

**Гребенюкова Л.Н.
Сабитова Ю.Я.
Шапортина Л.А.
Тен М.В.**

**Учебное пособие
«Минералогия и кристаллография
для специальности
«Гидрогеология и инженерная геология»**

г. Семей, 2018 г.

Гребенюкова Л.Н., Сабитова Ю.Я., Шапортина Л.А., Тен М.В. УП по профессиональному модулю ПМ 06 «Составление документации и построение геологического разреза» - 152 стр.

Учебное пособие разработано в соответствии с актуализированными типовыми учебными планами и программами по специальности «0703000 – Гидрогеология и инженерная геология» квалификации «070302 2 Рабочий на геолого-съёмочных и поисковых работах» по модулю ПМ 06 «Составление документации и построение геологического разреза». Учебное пособие содержит основные материалы теоретического и практического курса, контрольные вопросы и задания. Сведения наиболее полно систематизированы и конкретизированы. Учебное пособие будет полезно не только студентам, но и преподавателям при подготовке и проведении занятий.

Содержание

Введение	5
Раздел 1. Основы кристаллографии и минералогии	7
Тема 1.1. Свойства кристаллического вещества, основы его строения.	7
Практическая работа 1	9
Тема 1.2. Геометрическая кристаллография	10
Лабораторная работа 2	12
Лабораторная работа 3	17
Лабораторная работа 4	18
Тема 1.3. Физические свойства и морфология минералов	19
Лабораторная работа 5	22
Лабораторная работа 6	26
Тема 1.4. Геологические процессы образования минералов и их классификация	27
Тема 1.5. Самородные элементы и сернистые соединения (сульфиды)	36
Практическая работа 6	38
Тема 1.6. Галогениды и оксиды (окислы)	47
Практическая работа 7	47
Практическая работа 8	49
Практическая работа 9	56
Тема 1.7. Силикаты	57
Практическая работа 10	78
Тема 1.8. Карбонаты, сульфаты, фосфаты	81
Практическая работа 11	86
Практическая работа 12	90
Раздел II. Основы петрографии	91
Тема 2.1. Основные понятия и характеристика горных пород, классификация горных пород	91
Тема 2.2. Условия образования, формы залегания и классификация магматических горных пород	92
Практическая работа 13	98
Тема 2.3. Характеристика магматических горных пород	100
Практическая работа 14	111
Тема 2.4. Условия образования, основные характеристики и классификация осадочных горных пород	111
Тема 2.5. Обломочные горные породы, их классификация	119
Тема 2.6. Пелиты (глины)	122
Практическая работа 15	124
Практическая работа 16	125
Тема 2.7. Химические и биохимические породы	125
Практическая работа 17	129
Практическая работа 18	130
Практическая работа 19	133

Тема 2.8. Условия образования, основные характеристики и классификация метаморфических пород	134
Тема 2.9. Характеристика пород регионального метаморфизма	142
Тема 2.10. Характеристика пород контактово-метасоматического метаморфизма	146
Практическая работа 20	148
Практическая работа 21	149
Глоссарий	151
Список литературы	152

Введение.

Целями и задачами учебного пособия являются приобретение базовых и профессиональных компетенций при составлении документации и построении геологических разрезов. На основании чего данный модуль основывается на результативности работы при получении навыков и знаний с целью освоения методов полевого макроскопического определения минералов, руд и горных пород.

Учебное пособие состоит из сокращенного курса теоретического материала, сопровождающегося рисунками, схемами, таблицами; последовательного выполнения практических занятий, а так же контрольными вопросами и заданиями.

Учебное пособие предназначено для повышения активности познавательной деятельности обучающихся в сфере практических и лабораторных занятий и предусматривает именно самостоятельную работу студентов. Такая работа требует творческого подхода и логического мышления при диагностике минералов, определении и описании горных пород. Поэтому диагностика минералов и описание горных пород содержат только самую необходимую информацию, т.е. основные диагностические признаки и внешние особенности.

В этом направлении приоритетными для данного модуля ПМ 06 «Составление документации и построение геологического разреза» являются:

- ◆ Знание основных классов минералов и различных горных пород по происхождению.
- ◆ Знание основных диагностических признаков минералов и описательной характеристики горных пород.
- ◆ Самостоятельная и систематическая работа с эталонной и рабочей коллекцией минералов и горных пород.
- ◆ Постоянная работа с учебной, справочной, методической литературой.

Поэтому перед табличными данными минералов в текстовой части приводятся диагностические признаки минералов и описательная характеристика горных пород. В случае необходимости более обширную информацию можно получить, используя учебную литературу авторов, указанных в конце учебного пособия.

Учебное пособие состоит из двух разделов. В первом разделе «Кристаллография» излагаются основные представления о геометрической кристаллографии, а также физические свойства кристаллов. На знании основ кристаллографии базируются минералогия и петрография.

«Минералогия» состоит из общей части, посвященной рассмотрению химического состава, физических свойств минералов, морфологии, условий образования минералов и части, содержащей описательную характеристику минералов.

Второй раздел «Петрография» посвящен изучению горных пород, условиям их образования; несколько расширенно рассматривается вопрос о структурах и текстурах горных пород и их описательной характеристике.

Критериями оценки данного модуля являются следующие навыки:

- ◆ умеют применять основы кристаллографии при диагностике минералов;
- ◆ определяют минералы по диагностическим признакам;
- ◆ определяют генезис минералов по парагенетическим ассоциациям.
- ◆ умеют отличать горные породы по генезису;
- ◆ ориентируются в особенностях структур и текстур горных пород;
- ◆ классифицируют и характеризуют основные типы пород;
- ◆ умеют описывать магматические, осадочные и метаморфические породы;

Знание условий образования горных пород, их формы залегания, взаимосвязь с различными полезными ископаемыми способствует изучению студентами составления документации и построения геологических разрезов.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Раздел I. Основы кристаллографии и минералогии

1.1. Свойства кристаллического вещества, основы его строения.

Кристаллография – наука о кристаллах. Она изучает форму, внутреннее строение, происхождение и свойства кристаллических веществ. *Кристаллами* называются все твердые тела, имеющие форму правильного многогранника.

Поверхность кристаллов ограничена плоскостями, которые носят название *граней*. Места соединения граней называются *ребрами*, точки пересечения, которых называются *вершинами* (рис.1). *Гранные углы* – углы между гранями.

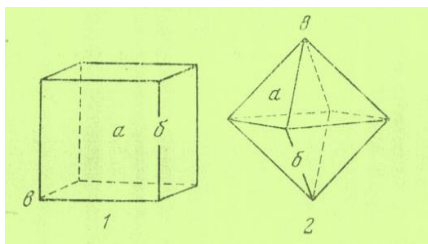


Рис.1. Кристаллы поваренной соли (1) и магнетита (2): *a* – грани, *b* – ребра, *v* – вершины

Каждому минералу кристаллического строения характерна своя форма кристаллов, которая может использоваться в качестве диагностического признака.

Кристаллическим веществам присущи следующие важнейшие свойства.

1. Анизотропность (т.е. неравносвойственность). Анизотропными называются такие вещества, которые имеют одинаковые свойства в параллельных направлениях и неодинаковые – в непараллельных. Различные физические свойства кристаллов, такие, как теплопроводность, твердость, упругость, распространение света, спайность и др., изменяются с изменением направления. В противоположность анизотропным, изотропные тела имеют одинаковые свойства во всех направлениях.

2. Способность самоограняться. Этой специфической особенностью обладают только кристаллические вещества, т.е. принимать многогранную форму, в результате свободного роста в определенной среде. При свободном росте кристаллы ограничиваются плоскими гранями и прямыми ребрами,

3. Симметрия (соразмерность). Симметрией называется закономерная повторяемость всего кристалла или отдельных его частей на плоскости или в пространстве. Перечисленные свойства кристаллических веществ

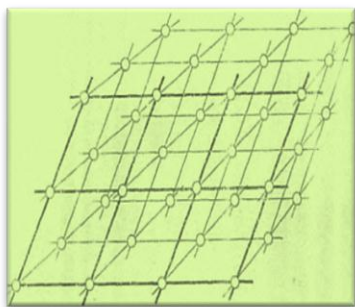


Рис.2. Пространственная решетка

объясняются их внутренним закономерным строением. Эта закономерность в строении кристаллов выражается геометрически в виде пространственной решетки, являющейся как бы скелетом (рис.2). Все кристаллы имеют вполне определенное число граней.

Пример:

◆ Слюда легко расщепляется лишь по параллельным плоскостям спайности, в

поперечных направлениях расщепить листоватые формы труднее.

- ◆ Дистен, обладает различной твердостью в различных направлениях: вдоль удлинения твердость-4.5, поперек удлинения равна 6. Кальцит, разновидность исландский шпат, обладает двойным лучепреломлением.

Все отмеченные выше свойства характерны лишь для кристаллических веществ. В аморфных веществах («аморфный» по-гречески означает «бесформенный») нет общего закономерного внутреннего строения; составляющие их частицы расположены беспорядочно, поэтому они изотропны, *не обладают симметрией и не могут самоограняться*. Примерами аморфных веществ могут служить стекло, пластмасса, клей, смола, затвердевшие коллоиды (гели), опал, янтарь, халцедон.

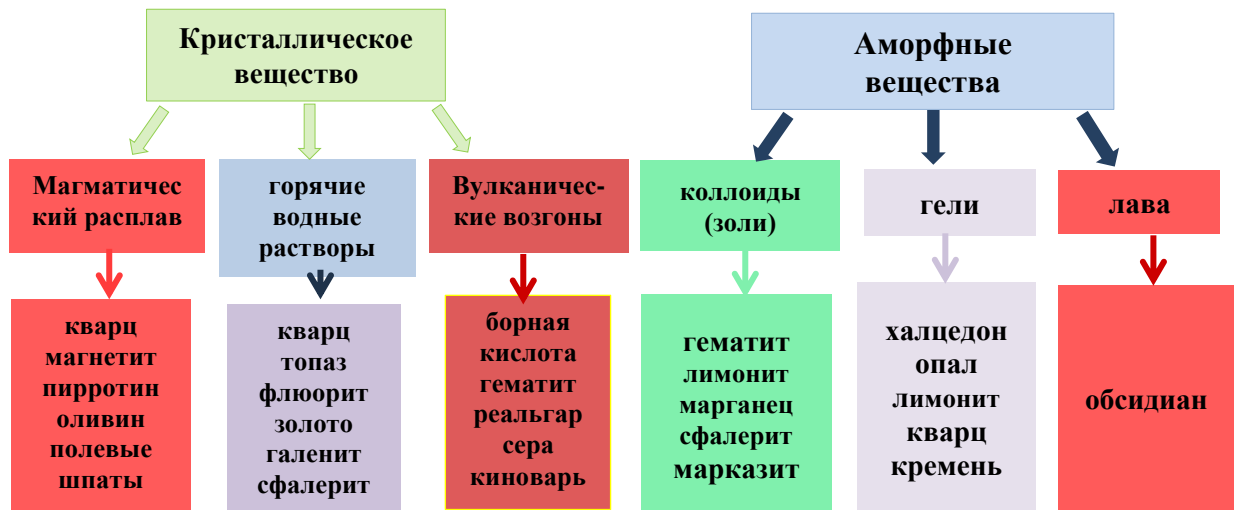


Рис.3.Примеры аморфных и кристаллических веществ.

Здесь надо различать два случая образования кристаллов: *из расплава* и *из раствора*. Примером первого случая является кристаллизация магмы.

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

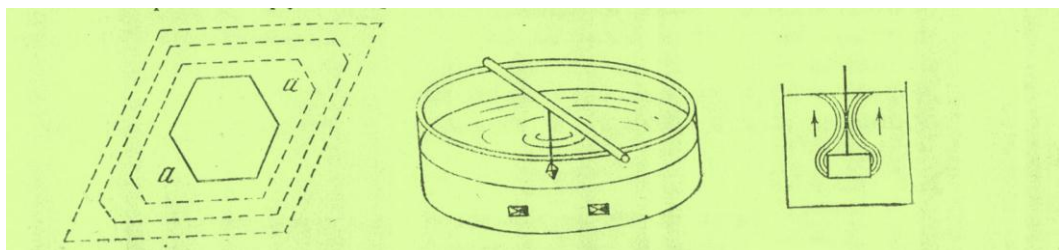


Рис. 4. Грани с большой скоростью нарастания (*a*) исчезают в процессе роста кристалла

Рис. 5. Кристаллизатор с растущими в нем кристаллами

Рис. 6. Концентрационные потоки вокруг растущего кристалла

Примерами образования кристаллов из *растворов* могут служить выпадение различных солей из растворов. Образование поваренной соли из водных растворов можно наблюдать на примерах озер.

Другой процесс-перекристаллизация: структура одних веществ разрушается, и образуются новые кристаллы с иной структурой. Все метаморфические горные породы в той или иной степени являются перекристаллизованными. Под влиянием температуры, давления и других факторов известняк переходит в мрамор, глинистые породы - в филлиты и кристаллические сланцы.

Практическое занятие 1. Как же растут кристаллы?

- ◆ Как простейший способ выращивания кристаллов можно рекомендовать следующий.
- ◆ Возьмем несколько граммов квасцов или медного купороса.
- ◆ Измельчаем в порошок и растворим в воде так, чтобы получился пересыщенный раствор (табл. 1).

Растворимость солей (в граммах на 100 см³ воды)

Таблица 1

Температура, °С	Алюмокалиевые квасцы KAl[SO ₄] ₂ 12H ₂ O	Медный купорос Cu[SO ₄] 5H ₂ O
0	3,9	31,61
10	9,52	36,95
20	15,13	42,31
30	22,01	48,81
40	30,92	56,90

- ◆ Чтобы сделать раствор пересыщенным, растворение соли следует вести при нагревании.
- ◆ Отфильтрованный раствор помещают в простейший кристаллизатор (стакан с широким дном) и дают остыть. При охлаждении получаем насыщенный, и затем пересыщенный раствор.
- ◆ В кристаллизатор опускают на нитке небольшой кристаллик той же соли - затравку (см. рис. 5). Через некоторое время мы увидим на стенках и дне сосуда множество мелких кристалликов, а затравка увеличится в размерах и примет ясную огранку. Нужно всегда иметь в виду, что кристаллизацию ведут из пересыщенных растворов.

Всю операцию по выращиванию кристаллов надо проводить стерильно, чтобы не загрязнять раствор, так как в этом случае вокруг пылинок образуется множество центров кристаллизации, которые будут мешать росту кристалла.

Контрольные вопросы:

1. Отличить аморфное вещество от кристаллического вещества.

2. Показать грани, ребра, вершины на кристалле. Описать строение кристаллов.
3. Определить на минералах анизотропные свойства.
4. Определить анизотропные минералы.
5. Определить аморфные минералы.

1.2. Геометрическая кристаллография

Симметрия, элементы симметрии, сингонии категории.

Геометрическая кристаллография изучает внешнюю форму кристаллов и закономерности их внутреннего строения.

Все кристаллы обладают элементами симметрии

Симметрия (соразмерность) есть закономерная повторяемость в расположении фигур или их частей на плоскости или в пространстве. Эта закономерность выражается, например, в совмещении частей фигуры при отражении в плоскости или вращении фигуры вокруг какой-либо оси.

Симметрия определяется с помощью элементов симметрии.

Элементами симметрии называются вспомогательные геометрические образы (**точки, прямые, плоскости**), с помощью которых обнаруживается симметрия фигур.

❖ Кристаллы обладают элементами симметрии:

- ◆ плоскость симметрии
- ◆ ось симметрии
- ◆ центр симметрии

1. Плоскость симметрии. Это воображаемая плоскость, которая делит фигуру на две равные части так, что одна из частей является зеркальным отражением другой. Плоскость симметрии обозначается буквой P .

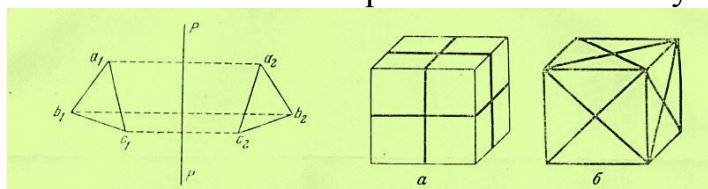


Рис. 7. Плоскость симметрии (P) Рис.8. Девять плоскостей симметрии ($9P$) в кубе. Три главных плоскости (a) и шесть диагональных (b)

Если плоскостей симметрии в данном кристалле несколько, то перед обозначением плоскости ставится их число.

Например: $3P$ (три плоскости симметрии имеет спичечная коробка). В кристаллах могут быть одна, две, три, четыре, пять, шесть, семь и девять плоскостей симметрии (рис.8).

2. Центр симметрии (иногда заменяется термином «центр инверсии»). *Центром симметрии* называется такая точка внутри фигуры, при проведении через которую любая прямая встретит на равном от нее расстоянии одинаковые и обратно расположенные части фигуры. Центр симметрии обозначается буквой C . Если каждая грань кристалла имеет себе равную, параллельную, хотя и обратно расположенную грань, то данный кристалл

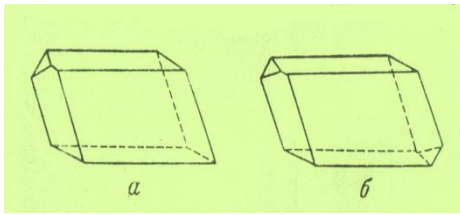


Рис. 9. Кристаллы без центра симметрии (а) и с центром симметрии (б)

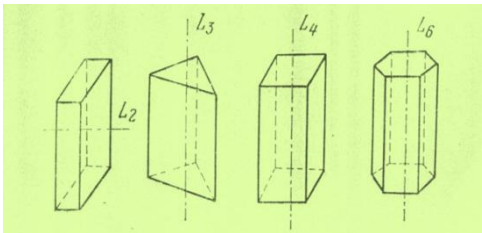


Рис. 10. Оси симметрии: L_2 , L_3 , L_4 и L_6

четвертого L_4 и шестого L_6 порядков (рис. 10). Оси симметрии L_3 , L_4 , L_6 называются осями симметрии высшего порядка. Количество осей одного порядка пишут перед буквой L . **Например:** $3L_2$ – три оси второго порядка.

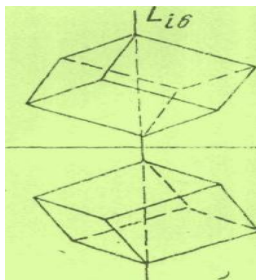


Рис. 11. Инверсионная ось шестого порядка L_{i6} или зеркально-поворотная ось третьего порядка L_3 на ромбоэдре кальцита

обладает центром симметрии (рис. 9б). Некоторые кристаллы могут не иметь центра симметрии (рис. 9а).

3. Оси симметрии. *Осью симметрии* называется воображаемая прямая, при повороте вокруг которой всегда на один и тот же угол происходит совмещение равных частей фигуры. При повороте на 360°

совмещение граней в равных кристаллах возможно два, три, четыре или шесть раз (т. е. при каждом повороте на 180, 120, 90 и 60°). Ось симметрии обозначается буквой L , порядок оси показывает, сколько раз при повороте на 360° произойдет совмещение каждой из граней. Так, в кристаллах возможны оси второго L_2 , третьего L_3 ,

четвертого L_4 и шестого L_6 порядков (рис. 10). Оси симметрии L_3 , L_4 , L_6 называются осями симметрии высшего порядка. Количество осей одного порядка пишут перед буквой L . **Например:** $3L_2$ – три оси второго порядка.

4. Инверсионные оси симметрии. *Инверсионной осью* (L_1) называется воображаемая прямая, при повороте вокруг которой на некоторый определенный угол и отражении в центральной точке фигуры (как в центре симметрии) фигура совмещается сама с собой, т. е. инверсионная (рис. 11).

Как же сочетаются элементы симметрии в кристаллах? Оказывается, в кристаллах возможны только 32 сочетания элементов симметрии, или, как говорят, 32 вида симметрии.

Виды симметрии объединяются в сингонии (от греческого «син» — сходно и «гония» - угол) или системы. *Сингония* – это группа видов симметрии, обладающих одним или несколькими сходными элементами симметрии при одинаковом числе единичных направлений.

Единичное направление - это единственное не повторяющееся в кристалле направление (оси высшего порядка)

❖ Всего различают семь сингоний:

◆ **Триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии** называются *низшими*, потому что они не имеют осей симметрии выше второго порядка (L_2 - ось низшего порядка)

- ◆ **Тригональная, тетрагональная и гексагональная** сингонии называются *средними*; они имеют одну ось симметрии высшего порядка, совпадающие с единичным направлением, соответственно L_3 , L_4 (или L_{i4}), L_6 (или L_{i6}).
- ◆ **Кубическая сингония** имеет несколько осей симметрии высшего порядка (L_3 , L_4 или L_{i4} , L_6); характеризуются отсутствием *единичного направления*. Она называется *высшей сингонией* или *категорией*.

Лабораторная работа 2.

1. Определение элементов симметрии кристаллов.

2. Вывод формулы симметрии.

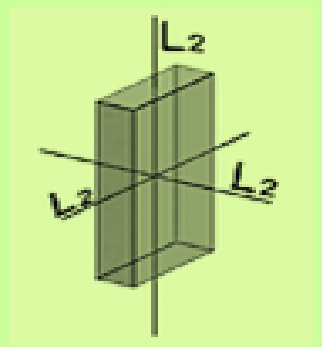
Оборудование: Простые модели формы кристаллов разных сингоний и категорий.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить наличие и количество осей симметрии, начиная с осей высшего порядка, т.е. L_3 , L_4 , L_6 , затем определить наличие и количество осей низшего порядка, т.е. L_2 .
- ◆ 2. Определить наличие и количество плоскостей симметрии.
- ◆ 3. Определить наличие центра симметрии.
- ◆ 4. Произвести запись формулы симметрии в виде буквенно-цифровых обозначений.

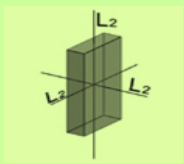
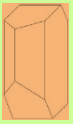
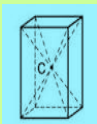
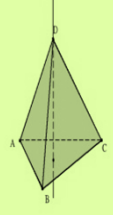
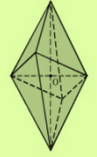
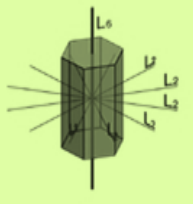
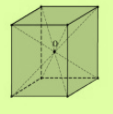
❖ **Пример: модель кристалла в форме спичечного коробка:**

- ◆ 1. Оси высшего порядка отсутствуют
- ◆ 2. Три оси второго порядка, $3L_2$
- ◆ 3. Три плоскости симметрии, $3P$
- ◆ 4. Наличие центра симметрии C
- ◆ 5. Формула симметрии- $3L_23PC$.



Характеристика сингоний и категорий

Таблица 2

Категория	Сингония	Формула симметрии	Характеристика категорий	Форма кристаллов
низшая	моноклинная,	нет или C	нет осей порядка выше двух L_2 (только ось низшего порядка) (т.е. отсутствуют оси высшего порядка L_3 ; L_4 ; L_6), имеются плоскость симметрии (P) и центр симметрии (C)	
	триклинная	L_2 ; P; L_2PC		
	ромбическая	$3L_2$; L_22P ; $3L_23PC$		
средняя	тригональная	L_3 ; L_3C ; L_33L ; L_33P ; $L_33L_2 3PC$	имеется одна ось высшего порядка, совпадающая с единичным направлением (L_3 ; L_4 ; L_6), но осей L_2 может быть несколько, возможны плоскости симметрии и центр симметрии, минералы обладают анизотропными свойствами.	
	тетрагональная	L_4 ; L_4PC ; L_44L_2 ; L_44P ; $L_44L_2 5PC$		
	гексагональная	L_6 ; L_6PC ; L_66L_2 ; L_66P ; $L_66L_2 7PC$		
высшая	кубическая	$4L_33L_2$ $4L_33L_23PC$ $4L_33L_26P$ $4L_34L_36L_2$ $4L_44L_36L_29PC$	отсутствуют единичные направления, имеются несколько осей высшего порядка, минералы обладают изотропностью, Изометричны, относятся куб, октаэдр, тетраэдр, ромбододекаэдр.	

Простые формы кристаллов и их комбинации

Совокупность граней, которая может быть получена из исходной грани данного кристалла, называется *простой формой*. Сочетание двух или нескольких простых форм называется *комбинацией*.

Номенклатура простых форм. В основу названия простых форм положено несколько признаков: число граней, очертание грани, сечение формы. В номенклатуре простых форм кристаллов используются греческие термины, наиболее часто употребляемые из которых следующие:

Моно-одно-единственный;
Ди- два,- дважды;
Три- три-, трех;
Тетра- четыре-, четырех;
Пента- пяти,-;
Гекса- шести -;
Окта- восьми-
Додека- двенадцать.

Эдра- грань;
Гонио-угол;
Син-сходно;
Пинакос-таблица, доска;
Клинэ-наклон;
Поли-много;
Скаленос-косой, неровный.

Куб состоит из шести одинаковых граней название - *гексаэдр*; восьмигранник - *октаэдр*; две одинаковые пирамиды, сложенные основаниями, образуют *дипирамиду*; кристалл, ограниченный гранями в виде косоугольных треугольников, называется *скаленоэдром*.

В низших сингониях возможны следующие простые формы (рис. 13):

- ◆ Моноэдр - простая форма, представленная одной гранью.
- ◆ Пинакоид - две равные параллельные грани. Диэдр - две равные пересекающиеся грани.
- ◆ Ромбическая призма - четыре равных параллельных грани; в сечении образуют ромб.
- ◆ Ромбическая пирамида - четыре равные пересекающиеся грани; в сечении также образуют ромб.

Перечисленные простые формы относятся к *открытым*, так как они не замыкают пространства. Из закрытых простых форм низших сингоний отметим следующие:

Ромбическая дипирамида - две ромбические пирамиды,

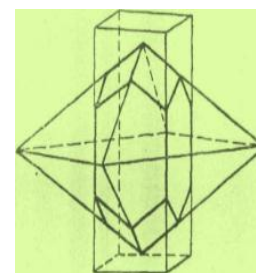


Рис. 12 Образование комбинации простых форм у кристалла циркона: *a*-тетрагон альная призма, *p*-те трагональная

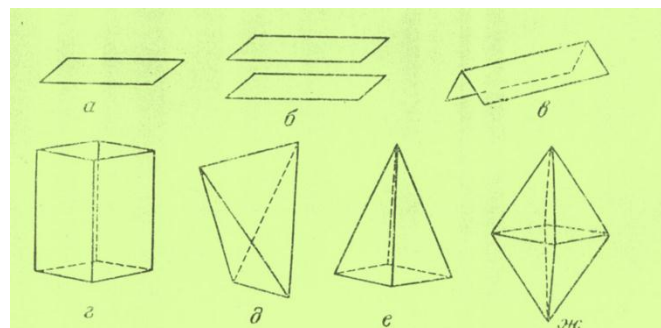


Рис. 13. Простые формы низших сингоний: *a* – моноэдр, *б* – пинакоид, *в* – диэдр, *г* – ромбическая призма, *д* – ромбический тетраэдр, *е* – ромбическая пирамида, *ж* – ромбическая дипирамида

сложенные основаниями, дающих в поперечном сечении ромб;

Ромбический тетраэдр - четыре грани, имеющие форму косоугольных треугольников.

Открытыми простыми формами средних сингоний будут призмы и пирамиды.

В соответствующих сингониях могут быть тригональные, тетрагональные и гексагональные призмы (рис. 14). Сечения будут иметь форму треугольника, квадрата или шестиугольника.

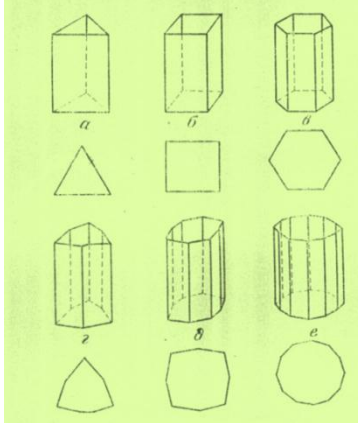


Рис. 14. Призмы средних сингоний:
а-тригональная, *б*-тетрагональная,
в – гексагональная, *г*-дитригональная, *д*-
 дитетрагональная, *е*-дигексагональная

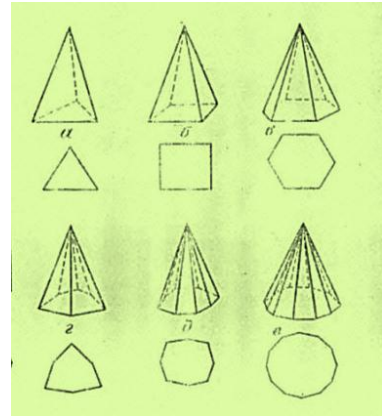


Рис. 15. Призмы средних сингоний:
а-тригональная, *б*-тетрагональная,
в-гексагональная, *г*-дитригональная,
д-дитетрагональная, *е*-дигексагональная

Пирамиды (рис. 15) также могут быть тригональные (и дитригональные), тетрагональные (и дитетрагональные), гексагональные (и дигексагональные). В поперечном сечении они также дают треугольник, квадрат и шестиугольник.

К закрытым формам относятся дипирамиды, скаленоэдры, трапецоэдры, ромбоэдр и тетрагональный тетраэдр. Дипирамиды могут быть тригональные, тетрагональные и гексагональные или при удвоении числа граней - дитригональные, дитетрагональные и дигексагональные (рис. 16).

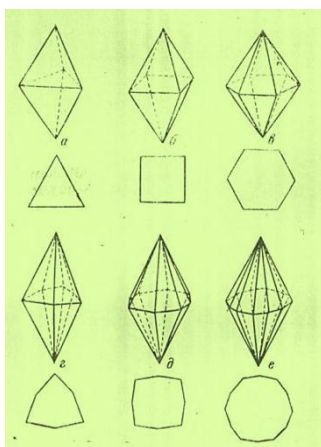


Рис. 16. Дипирамиды средних сингоний: *а*-
 тригональная, *б*-тетрагональная, *в*-гекса-
 гональная, *г*-дитетрагональная,
д-дигексагональная, *е*-диоктагональная

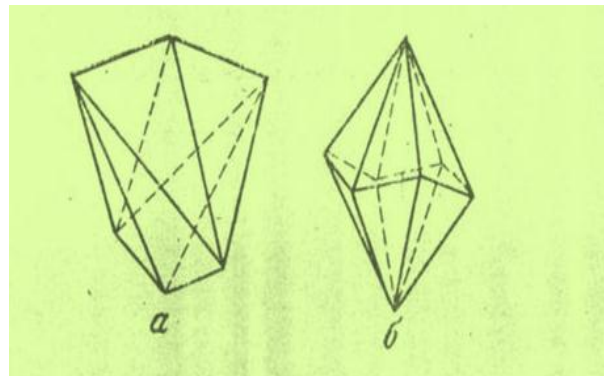


Рис. 17. Скаленоэдры:
а – тетрагональный,
б - тригональный

Дипирамиды представляют собой как бы две пирамиды, сложенные основаниями.

Скаленоэдр (рис. 17) - простая форма, состоящая из равных разносторонних треугольников. Скаленоэдры встречаются только в тригональной и тетрагональной сингониях.

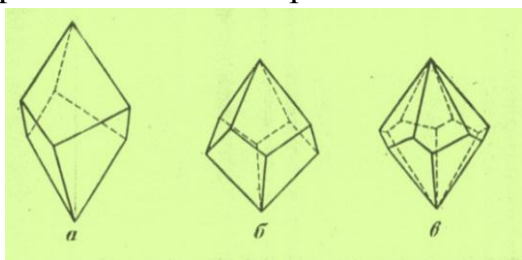


Рис.18. Трапецоэдры:
a – тригональный,
б – тетрагональный,
в - гексагональный

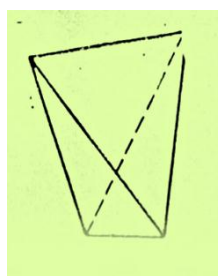


Рис.19. Ромбоэдр

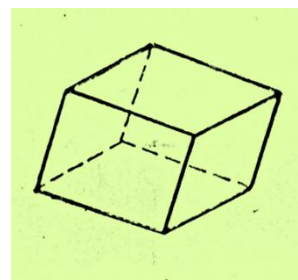


Рис.20. Тетрагональный тетраэдр

Трапецоэдр (рис. 18) напоминает дипирамиду. Грани этой простой формы имеют вид четырехугольников, а боковые ребра не лежат в одной плоскости.

Ромбоэдр (рис. 19) состоит из шести граней в виде ромбов. Он возможен только в тригональной и гексагональной сингониях.

Тетрагональный тетраэдр (рис. 20) представляет собой четыре равные грани в виде равнобедренных треугольников. В кубической сингонии имеется 15 простых форм, все они закрытые.

Куб (гексаэдр) представляет собой шесть попарно параллельных квадратных граней (рис. 21). Если каждую грань куба заменить четырьмя треугольными гранями, то получится простая форма, которая называется тетрагексаэдр.

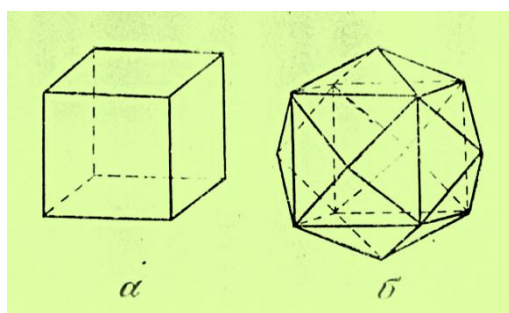


Рис.21.Куб (*a*) и тетрагексаэдр (*б*)

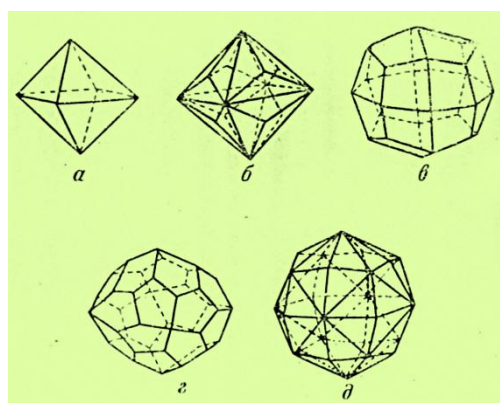


Рис.22. Простые формы, выводящиеся из октаэдра: *a*-октаэдр, *б*-тригонтри-октаэдр, *в*-тетрагонтриоктаэдр, *г*-пентагонтриоктаэдр, *д*-гексаоктаэдр

Октаэдр (рис. 22а) представляет собой совокупность восьми попарно параллельных граней. При замещении грани октаэдра шестью гранями получим *гексаоктаэдр*, состоящий из 48 граней.

Тетраэдр кубической сингонии состоит из четырех равносторонних треугольников, замыкающих пространство (рис. 23а).

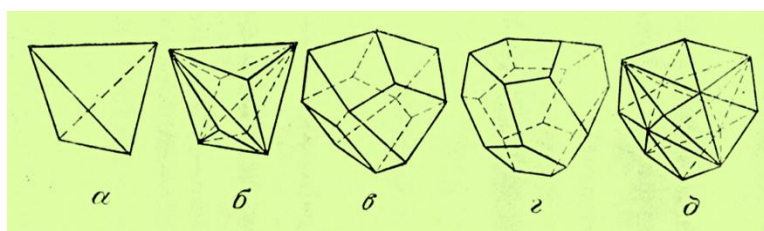


Рис.23. Простые формы, выводющиеся из тетраэдра:
а-тетраэдр, *б*-тригонритетраэдр,
в-тетрагонритетраэдр, *г*-пентагонритетраэдр,
д-гексатетраэдр

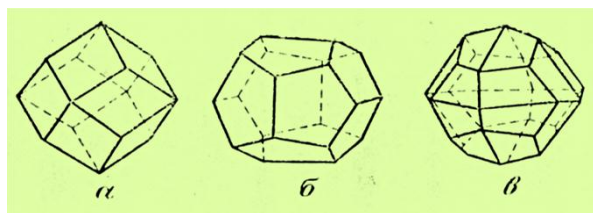


Рис.24. Ромбододекаэдр (а),
 пентагондодокаэдр (б) и дидодокаэдр (в)

Ромбододекаэдр представляет собой простую форму, состоящую из 12 граней в виде ромбов (рис. 24а).

Пентагондодокаэдр также состоит из 12 граней, но имеющих форму неправильных пятиугольников (рис.24б).

Дидодокаэдр - «удвоенный» додекаэдр, каждая грань которого заменена двумя гранями (рис. 24в); состоит из 24 граней.

В природе кристаллы встречаются не только в виде отдельных индивидов, но и в виде сростков. Подобные сростания весьма характерны для кварца, топаза, кальцита и многих других кристаллов.

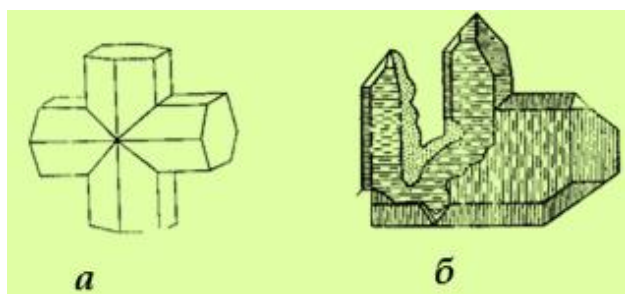


Рис.25. а - двойник прорастания у ставролита, **б** - двойниковый шов на кварце (японский двойник)

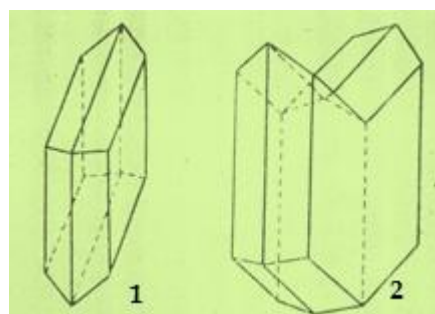


Рис.26. Гипс. Единичный кристалл (1) и двойник сростания «ласточкин хвост» (2)

Образование двойников весьма характерно для многих минералов, в том числе очень распространенных – кварца, полевого шпата, гипса, ставролита.

Лабораторная работа 3.

Определение простых форм кристаллов и комбинаций простых форм кристаллов

Оборудование: набор моделей кристаллов (коллекция минералов).

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1.Зарисовать простые формы кристаллов (рис. 13- 24).

- ◆ 2. Определить название каждой простой формы кристалла на моделях кристаллов и написать его возле соответствующего кристалла.
- ◆ 3. На моделях кристаллов, представленной комбинацией простых форм, определить их название и количество.
- ◆ 4. Определить название простых форм кристаллов на минералах.

Лабораторная работа 4.

Определение сингонии, категории и вида симметрии (формула симметрии) простых форм кристаллов и на коллекции минералов.

Оборудование: набор моделей простых форм кристаллов (коллекция минералов).

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить сингонию и категорию на моделях кристаллов и соответственно на минералах.
- ◆ 2. Определить формулы симметрии на моделях кристаллов (минералах).

Например: минерал турмалин, форма кристалла - тригональная призма, средняя категория, кристаллизуется в тригональной сингонии, имеет вид тригональной призмы (рис. 14а), т.е. имеет одну ось третьего порядка, проходит вдоль удлинения граней и совпадающей с единичным направлением, три оси второго порядка (делят кристалл на две равные части, взаимно перпендикулярны к оси третьего порядка), четыре плоскости симметрии; формула симметрии— L_33L_24PC .

Контрольные вопросы:

1. Указать и охарактеризовать элементы симметрии на кристаллах.
2. Определить элементы симметрии на моделях кристаллов.
3. Продемонстрировать на кристаллах оси симметрии второго порядка.
4. Продемонстрировать на кристаллах оси симметрии третьего порядка.
5. Продемонстрировать на кристаллах оси симметрии четвертого порядка.
6. Продемонстрировать на кристаллах оси симметрии шестого порядка.
7. Определить плоскости симметрии на кристаллах.
8. Определить центр симметрии на кристаллах.
9. Определить простые формы низшей категории.
10. Определить простые формы средней категории.
11. Определить простые формы высшей категории.
12. Отличить простые формы тригональной сингонии.
13. Отличить простые формы кристаллов тетрагональной сингонии.
14. Отличить простые формы кристаллов гексагональной сингонии.
15. Отличить простые формы кристаллов кубической сингонии.

МИНЕРАЛОГИЯ

1.3. Физические свойства и морфология минералов

Минералогия – наука о минералах.

Минералом называется природное химическое соединение, образовавшееся в результате различных физико-химических процессов, и является составной частью горных пород и руд.

Отличаются друг от друга по химическому составу и физическим свойствам (цвету, блеску, твердости и т. д.). Минералы возникают в результате разнообразных геологических процессов в земной коре, и встречаются преимущественно в твердом, иногда в жидком, и газообразном состоянии и имеют различный внешний вид.

Химический состав и формулы минералов.

По химическому составу все минералы объединяются в две группы:

1) минералы постоянного состава; 2) минералы переменного состава. К первым относятся такие, состав которых практически неизменен. Например, галит NaCl содержит Na – 39,4%, Cl – 60,6%.

Минералы переменного состава представляют изоморфные смеси двух, трех и более компонентов. Например, вольфрамит является соединением двух компонентов: ферберита FeWO_4 и гюбнерита MnWO_4 . Поэтому формула вольфрамита $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$ показывает, что количество Mn и Fe непостоянны. *Наличие запятой в формуле свидетельствует о непостоянстве состава.* Изоморфные смеси особенно типичны для силикатов. *Изоморфизмом* называется свойство атомов одного химического элемента замещать в узлах кристаллической решетки атомы другого химического элемента с образованием однородного смешанного кристалла переменного состава.

Формулы могут быть структурными, дающими представление о пространственном расположении атомов в минерале и их связи между собой.

В минералах важно выявить катионы и анионные комплексы, характеризующие типы кристаллических структур. При написании формул минералов анионные комплексы отделяются от катионов квадратными скобками, например, сидерит $\text{Fe}[\text{CO}_3]$, барит $\text{Ba}[\text{SO}_4]$, сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, микроклин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и т.д.

Физические свойства минералов.

Физические свойства минералов имеют большое практическое значение (радиоактивность, люминесценция, магнитность, твердость, оптические свойства и др.) и очень важны для их диагностики. Они зависят от химического состава и типа кристаллической структуры.

Плотность. Плотности минералов (в г/см^3) колеблются от величин, примерно равных единице, до 23,0 (платинистый иридий). Большинство минералов имеет плотность от 2,5 до 3,5.

❖ Минералы по плотности условно можно разделить на три группы:

- ◆ легкие (плотность до 3,0), полевые шпаты, галит, гипс;
- ◆ средние (плотность от 3,0 до 4), оливин, родонит, гранаты;
- ◆ тяжелые (плотность более 4), магнетит, вольфрамит, золото.

Некоторые минералы легко узнаются по большой плотности (барит 4,6, церуссит 6,5).

Механические свойства минералов определяются при механическом воздействии на них: ударе, сжатии. К числу важнейших механических свойств относятся спайность и твердость.

В полевых условиях минералы определяют макроскопически, по их физическим свойствам: твердости, цвету, блеску, цвету черты, спайности и т.д.

Твердость - способность минерала противостоять внешнему механическому воздействию, т.е. царапанию, при этом должна оставаться царапина. Твердость минералов определяют по шкале Мооса, которая состоит из следующих минералов расположенных по возрастанию твердости (таблица 3)

Таблица 3

1	Тальк	$Mg_3(OH)_2 [Si_4O_{10}]$	6	Ортоклаз	$K [AlSi_3O_3]$
2	Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	7	Кварц	SiO_2
3	Кальцит	$CaCO_3$	8	Топаз	$Al_2 (F_2OH)_2 [SiO_4]$
4	Флюорит	CaF_2	9	Корунд	Al_2O_3
5	Апатит	$Ca_5(F_2Cl_2OH) [PO_4]_3$	10	Алмаз	C

Каждый последующий минерал шкалы царапает предыдущий.

В полевой практике часто пользуются вспомогательными предметами: минерал легко пишет на бумаге - твердость 1; ноготь-2, медная монета-3; гвоздь-4-4,5; царапина от стекла-5; царапина на стекле-6,5; напильник-7.

❖ **Блеск** – это способность минерала отражать световые лучи от своей поверхности. Различают:

- ◆ **металлический** (галенит, пирит); (характерен для минералов, дающих темный цвет черты);
- ◆ **полуметаллический** (гематит);
- ◆ **неметаллический** – алмазный (сфалерит), стеклянный (граны кристаллов кварца), жирный (нефелин), шелковистый (хризотил-асбест), перламутровый (гипс, мусковит), матовый (халцедон). Характерен для минералов, дающих любую цветную или белую черту.

Цвет – минералы имеют самую разнообразную окраску, которая зависит от химического состава кристаллической структуры, механических примесей (рис.27, 28).

Практически цвет минерала определяется на глаз, на поверхностях свежего скола. Некоторые минералы обладают постоянной окраской, но большинство таковой не имеет, поэтому ею пользуется в сочетании с другими



Рис. 27. Азурит (синий цвет)



Рис.28. Розовый родонит

признаками.

Цвет черты - это цвет минерала в порошке, который остается на белой шероховатой поверхности фарфоровой пластинки.



Рис.29. Слюда биотитовая



Рис.30. Кальцит



Рис.31. Пирит



Рис.32. Октаэдрические кристалл магнетита в кварце

Спайность – способность минералов расщепляться или раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием ровных гладких поверхностей, называемых плоскостями спайности.

❖ Различают следующие виды спайности:

◆ *весьма совершенную* - минерал легко расщепляется на тонкие листочки или пластинки (слюды, гипс) (рис 29);

◆ *совершенную* – при ударе молотком минерал раскалывается на обломки, ограниченные плоскостями спайности, неровных поверхностей мало (кальцит, галенит и др.) (рис.30);

◆ *средняя* - при раскалывании минералов получаются как плоскости спайности, так и неровные поверхности по случайным направлениям-пироксены);

◆ *несовершенную* - минерал раскалывается на обломки случайной формы, ограниченные неровными поверхностями с единичными ровными площадками (апатит, оливин и др.);

◆ *весьма несовершенная* – спайность практически отсутствует (кварц, пирит и др.) (рис.31).

Неровные поверхности раскола называются

изломом. Излом может быть: *неровный, раковистый, занозистый, ступенчатый* и др.

Остальные физические свойства присущи не всем минералам, но для некоторых часто являются наиболее ярко выраженными, **диагностическими.** Например: **соленый вкус** - для галита, горько-соленый; сильвин, жгуче-соленый-карналлит; **упругость** - для слюд и т.д.

Иризация и опалесценция (характерные цветные переливы) типичны, например, для лабрадора и опала.

Магнитность. Это свойство характерно для немногих минералов. Наиболее сильными магнитными свойствами обладает магнетит, или магнитный железняк, $FeFe_2O_4$, меньшими - пирротин $Fe_{1-x}S$. Эти минералы притягивают магнитную стрелку.

Радиоактивность. Радиоактивностью обладают минералы, содержащие радиоактивные элементы, в первую очередь уран, радий и торий.

Из прочих физических свойств минералов можно отметить растворимость в воде, реакция при воздействии кислот, а в некоторых случаях запах, горючесть и другие свойства.

Лабораторная работа 5

Определить физические свойства минералов, заполнив следующую таблицу

Оборудование: коллекция минералов, эталонная шкала твердости, предметы для определения шкалы твердости, соляная кислота, стекло.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить цвет черты минерала на шероховатой поверхности белой фарфоровой пластине и вписать в таблицу - металлический, при наличии темного цвета черты; и неметаллический - при наличии любого светлой черты
- ◆ 2. Определить цвет минерала.
- ◆ 3. Определить спайность (исходя из понятий вида спайности).
- ◆ 4. Определить твердость минерала с применением шкалы Мооса (или вспомогательных предметов)
- ◆ 5. Определить магнитность, вкус, растворимость, взаимодействие с соляной кислотой: результат записать в графу «диагностика».

Таблица 1

Название минерала	Формула минерала	Сингония минерала	Цвет минерала	Цвет черты	Твердость Плотность	Спайность	Блеск	Диагностика	Парагенезис

Контрольные вопросы:

1. Привести примеры механических свойств минералов.
2. Методика определения следующих свойств минералов: магнитность, плотность,
3. Определить блеск минералов. Виды блеска. Для каких минералов характерен металлический и не металлический блеск.
4. Определить виды спайности минералов.
5. Показать методы определения твердости.
6. Определить двойное лучепреломление.
7. Различить минералы по блеску – металлическому, неметаллическому.
8. Определить наличие магнитных свойств минералов.

9. Определить минералы, обладающие вкусом.

10. Определить цвет черты минералов.

Морфология минералов.

Кристаллы минералов и морфология минеральных агрегатов имеют большое значение для определения минералов, т.е. являются важным диагностическим признаком

Минералы в природе встречаются как в виде отдельных монокристаллов, так и в виде закономерных сростков-двойников и нерегулярных сростков-агрегатов.



Рис.33 Пластинчатые формы гипса



Рис.34 Волластонит (лучистые, спутанно-волокнистые, радиально-лучистые)



Рис.35. Чешуйчатые формы гематита

1. Морфологические особенности монокристаллов.

В природных условиях кристаллы

минералов, развиваются преимущественно неравномерно, образуя различные грани; поэтому кристаллы приобретают разнообразный облик: или они равномерно развиты по различным направлениям - изометричные формы, характерные для минералов, кристаллизующиеся в кубической сингонии или же образуют *таблитчатые, пластинчатые, игольчатые, волокнистые*, (рис.34), *чешуйчатые* (рис. 35) формы, характерные

для минералов других сингоний. Особенностью кристаллов является штриховка на гранях. Примерами минералов, грани кристаллов которых имеют штриховку, могут служить: кварц (SiO_2) - поперечная штриховка на гранях призмы; берилл $-\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ и турмалин $-\text{Na}(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Al}_3[\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH})_3]$ -вертикальная штриховка на гранях призмы; пирит (FeS_2) - штриховка параллельно граням куба,

ориентированная перпендикулярно каждой соседней грани.

2. Морфология агрегатов. Особенно часто минералы встречаются в виде случайных нерегулярных сростков. Агрегаты могут состоять из кристаллов как одного минерала (*мономинеральные агрегаты*), так и нескольких (*полиминеральные агрегаты*). Ниже дано краткое описание наиболее характерных видов агрегатов.

Друзы – представляют собой сростки четко выраженных кристаллов, растущих в различных направлениях и имеющие одно общее основание. Друзы могут состоять из кристаллов одного или нескольких минералов. Например, кварц, флюорит, пирит, кальцит (Рис.36).



Рис.36. Друза берилла

Секреции - образуются в округлых пустотах горных пород и представляют собой концентрически-замкнутые окружности с чередованием различно окрашенных полос. Заполнение пустот происходит в результате постепенного отложения веществ на их стенках от периферии к центру. Секреции до 10 мм в поперечнике называют миндалинами. Внутри крупных секреций нередко сохраняется полость, стенки которой покрыты друзами кристаллов или натечными образованиями, называемыми жеодами > 10 мм в диаметре (рис. 37).



Рис.37 Секреция агата

Жеоды характерны для кварца (горный хрусталь, аметист), кальцита, агата, халцедона, гипса.



Рис.38. Лимонит, жеода

Конкреции (стяжения, желваки) - образования округлой или иногда неправильной формы, имеющие обычно радиально-лучистое строение в разрезе (рис.39). Отложение вещества здесь происходит от центра к периферии. (отличие от секреции). В виде конкреций встречаются так же марказит (FeS_2), сидерит (FeCO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).



Рис.39. Конкреции фосфоритов

Оолиты – сферические образования небольших размеров от долей миллиметра до 5мм, имеющие концентрически-зональное строение. Оолиты типичны для пиролюзита (MnO_2), кальцита (CaCO_3) и арагонита (CaCO_3), известняка. В зависимости от размеров отдельных оолитов их иногда называют *икрянными* или *гороховыми камнями* (рис.40).



Рис.40. Боксит, оолиты.

Бобовины - образования, по форме аналогичные оолитам, но не имеющие концентрически скорлуповатого строения. Они



Рис. 41. Самородная медь - дендриты



Рис.42. Натечные формы, арагонит



Рис. 43. Амазонит, среднезернистые

характерны, например, для бурого железняка - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (бобовые - болотные руды).

Дендриты - древовидные агрегаты, напоминающие отпечатки папоротника, ветви дерева (рис.41), образуются преимущественно вследствие осаждения минерального вещества из растворов в тонких трещинках горных пород. Например: дендриты гидроокислов железа, пиролюзита, также характерны для самородных металлов - меди и серебра.

Натечные формы - образуются в пустотах горных пород, при непрерывном поступлении насыщенных растворов карбоната кальция, меди, окислов железа, марганца и т.д., часто с весьма различными формами: *почковидные* (малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), *гроздевидные* (кальцит - CaCO_3), *сосулькообразные* - сталактитовые и сталагмитовые (кальцит, лед) (рис. 42).

Почковидные формы с неметаллическим блеском, имеющие одновременно радиально-лучистое и концентрически-скорлуповатое строение, называются *стеклянными головами* (например, красная стеклянная голова, характерная для гематита - Fe_2O_3).

Зернистые агрегаты - скопления зерен, различные по размерности: от величины зерен такие агрегаты могут быть:

- ◆ весьма крупнозернистыми (средний размер зерен больше 10 мм в поперечнике);

- ◆ крупнозернистыми (от 5 до 10 мм);

- ◆ среднезернистыми (от 1 до 5 мм,

зерна легко различимы невооруженным глазом)(рис.43);

- ◆ тонкозернистыми (до 1 мм, зерна различимы только с помощью лупы или микроскопа в шлифах);

В виде плотных масс встречаются, например, магнетит - FeFe_2O_4 , кварц - SiO_2 , доломит - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ В зависимости от формы зерен из зернистых агрегатов выделяют:

- ◆ собственно зернистые, когда агрегат сложен зернами более или менее изометричной формы (апатит - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, $\text{F}(\text{OH})_2$, корунд - Al_2O_3 ;

- ◆ листоватые, пластинчатые, чешуйчатые (барит - BaSO_4);

- ◆ шестоватые, игольчатые и волокнистые (селенит - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

Зернистые агрегаты имеют наибольшее распространение. К ним, например, относятся все магматические и метаморфические горные породы.

Землистые агрегаты представляют собой рыхлые образования, мельчайшие зерна минералов не различимые невооруженным глазом; легко растираются между пальцами. Землистые массы черного цвета называют *сажистыми* (гидроокислы марганца), а бурого или желтого - *охристыми* (гидроокислы железа).

Налеты и примазки-тонкие пленки минералов с неразличимой кристаллической структурой на поверхности минералов или горных пород. Примером могут служить примазки медной зелени и синии (малахита и азурита) на горных породах (песчаниках и известняках) и тонкие пленки гидроокислов железа на кристаллах кварца. Выцветы появляются на поверхности горных пород при высыхании и во влажном состоянии исчезают.

Кольца Лизеганга — ритмически перемежающиеся полосчатые образования, возникающие в результате осаждения каких-либо соединений при диффузии в гелевых средах (лабрадор, агат) (рис.44).

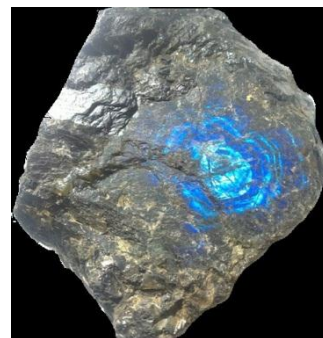


Рис.44. Кольца Лизеганга, лабрадор

Псевдоморфозы. Как было установлено выше, каждый минерал кристаллизуется в определенной сингонии и дает кристаллы определенной и постоянной формы. Некоторые минералы встречаются в кристаллических формах, не присущих данному соединению, и дают кристаллы нехарактерной для данного минерала формы – ложные формы, или псевдоморфозы. Например, псевдоморфоза лимонита по кубическим кристаллам пирита.

Лабораторная работа 6.

Определение внешнего вида минералов: морфологию минералов

Оборудование: коллекция минералов с разными формами нахождения.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Зарисовать основные формы нахождения.
- ◆ 2. Указать название минералов и их формулы.
- ◆ 3. Определить формы нахождения минералов (коллекция минералов с различными формами нахождения).

Контрольные вопросы:

1. Определить внешние формы минералов изометричные, вытянутые, шестоватые, таблитчатые, игольчатые, чешуйчатые, пластинчатые, листоватые, волокнистые.
2. Установить зернистые агрегаты по размерности: мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые.
3. Определить землистые агрегаты минералов.
4. Определить незакономерные сростки хорошо ограненных кристаллов.

5. Определить кубический, тетраэдрический, октаэдрический, призматический, дипирамидальный габитус минералов.
6. Определить конкреционные формы минералов.
7. Определить секретионные формы минералов.
8. Определить дендриты минералов.
9. Определить оолитовые формы минералов.
10. Определить натечные формы минералов: почковидные, сосулькообразные, гроздевидные.
11. Определить точечные вкрапления минералов.

1.4 Геологические процессы образования минералов и их классификация.

По источнику энергии все процессы минералообразования объединяются в две группы: эндогенные процессы, источник энергии которых располагается глубоко в недрах Земли; экзогенные процессы, источник энергии которых - энергия Солнца.

Эндогенные процессы минералообразования.

Минералообразование непосредственно из магмы. Эндогенные процессы развиваются в условиях повышенных температур в глубоких частях Земли. Все они в той или иной степени связаны с магматическим расплавом и его продуктами. Эндогенные процессы в зависимости от преобладающих факторов различают: *собственно-магматический, пегматитовый, пневматолитовый, гидротермальный, метаморфические: региональный и контактовый.*

Эндогенные процессы минералообразования:

Магматические - образование минералов из огненно-жидкого магматического расплава, в результате ее охлаждения и кристаллизации.

Пегматитовые - процесс кристаллизации остаточного магматического расплава в трещинах горных пород.

Пневматолитовые (глубинные) - процесс образования минералов при охлаждении газов, отделяющихся из магматических очагов: кварц флюорит, лепидолит. $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$ сера

Гидротермальные - процесс образования минералов из горячих водных растворов, отделяющихся от магмы и проникающих по трещинам горных пород, при остывании переходят в твердое состояние (золото, галенит, кальцит, халькопирит, кварц).

Вулканические (поверхностные) - образование минералов в вулканических областях за счет газов, отделяющихся от магмы вблизи дневной поверхности (сера, гематит, аурипигмент, реальгар, антимонит).

Собственно-магматический процесс связан с кристаллизацией магмы-огненно-жидкого силикатного расплава, в результате ее охлаждения.

В зависимости от содержания кремнезема выделяют несколько групп изверженных горных пород:

- ◆ ультраосновные (< 45% SiO₂), (оливин, пироксены);
- ◆ основные (45-55% SiO₂), (плагноклазы, пироксены);
- ◆ средние (55-65% SiO₂), (средний плагноклаз, пироксены, роговая обманка);
- ◆ кислые (>65% SiO₂), (полевые шпаты, слюды, кварц);
- ◆ щелочные, содержащие 50- 55 % SiO₂ и обогащенные глиноземом и щелочами;

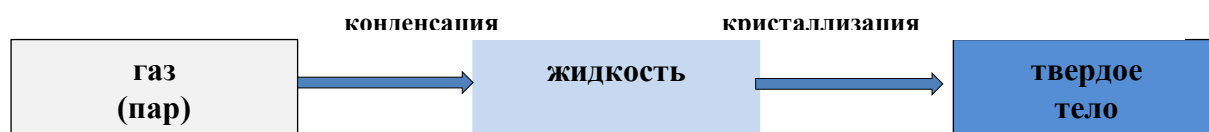
примеры рудных минералов: хромиты, ильмениты, платина, галенит и т.д.

Пегматитовый процесс. В результате кристаллизации в магматической камере накапливается остаточный силикатный расплав, богатый соединениями редких и редкоземельных элементов и летучими веществами-минерализаторами (соединения хлора, фтора, бора), обогащенный щелочами, рудными элементами. Этот остаточный расплав в силу разности давлений выжимается вверх в вышележащие породы и выполняет в них трещины и полости. По мере его охлаждения и с началом кристаллизации появляются *пегматиты*, а процесс называется *пегматитовый*. Пегматиты отличаются своей крупнозернистостью и разнообразием минералов. Например: крупные кристаллы турмалина, сподумена, топаза, касситерита, вольфрамит, берилла, изумруды и т.д.

Гидротермальный процесс. Процесс образования минералов из горячих водяных паров, отделяющихся от магматических расплавов, которые конденсируясь, быстро превращаются в горячие водные растворы, мигрирующие в область пониженного давления. По мере охлаждения из этих растворов происходит отложение растворенного вещества преимущественно в виде жил.

❖ В зависимости от температуры выделяют:

- ◆ а) высокотемпературные > 300°C (берилл, топаз, пирротин, касситерит, вольфрамит);
- ◆ б) среднетемпературные 200-300°C (кварц, золото, барит, галенит, сфалерит, сидерит);
- ◆ в) низкотемпературные 50-200°C (киноварь, молибденит, антимонит, реальгар, аурипигмент) образования.



При понижении температуры вещество из газообразного состояния может перейти сначала в жидкое, а затем в твердое состояние

Пневматолитовый процесс: процесс образования минералов из газообразных соединений, обогащенных летучими компонентами. Различаются вулканические и глубинные. При возгоне вулканической деятельности отлагались сера, аурипигмент, гематит в виде налетов, примазок, чешуйчатых форм. Глубинные пневматолиты, проникая по трещинам горных пород, реагируя с ними, способствуют образованию грейзенов, состоящих из флюорита, лепидолита, топаза, касситерита, берилла, молибденита, кварца и т.д.



Рис.45. Пневматолитовый процесс образования серы

Пневматолитовый и гидротермальный процессы тесно связаны между собой.

Региональный метаморфизм. Захватывает обширные площади, горные породы, в результате тектонических движений, оказываются в условиях глубин, где господствуют высокие неравномерно проявляющиеся температуры и давления. В результате меняется минеральный состав. Эта трансформация вещества сопровождается его дегидратацией, раскристаллизацией или перекристаллизацией.

Примеры пород и минералов: мрамора, кварциты, гнейсы, сланцы, кальцит, графит, эпидот, слюды, актинолит и т.д.

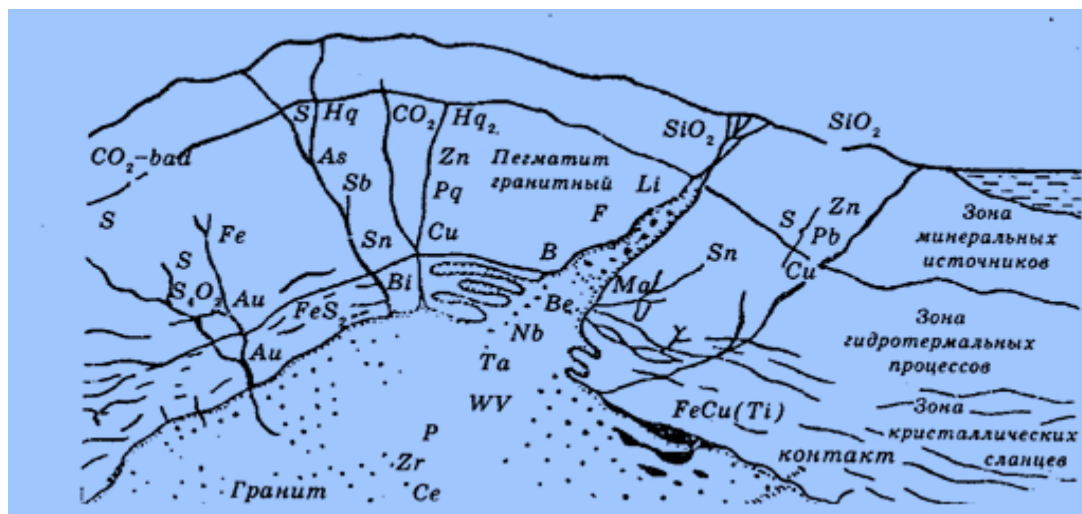


Рис.46. Схематический разрез через земную кору в области гранитных магм

Общая схема всех процессов минералообразования, связанных с магмой, видна на рис. 46, изображающей разрез через земную кору в области гранитных магм. Химические символы элементов указывают, в какой части магматической массы или связанных с ней пегматитовых и рудных жил преимущественно образуются соединения соответствующих элементов.

Минералообразование в области контактов

Контактовый метаморфизм. Протекает на контакте горячей магмы с вмещающими породами: кальцит, геденбергит, пирит, магнетит и т.д.

Контактовый метасоматоз. Развивается в результате взаимодействия специфических растворов на вмещающие и на изверженные породы,

формирующиеся горные породы называются *скарнами*. Скарны темные породы, сложенные гранатом, пироксенами и другими минералами.

Экзогенные процессы минералообразования.

Процессы минералообразования в зоне выветривания. Экзогенные процессы минералообразования совершаются в пределах дневной поверхности Земли за счет солнечной энергии. Эти процессы сводятся к выветриванию и разрушению ранее образовавшихся горных пород и минералов, их переносу и накоплению осадков, а также к образованию новых вторичных минералов.

- ❖ Экзогенные процессы охватывают следующие явления:
- ◆ процессы выветривания, которые в свою очередь подразделяются на процессы физического и химического выветривания;
- ◆ осадочные процессы - механические, химические, биохимические осадки.

Минералообразование при процессах механического (физического) выветривания

Горные породы, выходящие на поверхность земли, постепенно разрушаются, приобретают рыхлый характер, при этом не образуется новых минералов, меняются только форма и размер обломочного материала (рис.47)

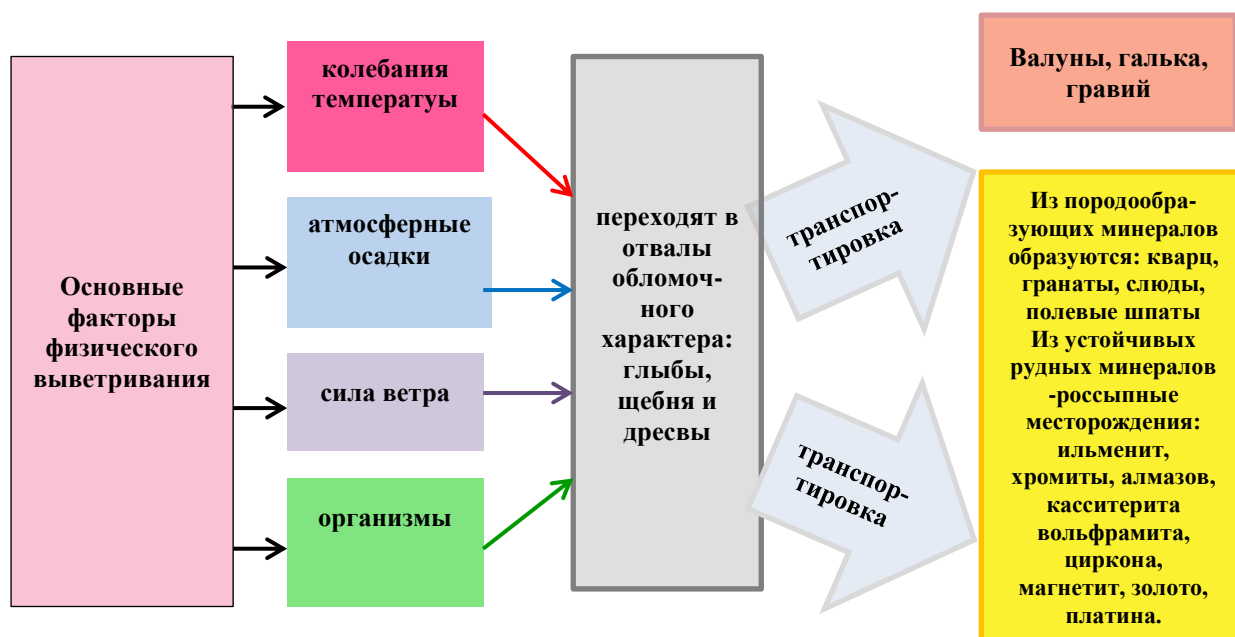


Рис. 47.Схема физического выветривания

Минералообразование при процессах химического выветривания

Наряду с механическим выветриванием идут и процессы химического изменения разрушающихся горных пород.

Химическое выветривание состоит в том, что атмосферные воды, которые содержат в растворенном состоянии кислород, углекислый газ и

другие компоненты, просачиваясь по трещинам горных пород, выщелачивают определенные компоненты из минералов (так как воды обладают сильной окислительной и растворяющей способностью) и изменяют их.

Процессы каолинизации. Как упомянуто выше, каолин и глины являются продуктами выветривания полевых шпатов и других алюмосиликатов.



Процессы латеритизации. Латеритом и бокситами называют

Рис.48.Схема химического выветривания

продукты выветривания разнообразных алюмосиликатных пород в условиях смены сезонов жаркого и дождливого климата. Латерит, как и боксит, состоит главным образом из гидратов окиси алюминия, окрашенных окислами железа в красновато-бурый или даже темно-красный цвет.

Процессы бокситизации. С процессами латеритизации, тесно связано образование бокситов – важнейшей промышленной руды на алюминий. Образуются за счет химического разложения алюмосиликатных магматических пород.

Химическое выветривание приводит к образованию большого количества новых минералов.

❖ **Примеры:**

- ◆ Если выветриванию подвергались ультраосновные породы, то минералы, образующиеся в коре выветривания, представлены нонтронитом, гарниеритом, опалом, халцедоном, кальцитом, гидроокислами никеля и хрома, имеющими практическое значение.

- ◆ При выветривании нефелиновых сиенитов, гранитоидов, порфиритов и сланцев образуются гидраргиллит $Al(OH)_3$, гематит Fe_2O_3 и другие окислы.
- ◆ К остаточным образованиям относятся элювиальные месторождения золота, платины, монацита, касситерита, хромита, ильменита. Эти россыпные месторождения возникли за счет разрушения материнских пород, содержащих вкрапленники редких минералов.



Рис.49. Схема окисления сульфидного месторождения: I-зона окисления; II-зона вторичного сульфидного обогащения (зона цементации); III-зона первичных руд

Минералообразование в разрушающихся рудных жилах

Процессы выветривания в верхней части земной коры, называемой корой выветривания. Своеобразно развивается такая кора на выходах сульфидных залежей (рис.49).

I. Зоны окисленных железных руд («железная шляпа»), такая зона называется зоной окисления, богатая кислородом. Поэтому здесь идут процессы

окисления сульфидов, и называется она собственно зоной окисления. В результате в этой зоне образуются сульфаты: $ZnS + 2O_2 \rightarrow ZnSO_4$. Растворимые сульфаты, выщелачиваются и мигрируют вниз, накапливаются же труднорастворимые соединения, в том числе гидроокислы железа. Отсюда второе название этой зоны – «железная шляпа» («марганцевая» и «гипсовая шляпы»)

II. Зона, в которой формируется зона вторичного сульфидного оруденения (зона цементации), где образуются такие минералы как золото, серебро, медь, халькозин, борнит, ковеллин. Окисленные и вторичные руды возникают в основном при химическом выветривании, при котором активная роль принадлежит атмосферным водам, обогащенным кислородом.

III. В зоне III, в зоне застойных вод сохраняются первичные сульфиды и она называется зоной первичных руд. В тех случаях, когда уровень грунтовых вод опускается, окислению подвергается верхняя часть зоны цементации, вследствие чего, здесь формируется зона вторичного окисного обогащения, содержащая такие специфические для нее минералы, как куприт и самородная медь.

Процессы осадконакопления развиваются в водных средах - в морях, океанах, озерах, реках.

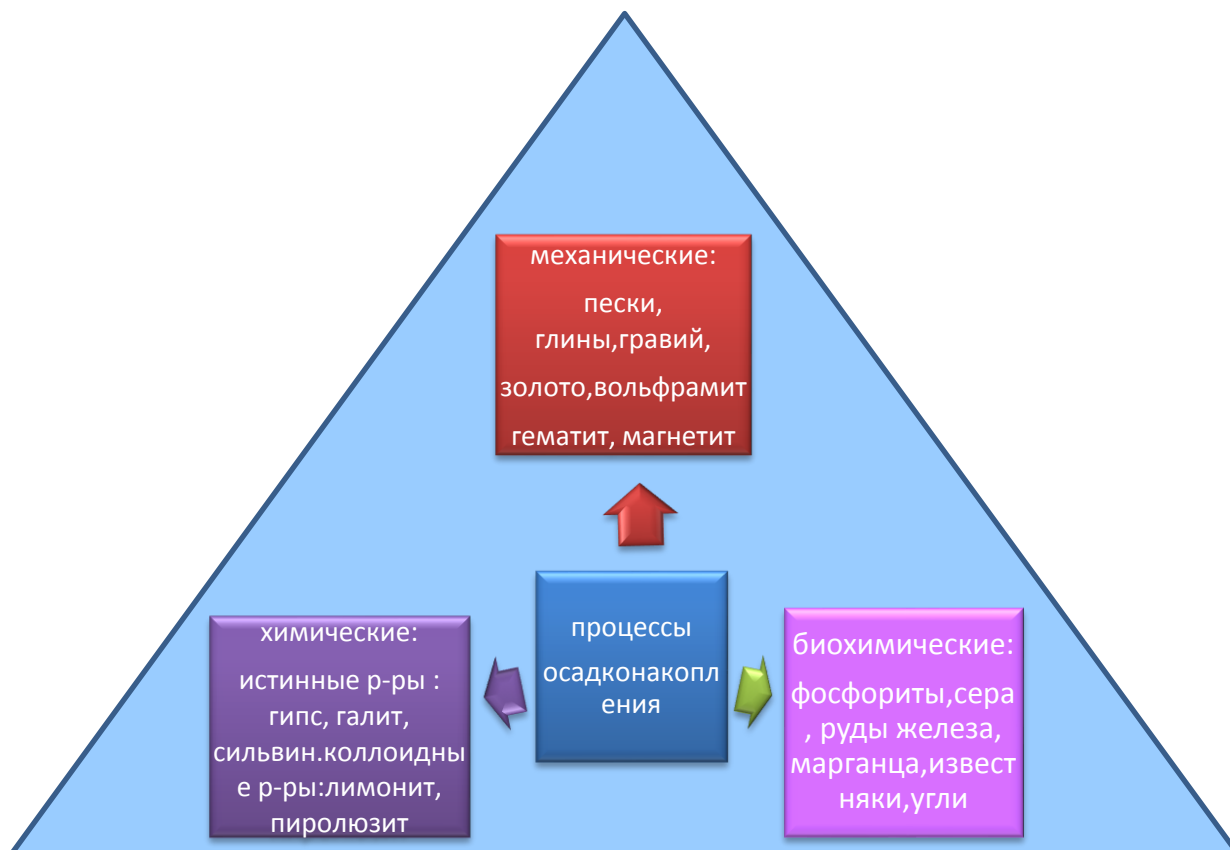


Рис 50. Схема видов процессов осадконакопления

❖ Выделяют следующие группы осадков:

- ◆ *механические,*
- ◆ *химические,*
- ◆ *биохимические осадки.*

Механические осадки представляют собой продукты физического выветривания. Они сложены наиболее устойчивыми минералами (гранаты, магнетит, кварц и др.) Механические осадки, содержащие ценные минералы (Au, Pt, шеелит и др.) называются россыпями.

Химические осадки включают продукты химического выветривания. В зависимости от условий отложения выделяют *осадки коллоидные и осадки кристаллические.* В результате коагуляции коллоидного раствора (золя), в виде натечных форм, формируются Al, Mn, Fe, P и др.

Кристаллические осадки формируются в замкнутых водных бассейнах (озерах, отшнурованных от моря, лагунах и др.), находящихся в условиях сухого жаркого

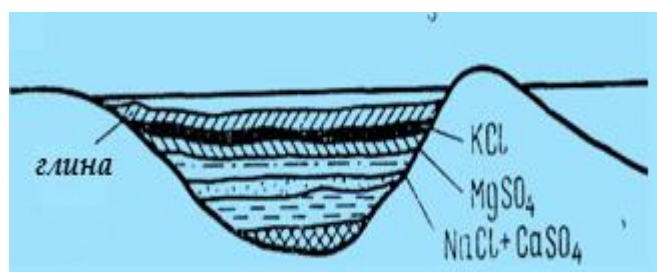


Рис.51. Схема солеобразования по гипотезе барров: конечная стадия отложения солей K, Mg и перекрытие соляной залежи слоем глины.

климата. Вследствие интенсивного испарения, в таких озерах происходит отложение легко растворимых солей (галита, мирабилита и др.).

Биохимические осадки представляют собой продукты жизнедеятельности организмов в виде скелетов отмерших животных, а также органических веществ, накопленных организмами. Например, скопление серы, обильные, жизнедеятельности бактерий и др.

Классификация минералов

Наиболее общепринятой является *кристаллохимическая классификация*, по которой минералы разбивают на классы, отличающиеся друг от друга по типу химического соединения.

- ❖ По химической классификации минералы делятся на следующие классы.
 - ◆ **Самородные элементы.** Сюда относятся металлы и металлоиды, встречающиеся в природе в свободном состоянии (золото, платина, графит, алмаз).
 - ◆ **Сульфиды.** Сернистые соединения металлов и металлоидов (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, киноварь).
 - ◆ **Галоиды** - химические соединения с галогенами (галит, сильвин, карналлит, флюорит).
 - ◆ **Карбонаты** - соли угольной кислоты. Карбонаты делятся на *безводные* (кальцит, доломит, магнезит, сидерит) и на *водные* (малахит, азурит).
 - ◆ **Сульфаты** - соли серной кислоты. Различают безводные (ангидрит) и водные сульфаты (мирабилит, гипс).
 - ◆ **Окислы** - кислородные и водные соединения металлов и металлоидов. Класс окислов делится на два подкласса: *безводные* (кварц, халцедон, магнетит, гематит, пиролюзит, корунд) и *водные* (опал, лимонит) окислы.
 - ◆ **Силикаты** - соли кремневых кислот. Силикаты делятся на *безводные* (ортоклаз, микроклин, альбит, анортит, роговая обманка, авгит, берилл, нефелин, оливин, топаз) и на *водные* (слюды, хлориты, серпентин, тальк, глаукоцит, каолинит).
 - ◆ **Фосфаты** - соли фосфорных кислот. Фосфаты бывают безводные (апатит, фосфорит) и водные (вивианит).
 - ◆ **Нитраты, арсенаты, ванадаты, молибдаты, вольфраматы, хроматы, бораты.**

Типоморфные признаки, генерации и парагенезис минералов.

Парагенезисом называется совокупность одновременно или близко одновременно образовавшихся минералов из одной порции расплава или раствора. Парагенетический анализ дает возможность представить физико-химические условия формирования минералов и в ряде случаев позволяет довольно надежно отличать друг от друга некоторые сходные по физическим свойствам минералы. Например: близкие по внешнему виду галенит и

антимонит легко различаются своим парагенезисом со сфалеритом (галенит) и киноварью (антимонит).

Если один и тот же минерал в пределах одного и того же месторождения неоднократно образовывался из различных порций раствора, то говорят о нескольких *генерациях* разного минерала. Обычно разные генерации отличаются друг от друга морфологией кристаллов или агрегатов этого же минерала, окраской или иными особенностями, что обусловлено физико-химическими отличиями среды минералообразования.

Это можно наблюдать на примере цинковой обманки. Наблюдения показывают, что более высокотемпературные цинковые обманки содержат железо и имеют черный цвет (марматит). Обычная цинковая обманка имеет коричневый цвет, а бесцветные или светло-желтые ее разновидности (безжелезистые), являются низкотемпературными (клеюфан).

Признаки, по которым с известным приближением можно установить состав, температуру образования или происхождение минералов, носят название *типоморфных*.

Под *типоморфностью* минерала понимаются особенности минерала (облик кристаллов, окраска, агрегаты и др.), позволяющие реконструировать условия среды минералообразования. Например: флюорит образует кубические кристаллы, если в гидротермальном растворе концентрации кальция и фтора были близкими, а если концентрация кальция резко превышала содержание фтора, то флюорит образует октаэдрические кристаллы.

Четким типоморфным минералом является и турмалин. Наиболее распространенной разновидностью его является черный железосодержащий турмалин - шерл. Он распространен во многих пегматитовых жилах, в том числе и в мусковитовых пегматитах. Сравнительно редкие разновидности турмалина розовые (рубеллит) или полихромные (разноцветные)

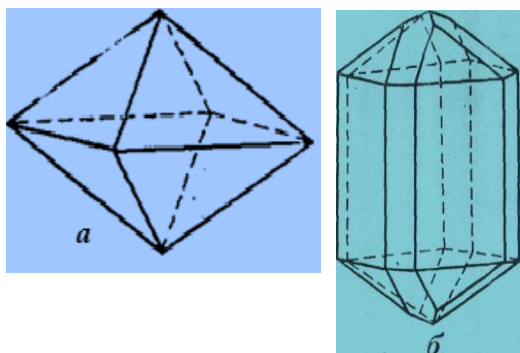


Рис.52. Кристаллы касситерита
а) из пегматитовых и пневматолитовых месторождений,
б) из гидротермальных месторождений.

характеризуют редкометальные пегматиты, содержащие минералы лития, цезия, тантала, ниобия.

Таким образом, находки полихромных указывают на присутствия редких металлов. Типоморфным признаком может быть и облик минералов. **Пример:** кристаллы

касситерита из пегматитовых жил обычно имеют дипирамидальный вид, в то время как касситерит из гидротермальных жил обычно призматический (рис.52).

1.5 Самородные элементы и сернистые соединения (сульфиды).

Самородные элементы

К самородным элементам относятся такие минералы, как золото, платина, серебро, алмаз. К металлам относятся золото, медь самородная, серебро, платина. К металлоидам — сера самородная, алмаз, графит и др. Металлический тип связи определяет все физические свойства этих минералов: сильный металлический блеск, хорошую электропроводность, ковкость и теплопроводность. Особенности химического состава и физические свойства их приведены в таблице 4.

Таблица 4

	Медь	Золото	Серебро	Платина
Формула	Cu	Au	Ag	Pl
Сингония	Кубическая			
Облик кристаллов	кубический			
Агрегаты	Дендриты, пластины	Зерна, вкрапления, дендриты, самородки	Дендриты, пластины, зерна, самородки	Зерна, самородки
Цвет	Медно-красный	Золотисто-желтый	Серебряно-белый с черными налетами	Серебряно-белый
Черта	Металлическая, блестящая, того же цвета, что минерал			
Блеск	Металлический			
Спайность	Несовершенная			
Твердость	2.5- 3	2.5-3	2.5-3	2.5 - 3
Уд.вес	8.5	15.6 – 18.3	10.5	15 - 19
Др.свойства	Ковкость			Магнитность
Генезис	В зоне окисления медно-сульфидных месторождений	Гидротермальный, экзогенный россыпях	В зоне окисления сульфидных месторождений	Магматический в ультраосновных и основных породах
Применение	Электротехника, машиностроение	Валютный металл, ювелирное дело	В сплавах, монеты	Хим. промышленность, ювелирное дело

Подкласс металлов

МЕДЬ САМОРОДНАЯ - Cu

Диагностические признаки - цвет, удельный вес, при трении дает блестящую медно-красную черту.

Парагенезис - в гидротермальных условиях самородная медь образуется реже, парагенезис этом случае она ассоциирует с кальцитом и цеолитами, в зоне окисления – куприт, малахит, азурит, халькозин.

ЗОЛОТО - Au.

Разновидности: электрум – содержание Ag более 15%.

Парагенезис: золото встречается, главным образом, в гидротермальных жилах в ассоциации с кварцем, пиритом, арсенопиритом и другими сульфидами; часть его находится в рассеянном тонкодисперсном состоянии в сульфидах (арсенопирите, пирите, галените, лимонитом, азуритом.

Подкласс металлоидов.

СЕРА САМОРОДНАЯ — S.



Рис.53. Сера-зернистая, налёты, корочки

Диагностические признаки: характерный цвет, небольшая твердость, хрупкость, легкоплавкость, жирный блеск в изломе (рис.53).

Парагенезис: а) вулканическое; при извержении вулканов сера вместе с реальгаром, аурипигментом и другими минералами; б) самородная - биохимическая сера этого типа встречается в известняках, мергелях вместе с гипсом, целестином



Рис.54. Алмаз, октаэдрический габитус кристаллов

АЛМАЗ - С (с греческого слова «адамас» — непобедимый, непреодолимый; по-видимому, из-за высокой твердости и химической стойкости минерала) (Рис.54)

Разновидности - плотный, иногда зернистый буровато-черный алмаз - карбонадо; тонкозернистый и скрытокристаллический алмаз серого или черного цвета - борт. *Парагенезис:* оливин, пироп.

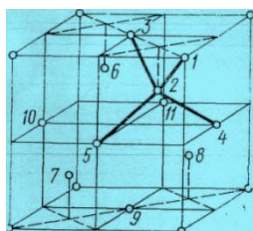


Рис. 55 Структура алмаза: 1-11 – атомы углерода

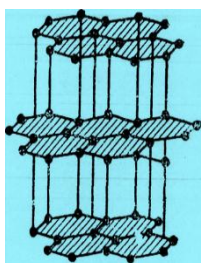


Рис. 56. Структура графита.

ГРАФИТ-С (от греческого слова «графо» — пишу).

Разновидности: шунгит – аморфная разновидность

Диагностические признаки - черный цвет, низкая твердость, пачкает бумагу и руки.

Парагенезис: графит образуется при метаморфизации растительных осадков, ассоциируется с волластонитом, пироксенами, плагиоклазом, кальцитом.

Таблица 5

	Сера	Графит	Алмаз
Формула	S	C	C
Сингония	Ромбическая	Гексагональная	Кубическая
Облик кристаллов	Усеченно-дипирамидальный	Пластинчатый	Октаэдрический
Агрегаты	Зернистые массы Друзы, натечные, корки	Чешуйчатые, вкрапления	Вкрапления
Цвет	Светло-желтого, зеленовато-желтого	Темно-серый до черного	Бесцветный, голубой, Синий и т.д.
Черта	Бледно-желтая	Темно-серая	Нет
Блеск	Алмазный в изломе-жирный	Металлический	Алмазный
Спайность	Несовершенная	с о в е р ш е н н а я	
Твердость	1---2	1	10
Уд.вес	2	2	3.5
Др.свойства	От спички легко плавится, горит голубым пламенем с выделением H ₂ S	Жирный на ощупь, пишет на бумаге	Высокая твердость, октаэдрические кристаллы
Генезис	В зоне окисления сульфидных мес-	Магматический, метаморфический	Магматический, в кимберлитовых трубках

	торождений, биохимические осадки, при вулканических извержениях		взрыва
Применение	В хим.промышлен., пр.спичек, резины	Производство карандашей, атомная промышл.	Абразивный материал, ювелир.дело

Практическая работа 6

Определение самородных элементов

Оборудование: коллекция минералов самородных элементов; шкала твердости Мооса, фарфоровые пластины, стекло, медная монета.

Цель: Изучить и определить самородные элементы, используя коллекцию минералов самородных элементов, шкалу твердости, стекло, бисквит, таблицу и определитель минералов.

Порядок выполнения работы:

- ◆ Разделить минералы по блеску (металлический, неметаллический).
- ◆ Определить по цвету (железо - черный, золотисто-желтый, лимонно-желтый, медно-красный и т.д.).
- ◆ Определить по твердости
- ◆ Особые свойства: запах при горении, жирный на ощупь, пишет на бумаге, плавится от спички, горит синим пламенем, блестящая медно-красная.

Сернистые соединения (сульфиды)

К классу сульфидов относятся *соединения серы с различными металлами.*

Наиболее типичными катионами, образующими соединения с серой, являются: As^{3+} , Cu^{1+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Sb^{3+} , Bi^{3+} , As^{3+} , Mo^{4+} , As^{5+} , Sb^{5+} . Все сульфиды, в зависимости от их состава, типа связей и свойств, могут быть разделены на три подкласса.

1. Простые сульфиды, состав которых определяется формулой R_nS_m , где величины n и m зависят от валентности катиона.

халькозин -	Cu_2S ;
галенит -	PbS
сфалерит -	ZnS
халькопирит -	$CuFeS_2$ или $CuS \cdot FeS$
борнит -	Cu_5FeS_4 или $2Cu_2S \cdot CuS \cdot FeS$
киноварь -	HgS
пирротин -	FeS (поскольку часть железа в пирротине находится в виде Fe^{3+} , то правильная формула его $Fe_{1-x}S$)
пентландит -	$[(Fe, Ni)S]$ (более правильная формула $[(Fe, Ni)_9S_8]$)
реальгар -	AsS
антимонит -	Sb_2S_3
аурипигмент -	As_2S_3
молибденит -	MoS_2

2. Дисульфиды. Наряду с простыми сульфидами - солями сероводородистой кислоты H_2S , в природе встречаются соединения, у которых два иона серы тесно соединены друг с другом ковалентными связями в один общий анион S_2^{2-} . Такие соединения получили название дисульфидов.

❖ К этому подклассу относятся минералы:

Кубической сингонии. Ромбической сингонии

Пирит FeS_2

Марказит FeS_2

Кобальтин $CoAsS$

Арсенопирит, $FeAsS$

Условия образования сульфидов разнообразны. В природе они возникают следующим путем:

- ◆ а) в магматическом процессе при ликвации основной силикатной магмы. Таким путем образуются медно-никелевые сульфидные руды, состоящие из пирротина, пентландита и халькопирита;
- ◆ б) наиболее часто встречаются сульфиды гидротермального происхождения;
- ◆ в) сульфиды могут образовываться и осадочным путем вследствие (развития на дне моря сероводородного режима, возникающего при массовой гибели организмов и их гниении);
- ◆ г) сульфиды возникают также при вулканогенно-осадочных процессах, когда происходят подводные извержения вулканов и значительные количества сероводорода поступают из вулканов в морскую воду;
- ◆ д) в нижней части зоны окисления сульфидных месторождений в результате взаимодействия халькопирита с сульфатом меди, образующимися при окислении халькопирита, возникают специфические сульфиды зоны вторичного сульфидного обогащения - борнит и халькозин.

Подкласс простых сульфидов.

ХАЛЬКОЗИН — Cu_2S (от греческого слова «халькос» — медь).

Парагенезис: борнит, самородная медь.



Рис. 57. Галенит, зерна совершенной спайности

Диагностические признаки — темный, свинцово-серый цвет, низкая твердость.

В окислительной обстановке легко изменяется, переходя в куприт и малахит.

ГАЛЕНИТ— PbS (от латинского слова «галена» — свинцовая руда), синоним — свинцовый блеск, (мелкозернистые агрегаты галенита получили название «свинчак») (рис.57).

Диагностические признаки — большой удельный вес, цвет, сильный металлический блеск, совершенная спайность.

Парагенезис: преимущественно гидротермальное. Типичными спутниками являются сфалерит, халькопирит, пирит, блеклые руды; из

нерудных минералов — кварц, кальцит, барит. В зоне окисления легко изменяется, переходя в англезит и церуссит.

СФАЛЕРИТ - ZnS (название происходит от греческого слова «сфалерос» - обманчивый, из-за необычных для сульфида внешних признаков минерала), синоним - цинковая обманка. Светло окрашенная разновидность, не содержащая примесей железа, называется клейофаном. Темно-коричневые, почти черные сфалериты, обогащенные железом, называются марматитом (Рис.58).



Рис.58. Сфалерит.

Встречается в виде кристаллов представленных обычно тетраэдрами или друзами (рис. 59), иногда в виде сплошных масс и зернистых агрегатов. На гранях тетраэдров характерна треугольная штриховка.

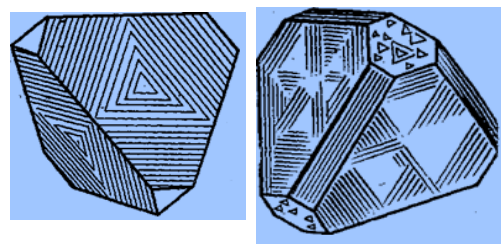


Рис. 59. Кристаллы сфалерита тетраэдрического габитуса

Диагностические признаки — светлая черта алмазный блеск, совершенная спайность по шести направлениям.

Парагенезис: чаще всего образуется в гидротермальных условиях совместно с галенитом, халькопиритом, пирротином; встречается также в скарнах; весьма редко бывает осадочным. В зоне окисления замещается англезитом, церусситом, легко изменяется, переходя в смитсонит и каламин.

КИНОВАРЬ - HgS

Диагностические признаки — характерный ярко-красный цвет, красная черта, большой удельный вес.

Парагенезис: типичный гидротермальный минерал, выделяющийся при низких температурах и давлениях — в близповерхностных условиях; часто киноварь выпадает непосредственно из горячих вод, выходящих на поверхность земли. Обычными спутниками являются антимонит, реальгар, халцедон, кальцит, флюорит, барит.

ПИРРОТИН – $Fe_{1-x}S$ (от греческого слова «*пиррос*» - красноватый), синоним - магнитный колчедан.

Диагностические признаки — характерный цвет, магнитность.

Парагенезис: а) типичный минерал магматических, медно-никелевых месторождений, связанных с основными породами. Встречается вместе с пентландитом, халькопиритом, магнетитом; б) образуется в контактово-метасоматических скарновых месторождениях в ассоциации со сфалеритом, арсенопиритом, шеелитом, реже касситеритом, магнетитом, кальцитом;

в) характерен для гидротермальных месторождений, где встречается совместно со сфалеритом, галенитом, халькопиритом, касситеритом, арсенопиритом, пиритом, карбонатами, кварцем.

ПЕНТЛАНДИТ - $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$

Диагностические признаки - на глаз определяется с большим трудом по ярко-желтому цвету и совершенной спайности; от сходного пирротина отличается по отсутствию магнитности и наличию совершенной спайности.

Парагенезис — встречается исключительно в сростании с пирротинном в месторождениях, связанных с основными породами. В ассоциации с ними обычно находится халькопирит.



АНТИМОНИТ - Sb_2S_3 (от латинского слова «антимониум» - сурьма) (рис. 60).

Диагностические признаки — характерная форма кристаллов - игольчатые и лучистые агрегаты. От похожего на него висмутит отличается более темным цветом и поперечной штриховкой. Часто встречается совместно с киноварью, что может также служить диагностическим признаком.

Парагенезис: гидротермальное - низкотемпературное; типичные спутники: киноварь, флюорит, кальцит, барит, халцедон, реальгар и аурипигмент.

Рис. 60 Антимонит

АУРИПИГМЕНТ - As_2S_3 (от латинских слов «аурум» - золото, «пигментум» - краска).

Диагностические признаки - определяются по ярко-желтому цвету и по характерному спутнику - реальгару.

Парагенезис - типичный минерал низкотемпературных гидротермальных месторождений, встречается совместно с реальгаром, марказитом, кварцем, кальцитом. Иногда отложение происходит прямо из горячих водных источников.

РЕАЛЬГАР - As_4S_4

Диагностические признаки — ярко-красный цвет, в отличие от киновари имеет оранжевую черту.

Парагенезис — типичный минерал низкотемпературных гидротермальных месторождений; реальгар на воздухе легко окисляется и переходит в аурипигмент, поэтому оба минерала встречаются всегда совместно.

МОЛИБДЕНИТ — MoS_2 (название минерала связано со свинцово-серым цветом, по-гречески «молибдос» — свинец, синоним — молибденовый блеск).

Диагностические признаки — низкая твердость, металлический блеск, жирен на ощупь. От сходного с ним графита отличается голубоватым оттенком (черта на бумаге тоже имеет голубоватый оттенок), а также более сильным металлическим блеском и большим удельным весом.

Парагенезис: характерный минерал пневматолито-гидротермальных и гидротермальных месторождений — встречается в грейзенах совместно с вольфрамитом, бериллом, топазом и висмутином, в высокотемпературных кварцевых жилах в ассоциации с флюоритом, пиритом и другими

сульфидами, а также в скарнах и среднетемпературных гидротермальных месторождениях медно-молибденовой формации, для которой весьма характерна ассоциация молибдена с халькопиритом, серицитом и кварцем.

Простые сульфиды

Таблица 6

Название минерала, химическая формула	Сингония, форма кристалла	Форма нахождения, агрегаты	Цвет минер., цвет черты	Спай- ность,	Удельн ый вес. Тверд- ость	Блеск	Происхождение генезис	Практичес- кие применения
халькозин Cu_2S	ромбическая, коротко- призматичес- кая	сплошные зернистые массы	свинцово- серый, темно-серая	несовер- шенная	5.5 2-2.5	металличес- кий	гидротрмаль- ный, зона окисления	руда на медь
галенит PbS	кубическая куб, октаэдр	друзы, зернистые массы	свинцово- серый, темно-серая	соверше- нная	7.5 2.5-3	металличес- кий.	гидротрмаль- ный	руда на свинец
антимонит Sb_2S_3	ромбическ., длинно- призматич.с продольной штриховкой на гранях	друзы, призматическиз ернистые радиально- лучистые	свинцово- серый, темно-серая	соверше- нная	4.6 2-2.5	металличес- кий.	гидротрмаль- ный	руда на сурьму
молибденит MoS_2	гексагональ- ная, пластинчатый	чешуйчатые розетковидные	свинцово- серый, темно-серая	соверше- нная	5,0 1	металличес- кий	гидротермаль- ный	руда на молибднит
сфалерит ZnS	кубическая, куб, тетраэдр, ромбодо- декаэдр	друзы, зернистые, натечные	бурый, черный, зеленый, красный, от светло- до темно-бурой	соверше- нная	4,0 3,5-4	алмазный	гидротермаль- ный	руда цинка,

киноварь HgS	тригональная, ромбоэдр	зернистые плотные, вкрапления	киноварно- красный, иногда серый, красная	сред- няя	8,0 2,0-2,5	алмазный	гидротермаль- ный	руда на ртуть
реальгар As ₄ S ₄	моноклиная, короткопризма- тические, таблитчатые	зернистые, налеты, друзы	оранжево- красный, оранжево- желтая	сред- няя	3,5 1,5-2	алмазный	гидротермаль- ный	руда на мышьяк
Аурипигмент As ₂ S ₃	моноклиная, короткопризма- тические, таблитчатые	чешуйчатые, землистые, радиально- игольчатые	лимонно- желтый светло- желтая	соверше- нная	3,5 1,5-2	алмазный	гидротермаль- ный	руда на мышьяк
Ковеллин CuS	гексагональ- ная, кристаллы редки	сажистые, плотные	индигово- синий, темно-серая	соверше- нная	4,6 1,5-2	полуметалл- ический	гидротермаль- ный	иногда как медная руда
Борнит Cu ₅ FeS ₄	Кубическая, кристаллы очень редки	сплошные массы, вкрапленники зерен	Медно- красный, Серовато- черная	несовер- шенная	5 3-3,5	металли- ческий	гидротермаль- ный экзогенный (зона вторичного сульфидного обогащения)	Руда на медь
Пирротин FeS(Ni)	Гексагональна- я, кристаллы редки	Сплошные массы, вкрапленники зерен	Бронзово- желтый, серовато- чёрная	несовер- шенная	4,6 3,5-4,5	металли- ческий	магматический, гидротермаль- ный	Производ- ство серной кислоты
Пентландит (Fe,Ni) ₉ S ₈	Кубическая, кристаллы редки	Вкраплен-ники зерен	Бронзово- желтый Зеленовато- бурая	соверше- нная	5 3,5-4	металли- ческий	магматический,	Руда на никель

Дисульфиды

Таблица 7

Название минерала, химическая формула	Сингония, форма кристалла	Форма нахождения, агрегаты	Цвет минер., цвет черты	Спай- ность	Удель- ный вес. Твер- дость	Блеск	Происхождение генезис	Практичес- кие применения
Пирит $FeS_2(Co,Cu,Au)$	кубическая куб, октаэдр, пентагондодек аэдр	друзы, вкрап- ленники крис- таллов, зерен, сплошные массы, конкреции, секреции	латунно- желтый буровато- или зеленовато- чёрная	несовер- шенная	5,5 3,5-4,5	металличес- кий	при всех геологических процессах	производ- ство серной кислоты
Марказит FeS_2	ромбическая, пластин- чатый, таблитчатый	друзы, вкрапленники кристаллов, конкреции	латунно- желтый серовато- черная	несовер- шенная	4,6 3,5-4,5	металличес- кий	осадочный, гидротермаль- ный	производ- ство серной кислоты
Халькопирит $CuFeS_2$	тетрагональна я, кристаллы редки	сплошные массы, вкрапленники зерен	латунно- желтый с зеленым оттенком, зеленовато- черная	несовер- шенная	4,2 3-4	металличес- кий	магматический	руда никеля
Арсенопирит $FeAsS(Co,NiO)$	моноклинная удлиненно- призматически й	друзы, призматическисе рнитые, радиально- лучистые	оловянно- белый до стально- серого темно-серая (серовато- черная)	сред- няя	6 5,5-6	металличес- кий	гидротермаль- ный	руда на мышьяк

КОВЕЛЛИН (медное индиго) $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$.

Диагностические признаки: острым краем стекла провести по поверхности минерала, в случае ковеллина в глубине царапины остаётся темно-синяя окраска минерала.

Парагенезис: экзогенное – образуется в зоне вторичного сульфидного обогащения. Встречается совместно с борнитом Cu_5FeS_4 , халькозином Cu_2S , халькопиритом CuFeS_2 , лимонитом $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Самостоятельных месторождений не образует.

Двойные сульфиды

ХАЛЬКОПИРИТ - CuFeS_2 (от греческих слов «халькос» - медь и «пирит» - огонь), синоним - медный колчедан.

Диагностические признаки - латуно-желтый цвет, небольшая твердость (в отличие от пирита), наличие побежалости.

Парагенезис: а) магматическое - образуется совместно с пирротинитом и пентландитом при ликвации основных магм; б) гидротермальное - совместно с пиритом, пирротинитом, сфалеритом, галенитом и блеклыми рудами. Кроме того, халькопирит является составной частью колчеданных залежей, в) осадочное - халькопирит встречается в виде цемента в песчаниках («медистые песчаники»).

В зоне вторичного обогащения халькопирит изменяется, переходя в борнит, халькозин, ковеллин, а в верхней части зоны окисления по нему развивается куприт, малахит, азурит, лимонит, хризоколла и другие вторичные минералы.

БОРНИТ- Cu_5FeS_4 (назван по имени И. Борна - австрийского минералога), пестрая медная руда (Cu 63,3%). Цвет в свежем изломе медно-красный до лилового; обычно минерал покрыт радужной ярко-синей побежалостью; черта серовато-черная.

Диагностические признаки - ярко-синяя побежалость, на свежем изломе характерный медно-красный цвет.

Парагенезис: а) гидротермальное - борнит встречается вместе с халькопиритом, иногда сфалеритом и галенитом; б) в зоне вторичного сульфидного обогащения борнит постоянно образуется по халькопириту и тесно ассоциируется с халькозином. В зоне окисления борнит легко изменяется, переходя в ковеллин, а затем в куприт, лимонит и малахит.

Дисульфиды и их аналоги

ПИРИТ- FeS_2 (от греческого слова «пирос» - огонь), синоним - серный колчедан.

Встречается пирит в виде хорошо образованных кристаллов в форме куба, пентагондодекаэдра и др., реже в виде вкраплений и сплошных масс.



Рис. 61. Ковеллин, борнит, халькопирит



Рис. 62. Кристаллы пирита - кубы с четкой взаимоперпендикулярной штриховкой

Диагностические признаки: соломенно-желтый цвет, большая твердость, харак терные кристаллы в форме куба, штриховка на гранях.

Парагенезис - пирит является чрезвычайно распространенным минералом и образуется почти при всех процессах минералообразования:

- ◆ а) в виде вкраплений, возникающими при магматической кристаллизации;
- ◆ б) встречается в скарнах - контактово-метасоматических образованиях, где пирит ассоциирует с другими сульфидами, магнетитом, пироксенами, гранатами;
- ◆ в) в гидротермальных жилах и встречается как спутник многих рудных минералов. (См. таблицу 7).

Практическая работа 7.

Определение сернистых соединений (сульфидов и дисульфидов)

Изучить и определить сульфиды, используя набор минералов, шкалу твердости, стекло, компас, таблицу и определитель минералов.

Оборудование: коллекция минералов класса сульфидов, шкала твердости Мооса, белая фарфоровая пластина, медная монета, стекло, соляная кислота.

Порядок выполнения работы:

- ◆ а) подразделить минералы на две группы: 1. с металлическим блеском (галенит, пирит, пентландит, пирротин и т. д.) - минералы, имеющие темный цвет черты.
- ◆ б) без металлического блеска - (минералы, имеющие светлую или белую черту-аурипигмент, реальгар, киноварь и т.д.)
- ◆ в) определить цвет
- ◆ г) определить твердость

1.6. Галогениды и оксиды (окислы)

Минералы этого класса представлены солями кислот HF, HCl, HJ и HBr. В природе большим распространением пользуются HCl и HF, в связи с чем наиболее распространены простые — NaCl (галит), KCl (сильвин) и сложные $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ (карналлит) хлориды, а также фториды CaF (флюорит). Большинство из этих соединений кристаллизуется в кубической сингонии.

Физические свойства: прозрачность, стеклянный блеск, небольшой удельный вес, низкую твердость, легкую растворимость в воде, низкие показатели преломления.

Хлориды образуются преимущественно в экзогенных условиях, крупные скопления их имеют осадочное происхождение (соляные залежи).

Фториды (флюорит) имеют в основном эндогенное происхождение, образуя значительные концентрации гидротермального типа.

Ниже рассмотрены только наиболее распространенные минералы.

Хлориды.

ГАЛИТ- NaCl (от греческого слова «галос» — соль), синоним каменная соль (рис.63).

Сингония кубическая. Очень часто встречается в форме хорошо образованных кристаллов — кубов, образует друзы, сплошные массы, корки.

Физические свойства - большей частью бесцветный, белый, но благодаря различным механическим примесям (железа, битумов) может быть красным, серым, синим (синий цвет характерен в тех случаях, когда галит встречается вместе с сильвином- KCl). Блеск стеклянный; легко растворим; спайность совершенная по кубу; твердость 2; удельный вес – 2,1-2,2.

Диагностические признаки – соленый вкус, низкая твердость, спайность по клубу.

Происхождение преимущественно осадочное. В небольшом количестве галит образуется из возгонов вулканов и отлагается на стенках кратеров вулканов.



Рис.63. Зернистые массы галита (белый) и сильвина (розовый)

СИЛЬВИН - KCl (назван в честь голландского врача и химика Сильвия де Баги) (рис.63).

Сингония кубическая. Структура аналогична структуре галита. Кристаллы в виде кубов редки; обычно сильвин встречается в сплошных зернистых массах в парагенезисе с галитом, образуя породу, называемую сильвинит.

Физические свойства - чистые разности бесцветны, но чаще всего сильвин бывает молочно-белым (из-за многочисленных включений пузырьков газа) или красным, оранжевым, розовым (вследствие механической примеси окислов железа); блеск стеклянный; спайность весьма совершенная; вкус горько-соленый; твердость 1,5—2; удельный вес 1,9—2,0.

Диагностические признаки - горько-соленый вкус, легкая растворимость, парагенезис с галитом, окрашенным в синий цвет.

Происхождение — встречается вместе с галитом в усыхающих соленых озерах, где выпадает одним из последних. Возникает при разложении карналлита ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Практическое значение-сырье для получения калийных удобрений.

КАРНАЛЛИТ- $\text{MgCl} \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (назван в честь немецкого инженера Карналля).

Физические свойства – цвет от розового до красного, иногда розовато-желтого, реже наблюдаются бесцветные разности; блеск стеклянный, на воздухе жирный; спайности нет; вкус горько-соленый; сильно гигроскопичен — на воздухе легко расплывается; твердость 2-3; удельный вес 1,6.

Диагностические признаки — большая гигроскопичность (на воздухе, быстро сыреет); при нагревании на стекле растворяется в собственной

кристаллизационной воде. При сверлении ножом издает характерный треск, вследствие вскрытия и разрыва включений.

Происхождение: образуется совместно с галитом и сильвином при осаждении из вод и рассолов в замкнутых водных бассейнах. Карналлит осаждается в последней стадии высыхания бассейнов.

Фториды



Рис.64. Флюорит

ФЛЮОРИТ- CaF_2 (от латинского слова «флюо» - теку, из-за способности минерала легко плавиться при нагревании), синоним - плавиновый шпат.

Встречается в виде кристаллов кубической, октаэдрической и додекаэдрической форм, образует сплошные зернистые массы, натечные и радиально-лучистые агрегаты.

Диагностические признаки: характерные кристаллы; спайность по октаэдру. От кварца и топаза, с которыми иногда схожен, отличается меньшей твердостью и наличием спайности по октаэдру, отсутствием штриховки.

Происхождение: главным образом гидротермальное. Флюорит встречается в жилах с сульфидами, вольфрамитом, кальцитом, часто образуется в грейзенах совместно с вольфрамитом, топазом, молибденитом.

Практическая работа 8.

Определение галоидных соединений

Изучить и определить галит, сильвин, карналлит, флюорит, используя набор минералов, шкалу твердости, бисквит, стекло, определитель минералов.

Оборудование: коллекция галоидных соединений, шкала твердости Мооса, белая фарфоровая пластина, медная монета, стекло, соляная кислота, вода.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1) Разделить минералы по твердости на две подгруппы: с твердостью меньше 2-царапаются ногтем, медной монетой (галит, сильвин, карналлит);
- ◆ 2) с твердостью больше 2- флюорит, имеет твердость-4, не царапает стекло, царапина от гвоздя;
- ◆ 3) определить цвет;
- ◆ 4) особые свойства: определить по вкусу - галит соленый; сильвин-горько-соленый; хорошая растворимость в воде.

Контрольные вопросы:

1. . Сопоставить и проанализировать отличительные признаки между фторидами и хлоридами.
2. Установить типоморфные признаки флюорита.
3. Определить условия образования флюорита по типоморфным признакам.

5. Составить схему дифференциации хлоридов.
6. Определить отличительные признаки между галитом и сильвинитом.
7. Определить отличительные признаки между карналлитом и бишофитом.
8. Установить основной диагностический признак карналлита.

Оксиды (окислы).

Оксиды представляют собой соединения металлов с кислородом и гидроксильной группой (ОН)¹⁻.

Разнообразие минералов определяется присутствием в них различных катионов: Mg, Fe, Ni, Zn, Cu, Si, Al, Cr, Ti, Sn, U.

Класс окислов разделяется на три подкласса: 1) *простые окислы*; 2) *сложные окислы*; 3) *гидроокислы*. Кристаллизуются в различных сингониях, встречаются в виде хорошо образованных кристаллов, сплошных, зернистых массах, рыхлых, землистых агрегатах, коллоидных образованиях.

Соединения характеризуются высокой твердостью (5-7). Для многих минералов, содержащих железо, типичен темный, почти черный цвет, полуметаллический блеск (хромит, магнетит, ильменит).

Образование окислов происходит при различных процессах, в том числе и эндогенном минералообразовании -магматическом, пегматитовом, гидротермальном.

Оксиды являются также типичными образованиями зоны окисления рудных месторождений (куприт, гематит); часто они возникают в водных бассейнах (морях, озерах, болотах), например гидроокислы марганца, железа, кремния.

Простые окислы.

КУПРИТ - Cu₂O (красная медная руда) (от латинского слова «*купрум*» — медь).

Сингония кубическая.

Разновидность в виде землистых масс кирпичная медная руда.

Диагностические признаки - характерный цвет; парагенезис с малахитом, азурином, самородной медью.

Парагенезис - образуется преимущественно в зоне окисления медно-сульфидных руд. Встречается вместе с самородной медью, малахитом, азурином и хризоколлой.

ГЕМАТИТ-Fe₂O₃ (от греческого слова «*гематикос*» - кровавый), синонимы-железный блеск, красный железняк.

Разновидности: а) железный блеск-тонкокристаллические, иногда чешуйчатые агрегаты черного цвета; б) красный железняк - плотные агрегаты красного цвета; в) красная стеклянная голова — крупные почковидные

образования (Рис.65).

Диагностические признаки: вишнево-красная черта, сравнительно высокая



Рис.65. Разновидность гематита - стеклянная голова

твердость, отсутствие магнитности.

Парагенезис - образуется в условиях окислительной среды. Встречается на стенках кратеров вулканов; в гидротермальных месторождениях вместе с кварцем, баритом, в результате метаморфизма; при окислении (марматизации) магнетита в верхних зонах магнетитовых месторождений.

КАССИТЕРИТ - SnO_2 (от греческого слова «*касситерос*» — олово), синоним — оловянный камень.

Диагностические признаки-определяется по высокой твердости, большому удельному весу, форме кристаллов.

Парагенезис: а) пегматитовое - встречается вместе с мусковитом, кварцем, полевыми шпатами, танталитом, колумбитом, турмалином. Касситерит в пегматитах образует бипирамидальной формы кристаллы темно-бурого, почти черного цвета; б) пневматолито-гидротермальное - в оловоносных грейзенах; в) гидротермальное-в жилах касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формации, в которых касситерит встречается в ассоциации с кварцем, турмалином, хлоритом, а также с халькопиритом, пирротинном, сфалеритом, галенитом.

ПИРОЛЮЗИТ - MnO_2 (от греческих слов «*пир*»- огонь и «*люсис*»- уничтожение, мытье, в связи с применением в стекольном производстве для уничтожения зеленого оттенка у стекла).

Диагностические признаки: черный цвет минерала и черты. От других марганцевых минералов (псиломелана, манганита) отличается незначительно-более совершенной спайностью, большей хрупкостью и отсутствием в его составе воды.

Парагенезис - экзогенные месторождения образуются осадочным путем, а также при развитии процессов выветривания в зонах окисления осадочных месторождений (марганцевых шляпах) пиролюзит находится совместно с другими марганцевыми минералами (манганитом, псиломеланом, гаусманитом и др.). В зоне окисления пиролюзит (наиболее устойчивый в этих условиях) замещает большинство марганцевых минералов.



Рис.66. Кварц. Друза.

КВАРЦ- SiO_2 (происхождение названия неизвестно).

Разновидности:- бесцветный, белый, серый, реже розовый, фиолетовый (аметист), прозрачный (горный хрусталь), иногда дымчатый (раух-топаз) до черного (морион).

Диагностические признаки: стеклянный блеск, высокая твердость, раковистый излом, поперечная штриховка на призматических

гранях.

Разновидности: халцедон - скрытокристаллическая разновидность, встречается в виде натечных форм, жеод. Полосчатые халцедоны называются агатами.

Опал - аморфная, содержащая воду разновидность $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Встречается в виде натёков и сплошных масс. Отличается от кварца и халцедона пониженной твердостью (до 5 по шкале Мооса). Блеск матовый, восковой. Обычно бесцветный, но за счет примесей может иметь различную окраску – черную (примеси битумов), зеленую (примеси меди), желтую, бурую (примеси железа); прозрачные разновидности опала называются благородным опалом.

Яшма - плотное образование скрытокристаллического халцедона метаморфического происхождения. Яшмы имеют различную пеструю или полосчатую окраску.

Парагенезис – кварц и его разновидности распространены исключительно широко и возникают при самых различных процессах минералообразования:

- ◆ а) магматических – кварц образуется в кислых интрузивных породах – гранитах, кварцевых порфирах и др., где он встречается вместе с полевыми шпатами и слюдами;
- ◆ б) пегматитовых – кварц образуется с редкометальными, редкоземельными;
- ◆ в) гидротермальных – кварц встречается с большинством сульфидов, золотом.

Простые окислы

Таблица 8

	Куприт	Гематит
Химический состав и элементы-примеси	Cu_2O	Fe_2O_3
Сингония	кубическая	тригональная
Облик кристаллов	октаэдры и ромбодекаэдры или их комбинации	кристаллы очень редки, таблитчатые, пластинчатые
Агрегаты	друзы, параллельно-волокнистые, землистые, плотные	зернистые, чешуйчатые, натечные.
Цвет	темно-красный, буровато-красный	стально-серый, черный, темно-вишневый
Черта	буровато-красная, при растирании бисквитами желтеет	темно-вишневая
Блеск	алмазный, у землистых разновидностей - матовый	металлический, в плотных агрегатах матовый
Спайность	н е с о в е р ш е н н а я	
Твердость	3,5 – 4 (в агрегатах снижается до 2)	5.5 - 6
Удельный вес	6,0	
Другие свойства	х р у п к о с т ь	
Генезис	э к з о г е н н ы й, эндогенный, метаморфический	
Применение	медная руда	руда на железо

Таблица 9

	Пиrolюзит	Касситерит
Химический состав	MnO_2	SnO_2
Сингония	тетрагональная	
Облик кристаллов	кристаллы редки, призматический, игольчатый	призматический, пирамидально-призматический. частоколенчатые двойники
агрегаты	скрытокристаллические, радиально-лучистые, конкреции, сажистые, землистые	зернистые, натечные
Цвет	черный	красно-бурый, черный
Черта	черная, сажистая	светлая, буроватая
Блеск	полуметаллический, матовый	алмазный,
Спайность	совершенная по граням призмы	несовершенная
Твердость	5-6 до 1	6-7
Уд. Вес	5,0	7,0
Другие свойства		характерна реакция на «оловянное зеркало»
Генезис	экзогенный (осадочный, в зоне окисления, биохимический)	эндогенный
		гидротермальный, встречается в гранитных пегматитах. экзогенный (в зоне окисления оловосодержащих сульфидов)
Н а к а п л и в а ю т с я в р о с с ы п я х		
Применение	Руда на марганец	Руда на олово



Рис. 67. Хромит, нодули (вкрапления)

Сложные окислы

Минералы образуют октаэдрические кристаллы обычно черной с несовершенной спайностью, высокой твердостью (5,5-8,5).

Таблица 10

	Ильменит	Магнетит	Хромит
Химический состав	$FeTiO_3$	Fe_3O_4	$FeCr_2O_4$
Сингония	тригональная	кубическая	
Облик кристаллов	таблитчатая, пластинчатая	ромбододекаэдрический, октаэдрический	кристаллы редки
Агрегаты	вкрапленники кристаллов, зернистые	вкрапленники кристаллов или зерен, друзы, сплошные зернистые массы, оолитовые	вкрапленники округлых зерен, сплошные зернистые массы
Цвет	железо- черный	черный	черный
Черта	черная	черная	бурая или

			буровато-желтая
Блеск	металлический	полуметаллический в агрегатах - жирный	
Спайность	н е с о в е р ш е н н а я		
Твердость	5 - 6	5-6	5,5-7,5
Уд. вес	4.7	4.9-5,2	4,0-4,8
Другие свойства		на гранях кристаллов штриховка по граням ромбододекаэдра она проходит параллельно длиной диагонали ромба, по граням октаэдра пересекается в трех направлениях параллельно ребрам; сильно магнитен	иногда слабо магнитен
Генезис	магматический, пегматитовый,	э н д о г е н н ы й	
		разнообразный эндогенный (магматический, пегматитовый, гидротермальный, контактово-метасоматический, регионально-метаморфический), экзогенный	только магматический (в ультраосновных породах)
Применение	руда на титан	руда железа	руда на хром

Группа гидроокислов железа

Минералы образуют натечные агрегаты, оолиты, рыхлые, землистые, шлаковидные, псевдоморфозы по пириту; окраска желто-бурая, темно-бурая, черта ржаво-бурая.

Таблица 11

	Гетит	Лимонит
1	2	3
Химический состав и элементы примеси	HFeO_2	$\text{HFeO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$
Сингония	ромбическая	аморфный
Облик кристаллов	таблитчатый, игольчатый	
Агрегаты	натечный с радиально-лучистым или параллельно-волокнистым строением, конкреции, секреции, оолиты.	землистые, порошковатые; пористые шлаковидные, псевдоморфозы по пириту
Цвет	желто-бурая, темно-бурая	
Черта	ржаво-бурая	
Блеск	полуметаллический, алмазный (на гранях кристаллов), матовый (в агрегатах)	матовый
Спайность	совершенная по пинакоиду	

Твердость	4,5-5,5	1-5
Уд. вес	4-4,5	3-4
Генезис	экзогенный в зонах окисления сульфидных месторождений	
	гидротермальный	осадочный (болотные руды)
Применение	важные железные руды	

Группа гидроокислов марганца

Минералы образуют плотные агрегаты, землистые, рыхлые, натечные, оолиты, дендриты; окраска темно-бурая, черта черная (псиломелан) или бурая (манганит); твердость 3-6, в рыхлых агрегатах падает до 1; разлагают соляную кислоту с выделением хлора.

Таблица 12

	Манганит	Псиломелан
Химический состав и элементы примеси	$MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$	$m MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$
Сингония	моноклинная	ромбическая
Облик кристаллов	призматический	
Агрегаты	плотные массы, натечные, оолиты, землистые, рыхлые	
	редко друзы	дендриты
Цвет	темно-бурый, черный	черный с сероватым оттенком
Черта	бурая	черная, иногда с сероватым оттенком
Блеск	матовый	
	полуметаллический (в кристаллах)	
Спайность	совершенная по пинакоиду	
Твердость	3-4	5-6
	(в рыхлых агрегатах падает до 1)	
Уд. вес	4,0	4,8
Другие свойства	разлагают соляную кислоту с выделением хлора	
Генезис	экзогенный	
Применение	магматитовые руды	

Сложные оксиды.

МАГНЕТИТ – $FeFe_2O_4$ (предполагается, что название происходит от имени пастуха Магнеса, который впервые обнаружил камень, притягивающий к себе железный наконечник его палки).

Диагностические признаки: сильно выраженная магнитность.

Парагенезис: а) магматическое - в основных породах; б) метасоматическое - в карбонатитах, где образует иногда крупные скопления; в) контактово-метасоматическое - в скарнах, к которым приурочены крупные месторождения магнетита. Магнетит в этих образованиях ассоциируется с кальцитом, гранатами, пироксенами, сульфидами, эпидотом, хлоритом.

Подкласс гидроокислов.

Гидроокислы железа: ГЁТИТ- $HFeO_2$ и ЛИМОНИТ- $mFe_2O_3 \cdot nH_2O$. Скопления гидроокислов железа в природе представляют обычно смеси

гётита, лимонита и других окислов железа, отличающихся друг от друга количеством воды. Называются они бурыми железняками (рис.68). Гётит назван в честь поэта Гёте, лимонит-от греческого слова «*лемон*» - луг (ранее так назывались луговые и болотные руды гидроокислов железа).

Бурые железняки по форме нахождения можно разделить на следующие разновидности:
а) натечные образования в виде стеклянных



Рис.68 Лимонит, землистые массы

голов; б) почковидные натечные формы с радиально - лучистой структурой и блестящей поверхностью черного или темно-бурого цвета; в) сталактитоподобные натечные формы; г) массивные сплошные массы темно-бурого или желтого цвета; д) оолитовые, бобовые и луговые руды, в которых бурые железняки образуют желваки и жеоды.

Диагностические признаки - минералы легко опознаются по бурому цвету, характерной черте и формам образования (сталактиты, жеоды, натечные формы).

Парагенезис: а) осадочное - в морских и озерных бассейнах; б) в зоне окисления - в так называемых «железных шляпах» сульфидных месторождений.

Гидроокислы АЛЮМИНИЯ. К этой группе относятся *гидраты глинозема: диаспор, бёмит, гидраргиллит.*

Боксит не является минералом. Он представляет собой горную породу, состоящую из нескольких минералов, главным образом гидраргиллита, диаспора и бёмита, а также каолина, кремнезема и окислов железа.

Гидроокислы МАРГАНЦА. К этой группе относится *манганит* и разнообразные и сложные по составу *гидроокислы марганца.*

МАНГАНИТ – $Mn^{2+}Mn^{4+}O_2(OH)_2$ (назван по химическому составу).

Диагностические признаки-бурый до черного цвет, бурая черта, столбчатый и шестоватый облик кристаллов с типичной вертикальной штриховкой.

Парагенезис: образуется осадочным путем в морских бассейнах в виде оолитов и сплошных масс в ассоциации с другими марганцевыми минералами. Манганит в зоне окисления неустойчив и переходит в пиролюзит.

Практическая работа 9

Определение минералов группы окислов и гидроокислов

Изучить и определить корунд, гематит, магнетит хромит, пиролюзит и др. окислы, сложные окислы и гидроокислы, используя набор минералов, шкалу твердости, бисквит, компас, стекло, определитель минералов.

Оборудование: коллекция оксидов и гидрооксидов, шкала твердости Мооса, белая фарфоровая пластина, медная монета, стекло, магнит или горный компас.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Разделить минералы на подгруппы-с металлическим блеском: магнетит, хромит, ильменит, гематит, пиролюзит, лимонит;
- ◆ 2. с неметаллическим блеском: кварц, куприт, халцедон, опал;
- ◆ 3. определить цвет черты-минералы с металлическим блеском имеют темный цвет черты, у всех разный-гематит-темно-вишневый; лимонит-ржаво-бурый; хромит-бурый, пиролюзит-черный и т.д.;
- ◆ 4. определить твердость;
- ◆ 5. особые свойства: магнетит – притягивает магнит; магнитная стрелка на компасе вращается; кварц - хорошо царапает стекло; корунд-царапает кварц.

Контрольные вопросы:

1. Написать формулы и кратко охарактеризовать простые окислы.
2. Написать формулы и кратко охарактеризовать сложные окислы.
3. Написать формулы и кратко охарактеризовать гидроокислы.
4. Произвести диагностику кварца.
5. Установить различие кварца от халцедона.
6. Определить опал по диагностическим признакам.
7. Определить боксит.
8. Установить отличительные признаки гематита.
9. Определить отличительные признаки магнетита.
10. Установить отличительные признаки лимонита.
11. Определить отличительные признаки пиролюзита.

1.7. Силикаты

Класс силикатов наиболее широко распространен в земной коре. По подсчету А. Е. Ферсмана, он составляет 75% от всех минеральных видов и разновидностей. Большинство из них порообразующие минералы, но вместе с тем некоторые являются рудами (руды лития, бериллия, циркония, цезия и др.). Все силикаты построены как бы из мельчайших кирпичиков кроме кислородных тетраэдров, которые по определенным законам соединяются друг с другом. В центре такого тетраэдра помещается кремнекислород, в вершинах четыре иона кислорода. Кремнекислородный тетраэдр имеет состав $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и соединяется с катионами. В зависимости от сочленения кремнекислородных тетраэдров друг с другом выделяются различные подклассы силикатов (рис.69)

- ◆ если тетраэдры располагаются в виде отдельных островков, соединенных между собой катионами, то возникает подкласс островных силикатов, рис. 69А;
- ◆ если тетраэдры располагаются в виде колец – кольцевые, рис.69Б;
- ◆ если кремнекислородные тетраэдры вытягиваются в бесконечные цепочки, соединенные катионами, возникает подкласс цепочечных силикатов, рис. 69В;

- ◆ если кремнекислородные тетраэдры вытягиваются в бесконечные ленты – ленточные, рис. 69 Г;
- ◆ в том случае, когда они располагаются слоями – листовые, рис. 69 Д;
- ◆ при образовании кремнекислородными тетраэдрами трехмерного каркаса - подкласс каркасных силикатов, рис.69 Е.

Кремнекислородные тетраэдры соединяются между собой только вершинами, т.е. через кислород-О₂.

Физические свойства и внешний вид каждого подкласса тесло связан с их внутренним строением, Так, например, для цепочечных силикатов характерна вытянутая форма; для слоистых - появление пластинок, чешуек, а также весьма совершенная спайность; для каркасных, благодаря образованию внутри структуры воздушных камер, небольшой удельный вес и т.д.

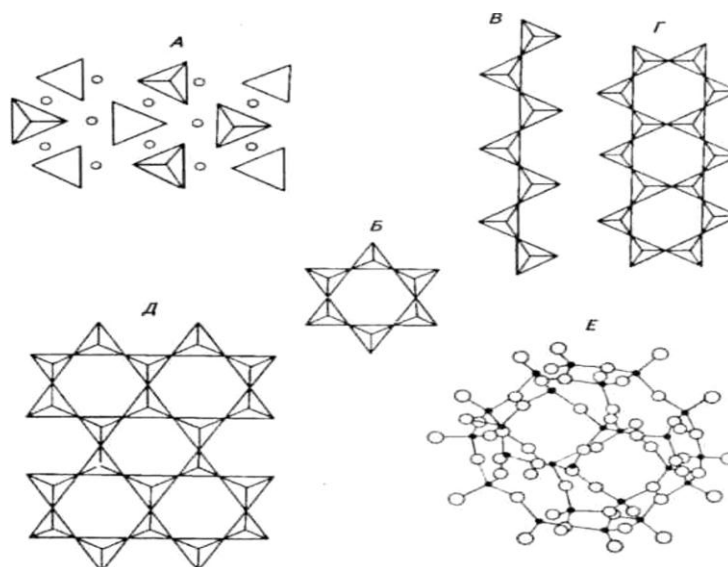


Рис. 69. Структурные типы силикатов: А – островные, Б – кольцевые, В – цепочечные, Г – ленточные, Д – листовые, Е – каркасные

Подкласс I. Силикаты с изолированными и кремнекислородными тетраэдрами [SiO₄].

В этом подклассе силикатов кремнекислородные тетраэдры располагаются в виде отдельных изолированных групп - «островков».

Островные силикаты характеризуются весьма компактной кристаллической структурой, следствием чего является повышенный удельный вес (обычно более 2,8—2,9), большая твердость (чаще всего 6—7, реже 8). Для минералов этого подкласса характерна изометрическая форма. Особенностью этих минералов является то, что при воздействии на них кислот они разлагаются с выделением студнеобразного кремнезема.

ОЛИВИН — (Mg, Fe)₂[SiO₄] (название дано по оливково-зеленому цвету минерала).

Диагностические признаки — зеленовато-желтый цвет, стеклянный блеск.

Парагенезис - типичный минерал ультраосновных пород, в которых он встречается вместе с пироксенами и хромитом. Значительно реже находится в основных породах.

Разновидность: хризолит применяется как драгоценный камень.

Группа ГРАНАТОВ (название происходит от плодов гранатового дерева, которые похожи на кристаллы гранатов по форме, а иногда и цвету).

Химический состав гранатов.

Таблица 13

Минералы	Химическая формула
Пироп	$Mg_3Al_2 [SiO_4]_3$
Альмандин	$Fe_3Al_2 [SiO_4]_3$
Спессартин	$Mn_3Al_2 [SiO_4]_3$
Гроссуляр	$Ca_3Al_2 [SiO_4]_3$
Андрадит	$Ca_3Fe_2 [SiO_4]_3$
Уваровит	$Ca_3Cr_2 [SiO_4]_3$

Гранаты встречаются обычно в кристаллах характерной ромбо-додекаэдрической, пентагон-додекаэдрической или тетрагонтриоктаэдрической формах (рис.70), реже образуют сплошные зернистые массы.

Физические свойства—цвет различных гранатов значительно варьирует — пироп—темно-красный, альмандин—красный, буро-красный; спессартин — розовый, красный,

оранжево-желтый; **гроссуляр** - бледно-зеленый, **оранжево-желтый,**

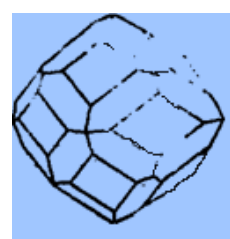
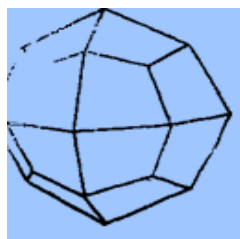
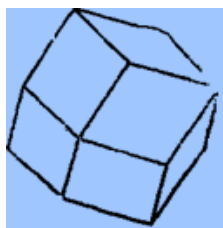


Рис. 70. Формы кристаллов граната

фишашковый, редко розовый; андрадит—темно-желтый, бурый до черного; уваровит—изумрудно-зеленый; гранаты просвечивают (прозрачная разновидность гроссуляра зеленого цвета называется демантоидом).

Диагностические признаки — характерный облик кристаллов. Диагностика разновидностей производится по химическому составу, удельному весу, иногда цвету.

Парагенезис-альмандин преимущественно метаморфическое, встречается в гнейсах, амфиболитах, в слюдяных и хлоритовых сланцах; для гроссуляра и андрадита наиболее характерно контактово - метасоматическое происхождение, особенно часто эти минералы.

Типичными минералами-спутниками их являются *кальцит, диопсид, везувиан, эпидот, магнетит*. Уваровит и пироп отнесены к ультраосновным магматическим породам; первый ассоциируется с хромитом в ультраосновных породах, второй находится в измененных ультраосновных породах вместе с ильменитом, хромитом, а также в кимберлитах, где является характерным спутником алмаза. Гранаты химически устойчивы и хорошо сохраняются в россыпях.

СФЕН — $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$ (от греческого слова «сфен» — клин, так как кристаллы сфена часто имеют клиновидную форму), синоним—титанит.

Диагностические признаки — характерная форма кристаллов различных оттенков.

Парагенезис: а) магматическое—в качестве акцессорного минерала в изверженных породах различного состава в ассоциации с полевыми шпатами, нефелином, эгирином, цирконом, апатитом; б) встречается в гранитных пегматитах совместно с полевыми шпатами, цирконом, биотитом, ильменитом; в) контактово-метасоматическое—в скарнах в парагенезисе с диопсидом, гранатом, магнетитом, эпидотом.

ТОПАЗ— $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$ (название происходит от острова Топазос в Красном море, где в древнее время добывался этот минерал).

Диагностические признаки — сильный стеклянный блеск, совершенная спайность, очень высокая твердость, характерна грубая штриховка вдоль вертикальной оси кристаллов.

Парагенезис: а) пегматитовое—находится совместно с полевым шпатом, кварцем, бериллом, турмалином, флюоритом, лепидолитом; б) пневматолито-гидротермальное—в грейзенах с вольфрамитом, мусковитом, циннвальдитом, лепидолитом, касситеритом, флюоритом.

ЭПИДОТ— $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$ (название происходит от греческого слова «эпидозис»—приращение, так как в основании призм минерала одна сторона длиннее другой).

Диагностические признаки—фисташково-зеленый цвет, призматический облик кристаллов.

Парагенезис: а) контактово-метасоматическое—эпидот является характерным минералом скарнов, в которых он находится в парагенезисе с кальцитом, магнетитом, диопсидом, гранатом; б) гидротермальное — возникает за счет изменения плагиоклазов, амфиболов, гранатов и других кальций-содержащих минералов. Эпидотизация сопровождается позеленением пород. С гидротермальным эпидотом часто ассоциируется хлорит.

Островные силикаты

Таблица 14

	Оливин	Топаз	Гранаты	Эпидот	Сфен	Циркон
Сингония	ромбическая		кубическая	моноклинная		тетрагональная
Облик кристаллов	изометрический, короткостолбчатый таблитчатый	призматический, на гранях штриховка вдоль удлинения грани	ромбододекаэдрические	длиннопризматический	призматический, клиновидный, уплощенный, конвертообразный	призматический, бипирамидальный

Агрегаты	вкрапленники, друзы, зернистые		друзы, плотные, зернистые, вкрапления	шестоватые зернистые. радиально-лучистые, дузы, штриховка по удлинению	вкрапленя кристаллов, зернистые	вкрапления кристаллов
Цвет	оливково-зеленоватый, бледно-зеленый,	бесцветный, голубоватый, желтоватый	разнообразный – от черного до бесцветного.	фисташково-зеленый, темно-зеленый	бурый, желтый, темно-бурый до черного	бесцветный, розовый, красноватый, краснобурый, темно-бурый
Блеск	стеклянный				алмазный	
Спайность	несовершенная			совершенная	несовершенная	
Твердость	6.5-7	8	6.5-7.5	6 - 6.5	5.6	8
Уд. вес	3,5	3.5	3,5-4.3	3.4	3.5	4.7
Прочие свойства				штриховка по удлинению		радиоактивен
Генезис	эндогенный, только магматический в ультраосновных породах	пневматолитово-гидротермальный, метаморфический в грейзенах	пегматитовый (в гранитных пегматитах), регионально-метаморфический, гидротермальный, магматический в ультраосновных	регионально-метаморфический, гидротермальный	магматический, пегматитовый в щелочных породах	эндогенный - магматический, пегматитовый. россыпи.
Применение	огнеупорное сырье	в ювелирном деле	абразивный, ювелирное дело	не имеет	для получения окиси титана	руда на цирконий



Рис.71. Кристаллы аквамарина среди слюды

Кольцевые силикаты

БЕРИЛЛ $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ (назван по содержащемуся в нем химическому элементу бериллию). Разновидность, содержащая около 3% Cs_2O , называется воробьевитом, а Cr_2O_3 -изумрудом,

цвета морской волны - аквамарин (рис.71).

Диагностические признаки - характерная форма кристаллов, большая твердость.

От редкого *хризоберилла* $BeAl_2O_4$ отличается шестиугольно-призматической формой кристаллов, от апатита — стекляннм блеском, высокой твердостью, от топаза — несовершенной спайностью. В мелкозернистых агрегатах можно спутать с кварцем.

ТУРМАЛИН- $Na(Mg, Fe)_6[B_3Al_3Si_6(O, OH)_{30}]$ (от сингалезского слова «турмали» - так назывался минерал, впервые привезенный с Цейлона в Европу).

Диагностические признаки - большая твердость, характерная штриховка на гранях призмы, сечение в виде сферического треугольника.

Парагенезис - наиболее часто он встречается: а) в пегматитах различных типов - шерлы в ассоциации с мусковитом, апатитом, кварцем; дравиты с альбитом, кварцем; рубеллиты с альбитом, сподуменом, лепидолитом, поллуцитом, тантало-ниобатами (в этой же ассоциации встречаются и полихромные турмалины); б) в грейзенах - дравиты, шерлы вместе с мусковитом, бериллом, флюоритом; в) для гидротермальных жил и метасоматических пород типичны шерлы, дравиты и другие разновидности.



Рис.72. Кристалл берилла, гексагональная призма



Рис.73. Полихромный турмалин

Кольцевые силикаты

Таблица 15

	Берилл	Турмалин
Сингония	гексагональная	Тригональная
Облик кристаллов	гексагональные призмы	столбчатый, призматический
Агрегаты	вкрапленники, друзы, зернистые	друзы, радиально-лучистые, волосовидные, зернистые
Цвет	желтовато-белый, зеленоватый, голубоватый, изумрудно-зеленый	голубовато-зеленый, синий, черный, бесцветный, полихромный
Блеск	стеклянный	стеклянный
Спайность	несовершенная	несовершенная-
Твердость	7.5-8	7.5-8
Уд. вес	2.9	3.0
Другие свойства	продольная штриховка на гранях призмы	продольная штриховка на гранях призмы
Генезис	пегматитовый (в гранитных пегматитах, пневматолитово-гидротермальный, регионально-метаморфический)	
Применение	руда на бериллий.	в ювелирном деле

Цепочечные силикаты.

Подкласс цепочечных силикатов (метасиликатов) получил такое название в связи с тем, что в строении кристаллической решетки входящих в него минералов главную роль играют цепочки, состоящие из кремнекислородных тетраэдров (SiO_4^{4-}). Цепочечные силикаты образуют кристаллы, резко вытянутые в одном направлении (вдоль цепочек), в том числе шестоватые, игольчатые, волокнистые и тому подобные формы. У них лучше, чем у островных силикатов, проявлена спайность, преимущественно по призме: твердость цепочечных силикатов и их удельный вес несколько ниже, чем у соответствующих им по составу ортосиликатов Mg и Fe. Окраска цепочечных силикатов связана в основном с присутствием хромофоров-в первую очередь Fe и Mn. При отсутствии Fe цепочечные силикаты бесцветны или имеют белый цвет (известковые и магнезиальные). Зато железистые разновидности, окрашены в темные цвета разных оттенков (зеленый, бурый, до зеленовато-черного и черного). Однако черта даже у самых темных минералов этого подкласса всегда светлая - белая, сероватая, зеленоватая, часто бесцветная.

Группа пироксенов.

Название от греч. Πύρ - огонь и ξένος - чуждый, чужеземец. Пироксены - одни из главных компонентов в составе основных пород.

Самые распространенные - диопсид, геденбергит, энстатит, гиперстен, авгит, эгирин и стоящий несколько особняком сподумен. Пироксены - высокотемпературные минералы, входящие в состав магматических и самых глубинных метаморфических горных пород, а также скарнов. Сподумен - характерный минерал гранитных пегматитов, эгирин и эгирин-авгит-щелочных пород.

Они характеризуются высокой твердостью и удельным весом и совершенной спайностью по призме, причем углы между трещинами спайности равны 87° и 93° . Это чрезвычайно характерный признак пироксенов, отличающий их от сходных с ними и столь же распространенных амфиболов. В поперечном сечении кристаллы пироксенов имеют прямоугольную (почти квадратную) или восьмиугольную форму, что также отличает их от амфиболов.



Рис.74. Геденбергит, радиально-лучистые агрегаты

Цвет пироксенов определяется в основном содержанием железа (см. общую характеристику подкласса цепочечных силикатов). Обычно он темно-зеленый до черного, но иногда светлеет вплоть до белого или почти бесцветного (диопсид, сподумен). Блеск пироксенов обычно стеклянный, у сподумена иногда перламутровый.

ГЕДЕНБЕРГИТ- $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (название дано в честь шведского химика Л. Геденберга,

впервые проанализировавшего этот минерал) (рис.74).

Сингония моноклинная. Кристаллы имеют вид коротких призм. Обычно геденбергит встречается в виде шестоватых, лучистых, иногда волокнистых агрегатов.

Диагностические признаки - легко узнается по шестоватым агрегатам и цвету.

Парагенезис - является характерным минералом контактово-метасоматических скарновых месторождений. Находится в парагенезисе с магнетитом, гранатом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, кальцитом, эпидотом.

АВГИТ- $\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Al})[(\text{SiAl})_2\text{O}_6]$
(от греческого слова «авге»- блеск, так как его кристаллы имеют характерный блеск на плоскостях спайности).

Сингония моноклинная.

Авгит встречается в виде сплошных зернистых масс и кристаллов короткостолбчатого или таблитчатого облика (рис.76). По сравнению с

диопсидом у авгита хорошо развиты грани призмы, а не пинакоида.

Диагностические признаки — форма кристаллов, цвет, спайность в двух направлениях под углом 87° .

Происхождение магматическое; авгит — порообразующий минерал основных изверженных и излившихся пород (габбро, норитов, базальтов, диабазов), реже он встречается в кристаллических сланцах.

ЭГИРИН- $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (минерал впервые был найден в Норвегии и назван по имени скандинавского бога моря «Эгира»).

Сингония моноклинная.

Встречается в виде шестоватых, лучистых или радиально-лучистых агрегатов. Одиночные кристаллы имеют столбчатый или игольчатый облик.

Диагностические признаки - цвет, ассоциация с нефелином, щелочными амфиболами, сфеном, цирконом, эвдиалитом.

Происхождение: а) магматическое - в составе щелочных пород (нефелиновых сиенитов, фонолитов и др.). Крупные кристаллы эгирина встречаются в пегматитах нефелиновых сиенитов б) метасоматическое - в альбититах, развивающихся по щелочным и субщелочным породам (нефелиновым сиенитам, сиенитам, гранитам) в ассоциации с альбитом, биотитом.

СПОДУМЕН - $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (от греческого слова «сподиос» - пепельный, из-за пепельно-серого цвета некоторых кристаллов сподумена).



Рис.75. Август, таблитчатые формы зерен

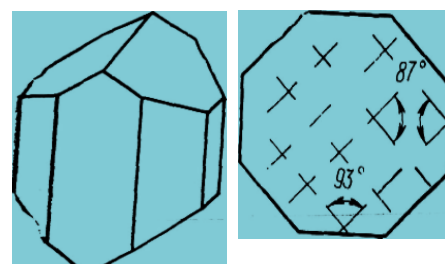


Рис. 76. Кристалл и поперечный разрез авгита



Рис.77. Сподумен, уплощенные формы

Сингония моноклинная.

Сподумен встречается в виде пластинчатых, иногда очень крупных (до 10м) кристаллов, реже образуются тонкопризматические и игольчатые агрегаты (рис. 77)

Диагностические признаки. Цвет, форма кристаллов, ассоциация с минералами пегматитов - кварцем, альбитом; от некоторых пироксенов отличается с трудом (по меньшему удельному весу, оптическим свойствам).

Парагенезис: сподумен-характерный породообразующий минерал редкометалльных (натролитиевых) пегматитов, в которых он находится в ассоциации с кварцем, микроклином, альбитом, мусковитом, бериллом, иногда лепидолитом, поллцитом, колумбит-танталитом.

Группа пироксенидов

В группу пироксеноидов, отличающуюся от пироксенов деталями структуры, входят два минерала: волластонит и родонит, распространенные преимущественно в контактово-метаморфических породах.

ВОЛЛАСТОНИТ - $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$. Назван в честь английского химика Волластона. Синоним - *дощатый шпат*.

Характерные признаки. Таблитчатые, чаще удлиненно-таблитчатые кристаллы, листоватые, шестоватые, сноповидные и волокнистые агрегаты; также однородные плотные или зернистые массы.

Парагенезис: происхождение метаморфогенное и контактово-метасоматическое. Минералы-спутники в скарнах - кальцит, диопсид, геденбергит, гроссуляр, андрадит, везувиан, скаполит, сфен и др. Месторождения: при выветривании разлагается с образованием кальцита и опалового вещества.

Диагностика. По форме кристаллов и агрегатов, белой и светло-серой окраске. Отличие от сходного тремолита - по углу между плоскостями спайности (у тремолита — около 60°) и светло-серой окраске.

РОДОНИТ- $\text{CaMn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{16}]$ Название от греч. *ρόδου*-роза, в соответствии с наиболее характерной окраской. Синоним-*орлец*. В Древней Руси именовался *рубиновым шпатом*.

Характерные признаки. Плотные тонкозернистые монолитные массы и агрегаты. Хорошо оформленные кристаллы (таблитчатые, призматические) встречаются исключительно редко. Цвет розовый,

Парагенезис: минерал мало распространен. Образуется при контактовом метаморфизме залежей карбонатных марганцевых руд. Минералы-спутники-псиломелан, *родохрозит* MnCO_3 , спессартин, кварц.

Диагностика. По розовому цвету, обычно с черными пятнами

Минералы моноклинной сингонии с призматическими или уплощенными досковидными кристаллами, темно-зеленый или зеленовато-черной окраски (за исключением сподумена), стеклянным блеском, средней спайностью в двух направлениях под углом 87° .

Таблица 16

	Диопсид	Геденбергит	Авгит	Эгирин	Сподумен
Сингония	м о н о к л и н н а я				
Облик кристаллов	п р и з м а т и ч е с к и й				
	короткостолбчатый	кристаллы редки	короткостолбчатый, таблитчатый	длиннопризматический, столбчатый, игольчатый, уплощенный, досковидный	уплощенный, гладкие с поверхности
Агрегаты	в к р а п л е н н ы е к р и с т а л л ы				
	друзы, шестоватые, сплошные зернистые	шестоватые, лучистые, радиально-лучистые	вкрапленники кристаллов	друзы, лучистые, радиально-лучистые, сплошные, зернистые	вкрапленники дисковидных кристаллов
Цвет	серовато-зеленый, грязно-зеленый, изумрудно-зеленый, синий, серовато-белый	темно-зеленый, зеленовато-черный	черный, зеленовато-черный	зеленовато-черный, темно-зеленый	пепельно-серый, серовато-белый, розоватый, фиолетовый
Блеск	с т е к л я н н ы й				
Спайность	средняя в двух направлениях угол спайности 87°				
Твердость	5,5-6				
Другие свойства	иногда двойники, параллельно граням (наблюдается отдельность)				
				границы иногда имеют продольную штриховку, бледно-зеленая черта	границы часто деформированы
Генезис	эндогенный				
	магматический (в основных породах), контакт.-метасомат.	контактово-метасоматический	магматический (в эффузивных основных породах)	магматический (в щелочных нефелиновых сиенитах и пегматитах)	пегматитовый (в гранитных литиевых пегматитах)
Применение	хромдиопсид в ювелир. промышл	в метаморфических породах-скарнах	породообразующие в метаморф. и магмат. породах	магмат породах, щелочные	важная руда лития

Группа пироксеноидов. Сплошные массы розового цвета или волокнистые и пластинчатые агрегаты белого цвета, с совершенной спайностью, стеклянным блеском, твердостью 4,5-6,5, контактово-метасоматического или регионально-метаморфического генезиса.

Таблица 17

	Волластонит	Родонит
1	2	3
Сингония	т р и к л и н н а я	
Облик кристаллов	т а б л и т ч а т ы й	
Агрегаты	лучистые, спутано-волокнистые, радиально-лучистые	плотные сплошные массы
Цвет	белый, серовато-белый, розоватый	розовый, малиновый
Блеск	с т е к л я н н ы й	
Спайность	совершенная и средняя угол 74°	совершенная
Твердость	4,5-5	6-6,5
Удельный вес	2,8	3,5
Другие свойства	медленно разлагается в HCl	
Генезис	контактово-метасоматический	низкотемпературный гидротермальный, регионально-метаморфический
Применение	производство минеральной ваты	поделочный камень

Амфиболы-ленточные силикаты (роговая обманка, актинолит, тремолит) - в отличие от пироксенов имеют удлиненно-призматическую, игольчатую, волокнистую форму кристаллов более совершенную спайность (спайность пересекается под углом 124° и 56°), форму поперечного сечения в виде ромба.

Подкласс IV. Ленточные силикаты.

Силикаты с непрерывными поясами (лентами) тетраэдров в кристаллических структурах. К ним относятся силикаты, в основе структуры которых наблюдаются обособленные пояса или ленты, представляющие собой сдвоенные цепочки. Радикал для данного типа $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$.

Наиболее распространенными представителями ленточных силикатов являются амфиболы, которые по ряду свойств (удельному весу, твердости, оптическим свойствам и т.д.) очень близки к описанным выше пироксенам.

Отличить амфиболы от пироксенов можно по следующим признакам:

Таблица 18

❖ Амфиболы	❖ Пироксены.
◆ Угол спайности-около 124° .	◆ Угол спайности-около 90° .
◆ Кристаллы обычно длинно-призматические.	◆ Кристаллы обычно коротко-призматические.
◆ Обычно ясно окрашены и плеохроируют.	◆ Обычно слабо окрашены и слабо плеохроируют.
◆ Максимальный угол погасания в	◆ Максимальный угол погасания в

<p>вертикальной зоне 0-25⁰ (за исключением некоторых щелочных разностей с характерной окраской).</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ В большинстве случаев оптически отрицательны. ◆ Переходят в хлорит и т.д. (в пироксен-только после плавления). 	<p>вертикальной зоне 30-54⁰ (за исключением некоторых щелочных разностей с характерной окраской).</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ В большинстве случаев оптически положительны. ◆ Переходят в амфибол и т.д..
---	---

В генетическом отношении амфиболы отличаются от пироксенов тем, что они образуются при более низких температурах, в результате чего в молекуле амфиболов присутствуют ионы Cl^{1-} , F^{1-} , и OH^{1-} .

Амфиболы являются широко распространенными породообразующими минералами магматических и метаморфических пород. Общее количество амфиболов в земной коре достигает 10% по весу, при этом наиболее распространены в природе железомagneзиальные амфиболы. По сингонии они разделяются на две подгруппы:

❖ моноклинные амфиболы

- ◆ тремолит- $Ca_2Mg_5(OH)_2[Si_8O_{22}]$;
- ◆ актинолит - $Ca_2(Mg,Fe)_5(OH)_2[Si_8O_{22}]$;
- ◆ обыкновенная роговая обманка- $(Ca, Na)_2(Mg, Fe^{2+})(Fe^{3+}, Al)_5(OH, F)_2[Si_8O_{22}]$.

❖ Ромбические амфиболы являются сравнительно редкими минералами.

Группа АМФИБОЛОВ. Из большого числа амфиболов здесь рассмотрены наиболее часто встречающиеся породообразующие минералы: *тремолит, актинолит, роговая обманка*. В настоящее время амфиболы не находят практического применения и только плотная разновидность актинолита - *нефрит* используется в качестве поделочного камня.

ТРЕМОЛИТ- $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$ (название дано по месту открытия его - долине Тремоль в Альпах).

Сингония моноклинная. Ленточная структура обуславливает образование удлиненных длиннопризматических кристаллов, шестоватых, игольчатых и лучистых сростков.

Диагностические признаки - форма кристаллов и сростков; от сходного актинолита отличается по светлой окраске.

Происхождение: а) контактово-метасоматическое – в скарнах на контакте известняков и силикатных пород вместе с диопсидом, кальцитом, тальком; б) метаморфическое – в кристаллических сланцах.

АКТИНОЛИТ- $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$ (от греческих слов «*актис*» - луч и «*литос*» - камень; связано с нахождением минерала в виде лучистых сростков).

Кристаллы длиннопризматические до игольчатых, очень характерны волокнистые и лучистые агрегаты. Скрытокристаллические плотные и вязкие массы различных оттенков зеленого цвета называются нефритами; волокнистые



Рис.78. Актинолит, игольчатые, лучистые агрегаты

агрегаты, подобные асбесту – амфиболовым асбестом.

Диагностические признаки - форма кристаллов и сростков, цвет.

Парагенезис а) в основном метаморфическое, в тальковых и хлоритовых сланцах; б) контактово-метасоматическое в ассоциации с эпидотом, магнетитом и сульфидами – халькопиритом, молибденитом, пиритом и др.

Практическое значение - нефрит используется как поделочный камень.



Рис. 79. Роговая обманка, удлиненно-призматические, шестоватые агрегаты

РОГОВАЯ ОБМАНКА- $\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_4(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}) \text{X} [(\text{SiAl})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ (русское название происходит от немецкого слова «горнбленд» - рог и маскировать, в связи со сходством минерала с рогом, от которого он отличается большей твердостью).

Роговая обманка встречается в виде призматических, столбчатых, иногда

изометрических кристаллов. Наблюдаются также игольчатые и волокнистые агрегаты.

Диагностические признаки - цвет, облик кристаллов, характерный угол между

плоскостями спайности.

Происхождение: а) магматическое - является породообразующим минералом сиенитов, диоритов, гранодиоритов, иногда гранитов; б) метаморфическое - роговая обманка-типичный компонент некоторых метаморфических пород – гнейсов, амфиболитов.

Моноклинные амфиболы длиннопризматического облика кристаллов, лучистыми, радиально-лучистыми или зернистыми агрегатами, обычно темной окраски, стекляннм блеском, совершенной спайностью в двух направлениях под тупым или острым (124° или 56°) углами между плоскостями спайности, твердостью 5,5-6.

Таблица 19

	Тремолит	Актинолит	Роговая обманка	Арфведсонит	Глаукофан
1	2	3	4	5	6
Сингония	м о н о к л и н н а я				
Облик кристаллов	д л и н н о п р и з м а т и ч е с к и й				
Агрегаты	лучистые, шестоватые, спутано-волокнистые, радиально-лучистые,		вкрапленники кристаллы или зерна, друзы, зернистые	игольчатые, лучистые, радиально-лучистые, вкрапления зерен	радиально-лучистые, спутано-волокнистые, параллельно-волокнистые
Цвет	белый, серовато-белый, бледно-зеленый	зеленый с различными оттенками	темно-зеленый до черного	черный	голубовато-синий
Блеск	с т е к л я н н ы й				

1	2	3	4	5	6
Черта	б е л а я			голубовато-серая	голубая, синеватая
Спайность	совершенная в двух направлениях с углом 124° или 56°				
Твердость	5,5-6				
Удельный вес	3,0	3,2	3,2	3,4	3,1
Генезис	регионально-метаморфический, гидротермальный		во всех эндогенных процессах	гидротермальный в щелочных нефелиновых породах	регионально-метаморфический, гидротермальный
Применение	скрытокристаллическая разновидность – нефрит используется как поделочный камень				

Подкласс V. Листоватые силикаты.

Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Синонимы: стеатит, жировик, тальковый камень.

Сингония моноклинная. Образует листоватые, чешуйчатые или сплошные плотные массы. Листочки гибкие, но мало упругие.

Диагностика: цвет зеленый, светло-зеленый, белый и серо-зеленый в сплошных массах. Блеск иногда перламутровый, твердость 1, легко узнается по низкой твердости и жирности на ощупь.

Парагенезис: талька являются серпентин, магнезит, доломит, актинолит, магнетит, гематит. Тальковые, тальк-актинолитовые и другие сланцы имеют очень широкое распространение.

Серпентин (змеевик) $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$. Название «змеевик» дано по цвету, напоминающему цвет змеиной кожи.

Диагностика: образует плотные скрытокристаллические массы желто-зеленого или темно-зеленого цвета. Окраска иногда, пятнистая.

Разновидности. Просвечивающий в краях желто-зеленый серпентин с восковым блеском носит название **офита**, или благородного серпентина.

Бастит псевдоморфозы серпентина по энстатиту. **Антигорит** – листоватый серпентин. **Хризотил** – волокнистый серпентин.

Происхождение. Образуется за счет оливина в результате воздействия гидротермальных растворов на ультраосновные (перидотиты, дуниты) и карбонатные породы. Этот процесс носит название серпентинизации.

Парагенезис: являются асбест, магнезит, хромит, магнетит, тальк и др. Находки серпентиновых массивов дают основание для постановки поисковых работ на асбест, тальк, руды хрома, никеля, платины и другие полезные ископаемые.

Минералы глин



Рис.80. Каолинит.

Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$. Название происходит от названия горы Каулинг в Китае, где добывался этот минерал (рис.80).

Диагностические признаки - белый цвет, в сухом виде легко растирается между пальцами, жадно поглощает воду, во влажном состоянии очень пластичен.

Происхождение экзогенное - образуется в основном при процессах выветривания различных горных пород, содержащих алюмосиликаты (полевой шпат, слюды, нефелин). Возможно переотложение первичных образований каолинита водными потоками с концентрацией их в виде вторичных образований на дне водных бассейнов.



Рис.81. Монтмориллонит.

МОНТМОРИЛЛОНИТ-
 $nAl_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \quad m(Mg, Fe)_3 \quad x [Si_4O_{10}](OH)_2 p H_2O$ (название дано по месту нахождения минерала в Монтмориллоне во Франции) (рис. 40).

Диагностические признаки-сильное набухание от влаги, прилипает к языку.

Происхождение экзогенное-образуется в щелочной среде при выветривании эффузивных пород (вулканических пеплов), а также основных изверженных пород (диабазов, базальтов, габбро).

Слюды

Они имеют листоватый облик и весьма совершенную спайность

Сингония моноклинная. Кристаллы листоватые, чешуйчатые (рис.82 а).

Листочки слюд упругие, некоторые при расщеплении в темноте светятся. Если смотреть через тонкую пластину слюды на светящийся предмет, то иногда наблюдается шести- и двенадцатилучевая звезда, что вызывается ориентированными включениями

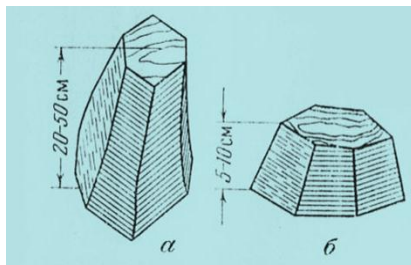


Рис.82. Природные кристаллы флогопита:
а) вытянутый;
б) плитчатый

игл рутила.

ФЛОГОПИТ- $KMg_3[AlSi_3O_{10}](F,OH)_2$ (название происходит от греческого слова «флогос» - огнеподобный из-за красного оттенка некоторых кристаллов). Флогопит образует таблитчатые и пластинчатые кристаллы (рис.82 б). Характерны также мелкие листочки и чешуйки.

Диагностические признаки-от биотита отличается более светлой окраской; темно-бурые, почти черные разности требуют для определения применения точных методов диагностики.

Происхождение: а) контактово-метасоматическое – находится в скарновых образованиях в ассоциации с кальцитом, апатитом, диопсидом, скаполитом; б) метасоматическое-образуется в карбонатитах при развитии процессов замещения вместе с кальцитом, диопсидом, апатитом, иногда магнетитом и пироксеном.

БИОТИТ- $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ (рис.83).

Диагностические признаки-темный, почти черный цвет.

Парагенезис: а) магматическое - биотит-характерный породообразующий минерал гранитов, гранодиоритов, диоритов, сиенитов; б) пегматитовое - в жилах вместе с полевыми шпатами, кварцем, мусковитом; в) метаморфическое - встречается в значительном количестве в различных сланцах и гнейсах.



Рис.83. Биотит

МУСКОВИТ- $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ название происходит от старинного итальянского названия города Москвы -Муска (вывозимые из России на запад, через Москву, большие листы мусковита называли «московским стеклом»).

Бесцветен или желтоватого, светло-коричневого цвета, иногда с красноватым оттенком.

Разновидности. Серицит мелкокристаллический светлый мусковит, Имеет шелковистый блеск. Фуксит - хромосодержащая разновидность мусковита ярко-зеленого цвета, характерная для листовитов.

Диагностические признаки-светлая окраска, прозрачность, весьма совершенная спайность.

Парагенезис: а) пегматитовое—слюдоносных пегматитах в ассоциации с полевыми шпатами, кварцем, иногда биотитом, турмалином, апатитом; б) гидротермальное – грейзенах и кварцевых жилах вместе с кварцем, топазом, бериллом, касситеритом, вольфрамитом, колумбит - танталитом; в) метаморфическое – в различных сланцах, кварцитах и в другие образованиях.

ЛЕПИДОЛИТ - $KLi_{1.5}Al_{1.5}[AlSi_3O_{10}](F, OH)_2$ (название происходит от греческого слова «*лепидос*» - чешуйка, в связи с чешуйчатым обликом этого минерала. Встречается в виде мелких листочков, чешуек и скорлуповатых агрегатов, а также образует пластинчатые и столбчатые кристаллы.

Диагностические признаки - цвет розовый, розовато-фиолетовый, иногда белый; блеск от стеклянного до серебристого неокрашенные разновидности отличаются от мусковита по оптическим свойствам.

Парагенезис: а) пегматитовое-лепидолит-характерный минерал натролитиевых пегматитов, где спутниками его являются альбит, полихромные турмалины, иногда сподумен б) пневматолита-гидротермальное в грейзенах в ассоциации с топазом, кварцем, бериллом, касситеритом.

Практическое значение - используется как руда на литий.

Листоватые силикаты

Таблица 20

	Флогопит	Биотит	лепидомелан	Мусковит	Лепидолит	Вермикулит	Каолинит	Монтмориллонит
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сингония	м о н о к л и н н а я							
Облик кристаллов	псевдогексагональный, пластинчатый, таблитчатый, короткопризматический, усеченно-пирамидальный					кристаллы редки	кристаллы мелкие, размером менее 1 мкм	
Агрегаты	листоватые, чешуйчатые, вкрапления отдельных чешуек, кристаллов мелкочешуйчатые скорлуповатые					псевдоморфозы по кристаллам биотита, листоватые	плотные рыхлые, землистые, налеты, корочки	
Цвет	в агрегатах бурый, красно-бурый, в тонких листочках слабоокрашенный	темно-зеленый, зеленовато-чёрный, буровато-черный	черный	бесцветный, серебристо-белый, бледно-зеленый, желтоватый	розовый, малиновый	бурый, желтовато-бурый, бронзово-желтый	белый, голубоватый, розовый, бурый, красно-бурый	
Черта	б л е д н о - з е л е н а я			б е л а я			белая	
Блеск	с т е к л я н н ы й с п е р л а м у т р о в ы м о т л и в о м						матовый	
Спайность	в е с ь м а с о в е р ш е н н а я					совершенная	совершенная, в агрегатах не заметна	
Твердость	2 - 3					1-1,5	1,5-2,5	
Уд. вес	2,8	3,0	3,2	2,9	2,9	2,5	2,6	2,2-29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Другие свойства	легко расщепляется на отдельные листочки, чешуйки; листочки гибкие и упругие; кристаллы охотно образуют двойники					при нагревании вспучивается и увеличивается в объеме. легко теряет воду при нагревании от пламени спички	поглощает влагу, липнет к языку, сухой на ощупь. с водой образует тестообразную массу		
							имеет запах глины, особенно во влажном состоянии	мылится в воде, имеет горьковатый запах, полируется ногтем	
Генезис	контактово-метасоматический, пегматитовый (в гранитных пегматитах)	магматическ., регионально метаморфический, пегматитовый	э н д о г е н н ы е магматическ., пегматитовый (в щелочных нефелиновых породах)		во всех эндогенных процессах	пегматитовый (в гранитных пегматитах с литиевой минерализацией)	при выветривании биотита	при выветривании полевошпатовых пород в условиях кислой среды	при выветривании основных магматических пород в условиях щелочной среды
Применение	в электротехнике для изготовления изоляторов, конденсаторов реостатов, огнестойких строительных материалов	не имеет		в электротехнике для изготовления изоляторов, конденсаторов реостатов, огнестойких строительных материалов	руда лития	обожжённые массы как теплоизоляционный материал	в керамической, бумажной промышленности	в нефтяной, текстильной, мыловаренной, косметической, бумажной, резиновой, керамической промышленности	

Подкласс VI. Каркасные силикаты

Среди алюмосиликатов каркасной структуры ниже рассматриваются четыре группы: а) полевые шпаты; б) фельдшпатыды (содержат меньше SiO_2 и больше щелочей по сравнению с полевыми шпатами); в) скаполиты; г) цеолиты.

Полевые шпаты

Полевые шпаты разделяются по составу на натриево-кальциевые (плагиоклазы) и калиевые (ортоклаз и микроклин).

Плагиоклазы представляют собой изоморфный ряд с двумя крайними членами: альбитом $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и анортитом $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Na и Si замещается Ca и Al. Название происходит от греческого слова «*плагиоклаз*» - косо раскалывающийся, в связи со спайностью, которая в плагиоклазах проходит под углом, заметно отличающимся от прямого (на $3,5-4^0$). Это название дано в отличие от моноклинных полевых шпатов, которые имеют угол между плоскостями спайности, равный 90^0 .

Сингония плагиоклазов триклинная.

Плагиоклазы имеют огромное значение в петрографии для классификации изверженных пород, была предложена их классификация, основанная на процентном содержании анортитовой составляющей. Исходя из этого, плагиоклазы разбиты по номерам плагиоклазов:

кислый [Альбит (Ab) $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	0-10
кислый [Олигоклаз	10-30
средний [Андезин	30-50
основной [Лабрадор	50-70
основной [Битовнит	70-90
основной [Анортит (An) $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	90-100

Номер плагиоклаза точно характеризует его состав. Так, плагиоклаз 36 соответствует андезину, он содержит 36% анортитовой составляющей и 64% альбитовой.

Плагиоклазы обычно характеризуются неправильными зернами, вкрапленными в породу; образуют зернистые агрегаты, иногда друзы (альбит). Хорошо образованные кристаллы редки.

По внешним признакам в некоторых случаях удается определить только альбит и лабрадор.

Происхождение. Магматическое – в изверженных породах; пегматитовое; метаморфическое – в кристаллических сланцах.

АЛЬБИТ $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Название происходит от латинского слова «*альбус*» - белый.

Цвет белый. В некоторых пегматитовых жилах образует характерные пластинчатые агрегаты, часто вместе с ортоклазом, топазом, бериллом и морионом. В редкометальных пегматитах обычен сахаровидный зернистый альбит и листоватый альбит – *клевеландит*, белого или голубоватого цвета. В изверженных породах альбит без микроскопа неопределим.



Рис.84 Лабрадор

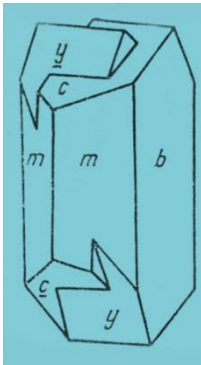


Рис.85. Двойник ортоклаза



Рис.86. Микроклин, крупнозернистые агрегаты

ЛАБРАДОР. Назван по полуострову Лабрадор в Северной Америке, где встречаются породы, целиком состоящие из лабрадора – лабрадориты.

Цвет серый, темно-серый. Характерны синие отливы на плоскостях спайности.

ОРТОКЛАЗ $K[AlSi_3O_8]$. Ортоклаз по-гречески значит «прямоугольный» - указание на направления совершенной спайности, идущие под прямым углом.

Сингония моноклинная. Кристаллы хорошо выражены, часто встречаются в двойниках (рис. 85), также образуют сплошные кристаллические массы.

Цвет светло-серый, светло-розовый до мяско-красного. Блеск стеклянный. Твердость 6-6,5. Плотность 2,5-2,6.

Разновидности: *санидин* - бесцветный, характерен для эффузивных пород. *Адуляр*-водяно-прозрачный Адуляры нежно-голубого цвета с серебристым отливом называются *лунным камнем*

Происхождение. Магматическое-в кислых и средних изверженных породах, а также в пегматитах. При выветривании подвергается каолинизации.

МИКРОКЛИН $K[AlSi_3O_8]$. В переводе с греческого - «незначительно отклоненный», так как угол между плоскостями спайности в отличие от ортоклаза отклоняется от прямого на $20'$.

Сингония триклинная. По внешнему виду неотличим от ортоклаза, характерны двойники.

Цвет белый, серый, розовый, желтый, красный. Спайность совершенная. Твердость 6-6,5. Плотность 2,54-2,57.

Редкая разновидность микроклина зеленого цвета называется *амазонит* или *амазонским камнем* (рис. 86) .

Происхождение. Магматическое, крупные кристаллы встречаются в пегматитовых жилах. Широко распространены закономерные прорастания калиевых полевых шпатов кварцем и альбитом, носят название «*еврейского камня*» или *письменного гранита*.

Группа фельдшпатоидов. Обычная форма выделений фельдшпатоидов-зернистые агрегаты и отдельные неправильные зерна в составе щелочных горных пород (нефелиновых сиенитов и др.).

НЕФЕЛИН-Na[AlSiO₄]. Название с греч. *νεφέλη* - облако (при разложении в HNO₃ дает «облако» кремнезема). Синоним-*элеолит* (масляный камень) (рис.87).



Рис.87. Нефелин.

Характерные признаки. Отдельные зерна неправильной формы или сплошные массы. Шестигранные короткопризматические или толстотаблитчатые кристаллы редки; встречаются в пустотах пород, содержащих нефелин. Чаще полупрозрачен, серого цвета с зеленоватым, буроватым или красноватым оттенкам либо ярко окрашен: мясо-красный, зеленоватый, буровато-желтый. Блеск жирный. Спайность отсутствует или несовершенная. Тв.5-6. Хрупок. Удельный вес 2,6-2,7.

Условия образования и нахождения. Один из главных породообразующих минералов щелочных горных пород и их пегматитов. Происхождение магматическое, реже пегматитовое и метасоматическое. Минералы-спутники: эгирин, щелочные амфиболы, апатит, сфен, циркон, эвдиалит, ильменит, также содалит, канкринит, цеолиты. **Никогда не встречается совместно с кварцем.**

Диагностика. Можно спутать с полевыми шпатами и кварцем. От полевых шпатов отличается отсутствием спайности, от кварца - ассоциацией минералов, а также меньшей твердостью, более жирным блеском, зеленоватым, красноватым и другими оттенками серого цвета (кварц в породе обычно дымчато-серый или молочно-белый), меньшей прозрачностью, способностью разлагаться под действием кислот. Характерен облик выветренной поверхности.

Практическое значение. Применяется в стекольной, керамической, химической промышленности. Служит сырьем для производства соды, силикагеля, ультрамарина и др. Может использоваться как алюминиевая руда.

Каркасные силикаты

Таблитчатые, призматически-таблитчатые кристаллы моноклинной или триклинной сингоний, светлой окраски, стеклянным блеском, совершенной спайностью под прямым углом или близким к нему, твердостью 6, эндогенного происхождения.

Таблица 21

1	Санидин	Ортоклаз	Микроклин	Плагиоклазы
1	2	3	4	5
Сингония	моноклинная		триклинная	
Облик кристаллов	таблитчатый, призматически-таблитчатый			
Агрегаты	вкрапленники кристаллов, зерна, друзы кристаллов			
		сплошные зернистые		мелкозернистые, сахаровидные, пластинчатые

Цвет	бесцветный, прозрачный	бледно-розовый, желтоватый, белый	розовый, красный, красно-бурый; амазонит-зеленый, синевато-зеленый	белый, голубоватый, серовато-зеленый, темно-серый (лабрадор)
Спайность	совершенная и угол между плоскостями спайности 90° или 89°			
Блеск	стеклянный			
Уд. вес	2,6			
Двойные свойства	простые двойники			полисинтетические двойники, на плоскости спайности – параллельная штриховка
Генезис	эндогенный			
	в эффузивных породах и лавах	в кислых и средних магматических породах, пегматитах		во всех интрузивных и эффузивных породах, в пегматитах
Применение	породообразующие фарфоро - фаянсовая, керамическая, стекольная промышленности амазонит – в ювелирной промышленности			красиво окрашенные разновидности (лунный, солнечный камень) – в ювелирной промышленности, лабрадор - облицовочный камень

Практическая работа 10

Определение минералов группы силикатов.

Цель: изучить и уметь определять топаз, гранат, берилл, турмалин, оливин, пироксены, амфиболы, тальк, серпентин, каолинит, слюды, полевые шпаты, нефелин, используя набор минералов, шкалу твердости, бисквит, стекло, определитель минералов.

Оборудование: коллекция минералов силикатов, предметное стекло, шкала твердости Мооса, вспомогательные предметы,

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить минералы по твердости: выделить с низкой твердостью - группа глинистых минералов, гр. слюд.
- ◆ 2. Определить с высокой твердостью - хорошо царапают стекло - полевые шпаты.
- ◆ 3. Определить минералы по форме нахождения: гр. слюд - листоватые, чешуйчатые; гр. глинистых минералов - землистые массы; амфиболы - удлиненно-призматические, игольчатые; гр. кольцевых силикатов форма кристаллов, гр. гранатов - ромбододекаэдры.

- ◆ 4. Определить минералы по особым свойствам: лабрадор - синие, фиолетовые оттенки по отдельным плоскостям спайности; гр. полевых шпатов- хороший блеск по всей плоскости спайности одновременно.
- ◆ 5. Определить по серому цвету, жирному блеску, несовершенной спайности - нефелин

Контрольные вопросы:

1. Установить особенности строения силикатов.
2. Указать принципы классификации силикатов.
3. Кратко охарактеризовать островные силикаты
5. Кратко охарактеризовать минералы цепочечных силикатов.
6. Написать формулы минералов ленточных силикатов. Кратко охарактеризовать.
7. Написать формулы минералов листовых силикатов. Кратко охарактеризовать.
8. Написать формулы минералов каркасных силикатов. Кратко охарактеризовать.
9. Установить отличительные признаки оливина, граната, топаза, эпидота, сфена.
10. Установить особенности форм нахождения сфена и циркона.
11. Определить отличительные признаки берилла и турмалина.
12. Установить отличительные особенности между пироксенами и амфиболами.
13. Описать форму нахождения волластонита.
14. Описать форму нахождения актинолита, тремолита, роговой обманки.
15. Определить диагностические признаки талька, слюд, глинистых минералов.
16. Определить гранат.
17. Назвать отличительные особенности каркасных силикатов.

Бораты

Таблица 22.

Минерал	Химическая формула	Содержание B_2O_3 (теоретическое)	Сигония	Структура	Облик кристаллов	Спайность	Блеск	Цвет	Удельный вес	Твердость
Ашарит	$Mg_2[B_2O_4OH](OH)$	40,40%	ромбическая	островная	волокнистые микроволокнистые агрегаты	-	шелковистый до тусклого	белый, серый, желтоватый	2,6 – 2,7	4 – 4,5
Гидроборацит	$CaMg[B_2BO_4(OH)_3] \cdot X \cdot 3H_2O$	50,53%	моноклиная	цепочечная	пластинчато-волокнистый, радиальный и столбчатый	совершенная	стеклянный, шелковистый	бесцветный, белый	2,2	2-3
Иноит (иньюит)	$Ca[B_2BO_3(OH)_5]4H_2O$	37,62%	моноклиная	слоистая	короткопризматический до таблитчатого, также массивный, зернистый в виде сферолитовых агрегатов	совершенная	стеклянный	бесцветный, белый	1,9	2
Людвицит	$(Mg, Fe^{2+})_2Fe^{3+}[BO_3]_2$	13,48-17,83%	ромбическая	островная	волокнистые, радиально-лучистые, реже призматические агрегаты	несовершенная	алмазный, шелковистый	черный, сизо-черный	3,6 – 4,7	5
Улексит	$NaCa[B_3B_2O_7(OH)_4] \cdot X \cdot 6H_2O$	42,95%	триклинная	цепочечная	округлые конкреции или волокнистые массы	совершенная в одном направлении	стеклянный, шелковистый, матовый	бесцветный, белый	2,0	2,5

1.8. Карбонаты, сульфаты, фосфаты.

Карбонаты широко распространены в природе, особенно это относится к соединениям типа $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ (кальцит), $\text{Mg}[\text{CO}_3]$ (магнезит), которые часто слагают мощные толщи осадочных и метаморфических пород. Химически карбонаты представляют собой *соли угольной кислоты*, катионами, из которых являются Mg, Fe, Zn, Ca, Ba, Sr, Pb, TR и дополнительными анионами $(\text{OH})^{1-}$, F^{1-} , Cl^{1-} . Кристаллизуются карбонаты преимущественно в тригональной и ромбической сингониях.

Характерным свойством карбонатов является также выделение CO_2 при действии на них соляной кислоты (следует отметить, что без нагревания с соляной кислотой реагируют только некоторые минералы – кальцит, малахит, арагонит, азурит; остальные карбонаты вскипают при нагревании).

Происхождение карбонатов преимущественно гидротермальное и экзогенное. Экзогенные минералы – малахит, азурит, смитсонит, церуссит, арагонит, аморфный магнезит; карбонаты, которые могут образовываться гидротермальным и экзогенным путем - кальцит, доломит, магнезит, сидерит.

Группа тригональных карбонатов

Подкласс безводных карбонатов.

КАЛЬЦИТ - $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ (название происходит от латинского слова «калькс» - известь).

Бесцветные прозрачные разновидности - исландский шпат (обладают двойным лучепреломлением); спайность совершенная по ромбоэдру.

Диагностические признаки - «вскипаемость» при действии соляной кислоты; весьма совершенная спайность по ромбоэдру; от сходного доломита отличается по более активной реакции с соляной кислотой.



Рис.88. Кристалл кальцита

Происхождение: а) в природе основная масса кальцита образуется в водных бассейнах осадочным или биогенным путем и является породообразующим в составе известняков, мела; при метаморфизме переходят в мраморы; б) кальцит является характерным гидротермальным минералом, прозрачные кристаллы исландского шпата возникают изредка в пустотах эффузивных пород; в) кальцит образуется при контактово-метасоматических процессах (скарны).

МАГНЕЗИТ- $\text{Mg}[\text{CO}_3]$ (название происходит от местности Магнезия в Греции).

Диагностические признаки - для кристаллических разновидностей характерен сильный блеск, спайность по ромбоэдру; для аморфных - матовый блеск. В соляной кислоте вскипает при подогреве (рис.89).



Рис.89. Магнетит фарфоровидный, натёчные формы

Парагенезис – магнетит встречается в природе реже, чем кальцит при процессах:

а) гидротермальных-магнетит возникает в результате взаимодействия магниезиальных;

б) при химическом выветривании ультраосновных пород под действием глубинных или поверхностных вод, содержащих углекислоту, выпадает в виде аморфного магнетита. Магнетит в этом типе месторождений ассоциируется с опалом, тальком, серпентином.

ДОЛОМИТ - $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ (назван в честь французского минералога Д.Доломье).

Диагностика: в основном доломит определяется химическим путем, с соляной кислотой реагирует только в порошке.

Парагенезис: гидротермальное-в жилах вместе с кальцитом, магнетитом, сульфидами и другими рудными минералами;

в) осадочное - значительные массы доломита образуются вместе с осадочными толщами известняков и слагают в них отдельные прослои или мощные пласты. Доломит осаждается также в остаточных соленосных бассейнах вместе с гипсом и ангидритом.

СИДЕРИТ - $\text{Fe}[\text{CO}_3]$ (от греческого слова «сидорос» - железо), синоним – железный шпат.

*Диагностические признаки-*темно-серый или желтовато-бурый цвет; характерная спайность по ромбоэдру; разлагается в соляной кислоте при нагревании.

Парагенезис: а) гидротермальное-сидерит образует самостоятельные жилы или находится совместно с галенитом и сфалеритом; б) метасоматическое – при замещении известняков или доломитов растворами, содержащими железо; в) осадочное в глинах в восстановительной обстановке сидерит образует конкреции так называемых сферосидеритов.



Рис. 90. Натечные формы родохрозита среди марганцевых пород

РОДОХРОЗИТ $\text{Mn}[\text{CO}_3]$.

Агрегаты зернистые, сплошные, гроздьевидные.

Происхождение. Гидротермальное – в рудных жилах, чаще осадочное – в месторождениях марганца

Диагностика: розовый цвет с черной

побежалостью

Применение. Может служить рудой на марганец.

**Группа моноклинных карбонатов -
сложные.**

МАЛАХИТ- $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ (от греческого слова «маляхе» - мальва, очевидно, в связи со сходством цвета минерала с зеленым цветом растения).

Диагностические признаки: характерный зеленый цвет, легко растворяется в соляной кислоте, ассоциируется с азуриком.

Происхождение – малахит образуется в зоне окисления медных, большей частью сульфидных руд.

АЗУРИТ- $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$ (от персидского слова «лазавард» - голубой).

*Диагностические признаки-*характерный синий цвет, растворяется в соляной кислоте, ассоциируется с малахитом.



Рис.91. Корочки малахита с кристаллами кальцита

Карбонаты

Таблица 23

	Малахит	Азурит	Арагонит	Церусит	Кальцит	Магнезит	Доломит	Сидерит	Родохрозит
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сингония	моноклинная		ромбическая		тригональная				
Облик кристаллов	призматический, кристаллы редки	призматический, таблитчатый	призматический, игольчатый, псевдогексагональный	призматический, пластинчат., таблитчатый часты двойники и тройники прорастания	Ромбоэдры, скаленоэдры, их комбинации с призмами				
Агрегаты	натечные, землистые, налёты	друзы, зернистые, налёты, землистые	шестоватые, радиально-лучистые, звездчатые, кристаллический, корки, оолиты	зернистые, друзы, натечные	зернистые	Плотные, натечные почковидные, фарфоровидные зернистые	друзы кристаллов	друзы кристаллов	натёчные формы
Цвет	зелёный	синий, голубой	белый, желтовато-белый, серый. светло-зеленый, фиолетовый, кристаллы иногда бесцветны	белый с желтоватым, сероватым, буроватым оттенками; ожелезненные разности бурового цвета, кристаллы иногда бесцветны	Бесцветный, белый, розоватый, голубоватый,	серый, белый	серовато-белый, иногда с бурым зеленоватым оттенком	белый, желтоватый, буроватый	розовый,
Черта	зелёная	голубая							
Блеск	стеклянный		стеклянный	алмазный, стеклянный	стеклянный, в плотных натечных агрегатах - матовый				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Спайность	совершенная, но наблюдается крайне редко	совершенная	несовершенная		совершенная по ромбоэдру (три направления, пересекающиеся под острым или тупым углами)				
Твердость	3,5-4	3,5-4	3,5-4	3-3,5	3	4-4,5	3,5-4	3,5-4,5	3,5-4,5
Уд. вес	4	3,8	3,0	6,5	2,7	3,0	2,8	3,9	3,6
Реакция с HCl	растворяется в HCl на холоде с шипением	растворяется в HCl на холоде с шипением	реакция на хлор малохарактерна	растворяется					
				на холоде с шипением	при нагревании	на холоде в порошке	медленно с редкими пузырьками CO ₂	в теплой кислоте	
Генезис	зона окисления сульфидных месторождений	гидротермальный, экзогенный – в коре выветривания, в зоне окисления сульфидных месторождений	в зоне окисления сульфидных месторождений	экзогенный					
Парагенезис	обычно встречаются совместно, а также с другими минералами меди – халькозином, халькопиритом, самородной медью, купритом, хризоколлой		Обычно находится в парагенезисе с галенитом, англезитом	гидротермальный		огнеупорное производство	гидротермальный	руда железа	руда марганца
Применение	поделочный камень производство краски		руда на свинец						

Практическая работа 11.

Определение минералов группы карбонатов, боратов

Цель: Изучить и уметь определять кальцит, малахит, арагонит, сидерит, азурит, борацит, ашарит, иньоит, гидроборацит, используя набор минералов, шкалу твердости, бисквит, стекло, определитель минералов.

Оборудование: коллекция минералов класса карбонатов, шкала твердости Мооса, стекло, медная монета, соляная кислота.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Проверить на взаимодействие с соляной кислотой: а) хорошо реагируют - кальцит, арагонит, азурит малахит; б) слабо реагирует-доломит в порошке-доломит.
- ◆ 2. Определить по цвету: малахит-зеленый, азурит-синий, родохрозит - розовый с черной побежалостью.
- ◆ 3. Определить по форме нахождения; магнезит - белый фарфоровидный, в виде натечных форм и сероватый – в виде зернистых масс; сидерит-желтоватый, вытянутые зерна минералов.
- ◆ 4. Определить церуссит по высокой плотности.
- ◆ 5. Определить бораты по белому цвету, форме нахождения.

Контрольные вопросы

1. Определить диагностические признаки боратов – борацит, гидроборацит, иньоит, ашарит.
2. Назвать сингонии карбонатов, их классификацию и отличительные признаки.
3. Назвать минералы класса карбонатов тригональной сингонии.
4. Назвать минералы класса карбонатов ромбической сингонии.
5. Написать формулы минералов класса карбонатов моноклинной сингонии.
6. Показать основной отличительный признак минералов класса карбонатов.
7. Определить основные формы нахождения карбонатов.
8. Написать формулы минералов класса фосфатов.
9. Определить формы нахождения минералов класса фосфатов.
10. Определить диагностические признаки апатита.
11. Установить отличительные признаки апатита от фосфорита.
12. Определить по форме нахождения фосфорит, условия его образования.

Фосфаты

Фосфаты, арсенаты и ванадаты представляют собой соли фосфорной, мышьяковой и ванадиевой кислот. Кристаллическая структура этих минералов соответственно характеризуется присутствием трехвалентных анионных комплексов $[\text{PO}_4]^{3-}$, $[\text{AsO}_4]^{3-}$ и $[\text{VO}_4]^{3-}$.

Апатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$. Название происходит от греческого слова «*апатао*» - обманываю, так как этот минерал долгое время принимался за другие.

Кристаллы гексагональной призмы и дипирамиды (рис. 92).

Происхождение: магматическое – встречается в кислых изверженных породах как аксессуарный минерал, в щелочных породах-совместно с нефелином является одним из главных породообразующих минералов (в нефелиновых сиенитах).

Диагностика: светлыми, желто-зелеными мелкозернистыми, сахаровидными массами.

Парагенезис: в пегматитовых жилах с мусковитом, хорошо ограненные крупные кристаллы голубого или голубовато-зеленого цвета. Ассоциируется с диопсидом, флогопитом, кальцитом, скаполитом, а также образует зернистые диопсид-апатитовые породы.

Фосфориты представляют собой осадочные образования, состоящие из **фосфата кальция**. По составу аналогичны апатиту (состоят из тонкодисперсного апатита). Встречаются в конкрециях, желваках и в виде землистых масс серого или бурого цвета.

Происхождение. Биогенное - в результате жизнедеятельности организмов. Образуют пласты различной мощности среди глинистых пород, известняков и песчаников. Нередки псевдоморфозы фосфоритов по ископаемым остаткам (раковинам и костям животных).

Применение. Аналогичное апатиту.

Сульфаты

Класс сульфатов включает *соединения различных катионов с комплексным анионом $[\text{SO}_4]^{2-}$* . Химически сульфаты представляют собой *соли серной кислоты*. В свою очередь анионы $[\text{SO}_4]^{2-}$ соединяются с катионами Na, K, Al, Fe^{3+} , Mg, Ca, Ba. Наиболее широко распространены минералы (ангидрит, барит, целестин), с добавочными анионами (алунит, ярозит) и слоистые (гипс).. Сульфаты характеризуются определенными физическими свойствами – небольшой твердостью (не более 3,5), преимущественно светлой окраской, хорошей растворимостью (в особенности сульфаты, содержащие молекулы воды).

Большинство сульфатов возникает путем осаждения в различных водоемах (чаще всего морских) в условиях повышенной концентрации кислорода, при сравнительно невысокой температуре и низком давлении. Гораздо реже минералы образуются гидротермальным путем, это относится к безводным сульфатам.

❖ По происхождению их можно разбить на три группы:

- ◆ а) сульфаты, возникающие в морских засоленных лагунах или озерах, - ангидрит, гипс, тенардит, мирабилит и др;
- ◆ б) сульфаты, образующиеся в зоне окисления сульфидных месторождений – ангидрит, ярозит, гипс;

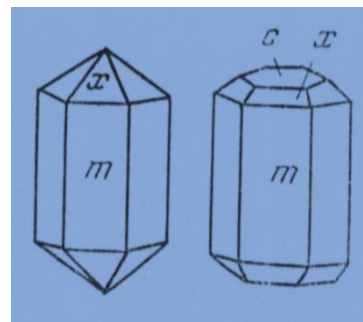


Рис. 92. Кристаллы апатита

- ♦ в) сульфаты гидротермального происхождения – барит, целестин, гипс, алунит.

БАРИТ – $Ba[SO_4]$ (от греческого слова «*барос*» - тяжесть; имеется в виду большой удельный вес этого минерала), синоним – тяжёлый шпат.

Диагностические признаки – большой удельный вес, спайность в одном направлении.

Парагенезис: гидротермальное: в сульфидных жилах с галенитом, сфалеритом, пиритом; в полевошпатовых, существенно баритовых, барит-кальцитовых, барит-сидеритовых и барит-флюоритовых жилах.

ЦЕЛЕСТИН – $Sr[SO_4]$ (от латинского слова «*целестис*» - небесный из-за голубого цвета минерала).

Диагностические признаки – голубой цвет, большой удельный вес, характерная ассоциация с гипсом и серой.

Парагенезис: а) в основном осадочное – при образовании известняков, доломитов, мергелей, среди которых встречаются линзы, прослои целестина в ассоциации с гипсом, баритом, серой; целестин обнаружен также в соляных отложениях; б) гидротермальное – иногда происходит образование целестина в гидротермальных жилах с галенитом, сфалеритом и другими сульфидами.

АНГИДРИТ – $Ca[SO_4]$ («*ангидрит*» в переводе с греческого – безводный, происходит от слов «*ан*» - без, и «*гидро*» - вода и указывает на отсутствие в этом минеральных воды в противоположность гипсу, близкому к нему по химическому составу).

Диагностические признаки – малый удельный вес; невысокая твердость; от сходного с ним кальцита отличается тем, что не вскипает в соляной кислоте; от гипса – по твердости, не царапается ногтем.

Парагенезис: ангидрит образуется преимущественно в экзогенных условиях при высыхании водных бассейнов и является составной частью соленосных осадков. Спутники ангидрита - галит, гипс.

АНГЛЕЗИТ – $Pb[SO_4]$ (**Pb68,3%**).

Парагенезис: в зоне окисления свинцовых месторождений в ассоциации с галенитом, церусситом и другими вторичными минералами свинца.

Водные сульфаты

ГИПС – $Ca[SO_4]2H_2O$ (от греческого слова «*гипсос*», означавшего название самого минерала или продукта его обжига) (Рис. 93).

Гипс встречается в виде толсто- и тонкотаблитчатых кристаллов, часто образует двойники, некоторые из них напоминают ласточкин хвост, пластинчатый гипс - тонкие прозрачные кристаллы напоминающие слюду; гипсовые розы –

розетковидные сростки кристаллов; селенит – волокнистые разности; алебастр – плотные землистые массы.



Рис. 93. Гипс - селенит

Диагностические признаки - весьма совершенная спайность, небольшая твердость – чертится ногтем.

Таблица 24

	Барит	Целестин	Англезит	Ангидрит	Гипс
Сингония	ромбическая				моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, пластинчатый				таблитчатый, иногда призматический или пластинчатый,
Агрегаты	друзы, зернистые	друзы, зернистые	зернистые, друзы, псевдоморфозы	мономинеральные	часто двойниковые сростания типа «ласточкин хвоста», одиночные кристаллы и друзы, зернистые, плотные агрегаты
Цвет	белый, бесцветный, красный, бурый, желтый, голубоватый	бесцвет. голубой, белый	белый, серый, желтый	белый, голубой, красноватый	белая, механические примеси песка, глины, органических веществ придают различные оттенки: серый, бурый, желтый, красный, чергый, отдельные кристаллы бесцветны
Блеск	стеклянный				
Спайность	совершенная в трёх направлениях (наряду с острым и тупыми углами встречается спайность под прямым углом)		совершенная	совершенная по трем пинакоидам (под прямым углом)	совершенная в одном направлении
Твердость	3-3,5	3-3,5	2,5-3	3-3,5	2
Уд. вес	4,5	4,0	6,4	3,0	2,2

Генезис	гидротермальный, осадочный	осадочный	зона окисления месторождений галенита	экзогенный – химический осадок	химический осадок, гидратация ангидрита, в зоне окисления сульфидн. месторожд.
---------	----------------------------	-----------	---------------------------------------	--------------------------------	--

Практическая работа 12.

Определение минералов классов фосфаты и сульфаты.

Цель: изучить и уметь определять минералы класса фосфаты - апатит; класса сульфаты-гипс, ангидрит, барит, используя набор минералов, шкалу твердости, бисквит, стекло, определитель минералов.

Оборудование: коллекция минералов классов фосфаты и сульфаты, шкала твердости Мооса, вспомогательные предметы - стекло, медная монета, фарфоровая пластина.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить сахаровидные формы апатита: мелкозернистые, крупнозернистые, призматические формы.
- ◆ 2. Аморфные, конкреционные формы - фосфориты.
- ◆ 3. Определить кристаллические разновидности по цветовой окраске: белой, зеленоватой, голубоватой.
- ◆ 4. Определить гипс-любая форма нахождения имеет твердость 2, легко царапается ногтем, оставляя белый цвет черты.
- ◆ 5. Диагностировать барит по высокой плотности.
- ◆ 6. Определить ангидрит по голубоватому цвету, большой твердости – ногтем не царапается, плотность меньше, чем у барита.

Контрольные вопросы:

1. Написать формулы минералов класса фосфатов.
2. Определить формы нахождения минералов класса фосфатов.
3. Определить диагностические признаки апатита.
4. Установить отличительные признаки апатита от фосфорита.
5. Определить по форме нахождения фосфорит, условия его образования
6. Написать формулы минералов простых безводных сульфатов.
7. Написать формулы минералов водных сульфатов.
8. Назвать отличительные особенности гипса, ангидрита, барита, целестина.
9. Установить парагенезис минералов класса сульфатов.

Раздел II. ОСНОВЫ ПЕТРОГРАФИИ.

2.1. Основные понятия и характеристика горных пород.

Классификация горных пород.

Петрография—наука, изучающая горные породы.

Горная порода – минеральный агрегат, состоящий из одного или несколько минералов и способствующие образованию различных полезных ископаемых.

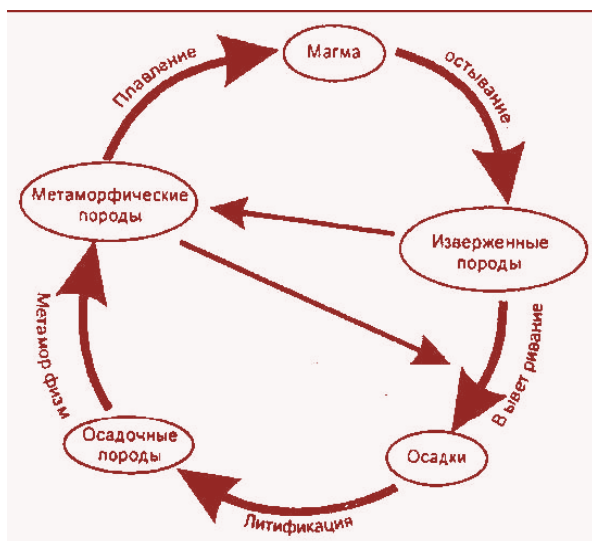
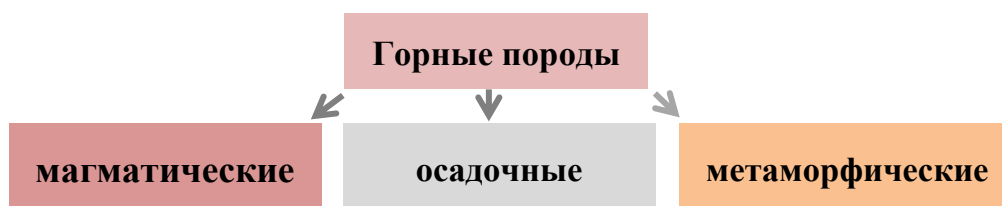


Рис. 94 Геологический цикл формирования горных пород.

и

случаях горные породы представляют собой среду, вмещающую полезные ископаемые, в других - полезными ископаемыми являются сами горные породы.

Горные породы по происхождению и геологическим особенностям разделяются на три группы:



Описание горных пород.

❖ Описательная характеристика пород осуществляется по следующим данным:

- ◆ **Название породы** (происхождение названия, если термин имеет нерусский корень, синонимы).
- ◆ **Характерные признаки** (структура, текстура, минеральный состав, физические свойства). Разновидности.
- ◆ **Условия образования и нахождения** (залегание, происхождение, изменение, распространение).

- ◆ **Диагностика.**
- ◆ **Практическое значение.**

Физические свойства и особенности строения горных пород

Все горные породы характеризуются определенными особенностями строения и физическими свойствами, которые отражают условия образования и изменения пород и наряду с составом играют важную роль в диагностике (рис.95).

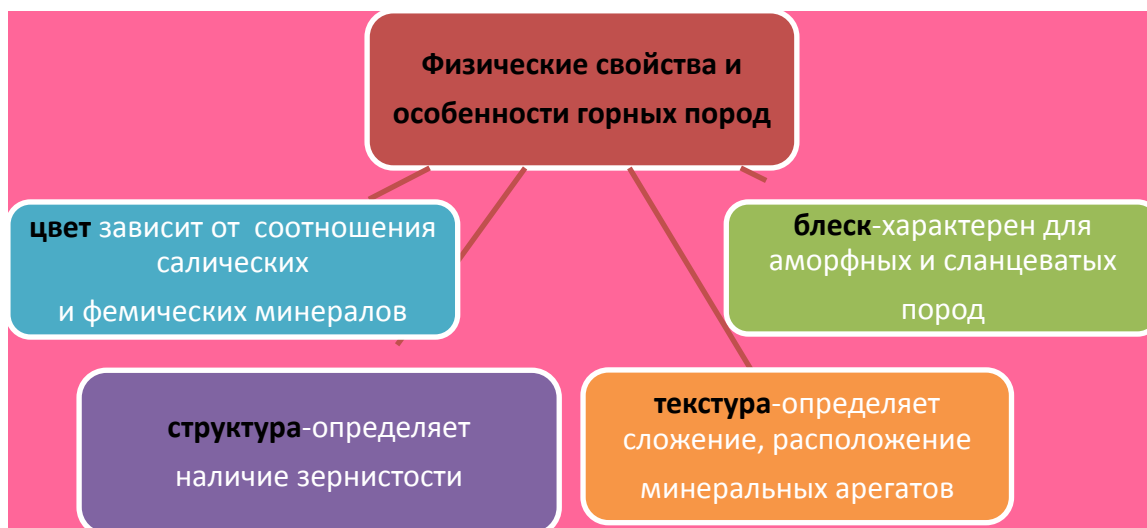


Рис.95

Цвет для пород, оттенок цвета, интенсивность окраски, является существенным признаком, т.е., тот факт, является ли данная порода темной (меланократовой), светлой (лейкократовой) или промежуточной (мезократовой).

Блеск как диагностический признак характерен лишь для некоторых горных пород, преимущественно аморфных (стекловидных) или сланцеватых (богатых чешуйчатыми либо волокнистыми минералами).

Структурой горной породы (от лат. *structura*-строение, расположение) называется совокупность признаков, определяемых формой, размерами и взаимным расположением - минеральных зерен.

Текстурой горной породы (от лат. *textura* – ткань, сплетение) называется совокупность признаков, определяющих внешний облик породы, обусловленных особенностями расположения и соотношений между собой целых минеральных агрегатов.

2.2. Условия образования, формы залегания и классификация магматических горных пород.

Магматические породы образуются в результате охлаждения и кристаллизации магмы. **Магма** – огненно-жидкий расплав сложного силикатного состава. Магма, при излиянии на дневную поверхность переходит в лаву.

❖ Магматические породы классифицируются по следующим признакам:

◆ По глубине застывания магмы.

◆ По содержанию кремнезема SiO_2 (химическая классификация или классификация по кислотности).

❖ По глубине застывания магмы:

◆ *абиссальные* (*абиссос* - глубина), глубинные или интрузивные (*интрузия* - внедряю), внедрившиеся. Глубина формирования $> 5\text{км}$;

◆ *гипабиссальные* – полуглубинные или жильные. Глубина формирования- $0,5 - 5\text{ км}$;

◆ *субвулканические* – эффузивные (*эффузио*-изливаю), излившиеся – глубина формирования в пределах $< 0,5\text{км}$, излившиеся на дневную поверхность.

❖ По содержанию кремнезема (SiO_2), химическая классификация:

◆ ультраосновные содержание кремнезема (SiO_2) $< 45\%$ (дуниты, перидотиты, пироксениты, кимберлиты);

◆ основные содержание кремнезема (SiO_2) $45\% - 55\%$ (габбро, базальты, долериты);

◆ средние содержание кремнезема (SiO_2) $55\% - 65\%$ (диориты, андезиты, сиениты, трахиты, кварцевый диорит);

◆ кислые содержание кремнезема (SiO_2) $> 65\%$ (граниты, липариты (риолиты), плагиограниты, гранодиориты, дациты).

❖ На внешний вид магматических пород влияет:

◆ Глубина застывания магмы, которая так же влияет на строение магматических пород, т.е. на структуру.

◆ Содержание кремнезема влияет на цвет магматических пород, так как изменение химического и минерального состава закономерно меняется по мере уменьшения содержания SiO_2 .

Вещественный состав магматических горных пород

Вещественный состав магматических пород определяется их валовым химическим составом и их минеральным составом.

Химический состав магматических горных пород.

Магматические горные породы состоят в основном из девяти элементов: **O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, H** которые слагают все главнейшие порообразующие минералы и поэтому называются «*петрогенными*».

❖ Установлено, что магматические породы способствуют образованию таких полезных ископаемых:

◆ Для ультраосновных пород (перидотитов, дунитов) характерны Cr, Co, Ni.

◆ Для основных пород (габбро, базальтов) Se, V, Cr, Co, Ni; для средних пород (диоритов, андезитов) B, F, V, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb.

◆ Для кислых пород (гранитов, гранодиоритов, риолитов) Li, Be, B, F, Rb, Zr, Ba, Ta, Tl, Pb, Th, U.

Геохимическая роль редких элементов очень велика, так как они часто свидетельствуют о металлогенической специализации магматических комплексов, что имеет важное поисковое значение.

Минералогический состав изверженных пород.

Первичные минералы кристаллизуются из магматического расплава, вторичные минералы либо замещают первичные, либо возникают как новообразования, являясь главным образом продуктами постмагматических- пневматолитовых и гидротермальных процессов (табл.25).

❖ Минеральный состав горных пород:

- ◆ Главные породообразующие минералы- более 5% объема породы.
- ◆ Второстепенные, или акцессорные минералы- менее 5% ее объема.
- ◆ Первичные минералы возникают в процессе образования горных пород.
- ◆ Вторичные минералы образуются в процессе последующих ее изменений.

Минералогический состав изверженных горных пород

Таблица 25

Главные (породообразующие)	Второстепенные (некоторые из них иногда приобретают значение главных)		
	Цветные (железисто-магнезиальные) фемические (Fe,Mg)	Первичные акцессорные	вторичные
бесцветные (щелочные и щелочно-известковые), силикатные(Si,Al)			
1). Полевые шпаты а). К а л и е в ы е: санидин ортоклаз микроклин анортоклаз б). П л а г и о к л а з ы: альбит олигоклаз андезин лабрадор битовнит анортит 2). Фельдшпатиты (заменители полевых шпатов) лейцит нефелин содалит 3). К в а р ц 4). М у с к о в и т	1). Оливин 2). Пироксены и амфиболы: энстатит гиперстен диопсид авгит энстатит эгирин роговая обманка и др. 3). Слюды: биотит	Апатит Титанит Циркон Корунд Шпинели Перовскит Гранат Кальцит Рудные минералы (магнетит, хромит, ильменит и др.)	Серпентин Тальк Миозит Эпидот Хлорит Каолинит и минералы его группы Серицит Карбонаты Халцедон Лимонит

Кроме того, среди породообразующих минералов условно могут быть выделены цветные и бесцветные. При этом под «цветными» понимают железистомагнезиальные (фемические) силикаты, такие, как амфиболы,

оливин, пироксены, биотит. В зависимости от содержания цветных и бесцветных минералов различают породы *меланократовые и лейкократовые*.

Изверженные породы могут быть как мономинеральными, состоящими из одного минерала, так и полиминеральными-из нескольких минералов.

Генетическая связь между породообразующими минералами может быть проиллюстрирована такой схемой (по Боуэну):

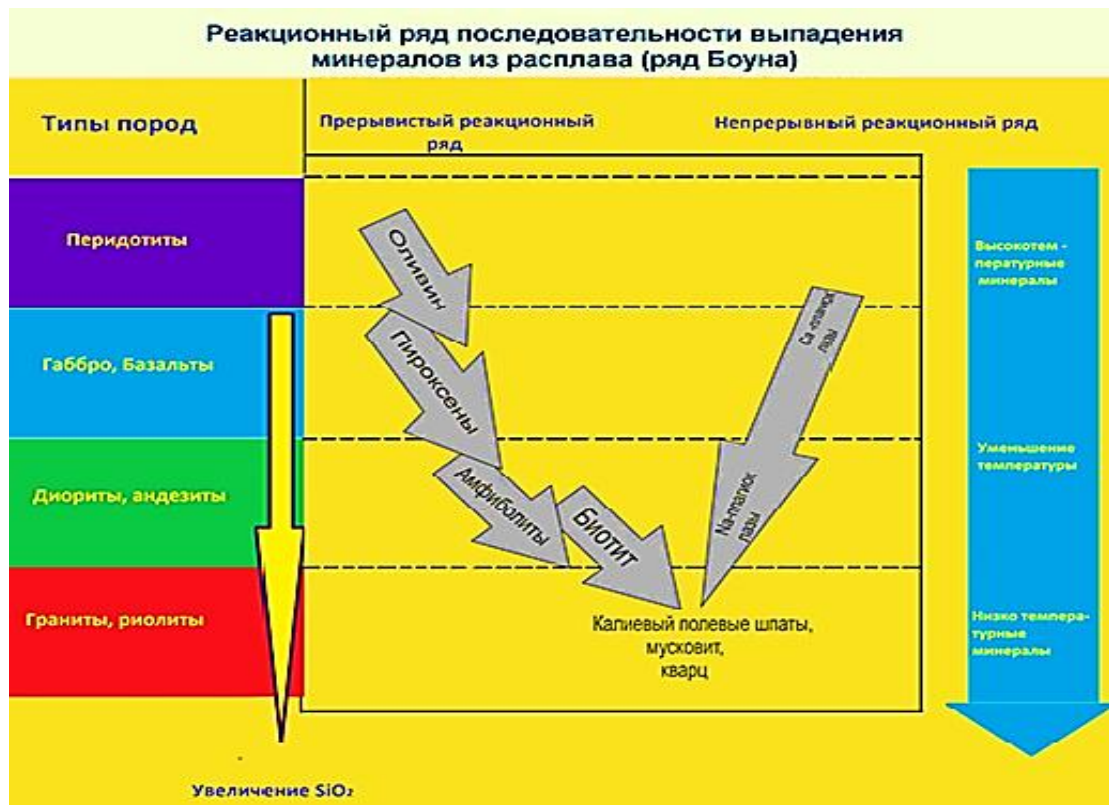


Рис.96

При понижении температуры ранее выделившийся минерал вступает в реакцию с оставшимся расплавом и превращается в более низкотемпературный минерал. В левом ряду минералообразование идет скачкообразно; в правом ряду изменение состава совершается непрерывным замещением. Темные и светлые минералы, расположенные на одной высоте, обычно выделяются вместе.

Пироксены и основные плагиоклазы типичны для основных пород, амфиболы и средние плагиоклазы-для средних, а ассоциация-биотит, кислый плагиоклаз, калиевый полевой шпат и кварц-для кислых.

Химический и минеральный состав магматических пород нельзя считать случайным. Имеется закономерность в ассоциации минералов, вытекающая из законов управляющих кристаллизацией магмы.

❖ **Главнейшие закономерности парагенезиса минералов в изверженных породах:**

◆ 1. Кварц не может быть вместе фельдшпатоидами (нефелином и лейцитом).

- ◆ 2. Оливин почти не встречается с кварцем, калиевым полевым шпатом и кислым плагиоклазом.
- ◆ 3. Щелочные пироксены и амфиболы находятся обычно с нефелином и очень редко с кварцем.
- ◆ 4. Санидин находится только в эффузивных породах и некоторых других.

Классификация, форма залегания, структура, текстура. Структуры и текстуры магматических горных пород.



Рис. 97. Мелкозернистая структура в гранит - аплите, жильная порода (контактная зона) светлый-полевой шпат (кислый плагиоклаз), сероватый-кварц.

Особенности строения горных пород, зависящие от условий образования, выражаются в структурных и текстурных признаках.

Структура определяется степенью кристалличности и размерами зерен, а также формой и взаимными отношениями составных частей породы (минералов или минералов и вулканического стекла).

Текстура - совокупность признаков, определяемых расположением и распределением составных частей породы относительно друг друга в занимаемом ими

пространстве.

Виды текстур: *однородная или массивная, линейная, полосчатая, пятнистая, пористая, миндалекаменная* (рис. 98).



Рис. 98



Рис.99. Крупнозернистая структура в рапакиви (гранит)

Структура. Понятие «структура» определяется: 1) степенью кристалличности, 2) величиной составных частей – абсолютной и относительной, 3) формой составных частей пород.

По степени кристалличности различают три структуры – *полнокристаллическую, полукристаллическую и стекловатую.*



Рис. 100

При *полнокристаллической* структуре горная порода целиком состоит из кристаллов и не содержит вулканического стекла.

При *полукристаллической* структуре горная порода целиком состоит из кристаллов и из стекла. При *стекловатой* структуре горная порода целиком состоит из вулканического стекла.

По абсолютной величине составных частей выделяется две группы структур - *явнокристаллические* и *афанитовые, скрытозернистые*. В явнокристаллических структурах отдельные зерна видны невооруженным глазом.

❖ По крупности зерна среди них выделяют:

- ◆ *крупнозернистую*, структуру (диаметр зерен больше 5 мм);
- ◆ *среднезернистую* (диаметр зерен-1-5 мм) *мелкозернистую* (диаметр зерен менее 1 мм).

В *скрытокристаллических (афанитовых) структурах* составные части не видны невооруженным глазом.

Различают *порфирированные* и *порфировые* структуры.

Порфирированные структуры обусловлены наличие относительно крупных кристаллов на фоне полнокристаллической основной массы породы. Порфирированная структура, наиболее типичная для пород, кристаллизующихся в гипабиссальных условиях, часто наблюдается в гранитоидах (рис.101).

Порфировая структура она также



Рис. 101. Порфирированная структура в порфирированном граните. Порфирированные включения представлены калишпатом -светло-серый.



Рис. 102. Порфировая структура в трахите. Белые включения - санидин, сероватый - калишпат, черный - биотит.

характеризуется наличием вкрапленников, или порфировых выделений, среди афанитовой или скрытозернистой структуры. Порфировая структура присуща эффузивным породам (рис.102).

Практическая работа 13

Изучение структур и текстур магматических горных пород

Цель: 1. изучить структуры и текстуры магматических горных пород с целью определения магматических горных пород;

2) уметь отличать интрузивные породы от эффузивных в зависимости от их структурных особенностей.

Оборудование: учебная коллекция магматических горных пород с различными структурами и текстурами.

Порядок выполнения работы

1. Разделить магматические породы на интрузивные (граниты, габбро, дуниты, перидотиты, диориты, сиениты), имеющие зернистую структуру и массивную текстуру, и эффузивные аналоги, выше перечисленных пород (липариты, кварцевые порфиры базальты, андезиты, трахиты), имеющие неполнокристаллическую скрытозернистую структуру и массивную пористую текстуру.

2. Разделить магматические горные породы по кислотности (кислые, средние, основные, ультраосновные, щелочные), исходя из знаний минерального состава в зависимости от процентного содержания SiO_2 :

- ◆ кислые светлые (гранит, пегматит, липарит);
- ◆ средние - серую окраску (сиениты, трахиты, диориты, андезиты);
- ◆ основные - темно-серые, темно-зеленые (габбро, базальты);
- ◆ ультраосновные - темно-зеленые до черных (дунит, перидотит, пироксенит).

Форма залегания магматических горных пород.

Зависит от глубины застывания магмы, магматических тел и их взаимоотношения с вмещающими породами.

Форма залегания интрузивных горных пород

К числу согласных интрузий относятся: интрузивные залежи (силлы), лакколиты, лополиты, к числу несогласных – батолиты, штоки, жилы, дайки, некки.

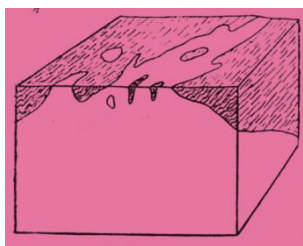


Рис.103. Батолит

Жилы, дайки и некки типичны для полуглубинных пород.

Несогласные тела (*batos*, греческая - глубина). *Батолитами* называют крупные интрузивные тела, площади которых, по своим размерам могут достигать очень больших величин $> 100\text{км}^2$ (рис.103). Штоки - площадь обычно не превышает нескольких квадратных километров. $< 100\text{ км}^2$.

- ❖ К группе согласных интрузивов относятся силы, лакколиты, лаполиты и факолиты (рис. 104):

◆ *Силл* - пластообразная интрузивная залежь, размеры которой могут варьировать в широких пределах, но их мощность всегда значительно уступает ширине и длине (рис. 104).

◆ *Лакколиты* представляют собой караваяобразные или грибообразные тела, имеющие плоское основание и куполообразный верх.

◆ *Лополитами* называют различных размеров интрузии, имеющие форму чаши или плоского блюда.

◆ *Жилы* имеют незначительную мощность, плитообразные тела, образованные выполнением трещин в земной коре магматическими горными породами.

◆ *Факолит* – линзовидное тело, залегающее в ядре антиклинальной или синклинальной складки (рис. 104).

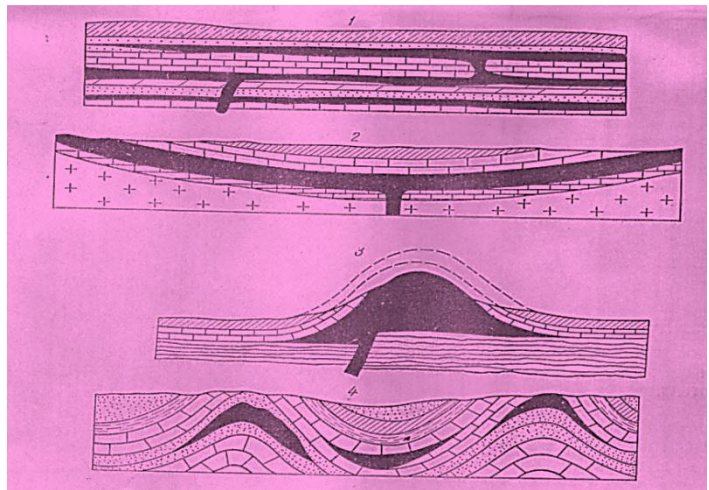


Рис.104. Распространенные инъекционные тела: 1-силы; 2-лополит; 3-лакколит; 4-факолиты.

Форма залегания эффузивных горных пород

Форма тел эффузивных пород зависит от характера вулканического извержения, от степени вязкости лавы и от рельефа земной поверхности, на которую происходило излияние.

❖ Выделяют следующие две группы эффузивных тел:

- ◆ 1) **тела, связанные с излияниями по трещинам** - покровы, потоки, дайки;
- ◆ 2) **тела, возникшие в результате деятельности вулканов** - потоки, купола, конусы, некки (жерловины).

Покров - плоское тело, имеющее большое площадное распространение и сравнительно небольшую мощность, но большую площадь, характерны для основных лав.

Потоки - представляют собой плоские тела, вытянутые в направлении течения лавы. Потоки вязких кислых лав мощные, короткие; потоки основных лав значительно меньшей мощности, но большей протяженности.

Купол-караваяобразное, более или менее конусовидное, тело, образованное лавой среднего или кислого состава, выжатой из кратера вулкана. Образование куполов происходит и в настоящее время.

Конус-образуется вокруг кратера вулкана в результате неоднократного излияния вязкой лавы,

Дайки и некки-формируются в результате заполнения лавой жерла вулкана (некк) или подводящей трещины (дайка). Секущие жилы,

называемые иногда дайками, располагается в вертикальном, или близком к вертикальному положению.

Вулканический некк (жерловина) - вертикальное цилиндрическое неправильное тело, образующееся в результате застывания магмы в жерле вулкана.

- ❖ Эффузивные породы разделяются на две категории по степени изменения:
- ◆ сильно измененные породы носят название *палеотипных* (иногда их называют также *палеовулканическими*);
- ◆ слабо измененные – *кайнотипных (неовулканических)*.

2.3. Характеристика магматических горных пород. Ультрамафиты (ультраосновные), мафиты (основные). *Группа ультраосновных горных пород (ультрабазитов, гипербазитов).*

Подгруппа дунита – перидотита - пироксенита.

К ультраосновным породам относятся темноокрашенные породы содержащие в себе менее 45% кремнезема. Основными глубинными представителями их являются перидотиты и пироксениты. Реже встречаются дуниты, и еще реже - излившиеся их аналоги; для всех ультраосновных пород характерно то, что они состоят почти из одних темных минералов, главным образом пироксенов и оливина.

Дунит. Перидотит. Пироксенит

Название: дунит - по г. Дэн (Dun), Новая Зеландия; перидотит.

Характерные признаки. Структура мелко - или средне-зернистая, реже крупнозернистая. Текстура массивная, часто афанитовая (плотная, «сливная»). **Минеральный состав:** исключительно из темноцветных магнезиально-железистых минералов (оливин и пироксены, реже встречаются амфиболы и биотит). *Кварц отсутствует.* Плаггиоклаз (основной) редок. **Цвет** черный, иногда с зеленоватым оттенком. В зависимости от преобладающего минерала различают: дунит (**оливинит**-100-80 % оливина, перидотит-70-30% оливина и соответственно 30-70% пироксенов, пироксенит -10-0% оливина и 90-100% пироксенов. Излившимися аналогами интрузивных ультраосновных пород являются **пикриты**, а также близкие к ним породы - алмазоносные **кимберлиты**.

Изменения выражаются в появлении серпентина, уралита (псевдоморфоз роговой обманки по пироксену), хлорита, эти минералы придают породам зеленый оттенок и снижают их твердость (нож или игла оставляют царапину).

Обычными формами залегания ультраосновных глубинных пород являются мелкие интрузивные тела - дайки и жилы.

Диагностика. Темная окраска, отсутствие в составе полевого шпата и кварца, высокий удельный вес.

Практическое значение. С дунитами и перидотитами связаны многочисленные м-ния платины, никеля и кобальта, платиноносных россыпей. **Кимберлит** - ультраосновная жильная порода, залегающая в виде

трубообразных жерловин (*трубок взрыва*) и состоящая из оливина, пироксенов, слюды, магнетита, граната-пироба, ильменита, апатита и др., содержит алмазы.

Таблица 26

Группы	Ультраосновные, содержание $\text{SiO}_2 \leq 45\%$	
Подгруппы	интрузивные: дунит-перидотит –пироксенит	эффузивные пикрит
Цвет	темно-зеленый до черного с зеленоватым оттенком	
Текстура	массивная, часто афанитовая	
Структура	полнокристаллическая: мелко-средне-крупнозернистая, равномернозернистая	порфировая, скрытозернистая, часто стекловатая

Группа основных горных пород.

Подгруппа габбро.

Содержание кремнезема 45-56%. Минеральный состав пироксены и плагиоклазы. Характерно отсутствие кварца. В небольшом количестве могут присутствовать оливин, роговая обманка, биотит. Цвет темно-зеленый до черного. Подгруппа включает несколько разновидностей интрузивной породы, называемой габбро, эффузивный аналог габбро-базальты. Ниже приводится их обобщенное описание.

Габбро.

Характерные признаки. *Структура* кристаллически-зернистая, мелко- средне- и крупнозернистая. По *текстуре* выделяют следующие разновидности: *массивное габбро* однородно окрашенное, с равномерным распределением всех минералов; *полосчатое габбро* с параллельным чередованием светлых (существенно плагиоклазовых) и темных (с высоким содержанием пироксенов) полос или вытянутых скоплений темноцветных минералов.

Состав: серый и светло-серый плагиоклаз (от лабрадора до битовнита) и черный иногда бронзовым оттенком пироксен. Разновидность - *лабрадорит*, почти 100% состоит из плагиоклаза – лабрадора. *Кварца нет*. Цвет обычно темно-серый до черного, иногда с зеленоватым оттенком.

Условия образования и нахождения. Формы залегания-дайки, штоки, интрузивные залежи, лакколиты, лополивы.

Диагностика. Темная окраска; в составе породы - ассоциация плагиоклаза и пироксена или роговой обманки при отсутствии кварца и ортоклаза.

Практическое значение. Применяется как строительный камень. Кроме того, с габбровыми породами связаны месторождения многих полезных ископаемых: кобальта, никеля, меди, металлов группы платины, титана, ванадия.



Рис. 105. Базальт, пузыристая текстура

Базальт

Характерные признаки (рис. 105). *Структура* порфировая или афировая. Основная масса однородная скрытокристаллическая и стекловатая. *Текстура* массивная, реже пористая, пузыристая, шлакообразная: крупные пустоты составляют основной объем породы. Цвет темно-серый, почти черный, вязкий и твердый - порода, с трудом царапающиеся стальной иглой, тяжелые (уд. вес близок к 3).

Минеральный состав аналогичен габбро – плагиоклаз, авгит, оливин.

Условия образования и нахождения. Формы залегания - потоки и покровы, Отмеченные породы и палеотипные аналоги базальтовых пород - *диабазы*.

Диагностика. Для базальта-черная окраска, прочность и вязкость породы, столбчатая шестигранно-призматическая отдельность.

Практическое значение: используется базальтовое литье, делают брусчатку для мощения улиц. С траппами связаны месторождения графита, самородной меди, медно-никелевых сульфидных руд, источник получения самоцветных камней-агатов, опалов, сердоликов.

Таблица 27

Группа	Основные, содержание	SiO ₂ >45-56%
Подгруппа	интрузивные габбро	эффузивные базальт-диабаз
Цвет	темно-серый, зеленовато-серый. вулканические стекла (тахилиты) черные, темно-бурые	
Текстура	массивная, иногда такситовая или параллельная	массивная или флюидальная, часто афанитовая, иногда пузыристая, шлаковая, миндалекаменная
Структура	полнокристаллическ.: мелко- средне- и крупнозернистая; иногда офитовая	афировая или порфировая (порфировидная), часто фойтовая и т.п., иногда стекловатая

Кислые, средние горные породы

Группа средних горных пород с плагиоклазами

Подгруппа диорита

К ним относятся изверженные горные породы, содержащим 52—65% кремнезема. Основными представителями этой группы являются диориты с излившимися аналогами - андезитами и порфиритами.

Диорит

Название от греческого - различаю.

Характерные признаки. *Структура* кристаллически-зернистая, чаще всего мелкозернистая, редко порфириовидная. *Текстура* массивная или полосчатая, обусловленная течением магмы. Состоит из плагиоклаза (50—60 %) и роговой обманки (30—35 %). Иногда появляются пироксен или биотит. Возможно невысокое (до 10 %) содержание кварца. *Цвет* серый, темно-серый до черного, иногда с зеленоватым оттенком за счет продуктов изменения.

Условия образования и нахождения. Образует штоки, лакколиты, жилы и др.

Диагностика. По внешним признакам похож на некоторые разновидности пород подгруппы габбро, но в диоритах содержание темноокрашенных минералов - 30 – 35 %, и они предоставлены в основном роговой обманкой, а в габбро их обычно от 30 до 50 %, и это главным образом пироксен.

Практическое значение. Используется как материал для облицовки зданий. Со многими из диоритов (и с кварцевыми диоритами) связаны месторождения ряда ценных рудных полезных ископаемых: железа, свинца, цинка, меди и иногда золота.

Подгруппа андезита – порфирита

Подгруппа включает излившиеся породы среднего состава, являющиеся кайнотипными эффузивными аналогами диоритов.

Андезит

Название-по горной цепи Анд в Южной Америке.

Характерные признаки. *Структура* порфириовая или афировая с афанитовой основной массой. *Текстура* массивная, однородная или пористая, пузыристая, шлаковая. Состоит из нераскристаллизованного вулканического стекла с вкрапленностью мелких зерен магнетита. Порфириовые вкрапления представлены или темноцветными минералами, или плагиоклазом. *Кварц не характерен*. Цвет серый до темно-серого, в типичных разностях несколько более светлый, чем у базальта.

Условия образования и нахождения. Слагают лавовые потоки, дайки, интрузивные залежи. Андезитовая магма отличается большей вязкостью и образует экструзивные формы - купола, конусы.

Диагностика. В андезитах в отличие от типичных базальтов порфириовые вкрапленники представлены обычно как темноцветными (пироксен, роговая обманка), так и светлыми минералами (плагиоклаз). Андезиты и порфириты в целом несколько светлее, чем базальты и диабазы. От кислых эффузивов отличаются отсутствием кварца и более темной окраской. Характерно широкое развитие шлаковых и миндалекаменных разностей.

Практическое значение. Андезиты используются в промышленности в качестве кислотоупорных материалов (каменное литье, плиты и др.). К андезитам приурочены некоторые типы гидротермальных месторождений золота и серебра, связанные с сульфидами железа, цинка, свинца.

Средние породы с калиевыми полевыми шпатами

Сиенит

Характерные признаки. *Структура* полнокристаллическая, равномернозернистая или порфириовидная. *Текстура* массивная. Состоит из полевых шпатов (ортоклаза или микроклина и плагиоклаза) – 80 - 85% и темноцветных минералов (пироксена, роговой обманки, биотита) – 10 - 20%. Содержание кварца 0 - 5 %. При повышении содержания кварца - переход через *граносиениты* (10 – 20% кварца) к граниту. Акцессорные минералы - сфен, апатит, магнетит. Цвет розовый, красный, светло-серый, белый.

Условия образования и нахождения. Залегают в краевых зонах гранитных массивов, реже интрузивных тел: штоков, жил. Известково-щелочные сиениты образуют лакколиты или слагают краевые зоны массивов нефелиновых сиенитов. Образуется при кристаллизации магмы, богатой K_2O и бедной SiO_2 .

Диагностика. Отличие от гранита: отсутствие или очень низкое содержание кварца, повышенное содержание темно - цветных минералов (до 20 %).

Практическое значение. Строительный камень, с сиенитами связаны богатые месторождения железных руд: образование ряда крупных месторождений магнетита, марганцевых руд, медных руд и золота.

Трахиты и ортофиры.

Трахиты-кайнотипные излившиеся аналоги сиенитов, ортофиры-палеотипные. Название с греческого - шероховатый, по характеру поверхности типичных трахитов.

Характерные признаки. *Структура* порфириовая. Основная масса стекловатая или скрытокристаллическая, микрозернистая. *Текстура* полосчатая, флюидальная, слегка пористая. *Минеральный состав:* полевой шпат, кварц встречается только в миндалинах. *Цвет* белый, светло-серый, желтоватый, розоватый. Порода твердая, крепкая, с шероховатым неровным изломом.

Условия образования и нахождения. Залегают в виде куполов, лакколитов, менее характерны небольшие потоки и покровы. Измененные трахиты носят название *трахитовых порфиров*, или *ортофиров*. Эти палеотипные породы отличаются от кайнотипных трахитов яркой окраской (красной, зеленой, бурой, коричневой) и меньшей твердостью

Диагностика. Отсутствие кварца во вкрапленниках. Для трахита: светлая окраска, характерная шероховатая поверхность и специфическая флюидальная текстура. Для ортофира: яркие цвета, состав вкрапленников (только калиевый полевой шпат), присутствие вторичных минералов.

Практическое значение. Строительный камень, окрашенные ортофиры используются как декоративный материал и поделочный камень.

Таблица 28

Группа	Средние, содержание	$SiO_2 > 56\% - 65$
Подгруппа	интрузивные диорит	эффузивные: андезит-андезитовый порфирит

Цвет	серый, зеленовато-серый, темно-серый, вулканические стекла черные, темно-бурые	
Текстура	массивная, иногда такситовая	массивная, иногда флюидальная, часто афанитовая, шлаковая, миндалекаменная
структура	полнокристаллическая: мелко-, средне- крупнозернистая, обычно равномерно-зернистая	порфировая или афировая, часто полностью или частично стекловатая

Группы кислых горных пород.

Подгруппа гранатоидов.

Среди глубинных горных пород кислые породы, содержащие в своем составе от 65 до 75% кремнезема, являются наиболее распространенными светлоокрашенные породы.

Основными глубинными представителями этой группы являются граниты. Их излившиеся аналоги: кайнотипные - липариты и палеотипные - кварцевые порфиры.

Гранодиорит

Если *плаггиоклаз преобладает над калиевым полевым шпатом*, породу называют *гранодиоритом*. Породы, состоящие из кислого плаггиоклаза и кварца, или содержащие очень небольшую примесь ортоклаза, называют *кварцевыми диоритами*.

Характерные признаки. *Структура* равномернозернистая или порфировидная; *текстура* обычно массивная. *Минеральный состав*: полевые шпаты – 65 - 70% (плаггиоклаз количественно преобладает над ортоклазом или микроклином¹), кварц – 20 - 25%, . темноцветные минералы – 5 - 10% - (роговая обманка, менее биотит). *По цвету* подобен граниту (см. ниже), но более темный.

Условия образования и нахождения. Образует батолиты, штоки и интрузивные массивы иной формы. Типичная магматическая глубинная порода.

Диагностика. Похож на гранит. Отличается более темной окраской, пониженным содержанием кварца и повышенным - темноцветных. Диорит в отличие от гранодиорита еще более темно окрашен и почти не содержит или вообще лишен кварца.

Практическое значение. Используется как естественный строительный или облицовочный камень.

Гранит.

Название от латинского *granum* – зерно.

Характерные признаки. *Структура*



Рис. 106. Гранит рапакиви, текстура массивная, крупнозернистая структура. Светлый-полевой шпат, серый-кварц, черный-биотит.

кристаллически-зернистая, в зависимости от размера зерен полевых шпатов и кварца мелкозернистая (1-2 мм), среднезернистая (3-5мм) или крупнозернистая (до 1 см и более). Полевые шпаты – 60 - 65% (ортоклаз и плагиоклаз, причем первый преобладает), кварц – 25 - 30 % и темноцветные минералы – 5- 10 % (главным образом биотит, значительно реже роговая обманка). Цвет серый, желтоватый, розовато-серый до розового и мяско-красного.

По содержанию и характеру темноцветных минералов выделяются следующие разновидности гранита: *амазонитовый* (кпш - амазонит) *зеленоватый*, *аляскит* (не содержащий темноцветных); *лейкократовый гранит* с пониженным содержанием темноцветных; *нормальный биотитовый гранит* (наиболее обычный; темноцветные представлены биотитом, их содержание 6 - 8%); *двуслюдяной гранит* (с биотитом и мусковитом); По структурно-текстурным особенностям различают разновидности: *порфировидный гранит* - содержит удлиненные либо изометричные вкрапленники, более или менее существенно отличающиеся по размерам от минералов основной массы (иногда достигают 5-10 см) и обычно представленные ортоклазом или микроклином и кварцем; *пегматоидный гранит* - равномернозернистая гранитная порода с размером выделений полевого шпата и кварца 2-3 см; *рапакиви* или *финляндский гранит* (рис. 106)-порфировидный гранит, в котором обильные округлые вкрапленники красного ортоклаза величиной 3-5 см окружены каймой серого или зеленовато-серого олигоклаза, а основной массой служит агрегат зерен ортоклаза, плагиоклаза, кварца, биотита и роговой обманки; *гнейсовидный гранит* - равномерно - и обычно мелкозернистый гранит, в котором наблюдается общая грубо - параллельная ориентировка чешуек слюды или призматических зерен роговой обманки.



Рис.107.Среднезернистая структура в амазонитовом граните



Рис.108. Письменная (графическая структура). Серые клиновидные вкрапления кварц, серый-полевой шпат

Условия образования и нахождения. Формы залегания разнообразны: интрузивные тела батолиты, кольцевые дайки, лакколлиты, штоки.

Гранит - наиболее широко распространенная в земной коре, изверженная порода.

Диагностика. От других интрузивных пород отличается высоким содержанием кварца и небольшим - темноцветных минералов (преимущественно биотита).



Рис. 109. Скрытозернистая структура в липарите. Светлый-калишпат, серые-- кварц, черный-биотит.

Практическое значение. Используется в строительном деле, скульптуре, стекольное и керамическое сырье. С гранитами связано месторождения олова, вольфрама, молибдена, висмута, тантала, бериллия и ряда других металлов, золота, меди, свинца, висмута, сурьмы, ртути, а также нерудных ископаемых-слюд, флюорита, барита.

Кислые эффузивные породы

Липарит. Эффузивный аналог гранита.

Название - по Липарским островам в Италии, близ Сицилии. Синоним - *риолит*.

Характерные признаки. Порода плотная или пористая, с порфировой *структурой* и полосатой флюидальной *текстурой* (следствие течения лавы). Основная масса скрытокристаллическая или стекловатая. Порфировые вкрапления представлены полевыми шпатами: плагиоклазом и санидином (бесцветным и обычно стеклянно-прозрачным), кварцем. Цвет белый, желтоватый, светло-серый, иногда розоватый. Разновидность *фельзит*-без кварцевых вкраплений.

Условия образования и нахождения. Залегают в виде куполов, небольшие потоки и покровы. Измененные (палеотипные) разности носят название *липаритового (риолитового), кварцевого или фельзитового порфира*.



Рис. 110. Стекловатая структура в обсидиане (вулканическое стекло).

Диагностика. Светлая окраска, почти постоянное присутствие вкраплений кварца и санидина.

Практическое значение. Строительный камень, как декоративный материал.

Обсидиан.

Название от лат. *lapis Obsianus*-камень Обсиуса, по имени римлянина, который впервые вывез породу из Эфиопии.

Характерные признаки. Структура стекловатая. Текстура однородная или пятнистая, часто полосчатая. Обсидиан - кислое вулканическое стекло, содержащее более 70 % SiO_2 и не более 1 % H_2O . Цвет серый, черный, красновато-бурый. Блеск стеклянный. Излом раковистый.

Разновидности - пехштейн и витрофир. *Пехштейн*, или *смоляной камень*, - вулканическое стекло с содержанием воды 1-10%, темной окраской и смоляным блеском. *Витрофир* (от лат. vitrum - стекло)- кислое



Рис.111.Витрофирная структура в витрофире, черный-вулканическое стекло, желтоватые вкрапления-калишпат (витрофир)

вулканическое стекло, содержащее редкие порфиновые выделения кварца, биотита, полевых шпатов.

Условия образования и нахождения. Формы залегания: небольшие потоки, купола.

Диагностика. Определяется по высокой твердости, яркому блеску, стекловидному облику, раковистому излому.

Практическое значение. Используются как поделочный и декоративный камень.

Пемза.

Название от лат. *pumex* - пена.

Характерные признаки. *Структура* стекловатая. *Текстура* пузыристая, губчатая. *Цвет* белый, светло-серый, желтоватый, иногда до черного. Пористость ~ 80%, плавает на воде.

Условия образования и нахождения. Образуется при бурном вскипании лавы вследствие выделения вулканических газов и паров при извержении.

Диагностика. Используется как абразивный материал, также в быту.

Таблица 29

Группа	Содержание $\text{SiO}_2 \geq 70\%$	
подгруппа	интрузивные: гранит – гранодиорит	эффузивные: липарит (риолит) кварцевый порфир
Минеральный состав: Главные породообразующие минералы	кислый плагиоклаз (альбит-олигоклаз, олигоклаз, до кислого андезина), калиевый полевой шпат, кварц, биотит, реже - роговая обманка, в щелочных гранитах щелочные пироксены (эгирин-авгит, эгирин) и амфиболы(рибекит, арфведсонит)	
Акцессорные минералы	магнетит, апатит, сфен, циркон, иногда ильменит, тантало-ниобаты, касситерит, топаз, флюорит и др.	
Вторичные	мусковит, серицит, хлорит, рутил, иногда литиевые слюды и др.	
Цвет	светло-серый, желтоватый, розовый, мясо-красный, белый, иногда светло-зеленый и др вулканические стекла (обсидианы) черные или бурые	
Текстура	массивная, иногда параллельная (гнейсовидная)	массивная, часто афанитовая или флюидальная вулканические стекла (обсидианы) черные или бурые
Структура	полнокристаллическая: мелко-средне- и крупнозернистая или порфировидная	порфировая или афировая, часто стекловатая или фельзитовая

Щелочные и жильные горные породы

Жильные горные породы

Пегматиты - в отличие от аплитов, характеризуются очень крупнозернистой (гигантозернистой) структурой и своеобразным прорастанием различных минералов. Так, наблюдается прорастание полевых шпатов кварцем.

Гранитный пегматит.

Название от греч. *πηματος* - крепкая связь, по свойственным пегматитовой структуре тесным взаимопрорастаниям кварца и полевого шпата.

Характерные признаки. Главные типы *структур*: гранитовая, письменная (собственно пегматитовая), блоковая. Пегматит гранитовой структуры - это крупно - или грубозернистая гранитная порода. В целом они образуют рисунок, несколько напоминающий древние письма (отсюда названия структуры и самой породы: письменный гранит, еврейский камень). Пегматит блоковой структуры характеризуется относительно крупными (блоками) полевого шпата и кварца размером обычно от 10 до 30 см и более, часто с крайне неравномерным их распределением. *Текстура*: массивная. Некоторые пегматиты содержат пустоты (занорыши) с выросшими на их стенках кристаллами топаза, берилла и горного хрусталя. *Минеральный состав*: главные минералы - полевые шпаты и кварц, второстепенные - биотит, мусковит, гранат, турмалин и др. Широко известны пегматиты, содержащие сподумен, лепидолит и другие минералы лития, различные разновидности берилла, полихромный и розовый турмалин, поллуцит, тантало-ниобаты и др. *Цвет* пегматита белый, розовый, серый, желтоватый, реже зеленый (*амазонитовые пегматиты*).

Условия образования и нахождения. Залегает в виде линз, жил и даек в гранитах или в метаморфических породах.

Диагностика. Хорошо определяются по крупно- и гиганто-зернистой структуре, наличию графических разностей.

Практическое значение. Пегматиты различных типов служат важнейшими источниками, керамического сырья, пьезооптических минералов (горного хрусталя, флюорита), слюды (мусковита), самоцветов, редких металлов (лития, тантала, цезия, бериллия и др.).

Аплит.

Название от греч. *απλος*- простой.

Характерные признаки. *Структура* равномерно- мелкозернистая (размер зерен до 1 - 2 мм). *Текстура* однородная (массивная) или полосчатая. *Минеральный состав*: полевых



Рис. 112. Пегматит. Гигантозернистая структура. Желтоватый-калишпат, бесцветный мусковит.



Рис. 113. Гранит - аплит

шпатов (микроклин и плагиоклаз) - около 65 % и кварца - 30%. Темноцветные минералы (биотит, роговая обманка, пироксены, магнетит и т. д.) наблюдаются в ничтожных количествах либо отсутствуют вовсе. Обычные акцессорные минералы - мелкочешуйчатый мусковит, розовый гранат и турмалин. *Цвет* белый, желтоватый, розоватый.

Условия образования и нахождения. Залегает в виде жил и даек. Аплит-продукт быстрой кристаллизации остаточного гранитного расплава, приобретающий мелкозернистую структуру вследствие резкого падения давления и потери летучих соединений, в обстановке движений и трещинообразования в земной коре.

Диагностика. Отличие от аляскистов-жильная форма залегания и мелкозернистая структура; отсутствие цветных минералов.

Группа собственно щелочных горных пород.

Подгруппа нефелинового сиенита-фоййита.

К этой группе относятся породы с повышенным содержанием щелочей. Глубинными представителями их являются щелочные сиениты и некоторые другие породы. Все они характеризуются отсутствием известково-натриевых полевых шпатов и содержанием, таких, как нефелин, эгирин, сфен, циркон, эвдиалит. Излившиеся аналоги нефелиновых сиенитов – фонолиты.

Нефелиновый сиенит.

Назван по составу сиенит, содержащий нефелин.

Характерные признаки. *Структура* полнокристаллическая, средне-, реже крупнозернистая. *Текстура* массивная, иногда полосчатая, с параллельным расположением табличек полевого шпата и игольчатых минералов - эгирина и др. *Минеральный состав:* полевые шпаты (65 - 70%) - ортоклаз или микроклин и альбит (известково-натровый плагиоклаз редок); нефелин (около 20 %); темноцветные минералы (10 - 15 %) - преимущественно щелочные пироксены (эгирин, авгит и др.) и амфиболы, иногда железистый биотит (лепидомелан). Акцессорные минералы: апатит, сфен, циркон, эвдиалит и др. *Цвет* светло-серый с зеленоватым оттенком. В зависимости от содержания темноокрашенного минерала различают разновидности нефелиновых сиенитов: миаскит-биотитовый нефелиновый сиенит, фоййит -роговообманковый или пироксеновый нефелиновый сиенит, иногда с биотитом, и хибинит-эгириновый нефелиновый сиенит.

Условия образования и нахождения. *Формы залегания:* штоки, лакколиты, интрузивные тела, жилы и др., на выветрелой поверхности нефелиновых сиенитов характерны углубления - («оспинки»), образующиеся при разрушении нефелина, легче поддается химическому выветриванию.

Диагностика. Светлая окраска, ассоциация полевых шпатов и нефелина, отсутствие кварца. **Практическое значение.** При содержании Al_2O_3 более 23% руда на алюминий, сырье для стекольного производства, способствует месторождениям апатита, графита.

Практическая работа 14

Изучение и описание магматических горных пород.

Цель: определить и описать различные типы магматических горных пород.

Оборудование: рабочая коллекция магматических горных пород, таблицы классификации магматических пород (табл.25, 26, 27, 28, 29), увеличительные стекла (лупы 7*).

Описание горных пород по следующим данным:

1. Название горной породы.
2. Цвет.
3. Минеральный состав.
4. Структура и текстура.
5. Форма залегания.

Осадочные и вулканогенно-осадочные породы.

Осадочные, горные породы – это породы, образовавшиеся в верхних частях земной коры и на ее поверхности. Они формируются из осадков, возникших в результате переноса и отложения в водной и воздушной среде продуктов физического, химического и биологического выветривания. Таким образом, для их образования характерны условия, свойственные верхним частям земли, т.е. экзогенные (вода, атмосфера, тепло химических реакций, протекающих на поверхности земли, деятельность организмов, и т.д.).

2.4. Условия образования, основные характеристики и классификация осадочных горных пород.

Образование осадков, из которых возникают осадочные породы, происходит на поверхности земли и в водных бассейнах в результате различных геологических процессов.

В самом общем виде процесс образования осадочных пород можно представить в виде следующей схемы: возникновение исходных продуктов путем разрушения материнских пород и другими способами (например, выбросы вулканов), перенос осадочного материала с частичным осаждением его на путях переноса, осаждение осадочного вещества в водных бассейнах, возникновение и преобразование осадков и переход их в осадочные породы.

Таким образом, возникновение и изменение осадочных пород представляют собой ряд последовательных закономерных процессов, происходящих в различных термодинамических и физико-химических условиях, которые определяют их строение и минералогический состав.

Осадочные горные породы подразделяются на пять подгрупп по способу образования:

1) механические или *обломочные* породы – продукты преимущественно физического выветривания материнских пород и минералов с последующим переносом материала и его отложением в других участках;

2) *коллоидно-осадочные* породы – результат преимущественно химического разложения с переходом вещества в коллоидальное состояние (коллоидные растворы) и остаточные породы кор выветривания;

3) *хемогенные* породы – осадки, выпадающие из водных, преимущественно истинных, растворов – вод морей, океанов, озер и других бассейнов химическим путем, или пересыщения растворов, вызванного различными причинами;

4) *биохимические* породы, включающие породы, образовавшиеся в ходе химических реакций при участии микроорганизмов, и породы, которые могут иметь двойное происхождение: химическое и биогенное;

5) *органогенные* породы, образовавшиеся при участии живых организмов; отчасти эти породы являются непосредственными продуктами жизнедеятельности растительного и животного мира.

Условия образования осадочных горных пород.

Формирование осадочных пород происходит в поверхностной зоне Земли, в так называемой зоне осадкообразования, охватывающей верхнюю часть литосферы, гидросферу и нижние части атмосферы. Можно выделить следующие более или менее четко выраженные стадии: 1) выветривание, 2) перенос и отложение продуктов выветривания, 3) диагенез и 4) эпигенез (катагенез, метагенез).

Выветривание

Выветриванием называют процессы разрушения горных пород на поверхности Земли и в ее верхнем слое. Главными факторами выветривания являются различные атмосферные агенты и жизнедеятельность организмов. В результате выветривания возникает материал, за счет которого образуются осадочные породы. Различают два типа выветривания - физическое и химическое.



Рис.114

Физическое выветривание. В результате физического выветривания происходит механическое раздробление массивной породы на обломки различных размеров. Главными факторами этого процесса являются резкие колебания температуры, механическое воздействие воды, льда и ветра.

Химическое выветривание. Процессы, протекающие при химическом выветривании, приводят к изменению химического и минерального состава пород. Химическое выветривание обусловлено наличием в зоне осадкообразования кислорода, воды и углекислоты, присутствием кислорода воздуха, а также кислорода, растворенного в грунтовых водах, связаны окислительные процессы. Действие воды как фактора химического выветривания значительно усиливается в том случае, когда она содержит в растворе углекислоту. Вода, насыщенная углекислотой, разлагает силикаты. В результате этого процесса образуются глинистые минералы и карбонаты.

Большую роль при химическом выветривании играют организмы. В процессе их жизнедеятельности образуется углекислый газ и ряд других соединений, способствующих химическому разрушению пород.

В результате воздействия рассмотренных выше агентов химического выветривания происходит окисление минералов, их гидратация (т. е. образование минералов, более богатых водой), а также разложение минералов сложного состава с образованием новых минеральных видов и выносом в растворенном состоянии различного рода соединений.

Седиментогенез - процессы переноса и отложения осадочного материала неразрывно связаны и составляют единую стадию осадкообразования - седиментогенез. Преобладающая часть продуктов выветривания выносятся из зоны выветривания и отлагается вдали от места разрушения материнских пород. Основными агентами переноса являются текущие воды, движущийся лед и ветер.

Диагенез – (ди-два; генез - рождение) – перерождение. Процесс преобразования рыхлого осадка в плотную горную породу. Результаты процессов диагенеза: пески переходят в песчаники, алевролиты в алевролиты и т.д. карбонатные и кремнистые породы также подвергаются литификации (окаменению).

Эпигенез. *Эпигенезом* называется совокупность процессов, изменяющих осадочные породы в период их существования до начала выветривания или до перехода в метаморфические породы.

В результате эпигенеза преобразуется строение породы, разрушаются одни минералы и возникают другие, более устойчивые в новых условиях (рис.115).

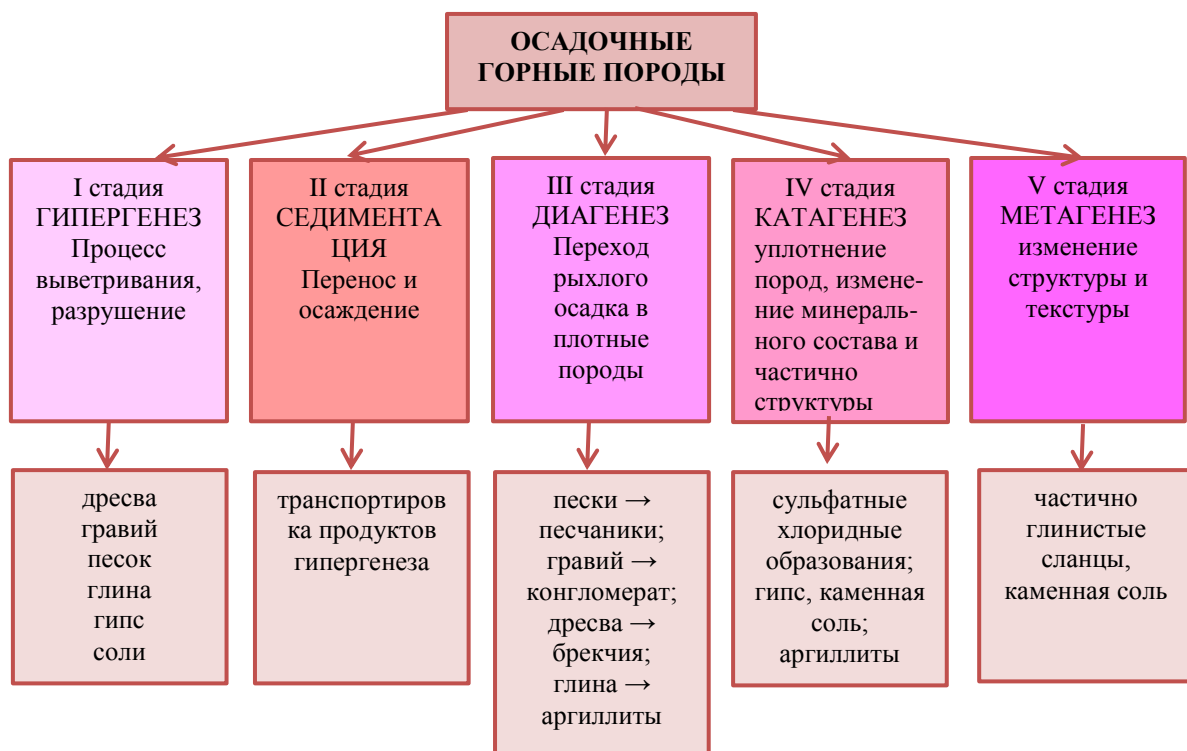


Рис. 115

Структура, текстура, химический и минеральный состав, форма залегания, дифференциация осадочных пород.

Осадочная дифференциация вещества.

Сущность представления об осадочной дифференциации заключается в том, что при разрушении материнских пород, а также при последующем переносе и отложении осадочного материала происходит его разделение (дифференциация) по размеру частиц, плотности и химическим свойствам. В результате этого в бассейнах конечного стока происходит их раздельное накопление, что обуславливает формирование осадков определенного состава.

Различается два типа осадочной дифференциации: механическую и химическую. Одновременно он подчеркивает единство этих процессов, выражающееся в том, что они могут протекать одновременно, взаимно перекрывая друг друга.

Механическая дифференциация проявляется в сортировке обломочных частиц в зависимости от их размера, формы и плотности. Крупные и более тяжелые обломки отлагаются вблизи места их образования, в то время как мелкие и более легкие частицы уносятся от области сноса значительно дальше. Сортировка обломочных частиц по плотности приводит к образованию россыпных месторождений золота и платины, приуроченных к горным участкам рек, характеризующимся высокой подвижностью водной среды.

Химическая дифференциация вещества заключается в последовательном осаждении соединений из водных растворов

соответственно их растворимости, схема, показывающая очередность выпадения в осадок различных компонентов, формирующих главные типы осадочных пород.

Хемобиогенная – осаждение и дифференциация вещества благодаря жизнедеятельности организмов.

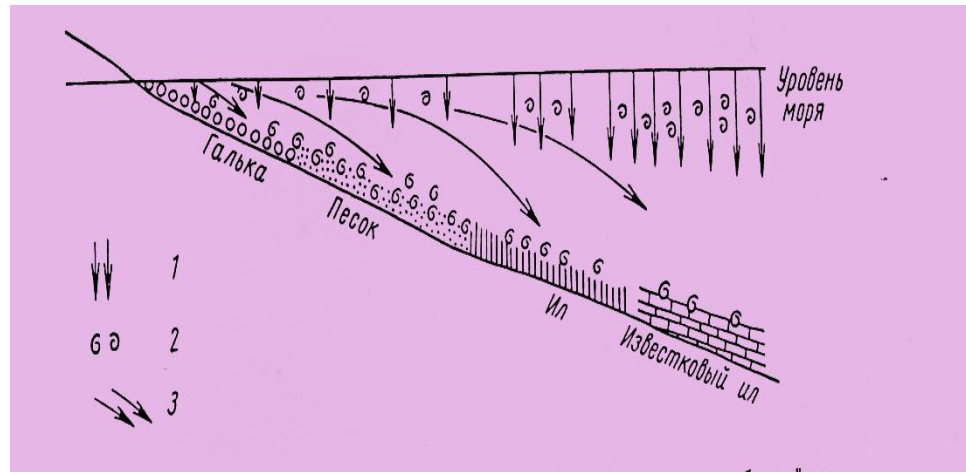


Рис.116. Схема осадочной дифференциации вещества в водном бассейне: 1 – хемогенная, 2 – хемобиогенная, 3 – механическая и физико-химическая дифференциация

Химическая – осаждение и разделение вещества истинных растворов. (рис.116).

Продукты осадочной дифференциации, соседние по расположению в рассмотренной выше схеме, обычно встречаются совместно. Так, например, гипсы часто переслаиваются с доломитами и каменной солью, но никогда не ассоциируются с бурыми железняками и фосфоритами.

Классификация осадочных пород

Общепринятой классификации осадочных пород пока не существует. Но во всех случаях она базируется на генетическом подходе, причем выделяются рассмотренные, выше генетические группы пород:

- ◆ породы обломочные - механические осадки;
- ◆ химические биохимические осадки;
- ◆ органогенные породы;
- ◆ каустобиолиты;
- ◆ вулканогенно-осадочные породы или пирокластические.

Сюда относятся собственно вулканические туфы, образующиеся непосредственно при вулканических извержениях, и различные туфопесчаники и туфобрекчии, представляющие собой продукт цементации различного рыхлого материала вулканогенного происхождения.

Структуры и текстуры осадочных горных пород

Структура осадочной породы определяется размером и формой ее минеральных компонентов, *текстура* - их взаимным расположением и ориентировкой в пространстве. Структура и текстура характеризуют строение породы.

Изучение особенностей строения осадочных пород имеет большое значение при решении вопросов стратиграфии, тектоники, палеогеографии. Не меньшую роль играет изучение структур и текстур также в грунтоведении и гидрогеологии, так как физико-механические свойства осадочных пород зависят не только от состава, но также от их строения.

Структуры

В настоящее время отсутствует единая классификация структур осадочных пород. В связи с этим представляется наиболее удобным рассмотреть отдельно структуры обломочных, глинистых, химических и биохимических пород.

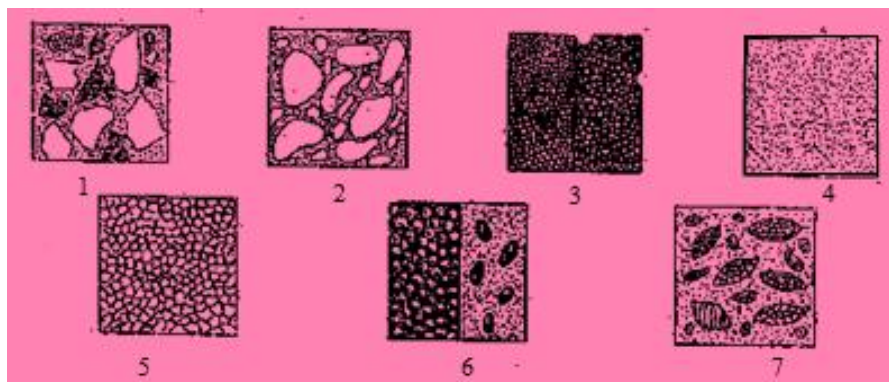


Рис.117. Макроструктуры осадочных пород (схематические зарисовки) 1 – брекчиевая (угловатые обломки); 2 – конгломератовая (окатанные обломки); 3 – зернистая (песчаная), 4 – скрытозернистая; 5 - кристаллическая; 6 – ослитовая, 7 – раковиты и панцыри в породе.

Структуры обломочных пород

От структуры зависят многие физические свойства осадочных пород. Такие как: сопротивляемость породы воздействию бурового инструмента, устойчивость ствола скважины в процессе бурения, способность породы аккумулировать подземные воды, отдавать их в процессе разработки месторождений и т. д. (табл. 30).

Структуры обломочных пород

Таблица 30

Диаметр обломочных зерен, мм	Структура
> 1	Псефитовая (грубообломочная)
1 – 0,1	Псаммитовая (песчаная)
0,1 – 0,01	Алевритовая (мучнистая)
< 0,01	Пелитовая (глинистая)

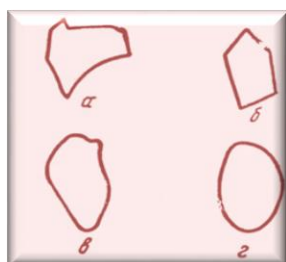


Рис. 118. Форма обломочных зерен: а – оскольчатая, б – угловатая, в – полуокатанная, г – окатанная.

Величина зерен оказывает заметное влияние на прочность обломочных пород. Как правило, породы, состоящие из более мелких зерен, имеют большую прочность и устойчивость к выветриванию, чем породы такого же минерального состава, но более крупнозернистой структуры.

Форма зерен. Обычно выделяют зерна оскольчатой, угловатой,

полуокатанной и скатанной формы (рис. 118).

Форма зерен существенно влияет на физико-механические свойства породы, зависит характер взаимодействия ее составных частей. Например, рыхлая обломочная порода, сложенная остроугольными зернами, характеризуется более высокой пористостью, меньшей водопроницаемостью.

Цемент. Цемент может быть мономинеральным или полиминеральным. Среди мономинеральных наибольшим распространением пользуются кальцитовый, фосфатный, опаловый, гидротитовый цементы, несколько реже встречаются доломитовый, кварцевый, халцедоновый, глауконитовый и гипсовый. Обломочные породы с кремнистым цементом наиболее прочны и устойчивы против выветривания.

Структуры глин

Специфической особенностью этих пород является очень малый размер глинистых минералов (обычно не превышающий 0,01 мм). Порода, состоящая исключительно из глинистых минералов, характеризуется пелитовой структурой.

Пелитовая структура характерна для пород, состоящих преимущественно (не менее 90 - 95%) из частиц размером мельче 0,01 мм. В зависимости от степени дисперсности материала пелитовую структуру подразделяют на пылеватую (преобладают частицы 0,01 - 0,001 мм) и гелевую (преобладают частицы < 0,001 мм).

Структуры химических и биохимических пород.

Большим распространением в породах химического происхождения пользуются такие минеральные образования, как оолиты и сферолиты, возникающие в результате концентрации вещества и его отложения вокруг какого-либо центра кристаллизации. Наиболее часто оолитовая и сферолитовая структуры встречаются в карбонатах, фосфатах, железистых и алюминиевых породах.

Оолиты - минеральные образования округлой или эллипсоидной формы, характеризующиеся концентрически-слоистым строением. Размеры оолитов - от долей миллиметра до 2 мм. Более крупные округлые образования называют пизолитами.

Сферолиты представляют собой кристаллические агрегаты, состоящие из тонких игольчатых кристаллов, расположенных радиально вокруг центра кристаллизации (рис. 120).

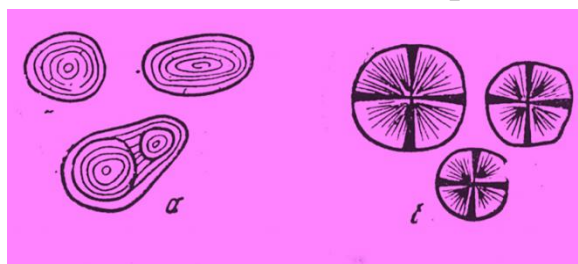


Рис.119. Оолиты и сферолиты:
а – оолиты, б – сферолиты



Рис.120. Оолитовая структура, боксит.

В породах биогенного происхождения выделяют структуры биоморфную (цельнораковинную) и органогенно-детритовую (порода сложена обломками раковин).

Для химических пород характерно: различают структуры кристаллически-зернистые (размер зерен более 0,01 мм) и скрытокристаллические (размер зерен менее 0,01 мм). Классификация структур химических и биохимических пород по размеру зерен показана в таблице 31.

Таблица 31

Размер зерен, мм	Структура
> 1	Грубозернистая
1 – 0,25	Крупнозернистая
0,25 – 0,1	Среднезернистая
0,1 – 0,05	Мелкозернистая
0,05 – 0,01	Микрозернистая

Текстуры.

При изучении осадочных пород обычно различают внутрипластовые текстуры и текстуры поверхности напластования.

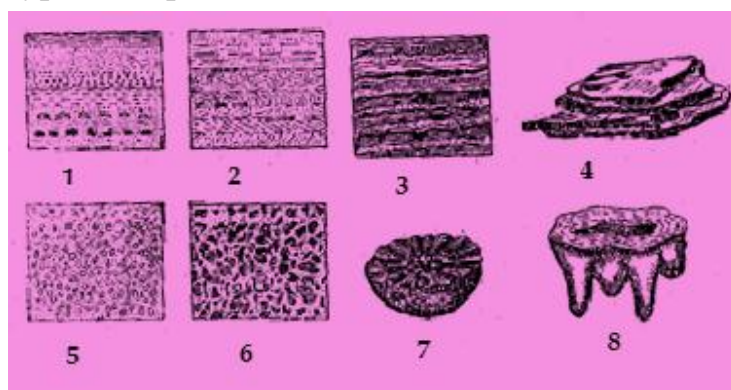


Рис.121. Макротекстуры осадочных пород (схематические зарисовки) 1 – слоистая; 2 – косослоистая; 3 – плейчатая; 4 – сланцеватая; 5 – массивная; 6 – пористая; 7 – конкреция; 8 – натечная

Внутрипластовые текстуры характеризуют распределение материала в вертикальном разрезе толщи, т.е. перпендикулярно наслоению слагающих её пород. Наиболее характерной особенностью строения осадочных пород является их слоистость. В том случае, когда слоистость отсутствует, текстуру называют беспорядочной – частицы располагаются без какой-либо ориентировки. На поверхностях напластования наблюдаются трещины усыхания, ископаемая рябь, следы капель дождя и града, слепки различных кристаллов, борозды, царапины, следы жизнедеятельности организмов и, наконец, гиероглифы – скульптурные



Рис.122. Текстуры поверхности напластования-отпечатки

образования невыясненного происхождения.

К текстурным признакам можно также отнести пористость и присутствие в породах конкреций.

2.5. Обломочные горные породы, их классификация.

Обломочные породы.

Классификация обломочных пород. В основу классификации обломочных пород положены их *структура (размер частиц), наличие цемента и минералогический состав.*

По структуре выделяются грубообломочные – *псефитовые* ($d > 1$ мм), песчаные – *псаммитовые* ($d = 1 - 0,05$ мм), пылеватые – *алевритовые* ($d = 0,05 - 0,005$ мм) и глинистые – *пелитовые* породы ($d < 0,005$ мм) (табл.32). Наряду с этой классификацией среди геологов получила распространение и другая, в которой граница между пылеватыми и песчаными частицами проводится по 0,1 мм, а между пылеватыми и глинистыми частицами – по 0,01 м

Таблица 32

Группа горных пород	Окатанные обломки		Размер обломков, мм	Остроугольные обломки	
	рыхлые	сцементированные		рыхлые	сцементированные
Грубообломочные (псефиты)	валуны	валунный конгломерат	>100	глыбы	глыбовая брекчия
	галька	галечный конгломерат	100-10	щебень	брекчия
	гравий	гравийный конгломерат (гравелит)	10-1	древса	дресвяник
Песчаные (псаммиты)	песок	песчаник	1-0,1	песок	песчаник
Алевритовые (алевриты)	алеврит (лессы, илы)	алевролит	0,1-0,01	алеврит	алевролит
Пелитовая Глинистая			<0,01	глина	аргиллит

Грубообломочные породы – псефиты. К псефитам относятся различные рыхлые (гравий, галька, щебень) и сцементированные (конгломераты, брекчии) продукты физического выветривания.

Структуры грубообломочных пород псефитовые и псаммо-псефитовые с различной структурой цемента. *Цемент* может быть известковым, кремнистым, железистым, фосфатным, глинистым, песчаным. *Текстуры* – слоистые (часто косо- и диагонально-слоистые) и неслоистые. Грубообломочные породы залегают в виде слоев, пластов, линз различной мощности.



Рис. 123. Брекчия

Песчаные породы – псаммиты. К песчаным породам относятся пески и песчаники.

❖ По размеру частиц пески и песчаники подразделяются:

- ◆ *крупнозернистые* (1,0-0,5 мм),
- ◆ *среднезернистые* (0,5-0,25 мм),
- ◆ *мелкозернистые* (0,25-0,05 мм),
- ◆ *тонкозернистые пески* с преобладанием фракции 0,10-0,005 мм и *грубозернистые пески* – 2,0-1,0мм.

Различают: речные, морские, эоловые, флювиогляциальные и т.д. пески.

Песчаные породы состоят из кварца, полевых шпатов, слюды, глауконита, обломки горных пород. Различают: полимиктовые, мономинеральные и олигомиктовые породы.

Песчаные породы, состоящие из кварца, полевых шпатов и слюды, называют *аркозами* или *аркозовыми* песчаниками. Содержание полевых шпатов в аркозах более 20%, присутствуют также обломки пород (небольшое количество) и цемент, который обычно представлен гидрослюдой, каолинитом или карбонатами.

Граувакками первоначально называли песчаники, состоящие из обломков основных изверженных пород, имеющие крупный размер частиц и плохую сортировку материала.

Структуры песчаных пород – псаммитовые, псаммо-псефитовые, псаммо-алевритовые, псаммо-пелитовые.

Текстуры – слоистые: косо- и диагонально-слоистые, волнистые, горизонтально-слоистые.

Пример: кварцевые песчаники обычно светлые, белые, редко темные (с магнетитом или органическим веществом), бурые и красно-бурые (с железистым цементом), полевошпатовые и аркозовые – розовые и красные, граувакковые – зеленовато-серые, темно-серые до черных; глауконитовые песчаники окрашены в зеленые тона.

Пески являются вмещающими полезных ископаемых – ильменита, граната, касситерита, золота.

Пылеватые породы – алевриты. Это различные рыхлые образования (лёссы, илы) и сцементированные породы (алевролиты). Минералы пылеватых пород представлены кварцем, полевыми шпатами, слюдами и глауконитом. Цемент – глинистыми, карбонатными, железистыми и кремнистыми минералами, реже хлоритами, цеолитами, фосфатами и сульфатами.

Алевритовые породы очень сходны с песчаными. Основные различия заключаются в меньшем размере зерна и в связи с этим несколько иным минералогическом составе. В алевритах в больших количествах накапливаются глинистые минералы, слюды и мало или нет обломков горных пород.

По количеству и структуре выделяются все те же *типы цемента*, что и в песчаных породах: *контактный, поровый, базальный, регенерационный,*

коррозийный, крустификационный, пойкилитовый и цемент механического выполнения пор.

По минералогическому составу среди алевритовых пород, так же как и среди песчаных, можно различать *мономинеральные, олигомиктовые и полиминеральные* разности.

Структуры пылеватых пород алевритовые (грубые и тонкие), алевропсаммитовые, алевро-пелитовые.

Текстуры алевритовых пород слоистые и неслоистые: горизонтально-слоистые, волнисто-слоистые, косо- и диагонально-слоистые.

Форма залегания: залегают в виде слоев, пластов, линз. Мощность пластов обычно небольшая – сантиметры, метры, несколько метров и лишь в редких случаях достигают сотни метров (лёсс).

Лёсс – порода желтовато-серого, буровато-серого цвета, состоящая из частиц диаметром 0,05-0,005 мм (до 60-95%). Частицы держатся в куске благодаря межмолекулярным силам и цементации, но легко растираются между пальцами и легко распадаются в воде. Пластичность лёсса невысокая. В обнаженных лёсс обладает столбчатой отдельностью и образует вертикальные откосы. Пористость его очень высокая – более 50%. По минералогическому составу это преимущественно кварцевая порода с небольшим содержанием полевых шпатов и акцессорных минералов, присутствуют кристаллы и конкреции кальцита и гипса. Глинистые минералы содержатся в небольшом количестве и представлены в основном гидрослюдами и монтмориллонитом.

При увлажнении лёссов грунтовыми или поверхностными водами они дают значительные по величине и неравномерные осадки (просадки благодаря уменьшению объема).

Алевролиты – плотные сцементированные породы. По внешнему виду и окраске они разнообразны: серые, темно-серые, красные, зеленовато-серые, пестрые, часто тонкослоисты и плитчатые (раскалываются на плитки), реже однородны, обычно переслаиваются с песчаными или глинистыми породами.

Породы, переходные между обломочными и вулканогенными. Крайними членами этого ряда являются обломочные породы и вулканогенные, или пирокластические (пеплы, туфы).

Туфы – сцементированные пеплы. Цемент туфов обычно представлен продуктами вторичных изменений породы (см. таб. 33).

Классификация пород, переходных между обломочными и вулканогенными.

Таблица 33

Содержание вещества, %		Породы
вулканогенного	обломочного	
<5	>95	Глина, аргиллит, глинистый сланец, алеврит, алевролит, алевролитовый сланец, песок, песчаник, кварцито-песчаник
5-50	95-50	Туфогенная глина, туфогенный аргиллит, туфогенный глинистый сланец, туфогенный алеврит, туфогенный

		алевролит, туфогенный алевролитовый сланец, туфогенный песок, туфогенный песчаник, туфогенный песчаник-кварцит
50-95	50-5	Глинистый вулканический пепел, глинистый туффит, глинистый сланцеватый туффит, алевритовый вулканический пепел, алевролитовый туффит, алевролитовый сланцеватый туффит; песчаный вулканический пепел, песчаный туффит; кварцитовидный туффит
>95	<5	Вулканический пепел, вулканический туф, сланцеватый вулканический туф, кварцитовидный вулканический туф

Конечные продукты выветривания туфов – монтмориллонитовые глины – бентониты.

К переходным породам относятся туффиты и туфогенные породы. Туффиты состоят из обломков вулканического стекла, эффузивных пород и минералов (полевых шпатов, пироксенов, амфиболов и др.). Содержание песка, алеврита или глинистых частиц обломочного происхождения до 50%. Образуются они в водных бассейнах и на суше.

Сцементированные породы называют туффитами, рыхлые – пеплами глинистыми, алевритовыми и песчаными. Пеплы и туффиты характеризуются слоистостью, иногда содержат органические остатки. Структуры и текстуры у них осадочные (псаммитовые, алевритовые, пелитовые). Макроскопически туффиты весьма разнообразны, чаще всего они окрашены в бурые и зеленоватые тона. Цементирующее вещество представлено глинистыми минералами, хлоритами, карбонатами и цеолитами и часто вторичного происхождения (изменение вулканогенных и обломочных компонентов).

Туфогенные породы представляют собой осадочные образования – глинистые и песчаные, содержащие небольшую примесь (20-30, иногда до 50%) вулканогенного материала (обломки вулканического стекла, эффузивных пород и минералов).

2.6. Пелиты (глины)

К глинистым относятся различные глины, аргиллиты, глинистые сланцы и некоторые другие породы.

Классификация глинистых пород основана на их свойствах, генезисе и минеральном составе. Среди глинистых пород выделяются две подгруппы.

I подгруппа – глины – имеют высокую пористость, достигающую 50 и даже 60%. Глины обладают пластичностью: порошок глины, замешанный с водой, образует вязкое тесто, способное формироваться и сохранять приданную ему форму. Обожженное в огне тесто приобретает каменистую твердость и крепость. Это свойство глин используется в керамической промышленности.

II подгруппа – аргиллиты и глинистые сланцы – сцементированные и метаморфизованные породы, плотные, с незначительной пористостью, плохо размокающие или не размокающие в воде и не обладающие плотностью.

Глины, аргиллиты и глинистые сланцы по происхождению можно подразделить на породы обломочные и химические, по обстановкам осадконакопления – на морские, лагунные, дельтовые, озерные, речные, водноледниковые и элювиальные (коры выветривания). По минеральному составу различают каолинитовые, гидрослюдистые, монтмориллонитовые и полиминеральные глины.

Состав, структура и текстуры глинистых пород. Главными в глинистых породах являются *глинистые минералы* группы каолинита, гидрослюды, монтмориллонита. Наряду с глинистыми минералами важными компонентами некоторых глин являются также хлориты, минералы группы окислы и гидроокислы алюминия (гидраргиллит), а также глауконит и опал.

Второстепенные минералы представлены кварцем, халцедоном, слюдами, полевыми шпатами. В виде новообразований и в виде конкреций в глинах присутствуют карбонаты (кальцит, доломит, сидерит и др.), сульфаты (гипс), сульфиды (пирит, марказит и др.), окислы и гидроокислы железа и марганца.

Структуры глинистых пород пелитовые, алевро-пелитовые, псаммопелитовые.

Текстуры глинистых пород слоистые и неслоистые. Преобладают слоистые текстуры, чаще всего горизонтально-слоистые. Условия залегания глинистых пород весьма разнообразны. Это слои, пласты, линзы различной мощности и протяженности.

Минеральный состав глин определяется составом материнских пород, климатом и ландшафтом местности. Среди них известны почти все минеральные типы глин.

Минеральные типы глинистых пород. Среди глин выделяются *каолинитовые, гидрослюдистые, монтмориллонитовые и некоторые другие типы.*

Каолинитовые глины. К группе каолинитовых глин относятся первичные (хемогенные) и вторичные (обломочного генезиса) каолины.

Первичные каолиниты развиты в коре выветривания кристаллических пород. По составу это главным образом каолинитовые породы. По внешнему виду первичные каолины жирные на ощупь, пористые породы белого и серовато-белого цвета. При растирании пальцами обнаруживаются песчинки кварца.

Вторичные каолины образуются в результате перемыва первичных каолинов. В процессе размыва, переноса и отложения происходит их обогащение в природных условиях удалением песчано-алевритовой



Рис.124. Вторичные глины

примеси и тяжелых минералов. По гранулометрии и пластичности вторичные каолиниты почти являются настоящими глинами. В их составе содержится больше 30% (иногда до 95%) глинистых частиц ($d < 0,005$ мм), пластичность более высокая, чем у первичных каолинов.

В минералогическом составе вторичных каолинов преобладает каолинит, имеются небольшие примеси гидрослюд, пылеватого кварца, очень часто примесь сульфидов железа.



Рис.125.

По внешнему виду вторичные каолины плотные, жирные на ощупь породы, окрашенные в серовато-белые, белые и серые тона. При растирании пальцами наличие обломочной примеси не обнаруживается. Глина, замешанная с водой, дает вязкое тесто и раскатывается в тонкую нить.

Монтмориллонитовые глины. В настоящее время их называют *бентонитами*.

Бентониты обладают способностью быстро и сильно разбухать в воде. Капля воды, упавшая на поверхность глины, вызывает ее вспучивание. Монтмориллонитовые глины образуются в коре выветривания эффузивных пород, богатых вулканическим стеклом, средних и ультраосновных пород (железистые монтмориллониты и нонтрониты).

Главным породообразующим минералом является монтмориллонит, второстепенным – гидрослюды, различные смешанно слойные-минералы, аллофан, опал и др.

Макроскопически монтмориллонитовые глины напоминают воск, жирны на ощупь, светлого, серовато-белого, зеленоватого и желтоватого тона, отличаются от других глин высокой пластичностью, способностью разбухать в воде и высокой адсорбционной способностью.

Аргиллиты и глинистые сланцы. Аргиллиты – сцементированные и уплотненные глинистые породы слоистой или неслоистой текстуры. Окрашены в серый, темно-серые, зеленовато-серые, бурые, коричневые, реже красные и пестрые цвета. Как правило, они не размокают в воде и лишены пластичности.

Глинистые сланцы – плотные сланцеватые глинистые породы, не размокающие в воде и имеющие ничтожную пористость (обычно менее 1-2%).

Практическая работа 15.

Определение обломочных горных пород.

Оборудование: коллекция обломочных горных пород: крупно/облом; средне/облом; мелко/облом; тонко/облом, соляная кислота 10%, Таблица классификации осадочных пород (табл.32).

Порядок выполнения работы:

- ◆ Разделить все обломочные породы по размерности, причем вначале неокатанные рыхлые: щебень, дресва, пески, алевриты, глины.

- ◆ Выделить напротив первоначальной группы - окатанные формы: галька, гравий.
- ◆ Выделить в пределах каждой группы сцементированные образования: брекчия, конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты.
- ◆ Определить и описать обломочные горные породы по следующей схеме: цвет, минеральный состав, наличие однородности, структура, текстура, свойства.

Для сцементированных разностей: состав обломков, однородность, цвет, минеральный состав цемента-карбонатный - вскипает от действия HCl; кремнистый - не режется ножом.

Практическая работа 16.

Определение глинистых пород

Оборудование: коллекция глинистых пород: каолинистая, монтмориллонитовая, гидрослюдистая, вода, посуда.

Порядок выполнения работы:

- ◆ Определить каолинитовую глину по белому цвету или сероватому, привести во влажное состояние - стала пластичная, жирная на ощупь, можно придать любую форму, при трении на ладони ощущается мягкость и отсутствие грубых частиц, легко скатывается в длинный жгут.
- ◆ Определить монтмориллонитовую глину – сероватая, розоватая; при добавлении воды – проявляется способность разбухать в воде, увеличивается в объеме в несколько раз.
- ◆ Определить гидрослюдистую глину: не разбухают во влажном состоянии, но распадаются на мелкие комки, чешуйки и пластинки, характеризуются разнообразной окраской

Контрольные вопросы:

1. Определить структуры обломочных, химических и биохимических, органических горных пород.
2. Разделить обломочные горные породы по размерности и условиям образования.
3. Установить процесс образования осадочных пород по образцам горных пород.
4. Назвать классификацию осадочных пород по генезису
5. Привести отличительные признаки пелитов.
6. Привести отличительные признаки между конгломератом и брекчией.
7. Привести отличительные признаки между аркозами и граувакками

2.7. Химические и биохимические породы.

Глиноземистые породы – аллиты.

Состав, строение и классификация аллитов.

К глиноземистым породам относятся латериты и бокситы. *Латериты* – продукты глубокого выветривания кристаллических пород (кора



Рис.126. Боксит.

выветривания), *бокситы* бывают латеритными, осадочными и платформенными и осадочными геосинклинальными.

Текстуры и структуры бокситов землистые, обычно пористые и кавернозные, оолитовые, бобовые, конкреционные, афанитовые и различные обломочные от конгломератовидных и брекчиевидных до мелкозернистых псаммитовых.

Определяются по внешнему виду и окраске: красные, красно-бурые, бурые, реже белые, серые, зеленовато-серые и пестрые. Основная масса добываемых бокситов используется для получения алюминия, некоторая часть для изготовления огнеупоров и адсорбентов (рис. 126).

Железистые, марганцевые горные породы. Фосфориты, соли.

Железистые породы.

Состав, структуры и классификация железистых пород. К железистым породам относятся железные руды осадочного генезиса. Они залегают в виде образований неправильной формы (кора выветривания).

Главные минералы железистых пород – лимонит, гетит, гидрогетит, гематит, гидрогематит, магнетит, сидерит, окислы и гидроокислы марганца, сульфиды железа; второстепенные – кальцит, глауконит, хлориты, глинистые минералы и терригенные примеси – кварц, полевые шпаты, слюды.

Текстуры и структуры железистых пород слоистые и неслоистые, землистые, оолитовые, бобовые, конкреционные, брекчиевидные, конгломератовидные, различные коллоидные и метаколлоидные, сферолитовые, радиально-лучистые, коррозионные.

Определяются по внешнему виду и окраске: железистые породы окрашены в бурые, охристо-бурые, красно-бурые, вишнево-красные до красных тонов.



Рис.127



Рис.128



Рис.129

Марганцевые породы.

Состав структура и классификация марганцевых пород.

К марганцевым породам принадлежат различные осадочные образования морского, лагунного континентального происхождения (озерные руды, руды коры выветривания), содержащие, как правило, более 10% окиси марганца. Классификация марганцевых пород основана на генезисе и минералогическом составе. Среди них выделяются по генезису хемобиогенные и хемогенные разновидности и по минеральному составу – окисные и карбонатные (табл.36).

Главные минералы марганцевых пород – окислы и гидроокислы марганца – манганит, пиролюзит или вад и др., карбонаты марганца – манганокальцит, родохрозит и др. Кроме минералов марганца в виде второстепенной составной части присутствуют глауконит, опал, халцедон, окислы и гидроокислы железа, глинистые минералы, кальцит, сидерит и терригенные примеси.

Марганцевые породы имеют черную окраску, часто землистое сложение (напоминают кусок земли - почву), реже конкреционное оолитовое, бобовое.

Крупные концентрации марганца – руды в осадочных породах встречаются значительно реже.

Фосфатные породы.

Состав, структура и классификация фосфатных пород. К фосфатным породам относятся различные осадочные образования морского и наземного происхождения: пластовые, конкреционно-желваковые фосфориты и костяные брекчии. Обычно к фосфатным относят породы, содержащие не менее 10% P_2O_5 . Классификация их основана на генезисе, минеральном составе и текстурно-структурных признаках.

Главные породообразующие минералы фосфатных пород – соли фосфатной кислоты: гидроксилapatит, карбонат, апатит. Важная составная часть фосфоритов – карбонаты кальция, магния и железа.

Второстепенными минералами могут быть опал, халцедон, кварц, глауконит, сульфиды железа и тяжелых металлов, органическое вещество и терригенные частицы гравийной, песчаной и алевроглинистой размерности. Последние являются существенной составной частью желваковых фосфоритов.

Фосфориты содержат P_2O_5 от 10-40%. Они весьма разнообразны по виду и текстурно-структурным признакам. Среди них встречаются породы белого, серого, темно-серого, черного, зеленовато-серого цвета. Они могут напоминать конгломерат, песчаник, аргиллит.

Текстуры и структуры фосфоритов – слоистые, конкреционные (и желваковые), оолитовые, псевдооолитовые, сферолитовые, реликтивно-органогенные, органогенные,



Рис.130

обломочные. Залегают они среди глауконитовых, обломочных и карбонатных пород. Иногда фосфатное вещество является цементом в обломочных и глауконитовых породах.

Пластовые – геосинклинальные фосфориты залегают в виде пластов мощностью от нескольких сантиметров до 15-17м, окрашена обычно в темные тона. Макроскопически похожи на песчаники, кремень, яшму.

Желваковые фосфориты распространены в платформенных отложениях. Их разделяют на кварцево-песчаные, кварцево-алевролитовые и глауконито-песчаные. В шлифе видно, что образовались они в результате местной цементации обломков и глауконита фосфатным веществом.

Соляные породы или соли.

Состав, структуры и классификация солей. К соляным породам принадлежат различные осадочные образования главным образом хемогенного происхождения, состоящие из минералов класс хлоридов, сульфатов и некоторых других. Они залегают в виде пластов, прослоев, линз различной мощности. Соляные породы классифицируют по генетическому и минералогическому принципам. Выделяются хемогенные лагунные и озерные образования и континентальные – почвенные.

Главные минералы соляных – ангидрид, гипс, галит, сильвин, карналлит, полигалит, Второстепенные – карбонаты (сода, магнезит, доломит), минералы бора (улексит, иньбит), окислы и гидроокислы железа, сульфиды железа и других металлов, органическое вещество.

Среди обломочных минералов чаще всего встречаются кварц, полевые шпаты, слюды. *Текстуры соляных* пород массивные, слоистые (тонко и грубо), пятнистые, брекчиевидные, пloidчатые.

Структуры - кристаллически-зернистые. ***Определяются по хорошей растворимости и соленые на вкус.***

Сульфатные породы. В виде тонких прослоев, пластов и линз значительной мощности встречается ангидрит. Он чаще всего зернистый, тонкозернистый голубовато-серого, реже белого и красноватого цвета. Вблизи поверхности земли подвергается гидратации и переходит в гипс со значительным увеличением объема изменением текстуры и структуры. При этом в слоистых ангидритах возникает мелкая складчатость – пloidчатость.



Рис. 131. Гипс, стяжения

Ангидрит обычно переслаивается с гипсом, каменной солью и глиной, встречается он также в виде небольших пятен и включений в каменной соли.

Гипс наблюдается в тех же условиях, что и ангидрит, часто совместно с ангидритом. Это порода белого, серовато-белого цвета, розоватая, кристаллически-зернистая (тонко-, мелко-, средне- и крупнозернистая), обычно слоистая (тонко или грубо), реже массивная. Определяется по растворимости, легко царапается ногтем, оставляя белый цвет черты.

На глубине (от 100-200м и более) гипс переходит в ангидрит.

Хлоридные породы (галогены). *Каменная соль* сложена галитом, в виде примеси содержит небольшое количество других хлористых и сернокислых солей, ангидрита, окислов железа и терригенных частиц. Она бесцветна или окрашена в сероватые и беловато-серые и красные тона. Изредка встречается синяя соль. Серая окраска связана с примесью ангидрита и терригенных частиц, красная - гематита, синяя – с рассеянным в галите металлическим натрием. Обычно каменная соль имеет тонкую слоистость-результат изменения условий осаждения (сезонные слои), кристаллически-зернистую структуру, часто крупно- и грубозернистую. Определяется по хорошей растворимости и соленая на вкус.

Карналлитовая порода состоит на 50-80% из минерала карналлита 20-50% галита с небольшим количеством ангидрита, глинистых и других примесей. Окрашена в оранжево-красные и красные тона, окраска пятнистая. Благодаря высокой гигроскопичности карналлита поверхность породы влажная. При проведении по поверхности породы стальной иглой слышно характерное потрескивание. В виде включений в карналлите встречаются газообразные углеводороды и остатки солеобразующей рапы, жгуче-соленая.

Сильвиновая порода состоит из галита (25-50%) и сильвина (50-75%), содержит так же не большое количество ангидрита, длины и других примесей.

Сильвиновая порода обычно именуется *сильвинитом*, и это название в противоположность другим (карналлитит, гипсит) получило широкое признание. Цвет ее белый, молочно-белый, красно-бурый, красный. Молочно-белая окраска связана с многочисленными пузырьками и газа и жидкости (так же, как в молочно-замутненном гидротермальном кварце), хорошая растворимость и горько-соленая на вкус.

Практическая работа 17

Определение химических и биохимических пород

Оборудование: коллекция химических и биохимических пород: глиноземистые, железистые, марганцевые и фосфатные.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить породы по цвету, его оттенок.
- ◆ 2. Указать структуры: кристаллическая, обломочная, оолитовая, бобовая.
- ◆ 3. Указать текстуры: массивная, брекчеевидная, конгломератовидная.
- ◆ 4. При описании пород указываются процессы кальцитизация, окисление, трещиноватость.
- ◆ 5. Определяется минеральный состав образцов. С помощью 5%-ного раствора HCl, устанавливается наличие карбонатных примесей.
- ◆ 6. Определяются физические свойства пород: пористость.

Контрольные вопросы:

1. Назвать основные минералы марганцевых пород.

2. Определить структуры марганцевых пород.
3. Назвать окраску марганцевых пород.
4. Определить породы глиноземистой группы.
5. Перечислить отличительные признаки глиноземистых пород.
6. Определить структуры и текстуры глиноземистых образований.
7. Назвать классификацию железистых пород по генезису.
8. Назвать классификацию железистых пород по минеральному составу.
9. Перечислить минеральный состав железистых пород.
10. Определить структуры и текстуры железистых пород по образцам.
11. Определить фосфориты.

Практическая работа18

Определение химических и биохимических пород

Оборудование: коллекция химических пород: сульфатные – гипс, ангидрит, хлоридные образования – каменная соль – галитит, сильвинит, карналлитовая порода. Вода, посуда.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. В образцах определяется цвет, распределение по породе, причина окраски.
- ◆ 2. Дается характеристика структуры (кристаллическая, тонкозернистая, волокнистая), текстуры (массивная, слоистая, столбчатая, плейчатая, пятнистая).
- ◆ 3. Определить химические свойства сульфатных и хлоридных пород: на растворимость и на вкусовые качества.
- ◆ 4. Отличить сульфатные породы от хлоридных пород.
- ◆ 5. Делается вывод о принадлежности образцов к породам сульфатов или хлоридам.

Контрольные вопросы:

1. Описать и определить химические породы сульфатного состава – гипс, ангидрит.
2. Описать и определить химические породы хлоридного состава – галитит (каменную соль), сильвинит.
3. Назвать отличительные признаки гипса.
4. Назвать отличительные признаки ангидрита.
5. Назвать отличительные признаки галитита.
6. Назвать отличительные признаки сильвинита.
7. Определить структуры и текстуры химических пород по образцам.

Органические породы

Карбонатные и кремнистые породы

Карбонатные породы

Состав, структура и классификация карбонатных пород.

К карбонатным породам относятся различные известняки, мел, известковые туфы, доломиты и породы смешанного состава. Залегают они в виде пластов, линз, конкреций, сложены, главным образом, минералами группы кальцита или скелетами известковых организмов.

По генезису известняки обломочные, биогенные и хемогенные породы, по минеральному составу – кальцитовые, доломитовые и смешанного состава.

Структуры карбонатных пород обломочные – псефитовые, псаммитовые, алевроитовые (шламовые), органогенные (цельнораковинные и детритовые), микрозернистые с размером зерен 0,05 – 0,005мм, пелитоморфные – с размером зерен менее 0,005 мм, кристаллически-зернистые – размер зерен более 0,05-0,1мм, оолитовые, псевдооолитовые, пизолитовые. Определяются по хорошему взаимодействию кислотами.

Биогенные известняки. Биогенные известняки составляют большую часть карбонатных пород. Они состоят из остатков организмов, представленных цельными раковинами или раковинным детритом, не несущих заметных следов механической обработки. В зависимости от характера материала и типов организмов различают *известняки-ракушечники*, состоящие из целых раковин и *детритовые известняки*, состоящие из раковинного детрита.



Рис. 132. Органогенный известняк

Ракушечники и детритовые известняки обычно пористые, белые, желто-белые, бурые.

К биогенным известнякам принадлежит белый пишущий мел – белая сравнительно мягкая порода (в сухом состоянии твердая) с высокой пористостью (до 50%). В мелу имеется также пелитоморфный кальцит, который в какой-то мере играет роль цемента, возможно, хемогенного образования.

К карбонатным породам химического происхождения принадлежат также *известковые туфы*, образующиеся на выходах минеральных источников. Это пористые, ноздреватые образования натечного сложения с пелитоморфной или микрозернистой структурой. Окрашены туфы обычно в желтовато-серые и буроватые тона, иногда светлые, почти белые.

Доломитовые породы. Доломитом называют породу, состоящую из минерала доломита (>95%). Обычно она содержит примесь кальцита, реже пирита, халцедона, кварца, органического вещества. В некоторых доломитах встречаются вкрапления ангидрита, гипса и сульфидов свинца и цинка. По

макроскопическому облику доломиты напоминают известняки. Отличие заключается в различной реакции с HCl. Известняки с холодной HCl бурно вскипают, доломиты нет. ***Если доломитовую породу истереть в тонкий порошок, последний будет вскипать с холодной HCl, но слабее, чем известняк.***

Мергели – это тонкозернистые, обычно мягкие, реже твердые камнеподобные породы, окрашенные в белые, желтовато-серые, зеленовато-серые, редко темные тона. Сложены они пелитоморфным или микрозернистым кальцитом (редко доломитом) и тонким глинистым материалом. Определяются по взаимодействию с соляной кислотой: после бурной реакции на поверхности мергеля появляется грязное пятно.

Кремнистые породы (силициты).

Состав, структуры и классификация кремнистых пород.

К кремнистым породам относятся различные осадочные образования, целиком или частично сложенные кремнеземом хемогенного или хемобиогенного и скелетами кремневых организмов. Они залегают в виде пластов, прослоев, конкреций и конкреционных образований, иногда образуют натёки, корки.

Классификация кремнистых пород основана на генезисе и минеральном составе.

❖ По генезису выделяются:

- ◆ хемогенные (гейзериты, кремневых конкреции),
- ◆ биогенные (диатомиты, радиоляриты),
- ◆ хемобиогенные породы, образовавшиеся в результате накопления скелетов организмов.

К хемобиогенным породам относится трепел, опоки и некоторые яшмы.

❖ По минеральному составу выделяются:

- ◆ опаловые,
- ◆ опало-халцедоновые,
- ◆ халцедон-кварцевые породы.

Главные породообразующие минералы силицитов – различные окислы кремния – опал аморфный, содержащий до 30% воды, и различные кристаллические минералы – халцедон, кварцит, кварц, кристобалит и др. Второстепенные – карбонаты, окислы и гидроокислы железа. Породообразующие организмы кремнистых пород представлены диатомовыми водорослями, радиоляриями и губками.

Кремнистые породы химического происхождения.

Яшмы – это халцедоновые и кварцево-халцедоновые породы, довольно сильно измененные.

Опал встречается в яшмах весьма редко. Кроме основных породообразующих минералов, в яшмах встречается ряд примесей: окислы и

гидроокислы железа (яшмы бурового цвета, коричневого, коричневого цвета), глинистые минералы и хлориты (яшмы серого и зеленого цвета), органическое вещество (яшмы темно-серого и черного цвета).

Яшмы разнообразны по своим текстурным особенностям и по цвету: полосчатые, пятнистые, узорчатые, бурого, красного, зеленого, серого, черного, малинового цветов, широко распространены зеленоватые яшмы (от светло-зеленых до темно-зеленых).

Кремнистые породы органогенного происхождения. К кремнистым породам биогенного и хемобиогенного происхождения относятся *диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепелы и опоки*. Все они широко распространены в мезозойских и кайнозойских отложениях.

Диатомиты – легкие, светлые, тонкопористые и мягкие породы (плотность 0,4-0,8). Состоят из скорлупок диатомовых водорослей, сцементированных опалом. Как и большинство опаловых пород, прилипают к языку (благодаря высокой пористости и большой удельной поверхности).

Радиоляриты – породы слоистой текстуры (часто микрослоистые) от серого до темно-серого цвета. Состоят из опала, в котором рассеяны многочисленные скелетные остатки радиолярии, содержат примесь глинистых частиц и органического вещества, сульфидов железа, в четвертичных отложениях встречается глубоководное радиоляриевый ил.

Ископаемые радиоляриты связаны постепенными переходами с яшмами, содержащими остатки радиолярий.

Трепелы и опоки – в куске серые, беловато-серые, иногда почти белые породы, очень легкие, напоминают каолин и мел (плотность трепела 0,7-1,4 опок – 1,1 – 1,8).

Главный минерал в трепелах и опоках – опал. Он встречается в виде мельчайших шариков микроскопических размеров и в виде цемента, связывающего эти шарики и другие компоненты породы.

Отличительные признаки: *прилипают к языку, опоки более плотные, при ударе молотком издают звонкий звук, имеют раковистый излом, острые края и более темную цветовую окраску. Трепел мучнистая рыхлая порода с округлыми краями, светлая, легкая, плавает в воде, при ударе молотком издает глухой звук.*

Трепелы и опоки залегают в виде пластов различной мощности и линз карбонатных и обломочных пород. Наиболее часто они встречаются в меловых, палеогеновых и неогеновых отложениях.

Каустобиолиты.

К каустобиолитам относятся торф, сапрпель, горючие сланцы, ископаемые угли, нефть, твердые битумы и горючие газы. По составу, свойствам и условиям образования они подразделяются на две подгруппы: торфа, сапрпеля и ископаемых углей и нефти, битумов и горючих газов.

Практическая работа 19

Изучение и описание осадочных горных пород.

1. Изучение структур и текстур органических пород.

2. Изучение и описание различных типов органических горных пород
Оборудование: 1. Коллекция органических пород карбонатного (известняки разные по генезису, мергели, мел, доломиты) и кремнистого состава (трепела, яшмы, опоки, радиоляриты, диатомиты), соляная кислота.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Разделить органические породы по химическому и минеральному составу при воздействии на горные породы соляной кислотой (карбонатные породы бурно реагируют с HCl- выделяется углекислый газ в виде пузырьков).
- ◆ 2. Отличить органические породы карбонатного состава от химических известняков (отличие по наличию органических остатков).
- ◆ 3. Определить кремнистые породы: трепел, опоку, яшму (отличительные признаки подробно указаны в теории).

Контрольные вопросы:

1. Назвать карбонатные породы.
2. Определить известняки химические.
3. Определить известняки органические.
4. Назвать отличительные признаки трепелов.
5. Определить яшму.
6. Охарактеризовать опоку и назвать ее отличительные признаки.
7. Указать отличительные признаки мергеля.

Метаморфические горные породы

2.8. Условия образования, основные характеристики и классификация метаморфических горных пород

Метаморфические породы возникают в результате преобразования ранее существующих осадочных, магматических и метаморфических горных пород, происходящего в земной коре под воздействием эндогенных процессов. Эти преобразования протекают в *твердом состоянии* и выражаются *в изменении минерального, а иногда и химического состава, структуры и текстуры пород*. Реже минеральный состав сохраняется.

Метаморфизм происходит под *воздействием высокой температуры и давления*, а так же вследствие *привноса и выноса вещества высокотемпературными растворами и газами*. Большую роль играет так же состав исходных пород.

По преобладанию тех или иных факторов в ходе преобразования выделяется несколько различных *типов метаморфизма*.

1.Региональный метаморфизм вызывается высоким неравномерным давлением и температурой и захватывает большие площади. *Этот процесс сопровождается перекристаллизацией и новым минералообразованием в условиях расплющивания и пластического течения пород, что приводит к появлению наиболее характерной для метаморфических образований ориентированности (параллельному расположению) минеральных частиц* (рис.133).

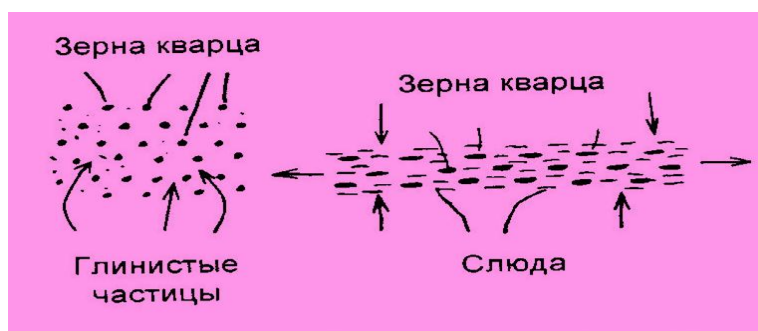


Рис. 133. Преобразование аргиллита в глинистый сланец.
Зёрна расплющились и приобрели параллельное расположение

Таково происхождение большей части метаморфических пород.

Пример: *сланцы* (глинистые, кристаллические, тальковые, хлоритовые, слюдяные, филлиты), *амфиболит*, *кварцит*, *мраморы*, *гнейсы*.

2. Динамометаморфизм - возникает под воздействием давления в условиях невысоких температур и заключается в интенсивном дроблении минеральных зерен без существенной их перекристаллизации.

Пример: *тектонические брекчии*, *милониты*.

3. Контактный метаморфизм вызывается действием высокой температуры, паров и растворов, связанных с внедрением магматического расплава. Наблюдается вдоль границ магматических тел и имеет местное значение в преобразовании вмещающих пород, изменении их структуры, текстуры и состава.

Пример: *роговики*.

4. Пневматолитовый и гидротермальный метаморфизм: развивается при интенсивном привносе в породу новых веществ горячими водными растворами и газовыми эманациями, поднимающимися из остывающего магматического очага. При этом происходит изменение не только минерального состава, но и химического состава пород.

При очень интенсивном привносе новых веществ и развитии замещения первичных минералов химически активными веществами возникает особый вид метаморфизма – **метасоматоз**.

Такой вид метаморфизма наиболее активно проявляется на контакте магм кислого состава с осадочными породами карбонатного состава.

(К химически активным веществам прежде всего относится *вода и углекислота, сероводород, фтористая кислота, соляная кислота, азот*).

Пример: *скарны и грейзены*.

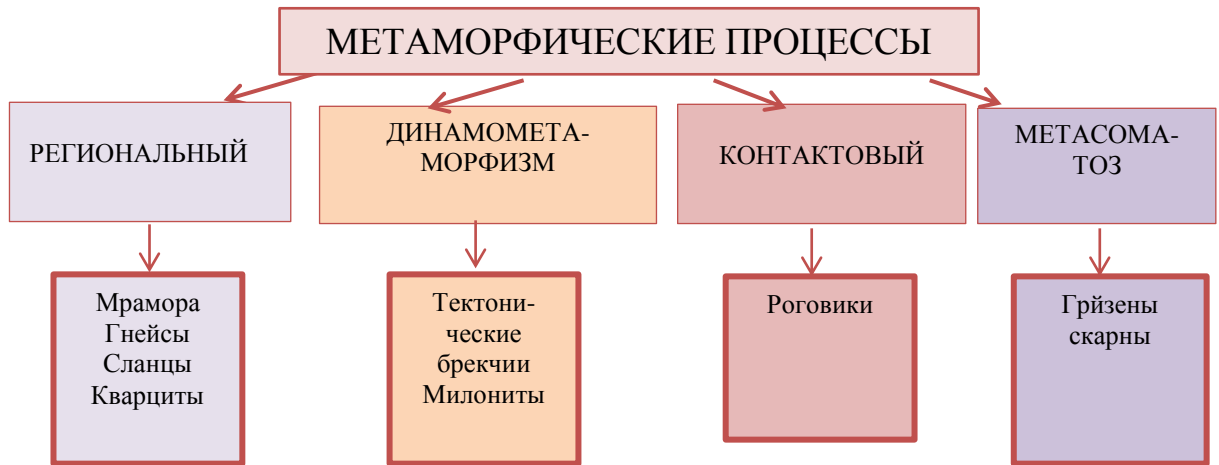


Рис. 134

Классификация метаморфических пород (по В.А.Заварицкому)

Таблица 38

Тип метаморфизма	Исходная порода	Известняк	Мергель	Глина и глинистый сланец	Песчаник	Гранит	Вулканические породы		Габбродиорит	Ультрамафит
							Кислые	Средние и основные		
	Контактно-термальный	Мрамор	Плагиоклазово-пироксеновый роговик	Роговик	-	-	Роговик	Пироксен-плагиоклазовый роговик	-	-
	Контактно – метасоматический	Скарн		-	-	-	-	Скарн	-	-
	Автометаморфизм	-	-	-	-	Грейзен	Вторичный кварцит	Пропилит	-	Серпентинит
Катакластический	-	-	-	-	-	Катаклазит, милонит	Порфириод	Порфириотид	Катаклазит, милонит	-
	Низкотемпературный	-	-	Филлит, серицитовый сланец	-	Филонит	Кварцево-серицитовый сланец	Зеленокаменные породы	-	-
	Среднетемпературный	Мрамор	Зеленый сланец	Слюдяной сланец	Кварцит	Слюдяной сланец	Кварцево-сланцевый сланец	Зеленый сланец, альбито-эпидотовый амфиболит	-	-
	Высокотемпературный	Мрамор	Амфиболит	Гнейс	Кварцит	Гнейс, гранулит		Амфиболит, эклогит		
Ультраметаморфизм		-	-	Мигматит	-	Мигматит		-	-	-

Минеральный и химический состав, структура, текстура.

Вещественный состав метаморфических горных пород.

Вещественный состав метаморфических пород определяется их химическим и минеральным составом и зависит от состава исходных пород и действующих факторов метаморфизма.

Химический состав.

Сопоставление химических анализов магматических, осадочных и метаморфических пород показывает, что каждая генетическая группа пород состоит из одних и тех же главных окислов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O , CO_2 .

Минеральный состав.

Разнообразие химического состава исходных пород и различные термодинамические условия метаморфизма приводят к исключительному разнообразию минерального состава метаморфических пород.

Минералы, слагающие метаморфические породы, можно разделить на следующие группы:

1. Минералы, характерные как для метаморфических, так и для магматических пород (полевые шпаты, кварц, слюды, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин и др.).
2. Минералы, типичные для осадочных пород (кальцит, доломит).
3. Минералы, которые могут находиться в магматических породах в качестве вторичных, а также слагать типичные метаморфические породы (серпентин, хлорит, актинолит, серицит и др.).
4. Минералы, метаморфического генезиса, возникшие в условиях глубин, и присутствие, которых возможно только в глубоко преобразованных метаморфических породах: дистен, ставролит, некоторые гранаты, везувиан, волластонит и др.

Форма залегания метаморфических пород обычно унаследована от тех осадочных или магматических пород, по которым они образовались. Метаморфические породы наследуют слоистое сложение, которое в них проявляется в закономерном послойном изменении минерального состава и структуры. В отличие от осадочных толщ слои в метаморфических породах крайне редко залегают горизонтально. Обычно породы смяты в складки, смещены вдоль разрывных нарушений, местами раздроблены.

Метаморфические породы представлены пересекающимися слоистостью вмещающих пород телами неправильной, жило- или линзообразной формы, штоками, дайками или согласными залежами и покровами.

Важнейшие особенности метаморфических пород

Важнейшие отличия метаморфических пород от магматических и осадочных заключаются в их минеральном составе, а также в их структурных и текстурных особенностях.

Структуры и текстуры метаморфических горных пород.

Структуры и текстуры метаморфических пород наряду с минеральными ассоциациями отражают условия их перекристаллизации.

Структуры.

Структуры метаморфических пород отличаются от ряда одинаковых с ними магматических пород. Они образуются в результате перекристаллизации в твердом состоянии исходных, т.е. первичных пород.

Процесс перекристаллизации породы в твердом состоянии называется кристаллобластезом, а структуры, возникающие в результате такого процесса - кристаллобластовыми.

Кристаллобластез обуславливает специфику структурных особенностей метаморфических пород, важнейшие из которых следующие:

- а) гранобластовая – зерна изометричной формы;
- б) лепидобластовая – зерна в виде чешуек;
- в) лепидогранобластовая - зерна в виде чешуек и зерна изометричной формы;
- г) нематобластовая – зерна призматической формы;
- д) порфиробластовая – порфиробласты метаморфических минералов среди мелкозернистой основной ткани;
- е) реликтовая, бластопсаммитовая – остаточная.

Кристаллобластовые структуры

Этот термин, общий для всех структур, возникающих в результате полной перекристаллизации породы (рис.135).

Классифицируются кристаллобластовые структуры по относительным размерам минеральных зерен, их форме и типам взаимных прорастаний.

По относительным размерам зерен кристаллобластовые структуры подразделяются на *равномернозернистые (гомеобластовые)* и *неравномерно зернистые (гетеробластовые)*. Среди гомеобластовых структур по форме зерен выделяются следующие разновидности:

Гранобластовая структура свойственна породам, состоящим из более или менее изометричных зерен, имеющих мозаичные округлые или неправильные зубчатые очертания.

Мелкозернистая разновидность такой структуры называется *роговиковой*. Гранобластовая структура характерна для роговиков, кварцитов, мраморов.

Лепидобластовая структура характеризует породы, состоящие из таблитчатых или чешуйчатых минералов. Типична для серицитовых, хлоритовых, слюдяных и других сланцев.

Нематобластовая структура определяется наличием игольчатых или волокнистых минералов. Характерна для актинолитовых, силлиманитовых, дистеновых сланцев. Для пород, состоящих из зерен различного габитуса, используются составные названия структур, включающие названия преобладающих форм. Например, структуру породы, которая состоит главным образом из чешуйчатых и зернистых минералов с преобладанием последних, называют *лепидогранобластовой*.

Гетеробластовая, или порфиробластовая, структура характеризуется наличием относительно крупных зерен на фоне более мелкозернистой гомеобластовой основной ткани породы.

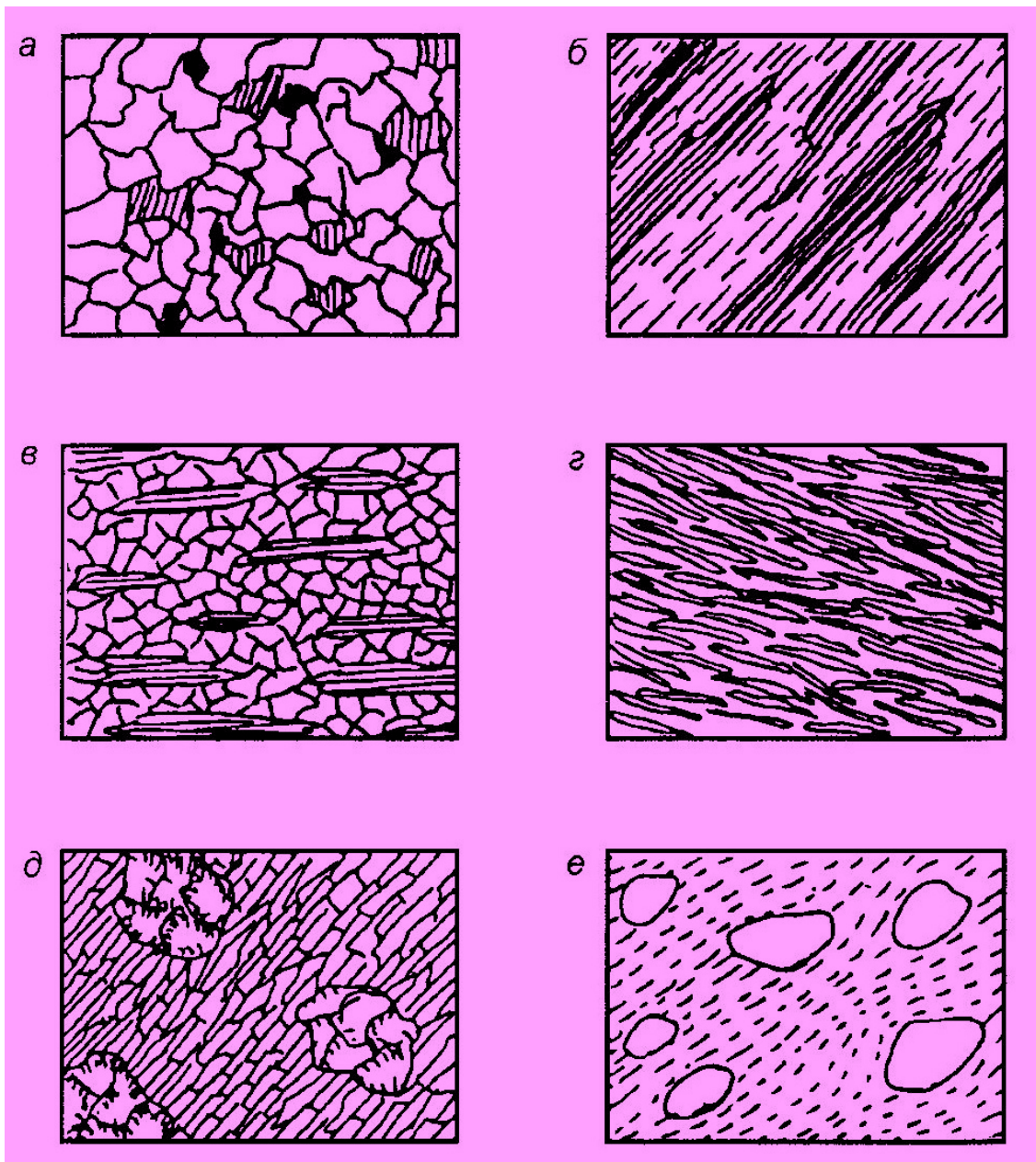


Рис.135. Структуры метаморфических пород: а) гранобластовая; б) лепидобластовая; в) лепидогранобластовая; г) нематобластовая; д) порфиробластовая; е) реликтовая, бластосаммитовая

В

Внешне такие структуры похожи на порфировидные структуры магматических пород. Чтобы подчеркнуть разную природу этих структур, для метаморфических пород употребляют термин *порфиробласты* (а не вкрапленники) и *основная ткань* (а не основная масса).

Текстуры.

Ниже приведена характеристика наиболее распространенных текстур метаморфических пород.

Массивная текстура характеризуется полной однородностью любого участка породы и поэтому изотропностью ее физико-механических свойств. *Пятнистая текстура* определяется неравномерным, кучным

распределением минералов и возникает или при контактово-термальном метаморфизме пород, или в результате неравномерной миграции вещества при метасоматозе.

Полосчатая текстура обусловлена чередованием полос различного состава и структуры, образование которых может объясняться как наличием остаточной первичной слоистости исходных осадочных пород, так и результатом метаморфической дифференциации (перераспределения минералов при перекристаллизации).

Сланцеватые текстуры характеризуют обширную группу регионально метаморфизованных пород, формировавшихся при наличии направленного давления (рис. 136).

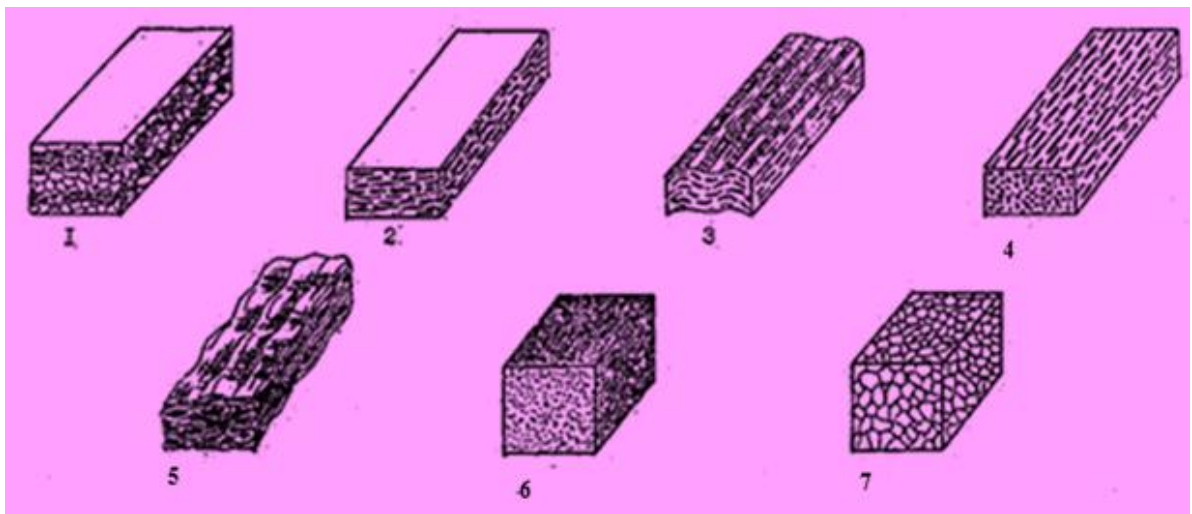


Рис.136. Текстуры метаморфических пород (схематические зарисовки) 1 – полосчатая; 2 – сланцеватая; 3 – волнистая; 4 – линейная; 5 – очковая; 6 и 7 – массивная

В зависимости от ориентировки минеральных зёрен среди сланцеватых текстур выделяются несколько разновидностей.

Параллельно-сланцеватая текстура определяется расположением пластинчатых или чешуйчатых минералов по параллельным плоскостям. Характерна для сланцев и гнейсов (рис.136, 2).

Волнистая сланцеватость отличается наличием не плоских, а волнистых плоскостей сланцеватости, возникающих обычно в сильно деформированных сланцах низкотемпературных ступеней метаморфизма (рис. 136, 3).

Линейная текстура свойственна породам, в составе которых имеются удлиненные иглообразные минералы (роговая обманка, актинолит, силлиманит, дистен и др.), ориентированные взаимно параллельно (рис.136, 4).

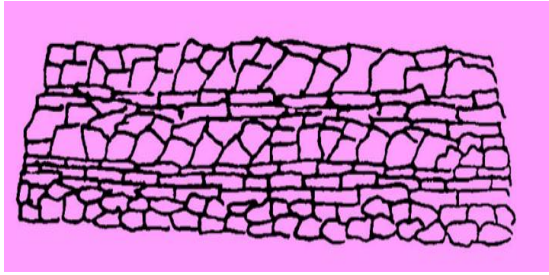


Рис 137. Гнейсовидная структура

Очковая, или *линзовидная*, *текстура* характеризуется наличием крупных линзовидных зерен или агрегатов зерен кварца, или полевого шпата, так называемых «очков», которые выделяются на фоне сланцеватой основной ткани породы. Такая текстура свойственна некоторым гнейсам (рис.136, 5)

2.9. Характеристика пород регионального метаморфизма

Филлит

Название от греч. Φυλλιτης - листоватый (рис.138).

Характерные признаки.

Структура тонко- и мелкозернистая, обычно скрыточешуйчатая. *Текстура* сланцеватая, листоватая, тонкослоистая, плейчатая. *Главные минералы: серицит, хлорит, кварц, часто карбонаты (кальцит, доломит), графит (углистые частицы), магнетит, гематит, пирит, иногда альбит, эпидот (циозит), турмалин.* *Цвет* светло-серый и серебристо-белый, желтоватый, (если в породе преобладает серицит), зеленовато-серый (присутствие хлорита), темно-серый и черный (примесь углистых частиц и графита). Блеск на плоскостях сланцеватости шелковистый.

Диагностика. Важнейшее отличие филлитов от аргиллитов и глинистых сланцев - характерный шелковистый блеск на плоскостях сланцеватости.

Хлоритовые и тальковые сланцы

Окрашены обычно в зеленые цвета различных оттенков и обладают сланцеватым сложением.

Хлоритовые сланцы состоят главным образом из листочков зеленого хлорита; кроме того, в них присутствуют магнетит, часто в виде хорошо образованных небольших кристаллов - актинолит, эпидот,



Рис. 138 Филлит



Рис. 139. Серицит-гранатовый сланец: минеральный состав: - серицит, гранат, кварц, кальцит; структура: лептдобластовая, гранобластовая; текстура: сланцеватая, массивная; перламутровый блеск



Рис. 140. Хлоритовый сланец. Структура-скрыто-чешуйчатая, мелкозернистая; текстура-сланцеватая. Наличие магнитных свойств

изредка также полевые шпаты.

При преобладании актинолита получают актинолитово-хлоритовые сланцы; при значительном увеличении количества эпидота и в присутствии альбита-хлорито-эпидото-альбитовые сланцы и т.д.

Тальковые сланцы, жирные на ощупь, часто белые, широко распространены и состоят главным образом из чешуек талька. Кроме того, они содержат в большем или меньшем количестве магнезит, хлорит, слюду (серицит), роговую обманку, реже другие минералы.

Тальковые сланцы используются для получения талькового порошка, а также для изготовления огнеупорных кирпичей.

Железистый кварцит

Назван по составу (рис. 141).

Характерные признаки. *Структура* кристаллически-зернистая, мелкозернистая до афанитовой. *Текстура* тонкополосчатая, слоистая.

Минеральный состав: кварц и окислы железа (магнетита, мартита, гематита, гидрогематита). Второстепенные минералы и примеси: амфиболы (преимущественно щелочные), хлорит, биотит, сидерит, полевые шпаты и др. Цвет породы темный, красновато-бурый.

Условия образования и нахождения. Залегают в виде слоев различной мощности в толщах древних метаморфических пород; Железистые кварциты являются продуктом регионального метаморфизма первоначально вулканогенно-осадочных яшмоподобных пород, обогащенных гидроокислами железа.

Диагностика. Минеральный состав и темная красно-бурая окраска, обладают магнитными свойствами.

Практическое значение. Высококачественная железная руда.

Кварцит

Назван по составу (рис. 142).

Характерные признаки. *Структура* кристаллически-зернистая, обычно мелкозернистая до афанитовой. *Текстура* слоистая, иногда косослоистая. *Минеральный состав:* состоит из кварца, мусковита, биотита, графит, мелкие кристаллы граната, иногда полевой шпат. Цвет светло-серый и серый. Яркую темно-малиновую, красновато-коричневую, розоватую окраску придает примесь гематита или лимонита. Наиболее распространены слюдистые, полевошпатовые, графитовые и роговообманковые разновидности кварцита.

Условия образования и нахождения. Залегают в виде слоев различной, иногда значительной мощности, является продуктом



Рис. 141. Железистый кварцит.



Рис. 142. Кварцит.

регионального метаморфизма существенно кремнистых или песчанистых пород

Диагностика. От песчаника отличается более высокой твердостью, отсутствием структуры обломочных пород и характером излома. Порода раскалывается как одно целое, тогда как в песчаниках раскол происходит по границам зерен кварца.

Практическое значение: ценится как высокосортный облицовочный и декоративный камень.



Рис. 143. Мрамор

Мрамор.

Название от греч. *μαρμαρος* или лат. *marmor*.

Характерные признаки.

Структура кристаллически-зернистая, гранобластовая, иногда порфиробластовая.

Текстура однородная (массивная), полосчатая, брекчиевидная либо пятнистая. **Минеральный состав:** главным образом кальцит и (или) доломит.

Минералы-примеси: магнезит, кварц (до 25%), нередко графит, гематит и др. **Цвет** белый (у чистого скульптурного мрамора), серый до темно-серого (примесь графита и битуминозных веществ), зеленоватый (мельчайшие включения хлорита или амфиболов), розоватый, красный, желтый и кремовый (включения гематита и лимонита). Блеск стеклянный, искристый (у средне- и крупно-зернистых мраморов) или матовый. Кальцитовый мрамор бурно растворяется в HCl (вскипает). Чистые мраморы – хорошие изоляторы.

Условия образования и нахождения. Залегают в виде слоев, как правило, деформированных в сложные складки. Продукт регионального или контактового метаморфизма карбонатных осадочных пород (известняков, доломитовых известняков и доломитов).

Диагностика. Отличия от известняков: кристаллически-зернистое строение, отсутствие остатков фауны, ассоциация минералов - примесей, свойственных метаморфическим породам. Отличие кальцитовых мраморов от доломитовых – см. осадочные породы, доломит. Характерно вскипание под воздействием HCl.

Практическое значение. Один из лучших облицовочных и декоративных материалов, скульптурный камень.

Серпентиниты.

Серпентиниты (змеевики). Оливины и богатые магнием пироксены особенно легко превращаются в минералы, главным образом в хризотил или в антигорит. Ультраосновные горные породы, а именно, перidotиты, богатые

оливином пироксениты и дуниты легко переходят в черное, реже светло-зеленые хризотилитовые породы, так называемые серпентиниты.

Габитус хризотила волокнистый; антигорит чешуйчатый (или пластинчатый).

Окраска их разнообразна, иногда они желтоватые, зеленоватые.

Амфиболит

Назван по составу: главными породообразующими минералами являются амфиболы.

Характерные признаки. *Структура* полнокристаллическая, гранобластовая. Размер зерен породообразующих минералов обычно 1-3мм и менее. *Текстура* полосчатая и сланцеватая либо массивная, и пятнистая. *Минеральный состав:* состоит из роговой обманки и в меньшей степени из плагиоклаза. Второстепенные минералы и примеси: кварц, диопсид, гранат, биотит и др. *Цвет породы* варьирует от черного до темно-серого с зеленоватым оттенком или темно-зеленого. Порода прочная, твердая (нож оставляет слабую царапину).

Условия образования и нахождения – продукт метаморфизма габбро или основных лав – результат метаморфизма карбонатных (доломитовых) осадочных или различных вулканогенно-обломочных пород. Измененный амфиболит слабо или местами вскипает под воздействием HCl.

Диагностика. По минеральному составу и форме залегания.

Кристаллический сланец

Назван по структурно-текстурным особенностям.

Характерные признаки. *Структура* полнокристаллическая, зернисто-чешуйчатая (гранолепидобластовая и лепидопластовая), нередко порфиробластовая. *Текстура* параллельно-полосчатая либо однородная, но обязательно сланцеватая, часто плейчатая. *Минеральный состав:* слюды, кварц при отсутствии или крайне низком содержании полевого шпата, гранат, роговая обманка, кальцит, графит и др. *Цвет* в основном серый, в зависимости от соотношения светлых (кварца, мусковита, кальцита) и темноцветных (биотита, роговой обманки, графита и др.) минералов. Блеск матовый, слюдяной (стеклянный). По комплексу породообразующих и второстепенных минералов выделяют: **биотитовый, мусковитовый, двуслюдяной (мусковито-биотитовый), гранато-биотитовый (-двуслюдяной), андалузито-биотитовый (-двуслюдяной), ставролитобитовый (нередко - двуслюдяной) и известковые сланцы.**

Условия образования и нахождения. Залегают слоями, причем часто переслаиваются различные кристаллические сланцы и гнейсы.

Диагностика. По минеральному составу.

Гнейс

Название от славянск., «гну» - гнилой.

Характерные признаки. *Структура* полнокристаллическая, мелко-, средне- или грубозернистая (гранобластовая) или чешуйчато-зернистая (лепидогранобластовая).



Рис. 144. Гнейс

Текстура сланцевая, параллельно-полосчатая. *Минеральный состав*: полевой шпат (преимущественно плагиоклаза) и кварца, Второстепенные (5-20%) минералы – биотит, роговая обманка, пироксен, гранат, графит и др.

Цвет обычно серый от светлого до темного или светло-розовый. Ржаво-бурый оттенок появляется при разложении

темноцветных минералов и развитии гидроокислов железа. По набору темноцветных минералов среди *парагнейсов* различают *биотитовые гнейсы*, *гранато-биотитовые*, *амфиболовые (роговообманковые)*.

Условия образования и нахождения. Парагнейсы залегают в виде слоев и характеризуются послойным изменением интенсивного регионального метаморфизма песчано-глинистых, глинистых и карбонатно-глинистых осадочных пород (*парагнейсы*) или кислых и средних магматических пород (ортогнейсы) в условиях температуры и давления.

Диагностика. От кристаллических сланцев отличается по минеральному составу: в гнейсах обязательно присутствие полевого шпата и несколько меньше, чем в сланцах, содержание слюд.

2.10. Характеристика пород контактово-метасоматического метаморфизма.

Скарн



Рис. 145. Эпидот-гранат - магнетитовый скарн

Название от шведск. – породы, находящиеся в контактах гранитов с известняками и вмещающие магнетитовые руды.

Характерные признаки.

Структура полнокристаллическая, от крупно- и гигантоантозернистой до мелкозернистой, часто афанитовая.

Текстура массивная, однородная, неоднородная, либо полосчатая. *Главные*

минералы – пироксены диопсид, геденбергит, гранаты – гроссуляр, андрадит, волластонит, магнетит, молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, касситерит и др. *Цвет* преимущественно темный, бурый, зеленовато-бурый, темно-зеленый до почти черного. Разновидности различают по главным породообразующим минералам: *пироксеновые*, *гранатовые*, *пироксено-гранатовые скарны*.

Условия образования и нахождения. Образуют залежи, линзы, тела неправильной формы, зоны преимущественно в непосредственном контакте гранитов, гранодиоритов с карбонатными осадочными. Продуктами гидротермального изменения минералов скарнов являются эпидот, актинолит, тремолит, хлорит, кальцит, кварц, некоторые сульфиды.

Диагностика. От известково-силикатных роговиков отличаются по условиям и форме залегания, также отсутствием слоистости.

Практическое значение. Скарны нередко сопровождаются рудами железа, вольфрама, молибдена, свинца и цинка, меди, бора, отчасти олова, бериллия и др.

Грейзен

Название от старинного немецкого наименования породы, содержащей оловянный камень.

Характерные признаки. *Структура* крупно-, средне-, мелко – или тонкозернистая.

Текстура обычно неоднородная, полосчатая, реже массивная.

Минеральный состав: кварц, мусковит или лепидолит, часто топаз, турмалин, флюорит; скопления ценных рудных минералов: касситерита, вольфрамита, молибденита, берилла и др. Цвет белый до серого, более темной при наличии скоплений касситерита, вольфрамита или сульфидов. Блеск стеклянный, перламутровый либо матовый. Разновидности грейзенов называют по главным минералам: *кварц-мусковитовые, кварц-топазовые, кварц-топаз-лепидолитовые* и т.д.



Рис. 146. Грейзен.

Условия образования и нахождения. Форма залегания: в виде высокотемпературных кварцевых и полевошпата-кварцевых жил с касситеритом, вольфрамитом, молибденитом, бериллом и т.п.

Диагностика. Определяются по особенностям минерального состава, т.е. отсутствию или низкому содержанию полевого шпата, высокому содержанию кварца, мусковит или лепидолит, топаз, флюорит, турмалин, а также по условиям залегания, светлая порода.

Практическое значение. Грейзенизация сопровождает образование месторождений вольфрама, бериллия, молибдена (грейзены с мусковитом отчасти с топазом и большим количеством флюорита), олова, тантала (грейзены с литиевыми слюдами и топазом). Поэтому грейзены являются одним из ведущих поисковых признаков на редкометальные месторождения.

Породы контактового метаморфизма.

Нижеописываемые породы имеют ограниченное распространение; они развиты в пределах сравнительно узких зон, некоторые интрузивные тела, преимущественно сложенные гранитоидами.

Роговики

Название по характерному излому и внешнему облику, напоминающему роговое вещество.

Характерные признаки. *Структура* тонкозернистая скрыто-кристаллическая (размер



Рис. 147. Роговик.

зерен 0,01-0,03мм), нередко порфирболовая.

Текстура массивная иногда со следами слоистости, либо пятнистая. Основная ткань – агрегат неразличимых на глаз выделений биотита, кварца, магнетита, роговой обманки, эпидота, углистого вещества и др. Минералы порфиробластов: биотит, амфибол, гранат (альмандин), полевые шпаты и др. *Цвет* темно-серый до черного, иногда с зеленоватым оттенком либо белый, светло-серый, желтоватый. Цвет равномерный пятнистый и полосчатый. Порода крепкая, (с трудом разбивается молотком), твердая. *Излом* неровный, раковистый, занозистый (роговиковый), порода обычно зеленоватого или желтоватого цвета и полосчатого (реликтового слоистого) сложения, Состоит из пироксенов: диопсид – геденбергит, граната, волластонита, амфиболов, плагиоклаза, эпидота, сульфидов.

Условия образования и нахождения. Развивается на контакте интрузивных тел с песчаниками, аргиллитами, мергелей и доломитов под воздействием тепла, источником которого являются интрузивные тела, формирующиеся на небольшой или умеренной глубине (до 2-3км).

Диагностика. Высокая прочность, роговиковый излом, острые края

Практическое значение. Не имеет. С известково-силикатными роговиками нередко связаны богатые свинцово-цинковые или медные руды.

Породы динамометаморфизма.

Катаклазит. Тектоническая брекчия



Рис. 148. Тектоническая брекчия.

Название – по происхождению см. также брекчия.

Характерные признаки.

Сцементированные угловатые обломки различных горных пород (брекчиевая текстура). Цементирующая масса может быть либо рыхлой и слабо связанной, состоящей из тонкораздробленного материала. Размеры обломков от нескольких сантиметров до метра и более.

Условия образования и нахождения. Порода, образующая региональные и локальные зоны дробления земной коры.

Диагностика. По характеру цемента, наличие угловатых обломков

Практическая работа 20

Изучение основных типов метаморфических пород

Изучение текстур и структур метаморфических горных пород.

Оборудование: коллекция метаморфических горных пород с различными видами текстур и структур: гнейсы, мрамор, сланцы-сланцевые, хлоритовые, тальковые, глинистые, кварциты, таблица по классификации метаморфических пород, схематические зарисовки текстур, соляная кислота.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Определить текстуры метаморфических пород, исходя из схематических зарисовок текстур, основных понятий вида текстур.

Гнейсы - гнейсовидная текстура, плейчатая, полосчатая.

Мрамора - массивная, полосчатая, пятнистая.

Сланцы – сланцеватая.

- ◆ 2. Разделить метаморфические породы на две подгруппы с разными видами структур:
 - а) с полнокристаллической структурой: гнейсы, мрамора, грейзены, скарны, кварциты.
 - б) с неполнокристаллической структурой: глинистые сланцы, хлоритовые.

Практическая работа 21

Изучение главных типов метаморфических пород.

Оборудование: коллекция метаморфических пород коллекция метаморфических горных пород с различными видами текстур и структур: гнейсы, мрамор, сланцы - слюдяные, хлоритовые, тальковые, глинистые, кварциты, таблица по классификации метаморфических пород, схематические зарисовки текстур, соляная кислота.

Порядок выполнения работы:

- ◆ 1. Изучение пород с полнокристаллической структурой: а. кристаллические сланцы (не содержат полевые шпаты в отличие от гнейсов), гнейсы полосчатая и гнейсовидная текстура.
- ◆ 2. Мрамора – характерен снежный блеск, хорошо реагирует с соляной кислотой с выделением пузырьков углекислого газа.
- ◆ 3. Кварциты хорошо царапают стекло, не реагируют с кислотами, разновидность кварцитов – железистый кварцит обладает хорошими магнитными свойствами, при наличии в составе гематита дает темно-вишневую черту на белом бисквите, очень тяжелая порода.
- ◆ 4. Скарны и грейзены отличаются по цветовой окраске. Скарны темные, грейзены светлоокрашенные, так как состоят из кварца, полевых шпатов, мусковита.
- ◆ 5. Сланцы тальковые мягкие, жирные на ощупь, дают ощущение мыла, хлоритовые отличаются зеленоватой окраской, иногда с включениями магнетита, серицитовые характеризуются хорошим перламутровым блеском, филлиты с шелковистым блеском.

Контрольные вопросы:

1. Определить по штуфам метаморфических пород вид метаморфизма.
2. Отличить по штуфам горных пород их происхождение.
3. Определить основные текстуры метаморфических пород – сланцеватую, волокнистую, гнейсовидную, очковую, массивную, полосчатую, плейчатую.
4. Определить структуру метаморфических пород – игольчатую, чешуйчатую, волокнистую, листоватую, таблитчатую.
5. Определить и описать породы регионального метаморфизма – филлиты, тальковые сланцы, глинистые, слюдяные, кристаллические.

6. Определить и описать породы контактового метаморфизма – роговики.
7. Определить и описать породы динамометаморфизма – тектонические брекчии.
8. Определить и описать породы контактового метасоматоза – скарны, грейзены.
9. Отметить и указать отличительные признаки между скарнами и грейзенами.
10. Определить и описать рудные кварциты.
11. Определить и описать породы регионального метаморфизма – мрамора, кварциты, гнейсы.
12. Определить и описать метаморфические породы от интенсивности метаморфических процессов. (Классификация по С. Ван-Хайзу).

Глоссарий

Абиссальный - [греч. – бездонный, бездна] - большие глубины.

Агенты выветривания – вода, ветер, растительный и животный мир, лед, углекислый газ, кислород.

Агрегат.- совокупность минеральных зерен или их сростков, образующих породу или ее часть.

Аккумуляция – накопление.

Акцессорные минералы - [лат. приходящий], - минералы, встречающиеся в породе в незначительных количествах; их присутствие не имеет значения для определения породы, но служит корреляционным признаком для генетических, стратиграфических и других сопоставлений.

Алеврит - [греч.- мука], - рыхлая обломочная порода, размерами частиц от 0,01 до 0,1мм.

Аллювий - [лат.- нанос, намыв] - в различной степени окатанные и отсортированные обломочные отложения, накопившиеся в речной долине в результате сноса и отложения постоянным водным потоком.

Амфиболы - [неясный], - минералы, метасиликаты с ленточной структурой.

Афанитовый – плотный, без различимых простым глазом минералов.

Генезис – происхождение, рождение.

Генерация – в минеральных образованиях сложного состава, формирующихся в течение длительного и сложного процесса, выделяются минералы или группы минералов, образующиеся в разные стадии процесса. Одни и те же минералы различной генерации отличаются составом и формой.

Интрузивные породы – магматические породы, образовавшиеся в результате кристаллизации и застывания расплава на глубине, плутонические, эндогенные, глубинные породы.

Интрузия - [лат. - вталкивать], внедрение огненно-жидкой магмы как в уже существующие подземные пустоты, так и в участки земной коры, раздвинутые самой магмой.

Каолинизация – процесс, в результате которого полевые шпаты и другие алюмосиликаты превращаются в каолин.

Кора выветривания - верхняя часть земной коры, сложенная элювием

Мафиты - [по элементам Mg и Fe], темные составные части магматических пород.

Парагенезис – совместное нахождение, возникающее в результате одновременного или последовательного образования.

Физическое выветривание – это разрушение горных пород и их раздробление без видимого изменения химического состава.

Эффузивные (или излившиеся) - образуется при застывании лавы на поверхность земли в условиях низкого давления и быстрой отдачи тепла и газовых компонентов. Для этих горных пород характерно аморфное или порфировое строение.

Список литературы

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Книжный дом «Университет», 2008 г.
2. Булах А.Г., Кривовчев В.Г., Золотарев А.А. Общая минералогия. М., Академия, 2008 г.
3. Бойко С.В. Кристаллография и минералогия. Основные понятия. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 2015 г.
4. Голубова Н.В. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Минералогия» по направлению «Геология». Ростов на Дону, ЮФУ, 2008 г.
5. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия: учебник. – М., КДУ, 2005 г.
6. Савельева А.Д., Нарциссова П.В. Кристаллография и минералогия. Учеб. Пособие, Ч.1. Владимир: Владим. гос. ун-т, 2003 г.
7. Сизых А.И., Юденко М.А. Петрография метаморфических пород: Учебное пособие. Иркутск, изд-во Иркут. гос. ун-т, 2007 г.
8. Черкасова Т.Ю. Основы кристаллографии и минералогии: учебное пособие; Томский политехнический университет. Томск, изд-во Томского Политехнического университета, 2014 г.
9. Шур М.Ю. Петрография. Руководство к практическим занятиям. М., МГУ, 2005 г.

Интернет-ресурсы

1. <http://bookre.org/reader?file=1504364&pg=415>
Миловский А.В. Минералогия и петрография
2. <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1179925>
Розенбуш Г. Север "Все о геологии". «Описательная петрография, часть I. Изверженные породы как геологические тела»; «Описательная петрография. Часть II. Слоистые породы»; «Описательная петрография. Часть III. Метаморфические горные породы».