бические, окта- эдрические, зер- нистые массы	3,18	Разлагается в концентриро- ванной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , выделяя HF
Волластонит (шпат дощатый) Ca <sub>3</sub> [Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ]	Бурый, серый, иногда бес- цветный, реже желтоватый, зеленоватый; непрозрачный	Белая	4,5– 5,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы таб- литчатые, шес- товатые, ради- ально-лучистые, листовые агре- гаты	2,78– 2,91	Разлагается в HCl с выделе- нием кремне- зема

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Опал (гиалит, кохолонг, молочный опал, огненный опал) $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Белый, содержащий примеси – бурый, желтый, красный, зеленый; полупрозрачный	Белая	5,0– 5,5	Стекланный, матовый у пористых масс	Отсутствует; раковистый	Плотные стеклоподобные массы натечной формы	1,90– 2,50	Легко растворяется в HF и KOH
Периклаз MgO	Бесцветный; прозрачный	Белая	5,0– 6,0	Стекланный	Совершенная; ровный	Кристаллы, зернистые массы	3,56– 3,68	С кислотами реагирует с трудом
Натролит (натровый камень, гнилой камень) $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Бесцветный, белый с желтоватым, зеленоватым, красноватым оттенком; непрозрачный	Белая	5,0– 5,5	Стекланный, у волокнистых разностей шелковистый	Средняя; занозистый	Кристаллы столбчатые, призматические, радиально-лучистые агрегаты, волокнистые массы	2,20– 2,50	Растворяется в HCl с выделением студенистого кремнезема
Нефелин $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$	Серый, грязно-зеленый, мясокрасный, бурый; непрозрачный	Белая	5,0– 6,0	Стекланный, в изломе жирный	Практически отсутствует, неровный	Кристаллы призматические, короткостолбчатые, крупнозернистые массы	2,56– 2,66	Разлагается кислотами
Тремолит $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	Белый, серовато-белый; непрозрачный	Белая	5,5– 6,0	Стекланный	Совершенная; неровный	Кристаллы длиннопризматические, игольчатые, лучистые или волокнистые агрегаты	2,90– 3,00	В кислотах не разлагается, реагирует только с HF

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Цельзиан Ba[Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	Бесцветный; прозрачный	Белая	6,0– 6,5	Стеглян- ный	Совершен- ная; неров- ный, ступен- чатый	Кристаллы ко- роткопризматиче- ские	3,31– 3,37	Растворяется в HCl с образо- ванием геля
Микроклин, ортоклаз Адуляр K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Белый, светло- розовый, серый, буrowато-жел- тый, мясо-крас- ный; непро- зрачный	Белая	6,0– 6,5	Стеглян- ный	Совершен- ная; ступен- чатый	Кристаллы призматиче- ские	2,54– 2,57	Полисинтети- ческие двойни- ки, реагирует с HF и KOH, аду- ляр прозрачный
Плагиоклазы (ряд альбит – анортит) Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ] – Ca[Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	Белый, серова- то-белый, ино- гда с зеленова- тым оттенком; непрозрачный	Белая	6,0– 6,5	Стеглян- ный, перла- мутровый	Совершен- ная; неров- ный, ступен- чатый	Кристаллы таб- литчатые, таб- литчато-призма- тические	2,61 (аль- бит) –2,76 (анор- тит)	Реагирует толь- ко с HF, пла- вится с трудом в стекло, ок- рашивая пламя в желтый цвет
Диаспор HAlO <sub>2</sub> (AlOОН)	Серый, белый, желтоватый, коричневый; полупрозрач- ный	Белая	6,0– 7,0	Стеглян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы тон- копластинчатые, обычно листовые или тонко- чешуйчатые агре- гаты	3,30– 3,50	Очень хруп- кий, в кисло- тах и KOH не растворяется
Бадделеит ZrO <sub>2</sub>	Коричневый, желтовато-бу- рый; прозрач- ный, непрозрач- ный	Бесцвет- ная или темно-ко- ричневая	6,5	Стеглян- ный, жир- ный	Совершен- ная; неров- ный	Пластинчатые и таблитчатые кристаллы	5,70	Разлагается в концентриро- ванной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</i>								
Сподумен LiAl[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	Светло-серый, белый, желто- ватый, зелено- вато-желтый; непрозрачный	Белая	6,5– 7,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы призматические, пластинчато- шестоватые агре- гаты	3,13– 3,23	В HCl не рас- творяется
Борцит Mg <sub>3</sub> [B <sub>7</sub> O <sub>13</sub> ]Cl	Белый с серо- ватым, желто- ватым или зе- леноватым от- тенком; про- зрачный	Белая	7,0	Стеклян- ный	Отсутствует; раковистый	Кристаллы куб- ические или октаэдрические	2,91– 2,97	Хрупкий, мед- ленно раство- ряется в HCl
Кварц Халцедон (скрыто- кристаллический) SiO <sub>2</sub>	Бесцветный, молочно-белый, серый, желтый, голубой, корич- невый, черный; прозрачный	Белая	7,0	Стеклян- ный	Отсутствует; раковистый	Кристаллы призматические, друзы, зерни- стые, сплошные, скрытокристал- лические массы	2,50– 2,80	С кислотами не реагирует, за исключением HF, с которой образует лету- чее соединение – SiF <sub>4</sub> , штрихов- ка на гранях кристаллов
Силлиманит Al[AlSiO <sub>5</sub> ]	Белый, серый, бледно-зеле- ный; прозрач- ный, полупро- зрачный	Белая	7,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный, заноз- истый	Кристаллы игольчатые, волоконистые, лучистые агре- гаты	3,23– 3,25	В кислотах не растворяется

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<b>Минералы бесцветные, белого и светло-серого цвета с различными оттенками</b>								
Андалузит $Al_2[SiO_4]O$	Серый, розо- вый, желтый, коричневый; прозрачный, непрозрачный	Белая	7,0– 7,5	Стеклян- ный	Совершенная; неровный, занозистый	Кристаллы призматиче- ские	3,10– 3,20	В кислотах не разлагается
Данбурит $CaB_2[SiO_4]_2$	Бесцветный, желтый; непро- зрачный	Белая	7,0– 7,5	Стеклян- ный, жир- ный	Несовершен- ная; неров- ный, рако- вистый	Кристаллы столбчатые	2,95– 3,02	Не растворяет- ся в HCl
Берилл $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	Бесцветный, в зависимости от примесей жел- тый, голубова- то-зеленый; прозрачный	Белая	7,5– 8,0	Стеклян- ный	Несовершен- ная; неров- ный, ракови- стый	Кристаллы призматические, столбчатые	2,63– 2,91	В кислотах не растворяется
Топаз $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$	Бесцветный, светлый жел- товатый, голу- боватый, зеле- новатый; про- зрачный	Белая	8,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный, ракови- стый	Кристаллы призматические, сростки, лучи- стые пластинча- тые агрегаты	3,52– 3,57	Не подвергает- ся действию ки- слот
<b>Минералы желтого и оранжевого цвета с различными оттенками</b>								
Сера S	Различные от- тенки желтого цвета; полу- прозрачный	Белая	1,0– 2,0	Алмазный на гранях, в изломе жирный	Несовер- шенная; не- ровный, ра- ковистый	Кристаллы пи- рамидальные, сплошные, иногда земли- стые массы	2,05– 2,08	Хрупкая, легко плавится от спички, заго- раясь голубым пламенем с вы- делением SO <sub>2</sub>

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<b>Минералы желтого и оранжевого цвета с различными оттенками</b>								
Аурипигмент (жел- тая мышьяковистая обманка) As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Лимонно- и зо- лотисто-желтый до оранжево- желтого; непро- зрачный	Лимонно- желтая яркая	1,0– 2,0	От алмаз- ного до по- луметалли- ческого	Весьма со- вершенная; неровный	Кристаллы призматиче- ские, радиаль- но-лучистые агрегаты	3,40– 3,50	Растворяется в KOH, HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Реальгар AsS	Оранжево-жел- тый, ярко-крас- ный; прозрач- ный	Светло- оранже- вая	1,5– 2,0	Алмазный, на изломе смоляной	Совершен- ная; занози- стый, мелко- раковистый	Кристаллы призматиче- ские, зернистые агрегаты, зем- листые массы	3,40– 3,60	Растворяется в нагретой KOH и в царской вод- ке, выделяя серу
Астрофиллит (K, Na) <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> , Mn) <sub>4</sub> Ti[Si <sub>4</sub> O <sub>14</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>	Золотисто- желтый, золо- тисто-бурый; полупрозрач- ный	Буровато- желтая	3,0– 3,5	Стеклан- ный, на плоскостях спайности перламут- ровый	Совершен- ная, занози- стый	Кристаллы пла- стинчатые, игольчатые, иногда звездча- тые агрегаты	3,28– 3,30	Разлагается в HCl и H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Лимонит, бурый же- лезняк (смесь гетита, гидрогетита, гидро- гематита и др.) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O	Охряно-жел- тый, темно-бу- рый; непрозрач- ный	Ржаво- бурая	2,6– 5,0 (ге- тит)	Матовый	Отсутствует; неровный	Землистые мас- сы, мелкозерни- стые, скрыток- кристаллические агрегаты	3,80– 4,20 (гетит)	Медленно рас- творяется в HCl
<b>Минералы красного и розового цвета с различными оттенками</b>								
Рутил TiO <sub>2</sub>	Красно- и тем- но-бурый, тем- но-желтый; не- прозрачный	Желтая, светло- бурая	6,0– 6,5	Алмазный, металло- видный	Совершен- ная; раковис- тый	Кристаллы призматические, столбчатые, игольчатые	4,20– 4,30	Не реагирует с кислотами, ха- рактерны колен- чатые двойники



Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы красного и розового цвета с различными оттенками</i>								
Киноварь HgS	Ярко- до тем- но-красного; непрозрачный	Красная	2,0– 2,5	Полуметал- лический	Совершен- ная; занозис- тый	Кристаллы мелкие толсто- столбчатые или ромбоэдриче- ские, зернистые и скрытокристал- лические массы	8,00– 8,20	Хрупкий, рас- творяется толь- ко в царской водке
Полигалит K <sub>2</sub> MgCa <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Красный раз- личных оттен- ков, редко бес- цветный, белый, серый; просве- чивающий	Белая	2,5– 3,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы ред- ки – таблитча- тые, обычно плотные волок- нистые, шесто- ватые агрегаты	2,72– 2,78	Хрупкий, горь- кий на вкус, рас- творим в воде
Родонит (орлец) (Mn, Ca) <sub>3</sub> [Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ]	Розовый, крас- ный, розовато- серый; непро- зрачный	Белая	5,0– 5,5	Стеклян- ный	Совершен- ная; ступен- чатый	Сплошные плотные или зер- нистые массы	3,40– 3,75	Медленно раз- лагается в HCl с образованием белого порош- ка кремнезема
Гранаты: пироп Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> , альмандин Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> , андрадит Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> , уваровит Ca <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>	Цвет темно- красный, крас- ный, буро-крас- ный, зеленый; все полупро- зрачные	Белая	6,5– 7,5	Стеклян- ный, жир- ный	Отсутствует; неровный	Изометрические зерна, кристаллы	3,50– 4,20	В HCl лишь андрадит рас- творяется с большим тру- дом, выделяя студенистый кремнезем

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<b>Минералы красного и розового цвета с различными оттенками</b>								
Циркон $Zr[SiO_4]$	Красновато-коричневый, желтый, оранжевый, бесцветный; прозрачный	Буроватая до белой	7,0–8,0	Алмазный	Несовершенная; неровный или раковистый	Кристаллы короткостолбчатые	4,68–4,70	В кислотах не разлагается
Шпинель $MgAl_2O_4$	Красный, серозеленый до черного, голубовато-зеленый; прозрачный	Белая	8,0	Стекланный	Несовершенная; раковистый	Кристаллы октаэдрические	3,50–3,70	В кислотах не разлагается
<b>Минералы зеленого цвета с различными оттенками</b>								
Хлориты: пеннин, клинохлор, тюрингит и др. $(Mg, Fe)_{4-5}Al_{1-2}[Al_{1-2}Si_{2-3}O_{10}](OH)_8$	Зеленый, серовато- и черно-зеленый; в тонких листочках прозрачный или просвечивающий	Белая	2,0–2,5	На плоскости спайности перламутровый	Весьма совершенная; неровный	Кристаллы пластинчатые, таблитчатые, агрегаты от крупнодо скрыточешуйчатых	2,60–2,85	Разлагается в концентрированной $H_2SO_4$ , в тонких листочках прозрачный
Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Темно-зеленый до зеленовато-черного; в тонких листочках прозрачный или просвечивающий	Серая	2,5–3,0	Стекланный, жирный	Совершенная; неровный, занозистый	Обычно плотные массы, смятые, с тонкими прожилками асбеста	2,50–2,70	Разлагается в $HCl$ и $H_2SO_4$

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы зеленого цвета с различными оттенками</i>								
Глаукоцит $K_{<1}(Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al, Mg)_{2-3}[(Si_3(Si, Al)O_{10})(OH)_2 \times nH_2O]$	Зеленый раз- личных оттен- ков; непро- зрачный	Тускло- зеленая	2,0– 3,0	Матовый	Совершен- ная, неров- ный	Кристаллы призматиче- ские, таблитча- тые	2,20– 2,00	Разлагается в концентриро- ванной HCl
Малахит (медная зелень) $Cu_2[CO_3](OH)_2$	Зеленый; не- прозрачный	Светло- зеленая	3,5– 4,0	Стеклян- ный, шел- ковистый	Совершен- ная; ракови- стый	Массы натеч- ной формы с радиальново- локнистым строением	3,00– 4,00	Зональная ок- раска, реагиру- ет с HCl со вскипанием
Актинолит (лучи- стый камень) $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	Зеленый раз- ных оттенков; непрозрачный	Бесцвет- ная до бледно- зеленой	5,0– 6,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы уд- линенные, игольчатые	3,10– 3,30	В HCl не раз- лагается
Пироксены моно- клинные: диопсид $CaMg[Si_2O_6]$ , авгит $Ca(Mg, Fe, Al)[(Si, Al)_2O_6]$	Зеленый раз- ных оттенков, авгит черный, зеленовато- и буровато-чер- ный; непро- зрачный	Белая, слегка зеленова- тая	5,0– 6,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; ступен- чатый	Кристаллы ко- роткостолбча- тые, реже таб- литчатые, зер- нистые массы	3,20– 3,60	В кислотах не разлагаются
Пироксены ромби- ческие: гиперстен, гиперстен $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$	Белый, серый, желтоватый, ги- перстен темно- бурый, темно- серый; непро- зрачный	Серая	5,5– 6,0	Стеклян- ный	Средняя; ступенча- тый	Кристаллы таблитчатые, призматиче- ские	3,10– 3,50	В кислотах не разлагается

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<b>Минералы зеленого цвета с различными оттенками</b>								
Роговая обманка $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4$ $(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2$ $(\text{OH})_2$	Темно-зеленый, темно-бурый; непрозрачный	Бесцвет- ная или бурая, се- рая	5,5– 6,0	Стеклян- ный	Совершен- ная; занози- стый	Кристаллы призматические, столбчатые	3,10– 3,30	Не реагирует с кислотами
Оливин (перидот, хризолит) $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$	Желтовато- зеленый до зе- леновато- черного; полу- прозрачный	Белая	6,5– 7,0	Стеклян- ный	Средняя или несовершен- ная; ракови- стый	Кристаллы упло- щенно-призма- тические, зерни- стые агрегаты	3,30– 3,50	Порошок бур- но разлагается в концентриро- ванной $\text{H}_2\text{SO}_4$ с образованием студенистого $\text{SiO}_2$
Турмалин $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Al})_6$ $[\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}](\text{OH})_2$	Различные от- тенки зеленого, розового, крас- ного цвета, чер- ный; прозрач- ный	Белая	7,0– 7,5	Стеклян- ный	Отсутствует; неровный	Кристаллы столбчатые, ше- стоватые, ради- ально-лучистые агрегаты	2,90– 3,25	В кислотах не разлагается
<b>Минералы голубого и синего цвета с различными оттенками</b>								
Аллофан $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \times$ $\times p\text{H}_2\text{O}$	Голубоватый, зеленовато- желтый, реже бурый; про- зрачный	Белая	3,0	Стеклян- ный, жир- ный	Совершен- ная, ракови- стый	Плотные агре- гаты, грозде- видные формы, налеты	1,85– 1,89	Хрупкий, в ки- слотах разла- гается с обра- зованием сту- денистого кремнезема
Целестин $\text{Sr}[\text{SO}_4]$	Голубой, реже белый, серый; прозрачный	Белая	3,0– 3,5	Стеклян- ный	Совершен- ная, неров- ный, ступен- чатый	Кристаллы таблитчатые, призматические, столбчатые, зер- нистые агрегаты	3,90– 4,00	Растворяется в крепкой $\text{H}_2\text{SO}_4$

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы голубого и синего цвета с различными оттенками</i>								
Халькантит (медный купорос) $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Голубой, синий, иногда с зеленоватым оттенком; прозрачный	Белая	2,5	Стеклан- ный	Несовершен- ная; ракови- стый	Кристаллы ред- ки – таблитча- тые, сплошные массы, натёки	2,10– 2,30	Растворяется в воде, окрашивая раствор в синий цвет, на возду- хе теряет часть воды и мутнеет
Кианит (дистен) $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$	Голубой, си- ний, иногда желтый, реже бесцветный; прозрачный	Белая	4,0– 7,0	Стеклан- ный	Совершен- ная; ступен- чатый	Кристаллы длинные столб- чатые, часто уп- лощенные, ра- диально-лучи- стые сростки	3,56– 3,68	С кислотами не реагирует
Апатит, фосфорит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$	Голубоватый, желто- и сине- зеленый, бес- цветный; про- зрачный	Серова- тая, белая	5,0	Стеклан- ный, на по- верхности излома жирный	Несовер- шенная; не- ровный, ра- ковистый	Кристаллы – шестигранные призмы, зерни- стые агрегаты, конкреционные скопления – фосфориты	3,18– 3,21	Порошок, смо- ченный в $\text{H}_2\text{SO}_4$ , окрашивает пламя в голу- бовато-зеленый цвет, растворя- ется в $\text{HCl}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HNO}_3$
Кордиерит (иолит) $\text{Al}_3(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]$	Синий, фиоле- товый различ- ных оттенков, реже бесцвет- ный, бурый; про- зрачный или непрозрачный	Белая	7,0– 7,5	Стеклан- ный	Несовер- шенная; ра- ковистый	Кристаллы ред- ки, призматичес- кие, плотные зер- нистые массы	2,60– 2,66	В кислотах не разлагается

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы голубого и синего цвета с различными оттенками</i>								
Бирюза $\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \times 5\text{H}_2\text{O}$	Небесно-голу- бой, яблочно- зеленый; не- прозрачный	Белая	5,0– 6,0	Стеклян- ный, вос- ковой	Совершен- ная; раковис- тый	Скрытокри- сталлические массы почко- видной формы	2,60– 2,83	Растворяется в кислотах
Лазурит (ляпис-ла- зурь, ультрамарин, ла- зорей камень) $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6[\text{SO}_4]$	Голубой, лазур- но-синий, фио- летово-, зеле- новато-синий; непрозрачный	Бледно- голубая	5,5	Стеклян- ный	Несовер- шенная; ра- ковистый	Сплошные зер- нистые массы	2,38– 2,42	Разлагается в $\text{HCl}$ , выделяя $\text{H}_2\text{S}$ , после вы- паривания ос- тавляет студе- нистый крем- незем
Корунд $\text{Al}_2\text{O}_3$	Синевато-серый, желтый, синий (сапфир), крас- ный (рубин); прозрачный	Белая	9,0	Алмазный до стеклян- ного	Отсутству- ет; ракови- стый	Кристаллы бо- ченковидные, пирамидальные, пластинчатые, иногда зерни- стые массы	3,95– 4,10	На гранях кри- сталлов имеет- ся штриховка, в кислотах не растворяется
<i>Минералы коричневого, бурого и синего цвета с различными оттенками</i>								
Вермикулит $(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3$ $[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	Золотисто- коричневый, бронзово-жел- тый, буро-зеле- ный; непрозрач- ный	Белая	1,0– 1,5	Стеклян- ный, часто жирный	Совершен- ная, неров- ный	Чешуйчатые, рыхлые, земли- стые агрегаты	2,4–2,7	Легко крошит- ся, рассыпаясь на листочки, при нагревании до 900–1000°C увеличивается в объеме в 15– 25 раз

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы коричневого, бурого и черного цвета с различными оттенками</i>								
Флогопит (магнези- альная слюда) $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ (OH, F) <sub>2</sub>	Темно-бурый, желтовато- или красновато-ко- ричневый; про- зрачный	Белая	2,0– 3,0	Стеклян- ный, на пло- скости спайности перламут- ровый	Весьма со- вершенная, неровный	Кристаллы таб- литчатые, лис- товато-пластин- чатые, чешуйча- тые агрегаты	2,70– 2,85	В кислотах раз- лагается, осо- бенно в $\text{H}_2\text{SO}_4$
Биотит (черная же- лезисто-магниева слюда) $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3$ $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$	Черный, бурый, красно-бурый; прозрачный в тонких пластин- ках	Белая, серая	2,0– 3,0	Стеклян- ный, на плоскости спайности перламут- ровый	Весьма со- вершенная; неровный, ступенчатый	Кристаллы листовые, че- шуйчатые	3,02– 3,12	Разлагается в $\text{H}_2\text{SO}_4$
Сфалерит (цинковая обманка) $\text{ZnS}$	Светло-корич- невый, бурый, реже желтый; полупрозрач- ный	Белая или свет- ло-бурая	3,0– 4,0	Алмазный	Весьма со- вершенная; раковистый	Кристаллы тет- раэдрические, зернистые массы	3,90– 4,00	Растворяется в концентриро- ванной $\text{HNO}_3$ с выделением серы
Монацит (Ce, La)[ $\text{PO}_4$ ]	Коричневый, медово-желтый, иногда зелено- ватый; полу- прозрачный, непрозрачный	Серовато- белая	5,0– 5,5	Сильный стеклян- ный	Совершен- ная; ракови- стый	Кристаллы таблитчатые, реже призматиче- ские	4,90– 5,50	В $\text{HCl}$ раство- ряется с тру- дом, выделяя белый осадок
Анализ $\text{TiO}_2$	Коричневый, черный; про- зрачный	Белая	5,0– 6,0	Алмазный	Совершен- ная; ступен- чатый	Кристаллы ди- пирамидально- го облика, реже таблитчатые	3,80– 3,90	В кислотах не растворяется

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы коричневого, бурого и черного цвета с различными оттенками</i>								
Сфен (титанит) CaTi[SiO <sub>4</sub> ]O	Золотисто-ко- ричневый, ме- дово-желтый, бурый, иногда бесцветный; непрозрачный	Белая	5,0– 6,0	Близкий к алмазному	Средняя, ра- ковистый	Кристаллы уп- лощенно-приз- матические	3,29– 3,56	Разлагается в концентриро- ванной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> с образованием сульфата Ca, в горячей HCl раз- лагается час- тично
Брукит TiO <sub>2</sub>	Желтовато-, красновато- бурый до чер- ного; просвечи- вающий	Желтова- то-бурая	5,5– 6,0	Алмазный	Несовер- шенная; ра- ковистый	Кристаллы таблитчатые	3,87– 4,08	Не растворяет- ся даже в HF
Перовскит CaTiO <sub>3</sub>	Темно-бурый, буровато-чер- ный до черного; непрозрачный	Серова- то-белая	5,5– 6,0	Алмазный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы ку- бической формы	3,97– 4,04	Разлагается только в кипя- щей H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Диаспор HAlO <sub>2</sub> (AlOОН)	Серый, белый, желтоватый, бурый, корич- невый; полу- прозрачный	Белая	6,0– 7,0	Стеклян- ный, перла- мутровый	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы тон- копластинчатые, листоватые, тонкочешуйча- тые агрегаты	3,30– 3,50	Очень хрупкий, в кислотах и KOH не рас- творяется
Касситерит (оловян- ный камень) SnO <sub>2</sub>	Коричневый, темно-бурый до черного; не- прозрачный	Светло- бурая	6,0– 7,0	Алмазный, в изломе смоляной	Несовер- шенная; ра- ковистый	Кристаллы ди- пирамидаль- ные, пирами- дально-призма- тические	6,80– 7,00	С кислотами не реагирует



Окончание табл. 2

Минерал	Цвет; прозрачность	Черта	Твер- дость	Блеск	Спайность; излом	Форма кри- сталлов и агре- гатов	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Прочие свойства
<i>Минералы коричневого, бурого и черного цвета с различными оттенками</i>								
Ставролит $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2(\text{OH})_2$	Темно-бурый до черного, красно-бурая; непрозрачный	Белая	7,0– 7,5	Стеклян- ный	Совершен- ная; неров- ный	Кристаллы ко- ротко- и длин- нопризматиче- ские, крестооб- разные сростки	3,65– 3,77	В кислотах не растворяется
Графит С	Черный, свин- цово-серый; непрозрачный	Черная блестя- щая	1,0	Металло- видный	Совершен- ная; ровный, зернистый	Обычно тонко- чешуйчатые агрегаты	2,09– 2,23	Мягкий, жир- ный на ощупь, пишет на бу- маге

## ЛИТЕРАТУРА

1. Годовиков, А. А. Минералогия / А. А. Годовиков. – М.: Недра, 1975. – 519 с.
2. Смольянинов, Н. А. Практическое руководство по минералогии / Н. А. Смольянов. – М.: Недра, 1972. – 360 с.
3. Юбельт, Р. Определитель минералов / Р. Юбельт. – М.: Мир, 1978. – 326 с.
4. Булах, А. Г. Общая минералогия / А. Г. Булах. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 1999. – 356 с.
5. Минералогические таблицы: справочник / под ред. Е. И. Семенова. – М.: Недра, 1981. – 399 с.
6. Музафаров, В. Г. Определитель минералов, горных пород и окаменелостей / В. Г. Музафаров. – М.: Недра, 1979. – 327 с.
7. Сиротин, К. М. Определитель минералов. Минералы магматических и метаморфических пород под микроскопом / К. М. Сиротин. – М.: Высшая школа, 1970. – 264 с.
8. Егоров-Тисменко, Ю. К. Кристаллография / Ю. К. Егоров-Тисменко, Г. П. Литвинская, Ю. Г. Загальская. – М.: МГУ, 1992. – 288 с.
9. Даминова, А. М. Породообразующие минералы / А. М. Даминова. – М.: Недра, 1963. – 155 с.
10. Татарский, Б. В. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов / Б. В. Татарский. – М.: Недра. – 1965. – 306 с.
11. Кузнецов, Е. А. Краткий курс петрографии магматических и метаморфических пород / Е. А. Кузнецов. – М.: Недра, 1970. – 325 с.
12. Белоусова, О. Н. Общий курс петрографии / О. Н. Белоусова, В. В. Михина. – М.: Недра, 1972. – 344 с.
13. Бондарев, В. П. Основы минералогии и кристаллографии с элементами петрографии / В. П. Бондарев. – М.: Высшая школа, 1986. – 287 с.
14. Заварицкий, А. Н. Изверженные горные породы / А. Н. Заварицкий. – М.: АН СССР, 1956. – 479 с.
15. Бетехтин, А. Г. Курс минералогии / А. Г. Бетехтян. – М.: ГНТИ, 1956. – 558 с.
16. Трегер, В. Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов / В. Е. Трегер. – М.: ГНТИ, 1988. – 185 с.
17. Петрографический словарь / В. П. Петров [и др.]; под ред. В. П. Петрова. – М.: Недра, 1981. – 496 с.
18. Классификация и номенклатура магматических горных пород: справочное пособие / О. А. Богатиков [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 160 с.

19. Торопов, Н. А. Кристаллография и минералогия / Н. А. Торопов, А. Н. Булак. – Л.: Издательство литер. по строительству, 1972. – 504 с.
20. Козлова, О. Г. Рост и морфология кристаллов: учеб. пособие / О. Г. Козлова; под общ. ред. Н. В. Белова. – М.: МГУ, 1972. – 239 с.
21. Сахаров, М. С. Иммерсионный метод минералогических исследований / М. С. Сахаров, Ю. А. Черкасов. – М.: МГУ, 1970. – 86 с.
22. Торопов, Н. А. Лабораторный практикум по минералогии / Н. А. Торопов, Л. Н. Булак. – Л.: Стройиздат, 1969. – 240 с.
23. Винчелл, А. Н. Оптические свойства искусственных минералов / А. Н. Винчелл, Г. Винчелл. – М.: Мир, 1967. – 526 с.
24. Бондарев, В. П. Основы минералогии и кристаллографии с элементами петрографии / В. П. Бондарев. – М.: Высшая школа, 1986. – 287 с.
25. Швецов, М. С. Петрография осадочных пород / М. С. Швецов. – М.: ГНТИ, 1958. – 416 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ.....	5
Лабораторная работа № 1. Определение элементов симметрии, сингонии и категории кристаллов .....	5
Лабораторная работа № 2. Определение формы кристаллов различных сингоний.....	13
Лабораторная работа № 3. Установка кристаллов. Определение символов (индексов) граней кристаллов .....	21
Лабораторная работа № 4. Определение типов пространственной решетки и ее элементов .....	26
Лабораторная работа № 5. Зарождение и рост кристаллов .....	32
2. МИНЕРАЛОГИЯ.....	38
2.1. Классификация минералов.....	38
Лабораторная работа № 6. Изучение физических свойств минералов и диагностика их по внешним признакам .....	40
2.2. Микроскопические методы исследования минералов и определение их оптических свойств (лабораторные работы № 7–9) .....	47
Лабораторная работа № 7. Микроскопическое исследование минералов в шлифах в проходящем свете при одном николе ...	52
Лабораторная работа № 8. Микроскопическое исследование минералов в шлифах при скрещенных николях .....	59
Лабораторная работа № 9. Иммерсионный метод минералогических исследований.....	67
Лабораторная работа № 10. Изучение морфологических особенностей и свойств самородных минералов и сульфидов .....	78
Лабораторная работа № 11. Изучение морфологических особенностей и свойств карбонатов, фосфатов и боратов .....	84
Лабораторная работа № 12. Изучение морфологических особенностей и свойств оксидов и гидроксидов .....	89
Лабораторная работа № 13. Изучение морфологических особенностей и свойств галогенидов, нитратов и сульфатов .....	94
Лабораторная работа № 14. Изучение морфологических особенностей и свойств силикатов .....	99
3. ПЕТРОГРАФИЯ.....	113
Лабораторная работа № 15. Изучение состава и свойств магматических горных пород.....	114

Лабораторная работа № 16. Изучение состава и свойств осадочных горных пород .....	124
Лабораторная работа № 17. Изучение состава и свойств метаморфических горных пород .....	141
4. ТЕХНИЧЕСКАЯ ПЕТРОГРАФИЯ .....	148
Лабораторная работа № 18. Искусственные тугоплавкие силикатные материалы и их петрографическое изучение .....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	169
ЛИТЕРАТУРА .....	194

Учебное издание

**Левицкий** Иван Адамович

**КРИСТАЛЛОГРАФИЯ,  
МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ.  
ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Редактор *О. П. Соломевич*

Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*

Подписано в печать 25.09.2008. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 12,0.  
Тираж 200 экз. Заказ .

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13а.  
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».  
220006. Минск, Свердлова, 13.  
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.

Переплетно-брошюровочные работы произведены  
в ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа»  
220600. Минск, Красная, 23. Заказ .