

К.Х. АДИЛХАНОВ, Н.Ш. ТУЛЯГАНОВА

# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ



**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**К.Х.АДИЛХАНОВ, Н.Ш.ТУЛЯГАНОВА**

# **КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ**

---

*Рекомендовано Министерством высшего и среднего  
специального образования в качестве учебного пособия  
по практическим занятиям*

Издательско-полиграфическое объединение  
«Международной исламской академии Узбекистана»  
Ташкент – 2020

УДК 548(075.8)

ББК 22.37я73

А 30

**К.Х. Адилханов, Н.Ш.Туляганова**

Кристаллография и минералогия [Текст]: учебное пособие / К.Х.Адилханов, Н.Ш.Туляганова. – Ташкент: Издательство-полиграфическое объединение «Международной исламской академии Узбекистана», 2020. – 224 стр.

УДК 548(075.8)

ББК 22.37я73

**Рецензенты:**

**М.Б.Аширов**

– УзМУ, заведующий кафедрой «Геодинамика и геотектоника», доцент, к.г.-м.н.

**А.А.Абдурахманов**

– ТДТУ, доцент кафедры «Геология, минералогия и петрография», к.г.-м.н.

Целями изучения предмета «Кристаллография и минералогия» являются раскрытие основных законов образования простейших природных тел - минералов, выяснение закономерностей их распространения по зонам минералообразования, особенностей их химического состава, внешней формы, внутреннего строения и физических свойств и овладение современными методами изучения минералов. Изучение предмета приобретает особое значение как научной основы для прогнозирования и поисков полезных ископаемых. При изучении дисциплин особое внимание студенты должны уделять работе в лаборатории кафедры сначала моделям кристаллов, затем над реальными природными минералами.

*Согласно приказа Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан №359 от 30 июля 2020 года было разрешено публиковать в виде учебного пособия.*

ISBN 978-9943-6712-2-5

© К.Х.Адилханов, Н.Ш.Туляганова

© Издательство-полиграфическое объединение «Международной исламской академии Узбекистана», 2020

24931/1

## ВВЕДЕНИЕ

Наука о кристаллах – кристаллография, изучающая законы строения твёрдых тел, теснейшим образом связана с промышленностью. Металлы и сплавы, каменные строительные материалы, цемент и кирпич – всё это состоит из кристаллографических зерен. Широкий круг молодых специалистов должен иметь достаточное знакомство с основами кристаллографии. Студентам геологам, инженерам горнякам, нефтяникам, металлургам и др. необходимо твёрдо усвоить науку о кристаллах. Этому настоятельно требует их будущая практическая деятельность. Кристаллография является основой для прохождения предметов – минералогия, петрография, литология, учения о месторождениях полезных ископаемых.

Минералогия принадлежит к числу геологических наук, изучающих земную кору. Название этой науки в буквальном смысле означает учение о минералах, которое обнимает все вопросы о минералах, включая и происхождение их. Минералами называют химические элементы или химические соединения, образующиеся в результате различных физико-химических процессов, протекающих (без какого-либо вмешательства) в земной коре, в водной оболочке или атмосфере, а также в результате взаимодействия между ними. Некоторые минералы представляют значительный интерес, являясь широко распространенными породообразующими минералами.

Понятие о минерале и, соответственно, задачи минералогии складывались исторически. Представления о природе минералов менялись по мере развития знаний в области геологии естествознания в целом, повлиявшие на развитие минералогии.

# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

## Определение элементов симметрии

Симметрия. При кажущейся простоте и обыденности понятие симметрии довольно сложно. В наиболее простом определении симметрия есть правильность в расположении одинаковых частей фигуры. Эта правильность выражается: 1) в закономерной повторяемости частей при вращении фигуры, причем последняя при поворотах как бы совмещается сама с собою; 2) в зеркальном равенстве частей фигуры, когда одни части ее представляются как бы зеркальным отражением других.

Встречаются и более сложные виды симметрии: бывает, что для совмещения одной части фигуры с другой нужно не только отразить первую, но и повернуть отражение на некоторый угол. Это - случай зеркально-поворотной симметрии.

Все эти закономерности сделаются значительно понятнее после ознакомления с элементами симметрии. Рассматривая хорошо образованные кристаллы или кристаллографические модели, легко установить те закономерности, которые наблюдаются в распределении в кристаллах одинаковых плоскостей и равных углов. Эти закономерности сводятся к присутствию в кристаллах следующих элементов симметрии (по отдельности или в определенных сочетаниях): 1) плоскостей симметрии; 2) осей симметрии и 3) центра симметрии.

1. Воображаемая плоскость, которая делит фигуру на две равные части, относящиеся друг к другу, как предмет к своему изображению в зеркале (или как правая рука к левой), называется плоскостью симметрии и обозначается буквой  $P$  (рис.1).

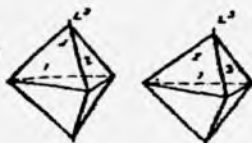
2. Направление, при повороте вокруг которого всегда на один и тот же угол все части кристалла симметрично повторяются *и* раз, называется простой или поворотной осью симметрии. (рис. 2,3) Число  $n$ , показывающее сколько раз наблюдается повторение

частей при полном ( $360^\circ$ ) обороте кристалла вокруг оси, называется порядком или значностью оси симметрии.

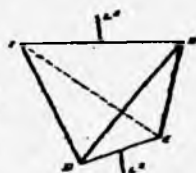
На основании теоретических соображений легко доказать, что в кристаллах могут существовать только оси симметрии 2,3,4 и 6-го порядков.



*Рис. 1. Плоскость симметрии.*



*Рис. 2. Ось симметрии 3-го порядка.*



*Рис. 3. Многогранник с осью симметрии 2-го порядка.*

Ось симметрии обозначается буквой  $L$ , а порядок оси симметрии - показателем, поставленным справа внизу. Так  $L_3$  обозначает ось симметрии 3-го порядка;  $L_6$  - ось симметрии 6-го порядка и т.д. Если в кристалле присутствует несколько осей или плоскостей симметрии, то число их обозначается коэффициентом, который ставится перед соответствующей буквой. Так  $4L_33L_26P$  обозначает, что в кристалле присутствует четыре оси симметрии 3-го порядка, 3 оси симметрии 2-го порядка и 6 плоскостей симметрии.

Кроме простых осей симметрии, возможны так называемые сложные или зеркально-поворотные оси симметрии. В этом случае, как было отмечено выше, совмещение многогранника всеми его частями с исходным положением происходит не в результате только одного вращения на какой-то угол  $\alpha$ , но и одновременного с этим отражения в воображаемой перпендикулярной плоскости. Ось сложной симметрии обозначается также буквой  $L$ , но только показатель оси ставится сверху, например,  $L^2$ . Исследование показывает, что кристаллические многогранники могут иметь сложные оси 2,4 и 6 наименований или порядков, т.е.  $L^2$ ,  $L^4$  и  $L^6$ .

3. Точка внутри кристалла, на равном расстоянии от которой в противоположных направлениях находятся равные, параллельные, и в общем, обратно расположенные грани, называется центром симметрии или центром обратного равенства и обозначается буквой  $c$ . Очень легко доказывается, что  $c=L_2$ , т.е., что центр обратного равенства появляется в кристаллах, которые имеют ось сложной симметрии 2-го порядка. Следует также заметить, что оси в сложной симметрии в то же время являются осями простой симметрии вдвое меньшего наименования, т.е. возможны обозначения  $L^4_2L^6_3$ . Однако обратного заключения делать нельзя, так как не каждая ось простой симметрии обязательно будет являться осью сложной симметрии вдвое большего наименования. Русский ученый А.В. Гадолин (1869 г.) доказал, что в кристаллах могут существовать только 32 комбинации (сочетания) вышеперечисленных элементов симметрии, называемые кристаллическими классами или видами симметрии. Все они констатированы в природных или искусственных кристаллах.

### **Кристаллографические категории, сингонии, классы**

Как указано выше, в кристаллах возможны 32 комбинации элементов симметрии и эти 32 комбинации называют кристаллографическими классами или видами симметрии. Кристаллографические классы объединяются в сингонии (или иначе системы) на основании некоторых признаков, из которых весьма важным является возможность при сходно выбранных координатных (кристаллографических) осях просто и рационально выразить символы граней. Таких сингоний выделяют 7.

Наименее симметричные кристаллические классы в количестве двух объединяются в триклинную сингонию, названную так вследствие необходимости выбирать косоугольную систему кристаллографических осей, т.е. осей под тремя различными наклонами одна к другой. В той сингонии кристаллизуются такие широко распространенные минералы, как плагиоклазы, также купоросы и др.

Кристаллы, имеющие или одну плоскость симметрии (P), или одну ось симметрии второго порядка ( $L_2$ ), или и тот и другой элемент симметрии в сочетании с центром симметрии ( $L_2PC$ ), относятся к моноклинной сингонии. Они могут быть рационально отнесены к системе координат, в которой только одна ось образует косой угол с другими. В этой сингонии кристаллизуется очень много минералов: ортоклаз, авгит, а также сахар и ряд других веществ.

При наличии у кристаллов трех плоскостей симметрии и трех им перпендикулярных осей второго порядка и центра симметрии ( $3L_23PC$ ) кристаллы относятся к ромбической сингонии, так как в поперечном сечении они часто имеют форму ромба. К этой же сингонии относятся кристаллы с тремя осями симметрии второго порядка ( $3L_2$ ) или с сочетанием двух плоскостей симметрии и осью второго порядка ( $L_22P$ ).

Кристаллы с такой симметрией могут быть отнесены к системе трех взаимно-перпендикулярных осей координат.

В ромбической сингонии кристаллизуются сера, оливин, сурьмяный блеск и др.

К тетрагональной или квадратной сингонии относятся кристаллы, имеющие одну ось симметрии четвертого порядка, простую или сложную ( $L_4$ ) единственную или в сочетании с другими элементами симметрии. При этом максимальная симметрия для этой сингонии может быть выражена формулой ( $L_44L_25PC$ ). К этой сингонии относятся кристаллы циркона, медного колчедана и др. (Кристаллы медного колчедана имеют симметрии  $L^42L_22P$ , т.е. в них симметрии имеется сложная ось симметрии 4-го порядка).

Кристаллы, имеющие одну ось третьего порядка ( $L_3$ ) единственную или в сочетании с другими элементами симметрии, за исключением двух видов симметрии ( $L_3P$  и  $L_33L_24P$ ) относятся к тригональной или ромбоэдрической сингонии и для рационального и просто обозначения граней должны относиться к четырехосной системе координат, причем ось  $L_3$  принимается за IV ось, а три оси  $L_2$  за I, II и III. Наибольшее количество элементов симметрии для



этой сингонии выражается формулой  $L_3^6 3L_2 3PC$ . Для тригональной сингонии имеются представители среди минералов: кварц, кальцит и др.

При наличии простых осей шестого порядка ( $L_6$ ) кристаллы относятся к гексагональной сингонии. К этой же сингонии относятся упомянутые выше виды симметрии  $L_3 P$  и  $L_3 3L_2 4P$ . Максимальное количество элементов симметрии, возможное для этой сингонии, выражается формулой  $L_6 6L_2 7PC$ . Кристаллы относят к четырехосной системе координатных осей, причем ось  $L_6$  принимается за IV ось, а 3 оси  $L_2$ , в тех случаях, когда они имеются, за оси I, II и III (рис.4). При этом положительные направления этих осей принимаются через  $120^\circ$ , так что III ось своим отрицательным направлением обращена к наблюдателю. Подобный выбор осей позволяет изобразить символ грани четырьмя индексами, причем сумма трех первых индексов равна нулю. Например, (1211) или (1010) и т.д. К этой сингонии относятся такие минералы, как апатит, нефелин и др.

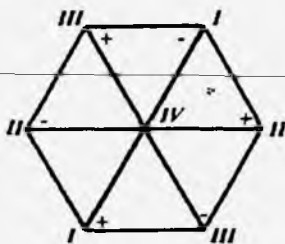


Рис. 4. Расположение осей координат в кристаллах гексагональной сингонии

Наиболее симметричными являются кристаллы кубической сингонии. Они обязательно должны иметь четыре оси третьего порядка ( $4L_3$ ) и, кроме того, или три взаимно перпендикулярные оси четвертого порядка ( $3L_4$ ) или вместо них три оси второго порядка ( $3L_2$ ). Эти три оси выбираются за оси координат. Максимальное количество элементов симметрии  $3L_4 4L_3 6L_2 9PC$ . Таким образом, кристаллы кубической сингонии являются

наиболее симметричными из всех кристаллов. Представителями кубической сингонии являются: поваренная соль, алмаз, цинковая обманка, гранаты др.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТЫХ ФОРМ И КОМБИНАЦИЙ

Совокупность граней, которая может быть получена из исходной грани при действии всех элементов симметрии данного кристалла, называется простой формой. Следовательно, это такая фигура в кристалле, все грани которой при равномерном развитии по размеру и форме одинаковы. В кристалле могут присутствовать одна, две или несколько простых форм. Сочетание двух или нескольких простых форм называется комбинацией.

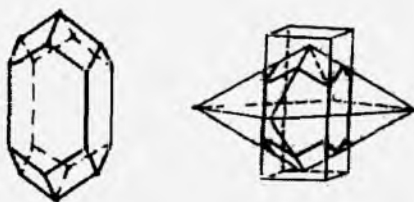
Простые формы могут замыкать и не замыкать пространства; они соответственно называются открытыми и закрытыми.

Так например, кристалл циркона, изображенный на (рис. 5), представляет собой комбинацию двух простых форм: тетрагональной призмы (грань  $a$ ) и тетрагональной дипирамиды (грань  $p$ ). Нризма является открытой формой, поскольку она не замыкает пространства, дипирамида же закрытая форма, так как она полностью замыкает пространство, пусть даже на продолжении своих граней.

Чтобы различить на кристаллах простые формы, нужно, прежде всего, знать правило: сколько на равномерно развитом кристалле разных граней, столько будет и простых форм. На описанном кристалле циркона различаются грани двух видов и, следовательно, имеются две простые формы.

Рассмотрим простые формы, встречающиеся в различных сингониях.

В низших сингониях возможны следующие простые формы (рис. 6).



*Рис. 5. Образование комбинации простых форм у кристалла циркона*

*а (100) – тетрагональная призма, р (111) – тетрагональная дипирамида*

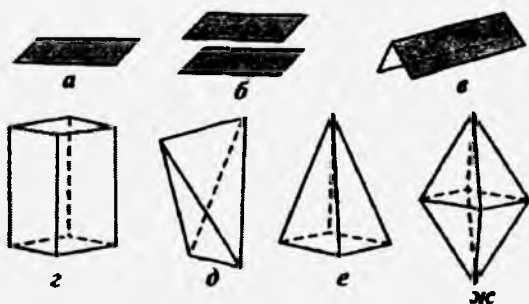
**моноэдр** — простая форма, представленная одной гранью (рис. 6а).

**пинакоид** — две равные параллельные грани, которые иногда могут быть обратно расположенными (рис. 6б).

**диздр** — две равные пересекающиеся грани (могут пересекаться на своем продолжении) (рис. 6в).

**ромбическая призма** — четыре равных попарно параллельных грани; в сечении образуют ромб (рис. 6г).

**ромбическая пирамида** — четыре равные пересекающиеся (могут пересекаться на своем продолжении) грани; в сечении также образуют ромб (рис. 6е).



*Рис. 6. Простые формы низших сингоний*

*а – моноэдр; б – пинакоид; в – диздр; г – ромбическая призма; д – ромбический тетраэдр; е – ромбическая пирамида; ж – ромбическая дипирамида*

Перечисленные простые формы относятся к открытым, так как они не замыкают пространства. Присутствие в кристалле открытых простых форм, например, ромбической призмы обязательно вызывает присутствие других простых форм, например пинакоида, или ромбической дипирамиды, необходимых для того, чтобы получилась замкнутая фигура.

Из закрытых простых форм низших сингония отметим следующие:

**ромбическая дипирамида** — две ромбические пирамиды, сложенные основаниями; форма имеет восемь равных граней, дающих в поперечном сечении ромб (рис. бж);

**ромбический тетраэдр** — четыре грани, замыкающие пространство и имеющие форму косоугольных треугольников (рис. бд).

В средних сингониях могут быть тригональные, тетрагональные и гексагональные призмы.

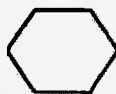
На рис. 7 показаны призмы, т.е. простые формы, состоящие из трех или большего числа граней. В зависимости от формы основания различают следующие виды призм:



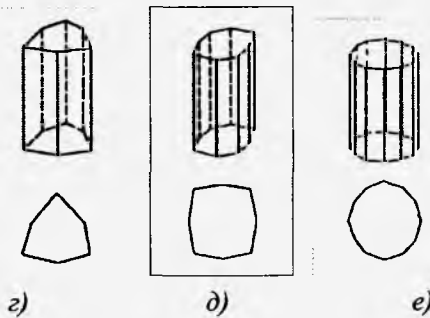
а)



б)



в)



**Рис. 7.** Виды призм: а - *тригональная*, б - *тетрагональная*, в - *гексагональная*, г - *дитригональная*, д - *дитетрагональная*, е - *дигексагональная*.

**тригональная** – основание треугольник (рис. 7а);

**тетрагональная** – основание четырехугольник (рис. 7б);

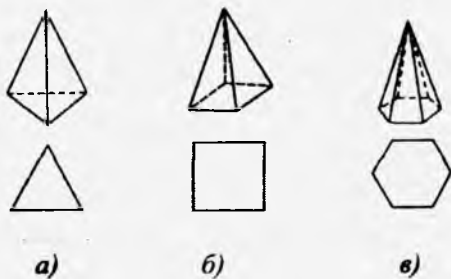
**гексагональная** – основание правильный шестиугольник (рис. 7в);

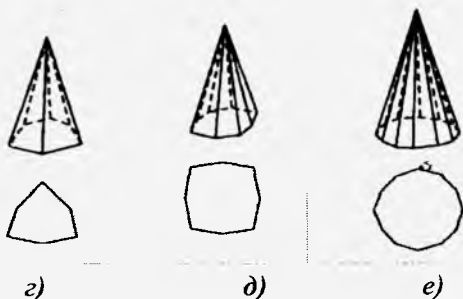
**дитригональная** – сечение удвоенный треугольник (дитригон) (рис. 7г);

**дитетрагональная** – сечение удвоенный четырехугольник (дитетрагон) (рис. 7д);

**дигексагональная** – основание дигексагон, т.е. удвоенный шестиугольник (рис. 7е).

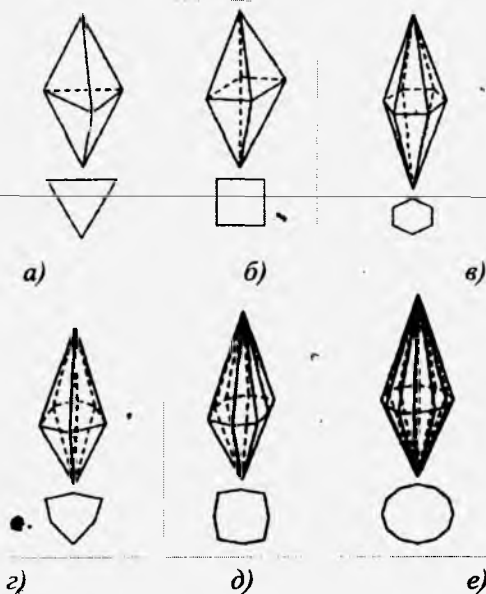
пирамиды (рис. 8) также могут быть тригональные (рис. 8а), дитригональные (рис. 8г), тетрагональные (рис. 8б), дитетрагональные (рис. 8д), гексагональные (рис. 8в), дигексагональные (рис. 8е). В поперечном сечении они также дают треугольник, квадрат и шестиугольник или удвоенные указанные фигуры.





**Рис. 8.** Виды пирамид: а - тригональная, б - тетрагональная, в - гексагональная, г - дитригональная, д - дитетрагональная, е - дигексагональная.

К закрытым формам относятся дипирамиды, скаленоэдры, трапецоэдры, ромбоэдры и тетрагональный тетраэдр.



**Рис. 9.** Виды дипирамид: а - тригональная, б - тетрагональная, в - гексагональная, г - дитригональная, д - дитетрагональная, е - дигексагональная.

На рис. 9 показаны дипирамиды, т.е. формы, состоящие из трех или большего числа граней, пересекающихся в одной точке:

- тригональная;
- тетрагональная;
- гексагональная;
- дитригональная;
- дитетрагональная;
- дигексагональная.

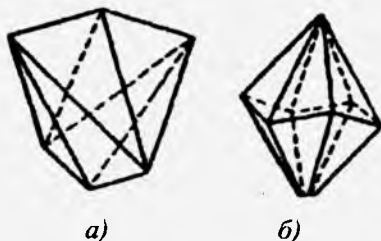
Две пирамиды, сложенные своими основаниями, называются *дипирамидой*.

Название дипирамид, также как призмы пирамид, зависит от формы их сечения (рис.9):

- тригональнадипирамида (рис. 9а)
- тетрагональнадипирамида (рис. 9б)
- гексагональнадипирамида (рис. 9в)
- дитригональнадипирамида (рис. 9г)
- дитетрагональнадипирамида (рис. 9д)
- дигексагональнадипирамида (рис. 9е)

скеленоэдры- формы, имеющие грани в виде разносторонних треугольников (скелено-разносторонний) (рис.10):

- тетрагональный (рис. 10а)
- тригональный (рис. 10б)



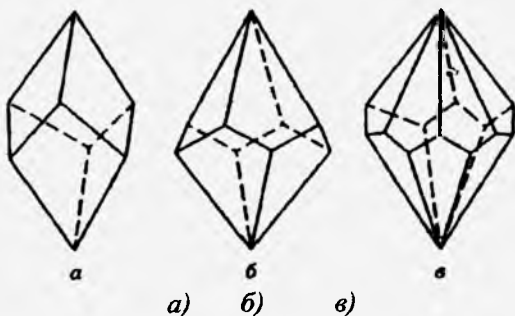
**Рис. 10.** Виды скеленоэдров: а - тетрагональный, б – тригональный.

Трапецоэдры (от слова трапеца- стол)- формы, состоящие из непараллельных граней в виде неправильного четырехугольника (рис.11):

тетрагональный трапецоэдр (рис. 11а)

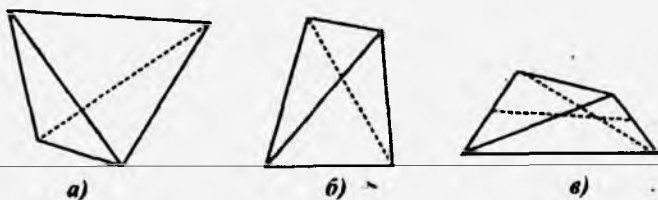
тригональный трапецоэдр (рис. 11б)

гексагональный трапецоэдр (рис. 11в)



*Рис. 11. Виды трапецоэдров:*

*а – тетрагональный, б – тригональный, в – гексагональный.*



*Рис. 12. Различные тетраэдры: а – кубический, б – тетрагональный, в – ромбический.*

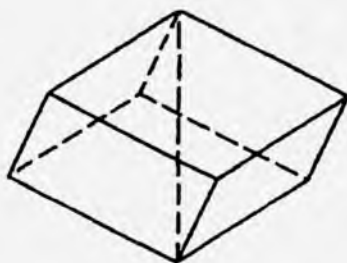
**Тетраэдры** – формы, состоящие из четырех непараллельных граней в виде треугольников (рис 12). Если эти треугольники равносторонние, получается кубический тетраэдр (рис 12а), если они равнобедренные - тетрагональный тетраэдр (рис 12б), а если сечением тетраэдра является ромб - ромбический тетраэдр (рис 12в).

**Ромбоэдр** – форма, состоящая из шести граней в виде ромба (перекошенный куб, рис. 13).





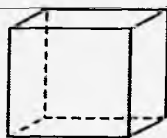
*Рис. 12б. Тетрагональный тетраэдр*



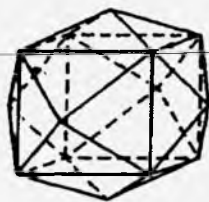
*Рис. 13. Ромбоэдр*

В кубической сингонии имеется 14 простых форм, все они закрытые. Простые формы низших и средних сингоний в кубической сингонии не встречаются.

Куб (гексаэдр) представляет собой шесть попарно параллельных квадратных граней (рис. 14а). Если каждую грань куба заменить четырьмя треугольными гранями, то получится простая форма, которая называется тетрагексаэдр (рис. 14б).



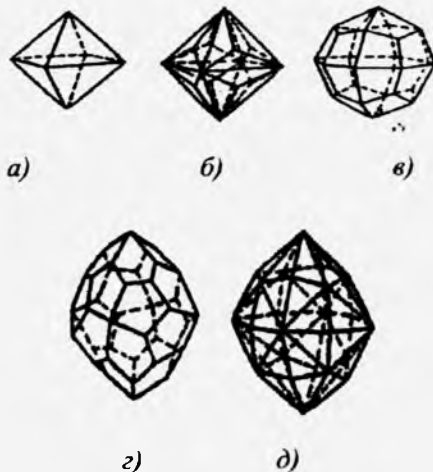
*а)*



*б)*

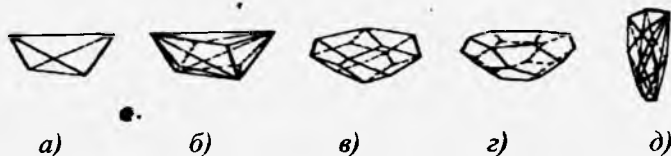
*Рис. 14. Куб (а) и тетрагексаэдр (б)*

Октаэдр (рис. 15а) представляет собой совокупность восьми попарно параллельных граней. Если каждая грань октаэдра замещена тремя гранями (триоктаэдр), то по количеству сторон этих граней различают тригонтриоктаэдр (рис 15б), тетрагонтриоктаэдр (рис 15в) и пентагонтриоктаэдр (рис 15г). При замещении грани октаэдра шестью гранями получим гексаоктаэдр (рис 15д), состоящий из 48 граней.



**Рис. 15.** Простые формы, выводящиеся из октаэдра  
*а* – октаэдр; *б* – тригонтриоктаэдр; *в* – тетрагонтриоктаэдр;  
*г* – пентагонтриоктаэдр; *д* – гексаоктаэдр

Тетраэдр кубической сингонии состоит из четырех равносторонних треугольников, замыкающих пространство (рис. 16а). Если каждую грань тетраэдра заменить тремя гранями, то по аналогии с октаэдром получим тригонритетраэдр (рис. 16б), тетрагонритетраэдр (рис. 16в) и пентагонритетраэдр (рис. 16г). При замещении каждой грани тетраэдра шестью гранями получается гексатетраэдр (рис. 16д).



**Рис. 16.** Простые формы, выводящиеся из тетраэдра  
*а* – тетраэдр; *б* – тригонритетраэдр;  
*в* – тетрагонритетраэдр; *г* – пентагонритетраэдр;  
*д* – гексатетраэдр

2493111

Ромбододекаэдр представляет собой простую форму, состоящую из 12 граней в виде ромбов (рис. 17а).

Пентагондодекаэдр также состоит из 12 граней, но имеющих форму неправильных пятиугольников (рис. 17б).

Дидодекаэдр – «удвоенный» додекаэдр, каждая грань которого заменена двумя гранями (рис. 17в); состоит из 24 граней.

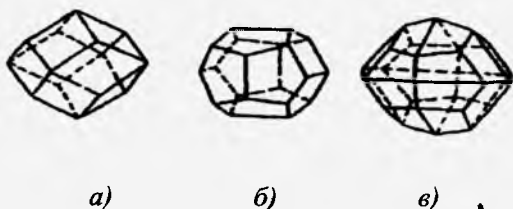


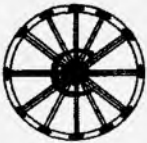


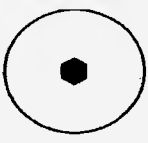



Рис. 17. Ромбододекаэдр (а), пентагондодекаэдр (б) и дидодекаэдр (в)

### 32 ВИДА СИММЕТРИИ




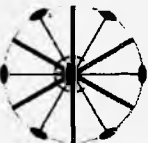
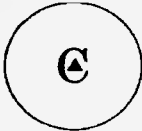
ВЫСШАЯ КАТЕГОРИЯ			
КУБИЧЕСКАЯ СИМГОНИЯ			
	Гексооктаэдр $3L_4, 4L_3, 6L_2, 9PC$		Гексатетраэдр $4L_3, 3L_2, 6PC$
	Дидодекаэдр $4L_3, 3L_2, 3PC$		Пентагон-триоктаэдр $3L_4, 4L_3, 6L_2$
Пентагон-тритетраэдр $4L_3, 3L_2$			

**СРЕДНЯЯ КАТЕГОРИЯ**


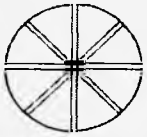


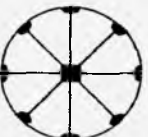
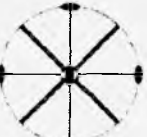
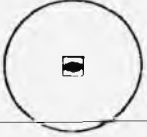
**ГЕКСАГОНАЛЬНАЯ СИНГОНИЯ**

	Дигексагонал- дипирамида $L_6 6L_2 7PC$		Дигексаго- нальная пирамида $L_6 6P$
	Гексагональная дипирамида $L_6 PC$		Гексагональ- ная пирамида $L_6$
	Дитригональ- ная дипирамида $L_3 3L_2 4P$		Тригональная дипирамида $L_3 P$
Гексагональный трапецоэдр $L_6 6L_2$			

**ТРИГОНАЛЬНАЯ СИНГОНИЯ**

	Дитригональ- ная пирамида $L_3 3P$		Тригональная пирамида $L_3$
	Тригональный трапецоэдр $L_3 3L_3$		Тригональный скаленоэдр $L_3 3L_2 3PC$
Ромбоэдр $L_3 C$			

## ТЕТРАГОНАЛЬНАЯ СИНГОНΙΑ


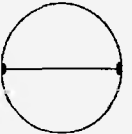
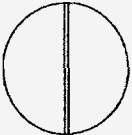
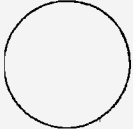
	Дитетрагональная дипирамида $L_4 4L_2 5PC$		Дитетрагональная пирамида $L_4 4P$
	Тетрагональная дипирамида $L_4 PC$		Тетрагональная пирамида $L_4$
	Тетрагональный трапецоэдр $L_4 4L_2$		Тетрагональный скаленоэдр $2L_2 2P$
Тетрагональный тетраэдр $L_2$			

## НИЗШАЯ КАТЕГОРИЯ

### РОМБИЧЕСКАЯ СИНГОНΙΑ

	Ромбическая дипирамида $3L_2 3PC$		Ромбическая призма $L_2 2PC$
Ромбический тетраэдр $3L_2$			

## МОНОКЛИННАЯ СИНГОНΙΑ

	Ромбическая призма $L_2PC$		Диэдрический осевой $L_2$
Диэдрический безосный $P$			
<b>ТРИКЛИННАЯ СИНГОНΙΑ</b>			
	Моноэдр		Пинакоид $C$

### Искусственное выращивание кристаллов, образование и рост кристаллов

Кристаллы возникают при переходе вещества из любого агрегатного состояния в твердое. При этом частицы могут оказаться относительно друг друга в беспорядочном положении или может возникнуть закономерность в их расположении. В первом случае мы будем иметь аморфное вещество, во втором — кристаллическое.

Кристаллы могут образоваться при переходах вещества из газообразного состояния в твердое, из жидкого в твердое и из твердого в твердое. Каждое из этих агрегатных превращений имеет много примеров в природе и технике.

Образование кристаллов серы, нашатыря, борной кислоты и др. происходит при охлаждении газов в кратерах вулканов и fumarолах. Наиболее обычным примером является образование

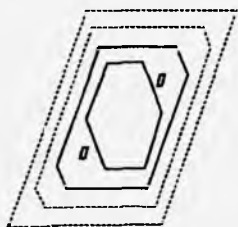
снега: снежинки представляют собой скелетные кристаллики льда. В технике примером образования кристаллов из газовой фазы могут служить различные налеты (на стеклах, угле, в пробирках); получение некоторых из них в минералогии служит для диагностики отдельных элементов (сурьмы, мышьяка и ртути). Для получения и очистки кристаллов нафталина, йода и некоторых других продуктов в химической промышленности применяется их возгонка.

Особенно широко распространено в природе и технике образование кристаллов при переходе вещества из жидкого состояния в твердое. Здесь надо различать два случая: образование 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.

Примерами образования кристаллов из растворов могут служить образование льда и выпадение различных солей. Образование поваренной соли из водных растворов можно наблюдать на примерах озер Эльтон и Баскунчак. В заливе Кара-Богаз-Гол ежегодно в холодное время образуются миллионы тонн мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). В технике примером кристаллизации из расплава служит получение металлов при различных металлургических процессах. Одним из методов получения искусственных кристаллов также является получение их из раствора.

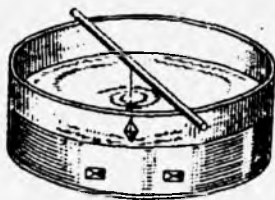
При переходе из твердого состояния в твердое следует отметить два случая. При одних процессах кристаллическое вещество может образоваться из аморфного. Так, с течением времени раскристаллизовываются стекла и содержащие стекла вулканические породы. Другой процесс — перекристаллизация:

структура одних веществ разрушается и образуются новые кристаллы с иной структурой.



*Рис. 18.*

*Грани с большой скоростью нарастания (а) исчезают в процессе роста кристалла*



*Рис. 19.*

*Кристаллизатор с растущими в нем кристаллами*



*Рис. 20.*

*Концентрационные зоны вокруг растущего кристалла*

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. Явления перекристаллизации широко распространены в природе и имеют важное значение для понимания процессов образования минералов и руд.

Как же растут кристаллы? Выше уже говорилось, что грани кристаллов соответствуют наиболее плотным сеткам пространственной решетки. Мелкие кристаллики обычно имеют большое число граней, но в процессе роста некоторые грани зарастают. Нормали к граням есть направления их роста, т. е. в процессе роста грани перемещаются параллельно самим себе. Не все грани растут с одинаковой скоростью. Те из них, которые растут быстрее, уменьшаются в размерах и могут исчезнуть (рис. 18), поэтому форма кристалла в процессе его роста изменяется.

Иногда встречаются так называемые зональные кристаллы. Зональность их может быть обусловлена перерывами в крис-



таллизации или какими-либо примесями и окрашивающими веществами, которые присутствовали в определенные моменты кристаллизации. Положение этих зон показывает перемещение граней кристалла при росте параллельно самим себе. Изучение зональных кристаллов помогает выяснить условия их роста.

Как простейший способ выращивания кристаллов можно рекомендовать следующий. Возьмем несколько граммов квасцов или медного купороса, измельчим в порошок и растворим в воде так, чтобы получился пересыщенный раствор (табл. 1). Чтобы сделать раствор пересыщенным, растворение соли ведут 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 (рис. 19). Через некоторое время мы увидим на стенках и дне сосуда множество мелких кристалликов, а затравка увеличится в размерах и примет ясную огранку.

Растворимость солей (в граммах на 100 см<sup>3</sup> воды)

Таблица 1

Температура, °C	Алюмокалиевые квасцы $KAl[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$	Медный купорос $Cu[SO_4] \cdot 5H_2O$
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

Нужно всегда иметь в виду, что кристаллизацию ведут из пересыщенных растворов. Сам процесс заключается в том, что в пересыщенных растворах частицы вещества, закономерно соединяясь друг с другом, образуют зародыш, из которого затем

развивается кристалл. Чтобы избежать возникновения многих центров кристаллизации, в раствор опускают кристаллик-затравку.

В растворе при интенсивном росте кристалла иногда бывают хорошо заметны характерные струи (рис. 20). Пересыщенный раствор отдает опущенному в него кристаллику часть растворенного вещества, за счет чего кристаллик и растет. Становясь более легкими, эти порции раствора поднимаются вверх, а на их место с боков и снизу поступает более насыщенный раствор. Эти перемещения раствора (струи) называются концентрационными потоками, они сильно влияют на форму растущего кристалла. В нашем случае кристалл будет расти книзу, так как снизу поступает более насыщенный раствор.

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.

В настоящее время известно много способов получения искусственных кристаллов из раствора и расплава. Так, искусственно выращиваются кристаллы сегнетовой соли  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , хлористого аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и др. Практическое значение искусственных кристаллов можно оценить на примере сахарного песка, получаемого в больших количествах на заводах. Большое значение имеет получение искусственных технических и драгоценных камней и твердых сплавов: пьезокварца, карборунда, рубина, алмаза, сапфира и др.



## РАСЧЕТ КООРДИНАЦИОННЫХ ЧИСЕЛ

Координационное число. Структура каждого кристаллического вещества в большой степени зависит от количества ближайших атомов (ионов), окружающих данный атом (ион), т. е. от координационного числа. Для структур меди, золота, магния, цинка (кубической и гексагональной плотнейшей упаковки) каждый атом окружен другими двенадцатью атомами и координационное число

в этом случае, следовательно, равно 12. В случае ионных решеток в структуре объединяются ионы различных радиусов, поэтому координационное число (т. е. число атомов, группирующихся вокруг каждого катиона или число катионов, окружающих анион) будет зависеть от отношения радиуса катиона  $R_k$  к радиусу аниона  $R_a$ , т. е. от величины  $R_k : R_a$ .

Координационные числа обуславливают различное расположение анионов и катионов и, следовательно, позволяют предсказать наиболее характерные особенности структур того или ионного химического соединения.

Таблица 2

Координационное число	Форма координационного полиэдра	Отношение радиусов
2	Гантель	От 0 до 0,15
3	Треугольник	От 0,15 до 0,22
4	Тетраэдр	От 0,22 до 0,41
6	Октаэдр	От 0,41 до 0,73
8	Куб	От 0,73 до 1,37
12	Кубооктаэдр	1

Из таблицы 2 видно, что при различных координационных числах расположение анионов вокруг катионов будет различным. Если соединить центры тяжести всех анионов, окружающих данный катион, то образуются определенные геометрические фигуры, различные для каждого координационного числа. Эти геометрические фигуры получила название координационных полиэдров.

Если координационное число равно 2, что может быть при отношении  $R_k : R_a \leq 0,15$ , то два аниона будут находиться на равном расстоянии от катиона и образовывать фигуру в виде гантели.

При отношении радиусов  $R_k : R_a = 0,15 \div 0,22$  координационное число равно 3; в этом случае три аниона находятся на равном

расстоянии от катиона и при соединении их центров тяжести образуется треугольник, в центре которого располагается катион. При координационном числе 4 (что может быть при  $R_k:R_a=0,22\div0,41$ ) анионы располагаются по вершинам тетраэдра, а катион в его центре; в этом случае координационный полиэдр имеет форму тетраэдра. При  $R_k:R_a=0,41\div0,73$  координационное число равно 6, а координационный полиэдр представляет собой октаэдр. При отношении  $R_k:R_a=1$  координационное число равно 12. в этом случае наибольшее число анионов размещается вокруг катиона и координационная фигура имеет форму кубооктаэдра.

В случае, когда отношение радиусов  $R_k:R_a$  близко к предельным значениям (0,22; 0,41; 0,73), некоторые катионы могут находиться в различных координациях. Так, например, у алюминия  $R_k:R_a=0,40$  и он может иметь координационное число 4 или 6, т. е. находится в одной группировке либо с  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  (координационное число 6), либо с  $Si^{4+}$  (координационное число 4).

Для более ясного представления о координационном числе приведем несколько примеров.

1. Определим координационное число натрия для структуры галита – NaCl. Ионный радиус Na = 0,98 Å ионный радиус Cl = 1,81 Å. Отношение  $R_k:R_a=0,98:1,81$ . Из табл. 2 находим, что для такого отношения радиусов координационное число равно 6, т. е. шесть анионов хлора окружают один катион натрия. Ионы располагаются по вершинам октаэдра.

2. Определим координационное число титана в структуре рутила  $TiO_2$ . В этом случае  $R_k:R_a=0,64:1,32=0,47$ , т. е. координационное число титана равно 6. ;

3. Определим координационное число кальция в структуре флюорита  $CaF_2$ ;  $R_k:R_a=1,06:1,33=0,79$ , т. е. координационное число кальция равно 8, а координационный полиэдр имеет форму куба.

Итак, координационным числом называется число ближайших атомов (или ионов противоположного знака), окружающих данный атом (или ион), находящихся с ним в соприкосновении и

обеспечивающих устойчивость структуры. Координационное число зависит в первую очередь от величины ионных радиусов катионов и анионов. Если рассматривать только кислородные соединения, то координационное число, естественно, будет зависеть от размеров ионных радиусов катионов.

Ниже приведены наиболее характерные координационные числа для различных катионов в кислородных соединениях.

Координационное число	Катионы
3 .....	$B^{3+}, C^{4+}, N^{5+}$
4 .....	$Si^{4+}, Ge^{4+}, Be^{2+}, P^{5+}, S^{6+}, Al^{3+}$
6 .....	$Mg^{2+}, Fe^{2+}, Zr^{2+}, Ni^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Ti^{3+},$ $Ti^{4+}, V^{5+}, Sn^{2+}, Nb^{5+}, Ta^{5+}, Mn^{2+}$
8 .....	$Ca^{2+}, Na^{1+}, Ce^{3+}, Y^{3+}, U^{4+}, Th^{4+}$
12 .....	$K^{1+}, Rb^{1+}, Cs^{1+}, Ba^{2+}, Pb^{2+}$

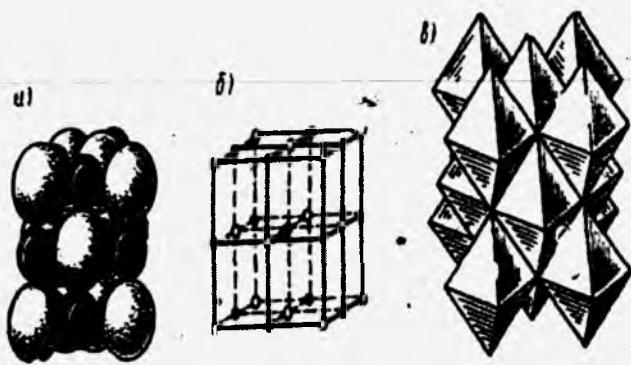
Способы изображения структур минералов. Существует три способа изображения структур.

1. Способ изображения структур шарами. В этом случае каждый ион изображается шаром определенного цвета, размер которого соответствует размеру иона. При плотнейшей упаковке шары соприкасаются друг с другом. Различные структуры минералов отличаются друг от друга по расположению этих шаров, изображающих ионы. Такой способ изображения структур наиболее реалистичен и удобен для изготовления моделей структур, на которых хорошо видно в пространстве взаимное расположения ионов (рис. 22, а). В плоскости же (на бумаге) изображать такие структуры крайне сложно и неудобно.

2. Способ изображения структур путем нанесения центров тяжести шаров. При таком изображении на чертеж наносятся не















сами шары, изображающие ионы, а только их центры тяжести, которые изображаются обычно маленькими кружками разного цвета. Эти центры тяжести шаров-ионов соединяются друг с другом линиями (на пространственных моделях проволокой) таким образом, что становятся видны координационные полиэдры (рис. 22, б). Этот способ изображения структур наиболее распространен и удобен.

3 Способ изображения структур координационными полиэдрами. Академик Н. В. Белов предложил изображать структуры минералов не шарами, представляющими ионы или их центры тяжести, а готовыми координационными полиэдрами – треугольниками, тетраэдрами, октаэдрами, кубами и т. д. Поскольку например, все силикаты состоят из кремнекислородных тетраэдров, соединенных друг с другом, с которыми соизмеримы октаэдры определенного размера (рис. 22, в). Такое способ изображения весьма удобен для сложных структур.



*Рис. 22. Различные способы изображения структуры галенита, имеющей координационный мотив*

## Решетка Бравэ

Сингония	Примитивная	Базоцентрированная	Объемноцентрированная	Гранецентрированная	Формы элементарной ячейки
Триклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$					<i>Параллелепипед</i>
Моноклинная $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma \neq 90^\circ$					<i>Призма с параллелограммом в основании</i>
Ромбическая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$					<i>Призма с равносторонним треугольником в основании</i>
Тригональная (ромбоэдрическая) $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$					<i>Ромбоэдр</i>
Тетрагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$					<i>Призма с квадратом в основании</i>
Гексагональная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$					<i>Призма с ромбом (шестиугольником) в основании</i>
Кубическая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$					<i>Куб</i>

## Знакомство с музеем минералогии

Минералогический музей – та же библиотека, но с книгами, написанные самой природой. Музей минералогии ТашГТУ имеет большую историю. В его создании принимали участие многие ученые, сотрудники кафедры, студенты, обучавшиеся в университете. В настоящее время экспозиция музея состоит из шести разделов.

1. физические свойства минералов.
2. минералы, размещенные по типу химического соединения.
3. минералы, размещенные согласно геохимической классификации минералов по А.С. Уклонскому.
4. минералы Узбекистана.
5. драгоценные и поделочные камни.
6. искусственные минералы.

Во время ознакомления с музеем все эти разделы осматриваются студентами в вышеуказанном порядке.

В первом разделе «Физические свойства минералов» выставлены в трех витринах с характерными признаками морфологии кристаллов, морфологии агрегатных скоплений, цвета минералов, спайности, прозрачности, блеска и твердости.

Второй раздел. Минералы размещены по типу химического соединения. Раздел является наиболее обширной частью музея. Здесь выставлены в витринах образцы минералов, начиная самородными элементами, сульфидами и т. д., кончая солями кислородных кислот, силикатами и органическими соединениями.

Третий раздел. Минералы размещены согласно геохимической классификации минералов по А.С. Уклонскому. В витринах они начинаются с минералов кремния. Далее следуют минералы Al, С, N, S, P, В, Cl, Na, K и т.д.

Четвертый раздел музея посвящен минералам Узбекистана. Этот раздел составлен из образцов минералов, принесенных из различных районов Узбекистана.

Пятый раздел размещен в одной витрине и состоит из полированных образцов поделочных и полудрагоценных минералов.



Шестой раздел музея самый маленький. В нем собраны слитки различных металлов, неметаллов, искусственные кристаллы кварца, корунда, алмаза и др.

## **Определение минералов по внешним признакам**

Целью этой работы является обучение студентов самостоятельно определять физические свойства минералов. Для этого каждый студент должен описывать все физические свойства минерала данного ему образца в следующем порядке.

Вначале определяется внешняя форма минералов. При этом надо иметь в виду, что минералы встречаются в виде кристаллов, кристаллических двойников, сростков, зернистых сплошных масс, землистых скоплений и т. д. В этом отношении наибольший интерес представляют кристаллы. По форме кристаллов можно определить сингонию минерала. Но это не всегда удастся сделать. В этом случае нужно определить форму зерен (изометричная, вытянутая, игольчатая, шестоватая, волокнистая, листоватая или чешуйчатая и т. д.)

Чаще минералы встречаются в виде агрегатов. В этом случае нужно выделять друзы, лучистые агрегаты, жилковатые, волокнистые, зернистые агрегаты, скрыто кристаллические массы, натечные и оолитовые формы.

Цвет минерала и цвет черты. Цвет следует наблюдать на свежем изломе, так как на поверхности он может измениться в результате выветривания. Эта особенность касается сернистых и мышьяковистых минералов.

Цвет (окраска) минералов. Минералы могут иметь самую разнообразную окраску, и, описывая минерал, нужно стремиться к возможно более точному ее определению путем сравнения с цветом общеизвестных предметов, например: молочно-белый, лимонно-желтый, травянозеленый, свинцово-серый и т. д.

В зависимости от причин, ее вызывающих, можно выделить три вида окраски минералов: идиохроматическую, аллохроматическую и псевдохроматическую.

Идиохроматическая окраска (от греч. «идиос» — собственный, «хрома» — цвет) обычно обусловлена кристаллохимическими особенностями самого минерала. Чаще всего она вызывается вхождением в состав минералов хромофоров — элементов-носителей окраски (Fe, Ca, Ni, Cr, Mn, Co и др.). В зависимости от валентного состояния эти элементы окрашивают минералы в разные тона. Минералы с идиохроматической природой окраски всегда обладают постоянным цветом, который является для них важнейшим диагностическим признаком. Даже названия многим минералам даны именно по этому признаку, например рубин (от лат. «рубер» — красный), хлорит (от греч. «хлорос» — зеленый), альбит (от лат. «альбус» — белый), гематит (от греч. «гематикос» — кровавый) и др.

Аллохроматическая окраска (от греч. «аллос» — чужой, посторонний) не зависит от кристаллической природы самого минерала, а связана с тонко рассеянными в нем посторонними механическими примесями. Цвет минерала в этом случае не постоянен и не может служить определяющим диагностическим признаком. Например, такой распространенный минерал, как кварц, может быть молочно-белым, серым, бесцветным прозрачным (горный хрусталь), розовым, фиолетовым (аметист), золотисто-желтым (цитрин). Разнообразную окраску также могут иметь кальцит, гипс, доломит, барит и др.

Псевдохроматическая (ложная) окраска вызывается оптическими эффектами, чаще всего интерференцией света при его отражении от трещин, включений в минералах, тонких пленок на их поверхности.

Так, у минерала лабрадора, вследствие интерференции света, отраженного от плоскостей спайности и микроскопических трещин, выполненных ильменитом ( $\text{FeTiO}_3$ ), возникает красивое внутреннее свечение в голубовато-синих, а иногда и радужных тонах, называемое иризацией.

На слегка окисленной поверхности некоторых минералов (халькопирит, борнит) часто наблюдаются тонкие пленки с

характерной пестрой радужной окраской, называемые побежалостью. Таким образом, иризация и побежалость являются наиболее распространенными видами ложной окраски.

Цвет черты (или цвет минерала в порошке) определяется путем проведения куском минерала по шероховатой поверхности фарфоровой пластинки (бисквита). При этом четкую черту оставляют только ясноокрашенные минералы, твердость которых меньше твердости фарфора. Более твердые минералы черты не дают (они царапают фарфор), а бесцветные плохо окрашенные минералы, как правило, имеют плохо заметную белесую черту.

Цвет черты может, как совпадать с собственным цветом минерала, так и отличаться от него. Так, у малиново-красной киновари и желтой серы черта имеет ту же окраску, тогда как у золотисто-желтого пирита она черная.

Для некоторых минералов цвет черты является важным диагностическим признаком. Например, гематит, лимонит и магнетит, часто имеющие в куске близкую окраску, легко различаются по цвету черты — соответственно красно-бурой, ржаво-желтой и черной. Характерную зеленовато-серую черту имеет хромит, желтовато-коричневую — сфалерит.

Блеск минералов, или способность отражать падающий на них свет, является важным диагностическим свойством, так как зависит от оптических констант минерала — показателя преломления и показателя отражения. Последние, в свою очередь, обусловлены кристаллохимическими особенностями минералов, и прежде всего плотностью кристаллических решеток и типами химических связей в них. По характеру блеска минералы можно разделить на три группы: с металлическим, полуметаллическим и нематаллическим блеском.

Металлический блеск напоминает блеск гладкой свежей поверхности металла. Он характерен для непрозрачных минералов, большинство из которых являются рудными (галенит, пирит, халькопирит, самородное золото, серебро, платина). Названия некоторым из этих минералов первоначально давались по их

интенсивному металлическому блеску, например свинцовый блеск (галенит), сурьмяный блеск (антимонит) и др.

Полуметаллический блеск сходен с блеском потускневшей поверхности металла и встречается у непрозрачных и полупрозрачных минералов (графит, гематит, темный сфалерит, магнетит).

Неметаллический блеск наиболее широко распространен. Он характерен для целого ряда прозрачных и полупрозрачных минералов. Выделяется достаточно большое количество его разновидностей.

Стекланный, напоминающий блеск поверхности стекла. Это самый распространенный вид блеска, им обладают около 70 % всех минералов (кварц на гранях кристаллов, кальцит, доломит, флюорит, полевые шпаты и др.).

Алмазный — очень сильный искрящийся блеск, нередко затушевывающий собственную окраску минерала (алмаз, светлый сфалерит, касситерит и др.).

Жирный, близкий к стеклянному, но несколько более тусклый блеск, когда поверхность минерала кажется покрытой пленочкой жира (кварц на изломе, нефелин, самородная сера).

Перламутровый — аналогичен блеску перламутровой раковины с радужными переливами, характерен для пластинчатых минеральных агрегатов (мусковит, гипс, тальк).

Шелковистый — наблюдается при тонковолокнистом строении минералов и напоминает блеск шелковых нитей (асбест, волокнистый гипс).

Восковый — тусклый, напоминающий блеск воска; характерен для агрегатов с достаточно грубой поверхностью (халцедон, кремь).

Матовый блеск, когда минералы практически не блестят, встречается у тонкодисперсных землистых минеральных агрегатов (каолинит, лимонит, глауконит).

Следует помнить, что блеск нужно определять на свежей поверхности минерала, а интенсивность его часто зависит от формы

минерального агрегата. Например, чешуйчатая разновидность гематита (железная слюдка) имеет металлический блеск, у сплошных масс того же минерала он становится более тусклым полуметаллическим, а у землистых выделений гематита — матовым.

**Спайность.** Спайностью называется способность некоторых минералов раскалываться с образованием плоской зеркальной поверхности по определенным кристаллографическим направлениям. Чтобы хорошо наблюдать спайность, размеры зерен минерала должны быть достаточно хорошо различимы. У минералов скрыто кристаллического строения или образующие землистые массы спайность увидеть практически невозможно.

Спайность различается по степени ее совершенства (весьма совершенная, совершенная) средняя или ясная, несовершенная, весьма несовершенная). С целью более детальной характеристики принято указывать направление, в котором спайность проходит в кристалле (по кубу, октаэдру, ромбоэдру и т.д.)

**Прозрачность** определяется способностью минералов пропускать падающий на них свет.

По степени прозрачности макроскопически все минералы, наблюдающиеся в отдельных кристаллах или их сростках, делятся на:

прозрачные, через которые отчетливо видны предметы (кристаллы горного хрусталя, исландского шпата, отдельные пластинки мусковита);

полупрозрачные, через которые, как через матовое стекло, видны лишь очертания отдельных предметов (гипс, флюорит);

просвечивающие, пропускающие свет лишь в тонком слое;

непрозрачные (все минералы с металлическим блеском).

Когда мы имеем дело со сравнительно мелкозернистыми минеральными агрегатами, свет, многократно преломляясь и отражаясь от различно ориентированных зерен, в конце концов рассеивается и отражается. Вследствие этого зернистые агрегаты любых минералов часто кажутся непрозрачными.

**Плотность (удельный вес).** Это свойство зависит, в первую очередь, от химического состава минералов. Естественно, что минералы, имеющие в своем составе элементы с большим порядковым номером, обладают и большим удельным весом. Значительную роль играют также плотность упаковки и структурный мотив кристаллической решетки.

Плотность минералов изменяется в широких пределах от 600 до 27 000 кг/м<sup>3</sup> (или от 0,6 до 27 г/см<sup>3</sup>) и точно определяется в лабораторных условиях.

При макроскопическом определении плотность оценивается приблизительно путем «взвешивания» минерала на руке с оценкой «легкий», «средний», «тяжелый».

К легким относятся минералы с плотностью до 2500 кг/м<sup>3</sup> (2,5 г/см<sup>3</sup>) — сера, галит, опал.

Средней плотностью (от 2500 до 40 000 кг/м<sup>3</sup>) (2,5-4 г/см<sup>3</sup>) обладает большинство породообразующих минералов (кварц, кальцит, полевые шпаты, слюды, апатит, флюорит и др.).

Тяжелыми считаются минералы с плотностью более 4000 кг/м<sup>3</sup> (4 г/см<sup>3</sup>); чаще всего это рудные минералы (галенит, пирит, халькопирит, магнетит и др.).

Следует отметить, что определение плотности с уверенностью можно производить только в мономинеральных образцах, при этом часто прибегают к сравнению близких по размерам образцов различных минералов.

**Твердость.** Твердость является одним из важнейших диагностических свойств минералов. Под твердостью понимается способность минералов противостоять внешнему механическому воздействию.

Твердость минерала определяется путем сравнения ее с твердостью минералов шкалы Мооса. Необходимо установить, действительно ли при царапании одного минерала другим на каком-либо из них получается царапина. Если это плохо видно, то след от царапания надо посмотреть через лупу. Для определения твердости порошкового минерала следует минерал шкалы Мооса

потереть порошковатым минералом. Если при этом блестящая поверхность первого минерала покрывается царапинами, то порошковатый минерал тверже эталона.

**Таблица 3**

**ШКАЛА МООСА**

Минералы	Порядок возрастания твердости	Определения твердости минерала по шкале Мооса	твердость кг/мм <sup>2</sup>
Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$	1	на ощупь жирный	2,4
Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	чертит на бумаге, можно легко поцарапать ногтями	36
Кальцит $CaCO_3$	3	чертит медной проволокой	109
Флюорит $CaF_2$	4	на стекле не царапает	189
Апатит $Ca_5[PO_4]_3(F, OH, Cl)$	5	слегка царапает стекло	536
Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$	6	царапает стекло	795
Кварц $SiO_2$	7	легко чертит стекло	1120
Топаз $Al_2[F, OH]_2[SiO_4]$	8	слегка режет стекло	1427
Корунд $Al_2O_3$	9	режет стекло	2060
Алмаз C	10	легко режет стекло	10060

Кроме этого, можно пользоваться легко доступными предметами, твердость которых известна в цифрах Мооса. Например, ноготь пальца (2,5), медная монетка (3), кусочек оконного стекла (5.5-6), стальной перочинный ножик(5.5-6). Если минерал пишет на бумаге, не царапая- твердость 1.

Магнитность. Минералы с магнитными свойствами проверяются магнитом или намагниченным железным предметом (мелкие осколки минерала притягиваются), или магнитной стрелкой (крупные осколки действуют на стрелку).

Вкус. Вкусовые ощущения вызывают только растворимые в воде минералы. Проверяя вкус, мы определяем также растворимость минералов в воде.

Реакция с разбавленной соляной кислотой используется для диагностики минералов класса карбонатов (солей угольной кислоты) и сопровождается выделением пузырьков углекислого газа. Интенсивность протекания реакции не одинакова для различных минералов, что и служит основой для их распознавания. Кальцит бурно реагирует с кислотой в куске (вскипает), доломит вступает в реакцию только в порошке, а магнезит реагирует лишь с подогретой соляной кислотой.

Определение минералов при помощи внешних признаков осуществляется по определителю НА. Смольянинова (НА. Смольянинов. Практическое руководство по минералогии, М., 1951.С. 229).

Вычисление химической формулы минерала проводится по данным химического анализа.

Для примера выведем формулу барита, содержащего по данным химического анализа: Ва-58,8%, S - 13,7% О - 27,5 %

Описание хода работы: данные числа в % надо разделить на соответственные атомные веса: для Ва- 137, S- 32,0- 16

Тогда для Ва  $58,8:137=0,429$ , для S  $13,732=0,429$ , для О  $27,5:16=1,718$

Полученные эквиваленты относятся друг к другу как простые целые числа:  $0,430,430:1,728=1:1:4$ , т.е. На 1 соединительный вес



бария приходится 1 соединительный вес серы 4 соединительных веса кислорода, что соответствует формуле-  $BaSO_4$ -барита.

Если результаты хим. анализа даны в другой форме например:  $CaO - 32.5\%$   $SO_3 - 46.6\%$   $H_2O - 20.9\%$ . Описание хода работы: Для  $CaO - 40+16=56$ ,  $SO_3 - 32+16 \times 3=80$ ,  $H_2 - 2+16=18$  Тогда для  $CaO$   $32.5/56=0.58$ ,  $SO_3$   $46.6/80=0.58$ ,  $H_2O$   $20.9/18=1.11$

$0.58:0.58:1.11=1:1:2$ , т.е.  $CaO \times SO_3 \times 2H_2O$  или  $CaSO_4 \times 2H_2O$  что отвечает формуле гипса.

Вычисление химической формулы минерала проводится по данным химического анализа.

## Вычисление химических формул минералов

Компоненты	Процентное содержание элементов относительно весу	Атомный вес	Расчет	Содержание атома	Соотношение	Название и формула минерала
Fe	30.47	56	10.47 : 56	0.544	1	Халькопирит $\text{CuFeS}_2$
Cu	34.40	63.5	34.40 :	0.541	1	
S	35.87	32	63.5	1.12	2	
			15.87 : 32			
$\text{SiO}_2$	55.12	28 + 16 * 2	55.12 : 60	0.919	4	Анальцим $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22.99	= 60	22.99 :	0.225	1	
$\text{Na}_2\text{O}$	13.53	27 * 2 + 16	102	0.218	1	
$\text{H}_2\text{O}$	8.27	* 3 = 102	13.53 : 62	0.452	2	
		23 * 2 + 16	8.27 : 18			
		= 62				
		1 * 2 + 16				
		= 18				
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	89.92	56 * 2 + 16	89.92 :	0.562	1	Гепит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
$\text{H}_2\text{O}$	10.22	* 3 = 160	160	0.567	1	
		1 * 2 + 16	10.22 : 18			
		= 18				
Fe	21.13	56	21.13 : 56	0.38	0.38 + 0.45 = 0.83	Монгеймит (Fe, Zn) $\text{CO}_3$
Zn	29.43	65	29.43 : 65	0.45		
$\text{CO}_3$	49.80	12 + 16 * 3	49.80 : 60	0.83		
		= 60				

$\text{CaCO}_3$   
 $40 + 12 + 16 \cdot 3 = 100$

100 - 100%

40 - Ca

$\text{Ca} = 40 \cdot 100 / 100 = 40\%$

100 - 100%

12 - C

$\text{C} = 12 \cdot 100 / 100 = 12\%$

100 - 100%

48 - O

$\text{O} = 48 \cdot 100 / 100 = 48\%$

### Вычисление химической формулы минералов

Дистен	Al -33,3	Si -17,33	O -49,37	( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )	
Волластонит	Ca -34,5	Si -24,2	O -41,3	( $\text{CaSiO}_3$ )	
Родонит	Mn -41,95	Si -21,39	O -36,66	( $\text{MnSiO}_3$ )	
Лейцит	K -17,9	Al -12,4	Si -25,7	O -44	( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ )
Нефелин ( $\text{NaAlSiO}_4$ )	Na -16,2	Al -19,0	Si -19,8	O -45	
Диопсид	Al -44,97	O -53,35	H -1,68	( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ )	
Калиевая селитра	K -38,61	N -13,87	O -47,52	( $\text{KNO}_3$ )	
Нашатырь	N -26,18	H -7,55	Cl -66,27	( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )	
Сассолин	B -17,48	O -77,62	H -4,9	( $\text{B}(\text{OH})_3$ )	
Тенардит	Na -32,27	S -22,57	O -45,06	( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	

### Метод паяльной трубки

Для работы с паяльной трубкой пользуются пламенем свечи, спиртовой лампы или газовой горелки.

В пламени свечи различаются три конуса:

- 1) внутренний, вещество свечи в парообразном состоянии, температура (350-380);
- 2) средний – частично сгоревший, недоокисленные продукты восстановительное пламя (400-580);
- 3) наружный, продукты окончательного сгорания и избыток кислорода - окислительное пламя (600-1000)

При помощи паяльной трубки воздух вздувается в пламя свечи.

Можно производить различные испытания минералов с целью диагностики последних.

#### Налеты на угле.

Опыт производится на пластинке плотного угля. Испытуемый минерал помещают в ямку, сделанную на краю пластинкой, сильно прокаливают. Сернистые и мышьяковистые дают налеты непосредственно при прокаливании. Другие минералы следует предварительно истереть в порошок с тройным количеством соды.

Минералы для получения налетов на угле:

1. Аурипигмент и реальгар - налет ложится далеко от пробы, серовато - белый, голубоватый, пламя- фиолетовое. Чувствуется чесночный запах.

2. Антимонит- налет плотный, густой, ложится близко от ямки, получается при этом густой дым.

3. Галенит - налет желто - зеленый, ложится близко от пробы, плотный.

4. Висмутин - близко от пробы – темно-оранжевый, далеко от пробы - зеленовато-белый.

5. Сфалерит - близко от пробы, горячий - желтый, холодный -белый.

6. Молибденит - близко от пробы - горячий - бледно - желтый, холодный - белый.

#### Получение королька металла.

Для получения восстановленных металлов (корольков) надо минерал смешать с 3 объемами соды, с 1 объемом угля, смесь увлажнить и замешать зернышко смеси в виде теста, затем положить его в углубление на угле и обрабатывать восстановительным пламенем. Корольки очень хорошо видны, у несколько других труднее.

Минералы для получения корольков - галенит, касситерит, халькозин, висмутин, антимонит.

#### Окрашивание пламени

Для получения окрашивания пламени, надо взять асбестовые

волокна, сделать из них жгутики, смочить в разбавленной соляной кислоте. Затем намоченным кончиком асбестового жгутика обмакнуть в заранее приготовленный порошок испытуемого минерала и ввести в пламя паяльной трубки близко к фитилю.

Минералы для окрашивания пламени:

1. Галит дает интенсивно-желтый цвет пламени
2. Барит дает желто - зеленый цвет
3. Кальцит дает оранжево- красный цвет
4. Целестин дает малиновый цвет
5. Лепидолит дает карминовый (темно- красный) цвет
6. Сильвин - бледнофиолетовый цвет

### Плавкость минералов

Для определения плавкости минералов следует пользоваться наиболее высокой температурой, какую только можно получить с помощью паяльной трубки. Точка наиболее высокой температуры находится впереди восстановительного конуса. Исследуемый минерал стараются взять в виде возможно тонкого осколка (величиной 3-4 мм), зажимают его в пинцет так, чтобы острый конец выступал из кончиков пинцета и подвергают воздействию максимальной температуры, если минерал легкоплавкий, он быстро плавится в шарик, более трудноплавкие лишь слегка округляются без изменения.

Степень плавкости определяется прилагаемой шкалой плавкости.

### Шкала плавкости

1. Антимонит. Легко плавится даже в крупных осколках в обычном пламени свечи.
2. Халькопирит. Сравнительно легко оплавляются в светящемся пламени только мелкие осколки минерала.
3. Альмандин. Осколки обычного размера сплавляются без особого труда перед паяльной трубкой.
4. Актинолит. Тонкие осколки закругляются, острые игольчатые сплавляются в шарик.

5. Ортоклаз. Края осколков обычного размера закругляются с трудом.

6. Бронзит. Осколки минерала только после энергичного и длительного прокаливания слегка оплавляются в самых острых углах.

7. Кварц не плавится совсем.

## Определение удельного веса минерала

Удельный вес минерала является одной из главных констант минерала и тесно взаимосвязан с другими его особенностями. Определение удельного веса необходимо для диагностики минералов. Из удельных весов минералов складывается величина - плотность пород. Величина удельного веса отражает химический состав представителей изоморфных рядов, служит основой для определения объема элементарной ячейки и числа заключенных в ней молекул вещества. Удельный вес является основным признаком, по которому разделяются (обогащаются) минералы как природными водными потоками, так и искусственно гравитационными способами. Удельный вес минералов, пород, руд, концентратов учитывается при их транспортировке. Удельный вес минералов, как известно, зависит от их химического состава и закономерностей внутреннего строения.

Примером взаимосвязи между плотностью и структурой минералов могут служить любые полиморфные модификации:

$\alpha$  - кварц- 2,65;  $\beta$ - кварц- 2,51; алмаз- 3,51, графит- 2,23; кальцит-2,71; арагонит-2,95; пирит-5,1; марказит-4,9 и т.д.

При одинаковом химическом составе на удельный вес (плотность) оказывают влияние межатомные расстояния и координационные числа, тип химической связи, а при прочих равных условиях взаимное расположение групп атомов или молекул в разных полиморфных модификациях. В зависимости от химического состава минералов удельные веса разнородны. В изоморфных рядах химические элементы с большой атомной

массой увеличивают удельный вес, а элементы с большими радиусами ионов уменьшают его.

В ряду альбит-анортит удельный вес изменяется от 2,61 до 2,75 по мере увеличения кальция в составе плагиоклазов. В группе вольфрамита удельный вес увеличивается от гюбнерита (7,25) до ферберита (7,60), в группе оливина у форстерита удельный вес 3,21; у фаялита-4,14.

#### Плотность или удельный вес и единицы измерения.

Для характеристики удельного веса используется масса или вес, отнесенные к определенному объему.

$$d = \frac{M}{V} \text{ или } d = \frac{P}{V}$$

где d- неизвестный удельный вес; m - масса, v - объем, выраженный в одной системе единиц; p- вес. Вес связан с массой.

При минералогических исследованиях приходится определить удельный вес не только твердых тел (минералов, горных пород), но и жидкостей, поскольку удельный вес (плотность) минералов часто находят методом сравнения с плотностью жидкостей, называемых тяжелыми.

Так как на удельные веса минералов влияют их структурные особенности и вариации химического состава, то выбор метода зависит от указанных факторов.

Наиболее распространенными и точными являются весовые методы.

Объемные методы применимы с помощью разнообразных по конструкции газовых или жидкостных объеметров (волюмометров).

Рентгеновский метод определения удельного веса минералов не требует прямых определений, а сводится к вычислению по формуле, связывающей плотность вещества (D) и его молекулярный вес (M), объемом элементарной ячейки (V) и числом заключенных в ней молекул (n).

$\rho = \frac{M}{N \cdot V}$ , где  $N$ -число Авогадро ( $6,0258 \cdot 10^{23}$ ).

Объем элементарной ячейки вычисляют на основе ее констант. Например, для минералов кубической сингонии  $V = a_0^3$ , где  $a_0$  -размеры ребер элементарной ячейки, (см. Э.М. Бронштедт-Куплетская. Определение удельного веса минералов. -М., 1951).

Наблюдаемая разница между вычисленным и определенным удельным весом зависит от дефекта в структуре минералов.

В зависимости от поставленных задач перед исследователем выбирается один из методов определения удельных весов минералов.

1. Метод гидростатического взвешивания.
2. Метод погружения в тяжелые жидкости.
3. Метод пикнометрический.
4. Метод при помощи объеметров (волюмометров).
5. Метод рентгенометрический.
6. Метод микробюреток.

#### Описание пикнометрического метода.

Определение удельного веса при помощи пикнометра- самый распространенный для минералогов метод, несмотря на то, что он кропотлив. Он является наиболее точным и доступным, не требующем сложного оборудования.

Пикнометр представляет собой стеклянную колбочку определенного объема. Форма их приведена на рис. 21.



**Рис 21. Пикнометр**



Подготовка к опыту.

1) Пикнометр с пробой взвешивают 5 раз и полученное среднее значение записывают как константу пикнометра (Р). Перед каждым взвешиванием пикнометр промывают и высушивают.

2) Для определения емкости пикнометра наливают дистиллированную воду до метки. Пикнометр с водой помещают или в эксикатор, соединенный с насосом Комовского для отсасывания воздуха или пикнометр ставят в стакан для кипячения. В том и другом случае воздух удаляется быстро. Избыток воды фонтанирует через капилляр пробки. После остывания пикнометра добавляется капля недостающей воды и пикнометр взвешивается 3 раза. Емкость пикнометра(Рн-Р) является второй константой.

3) Минерал подготавливается следующим образом: В ступке или на наковальне минерал разбивают на мелкие осколки примерно одинакового размера (чуть меньше диаметра горлышка пикнометра, осколки должны свободно проходить в горлышко), просеивают через ситечко, чтобы освободиться от пылевых частиц. Перед определением минерал промывают в кислотах, а затем в спирте и просушивают в термостате или при комнатной температуре в зависимости от отношения минерала к нагреванию.

4) Во взвешенный сухой пикнометр насыпают навеску (примерно 1/3 или 1/4 объема пикнометра) и взвешивают (Рн). Насыпать пробу удобно при помощи малой воронки с отрезанной трубкой.

5) В пикнометр добавляют немного (половину объема) дистиллированной воды и помещают в эксикатор с насосом или в стакан с водой для кипячения. Из эксикатора откачивают воздух. После прекращения «кипения» в эксикатор вновь напускают воздух, а прокипяченный пикнометр остужают. Таким образом, вода заполняет все поры, трещины в осколках минералов. Затем в пикнометр добавляется вода до метки, вновь производится взвешивание(Рнв).

**Удельный вес вычисляется по формуле:**

$$\frac{P_H - P}{(P_H - P) - (P_{НВ} - P_H)}$$

где P - вес пустого пикнометра, P<sub>H</sub> - вес пикнометра с навеской, P<sub>НВ</sub> - вес пикнометра с навеской и водой, P<sub>H</sub> - вес пикнометра с водой

При определении удельного веса растворимых в воде минералов (галита, сильвина и др.) нужно пользоваться другими жидкостями (спиртом, бромбензолом и др.), которые на эти соли действуют. При работе очень удобно все записи и расчеты вести однотипно, чтобы в любой момент можно было проверить любую цифру в случае сомнений или обнаружений ошибки. Образец записи приведен в табл.4

Таблица 4

Число, месяц, год		Вычисление удельного веса по формуле
Образец №450	P=5,0381 P <sub>В</sub> =6,0168 P <sub>H</sub> =5,3930	$\frac{5,3930 - 5,0381}{(5,393 - 5,0381)(7,8400 - 5,3930)} = 4,42$
Барит	P <sub>НВ</sub> =7,8400	

Чтобы быть уверенным в правильности результата производится 3<sup>х</sup> разовое определение или измерение проводятся параллельно в 3<sup>х</sup> пикнометрах. Точным результатом считается среднее из 3<sup>х</sup> значений.

### • Минералы кремния

Кремний или силиций (Si) – четырехвалентный элемент четвертой группы

Атомный вес 28,06, порядковый номер 14, изотопы 28, 29, 30. Радиус атома 1,17 А°, радиус иона + 0,39 А°. Кларк 26,00.

Удельный вес 2,34, твердость 7.

Плавится около 1420°.

В свободном виде может быть получен только искусственно прокаливанием песка с магнием (аморфный кремний). При растворении в расплавленном цинке и охлаждении выделяется в виде черных кристаллов.

Соединения кремния были известны в глубокой древности. Кремень ( $\text{SiO}_2$ ) был одним из первых минералов, использованных первобытным человеком.

В 1822 г. Берцелиус впервые получил элементарный кремний. В земной коре, где роль его исключительно велика, кремний присутствует, за самыми редкими исключениями, в виде своего окисла ( $\text{SiO}_2$ ) и его многочисленных производных – простых и сложных силикатов.

Алюмосиликаты и феррисиликаты слагают около 70% весового состава земной коры. Все остальные соединения кремния, упоминаемые в литературе (силициды, силаны, азотные, борные, сернистые соединения кремния и др.) или сомнительны, или непрочны. Исключением являются галоидные соединения кремния:  $\text{SiF}_4$  - газ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiBr}_4$  - жидкости,  $\text{SiI}_4$  - твердое тело в нормальных условиях.

В химии земной коры большую роль играет кремнефтористоводородная кислота,  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ; также хлористые соединения.

В сложных процессах магматической дифференциации кремний мигрирует, нередко в виде необычайно летучих галоидных соединений кремния в плутонических и вулканических процессах очень быстро переходят в окисленные (кварц и силикаты), иногда содержащие оксифтористую изоморфную примесь, как, например, топаз  $[\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2\text{SiO}_4]$ .

Окисел кремния является ангидридом кремневых кислот, и многие силикаты можно рассматривать, как его простые соли. В минералогии долгое время существовало воззрение на силикаты, как на соли многочисленных кремневых кислот-частью реальных, главным же образом гипотетических (Вюрты, Г.Чермак и

др.), с помощью которых пытались (с большими натяжками) объяснить природу сложных силикатов. На рубеже XX в., благодаря исследованиям главным образом В.И.Вернадского, в науку вошло представление о строение большинства силикатов – по преимуществу – как солей комплексного адмокремневого ангидрида.

Согласно В.И.Вернадскому, кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) с катионами дает простые силикаты – соли, состоящие из трех элементов: металла (катиона), кремния и кислорода. Но с металлоидами, а также с некоторыми металлами, обнаруживающими кислотные свойства (Al, Fe и некоторые другие, им изоморфные), кремнезем образует не соли, а сложные ангидриды, на пример  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , существующий в природе в виде полиморфной триады – силлиманит, дистен, андалузит. Химические свойства сложных ангидридов резко отличны от простых кремнекислых солей.

Солями и гидратами сложных ангидритов являются соединения, построенные в основном из четырех элементов: 1) катион (металл или водород с положительным зарядом), 2) анион (металлоид или металл с отрицательным зарядом), 3) кремний, 4) кислород. Состав этого ядра может быть замещения: кремний может быть замещен титаном, цирконием, церием; алюминий – железом, хромом, ванадием, марганец и др. Все это приводит к необычайным усложнениям состава силикатов, действительно наблюдаемым в природе.

**Кварц ( $\text{SiO}_2$ )** – является одним из наиболее распространенных в земной коре и наилучше изученных минералов. Цвет кварца может быть самый различный, но обычно распространены бесцветные прозрачные, молочно-белые и серые окраски. Прозрачные или полупрозрачные красиво окрашенные разновидности носят особые названия (рис.22):

- 1) **горный хрусталь** – бесцветные водянпрозрачные кристаллы;
- 2) **аметист** – фиолетовые разновидности;
- 3) **раухтопаз** – дымчатые прозрачные разновидности, окрашенные в сероватые или буроватые тона.

- 4) **морион** – кристаллы кварца, окрашенные в черный цвет;  
5) **цитрин** – золотисто-жёлтые или лимонно-желтые кристаллы.

Кроме перечисленных прозрачных разновидностей кварца, наблюдаются явно аллохроматические окрашенные кристаллы кварца благодаря включениям посторонних минералов, также имеющие свои названия: **празем** – зеленоватый кварц с включениями иголочек зеленого актинолита; **авантюрин** – желтоватый или буровато-красный кварц с мерцающим отливом, обусловленным мельчайшими включениями слюды, железной слюдки ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и др.



*Рис. 22. Разновидности кварца*

Твёрдость 7. Спайность отсутствует или весьма несовершенная по ромбоэдру. Излом раковистый. Удельный вес 2,5-2,8. Кварц способен пропускать ультрафиолетовые лучи. Обладает свойством пьезоэлектризации: под влиянием механических напряжений в нем возникают электрические заряды. Температура плавления кварца  $1713^{\circ}$ . При застывании расплава легко образуется кварцевое стекло (аморфный кварц), обладающее рядом особых свойств (кислотоупорностью, низким коэффициентом расширения, способность пропускать ультрафиолетовые лучи и др.)

Диагностика. Кристаллы кварца легко узнаются по характерным для них формам. Кварц устанавливается по высокой твердости, раковистому излому и отсутствию спайности.

Более высокотемпературная модификация кварца кристаллизуется в гексагональной сингонии. Более устойчивая при температурах ниже  $573^{\circ}$  (при атмосферном давлении) кристаллизуется в тригональной сингонии.

В пустотах широко распространены друзы кристаллов кварца, иногда в сростании с кристаллами других минералов. Сплошные же массы кварца представляют зернистые агрегаты.

**Халцедон**, обладающий скрытоволоконистым строением, часто наблюдается в виде корок, натечных почковидных форм или сферолитов, но чаще в виде желваков, носящих название кремней. Халцедон от похижих на него минералов отличается главным образом по твердости. На халцедон сильно действует КОН (рис.23).

Агаты (кремнистые жеоды) имеют концентрически-зональное строение, обусловленное перемежаемостью различно окрашенных слоев халцедона, иногда кварца.

Происхождение. Кварц, будучи широко распространён в природе, входит в состав различных по генезису горных пород и рудных месторождений:

1) во многих интрузивных и эффузивных кислых изверженных породах он, так же как полевые шпаты и слюды, является существенной составной частью (в гранитах, гнейсах, кварцевых порфирах и др.)

2) в крупных кристаллах (раухтопаз, морион, аметист и др.) он встречается в пустотах среди пегматитов также в ассоциации с полевыми шпатами, мусковитом, топазом и др. минералами.

3) как постоянный жильный минерал, и пиритом в значительных массах, кварц распространён в чрезвычайно многочисленных на земном шаре гидротермальных месторождениях в ассоциации с самыми различными минералами: касситеритом, вольфрамитом, золотом, пиритом, халкопиритом, молибденитом, турмалином, кальцитом, флюоритами и др. Почти всегда кварц содержит микроскопические включения газов, жидкостей и твердых минеральных веществ.

**Агаты и ониксы** в виде миндалин (секреций) самых различных форм и размеров широко распространены во многихх эффузивных горных породах.

4) при экзогенных процессах кварц и халцедон в виде тонкозернистых агрегатов образуются при дегидратации и раскristализации гелей кремнезема.

5) при метаморфических процессах кварц в значительных массах образуется при обезвоживании опалсодержащих осадочных пород с образованием так называемых яшм и слоистых роговиков.

Применение. Применение кварца и халцедона разнообразно: 1) прозрачно красиво окрашенные разновидности этих минералов применяются в качестве поделочных камней для украшений; 2) бесцветные горные хрустали употребляются для изготовления оптических приборов. 3) из плавленного кварца изготавливается химическая посуда, отличающаяся огнеупорностью и кслоупорностью, а также кварцевые лампы, применяемые в медицине для лечения ультрафиолетовым светом.



*Рис. 23. Халцедон*

**Опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$**  – типичный твердый гидрогель (рис. 24). Происхождение названия неизвестно. Разновидности по физическим признакам: 1) благородный опал, обладающий опалесценцией; 2) гидрофан – легкая разновидность, сильно пористая, мутная в сухом состоянии и прозрачная в воде; 3) гиалит – сталактитовые образования или шарики сферолитового строения.

Сам по себе опал бесцветен. Благодаря различным примесям, особенно содержащим железо и другие хромофоры, он бывает

окрашен в различные оттенки желтого, бурого, красного, зеленого и черного цветв. Блеск стеклянный ( у пористых масс восковой или матовый). Твердость 5-5,5. Хрупок. Уд.вес 1,9-2,5 (зависит от содержания воды).

**Диагностика.** Для плотных опалов характерны стеклообразный вид и натечные формы масс. По внешним признакам опал имеет много общего с халцедоном. Он отличается меньшей твердостью и содержанием воды.

**Происхождение.** Опал нередко отлагается из гидротермальных источников и гейзеров в вулканических областях в виде накипи, распространен также в пустотах и трещинах среди эффузивных горных пород, иногда в виде жеод и миндалин. В главной своей массе он образуется в экзогенных условиях при разложении силикатов в процессе выветривания самых различных по составу горных пород, но чаще ультраосновных. Огромные массы опала образуются осадочным путем в виде пласто в процессе коагуляции приносимых речными водами золей кремнезема и прибрежных зонах морских бассейнов. К ним принадлежат так называемые опоки, трепелы, диатомиты, кизельгур (кремневая мука) и т.д., представляющие собой рыхлые или тонкопористые породы.

**Применение.** Благородные опалы употребляются как поделочные камни. Трепел применяется для полировки металлов, камней и для других целей. Кизельгур идет для изготовления фильтров, керамики, выделки легких кирпичей и для других целей.



*Рис. 24. Опал*



## **Группа оливинов**

**Оливин**  $(\text{Mg, Fe})_2 [\text{SiO}_4]$ . Оливин наиболее распространенный минерал из изоморфного ряда форстерит  $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$  – фаялит  $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$ . Название происходит от оливково-зеленого цвета минерала (рис.25).

Сингония ромбическая. Распространен в виде зернистых масс, а также в виде отдельных кристаллов; включенных в породу.

Цвет желто-зеленый, но в зависимости от состава может изменяться. Встречаются оливины от светло-желтого до темно-зеленого и черного цвета. Черный цвет оливина обусловлен развитием серпентина по многочисленным микротрещинам. Блеск стеклянный. Твердость 6,5-7. Спайность средняя. Плотность 3,2-3,5. Оливин легко разлагается кислотами, даже уксусной, с выделением студневидного кремнезема.

Разновидность. Желтовато-зеленый прозрачный оливин носит название хризолита.

Диагностика. Узнается по зеленому цвету, стеклянному блеску и зернистым агрегатам, а также по парагенезису.

Происхождение. Магматическое- образуется при кристаллизации магмы, бедной кремнеземом и глиноземом. Является одним из главных минералов ультраосновных пород – дуниты почти полностью сложены из оливина, в перидотитах он встречается совместно с пироксенами; встречается также в габбро, базальтах и кимберлитах. Кроме пироксенов спутниками оливина являются хромит, магнетит, платина, в основных породах – основные плагиоклазы. При разложении оливина получают разнообразные минералы: серпентин, асбест, тальк, хлорит, окислы железа, гидрослюда, магнезит и др.

Применение. Маложелезистые оливиновые породы могут иметь практическое значение как огнеупорное сырье. Хризолит – драгоценный камень.



*Рис. 25. Оливин*

## Группа гранатов

**Гранаты.** В группу граната объединяются минералы, представляющие собой смеси двух изоморфных рядов:  $R_3^{2+}Al_2[SiO_4]_3$  и  $Ca_3R_2^{3+}[SiO_4]_3$ . Общая формула может быть выражена так:  $R_3^{2+}R_2^{3+}[SiO_4]_3$ , где  $R_2^{3+}=Ca, Mg, Mn, Fe, aR^{3+}=Al, Fe, Cr$ .

Название происходит от латинского слова «гранум» - зерно а также по сходству с зернышками Плода граната. Сингония кубическая. Обычно встречаются в хорошо выраженных кристаллах – ромбододекаэдрах и тетрагонтриоктаэдрах или комбинациях этих форм. Иногда образуют и сплошные зернистые массы. Цвет различный (см. ниже). Блеск стеклянный. Очень характерны высокая твердость (7-8) и отсутствие спайности. Плотность изменяется в связи с составом от 3,4 до 4,3.

Главными минеральными видами являются следующие.

– Гроссуляр  $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$ . Цвет светло-зеленый или зеленовато-бурый. Характерен для контактов с известняками (скарнов).

– Андрадит  $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ . Цвет бурый, красный, зеленовато-бурый. Встречается также в скарнах, реже в сланцах и других породах. Демантоид – прозрачная разновидность андрадита зеле-

ного цвета (1,5 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), является драгоценным камнем. Меланит – черного цвета, содержит  $\text{TiO}_2$ .

– Уваровит  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$ . Цвет изумрудно-зеленый. Образует мелкокристаллические корочки на хромите. Редкий.

– Альмандин  $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ . Цвет красный, коричневый, фиолетовый. Самый распространенный из гранатов. Обычен в кристаллических сланцах и гнейсах.

– Спессартин  $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ . Цвет розовый, красный, желтовато-бурый. Встречается в пегматитах и кристаллических сланцах

– Пироп  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ . Цвет темно-красный. Находится в ультраосновных породах, богатых магнием, и продуктах их разрушения. Характерен для алмазонасных пород Южно-Африканской Республики и Якутии (рис.26).

Диагностика. По изометричным зернам и кристаллам, по твердости, плотности, отсутствию спайности, цвету и парагенезису.



*Рис. 26. Пироп*

Происхождение. Гранаты широко распространены и особенно характерны для метаморфических пород – кристаллических сланцев и гнейсов. В кристаллических сланцах гранаты, главным образом альмандин, являются породообразующими минералами. Спутниками альмандина являются слюды, дистен, хлорит. Происхождение граната в данном случае метаморфическое.

Вторым важным типом генезиса гранатов является контактовый процесс. Для контактов с известняками характерны гроссуляр и андрадит. В скарнах гранат встречается совместно с салитом, геденбергитом, везувианом, эпидотом, шеелитом, магнетитом, сульфидами железа, меди, свинца и цинка. Гранатовые скарны с шеелитом являются важной рудой на вольфрам. Они известны в Средней Азии.

Гранаты встречаются также в гранитах и пегматитовых жилах. При выветривании гранаты как химические стойкие минералы переходят в россыпи.

Применение. В промышленности гранаты находят применение как абразивный (истирающий) материал. Прозрачные красные и зеленые гранаты (альмандин, пироп, частично андрадит) употребляются как драгоценные камни.

## Группа топаза

**Топаз  $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$ .** (рис.27)

Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, хорошо образованные, богаты гранями (ромбические призмы, дипирамиды, пинакоид). Встречается в виде красивых друз и мелкозернистых масс (топазовый грейзен). Характерна грубая штриховка вдоль вертикальной оси кристаллов.

Размер кристаллов может быть очень большим: на месторождении драгоценных камней во Владимир – Волынском разрезе на Украине в 1966 г. найден кристалл топаза массой 117 кг, его высота 82 см.

Цвет желтый, дымчатый, голубой, розовый, часто бесцветен. Блеск стеклянный. Характерны совершенная спайность по {001}, большая твердость, равная 8, и значительная плотность 3,5. По этим признакам, а также по вертикальной штриховке топаз отличают от кварца.

Диагностика. Узнается по прозрачности и сильному стеклянному блеску. Кристаллы с характерной вертикальной штриховкой

и спайностью по {001}. Обладает высокой твердостью и значительной плотностью.

Происхождение. Встречается в пегматитовых жилах, особенно в полостях («занорышах») этих жил в парагенезисе с кварцем, ортоклазом, альбитом, слюдами. В грейзенах (пневматолитовое происхождение) ассоциирует с аквамаринном, флюоритом, касситеритом и вольфрамитом.

Применение. Употребляется как драгоценный камень.



*Рис. 27. Топаз*

### Группа силлиманита

**Дистен (кианит)**  $Al_2[SiO_4]O$ . Название происходит от греческих слов «ди» - два и «стен» - сила, т. е. двусильный, двойко сопротивляющийся. «Кианес» означает темно-синий (*рис.28*).

Сингония триклинная. Кристаллы удлиненные, пластинчатые, иногда согнутые.

Цвет синий, голубой, иногда белый (особенно в краях кристаллов). Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость по плоскости спайности по длине кристалла 4,5, поперек 6. Плотность 3,6.

Диагностика. Хорошо диагностируется по сине-голубому цвету, удлиненно-уплощенным кристаллам, блеску, различной твердости вдоль и поперек кристаллов и нахождению в метаморфических породах.

**Происхождение.** Метаморфическое – является типичным, часто породообразующим минералом кристаллических сланцев (дистено-гранатовые, слюдяно-дистеновые и другие сланцы).

Спутниками дистена являются слюды, гранат, корунд, андалузит и др.

**Применение.** Содержащие дистен породы могут быть использованы как высокоглиноземистое сырье при производстве огнеупорных изделий.



*Рис. 28. Дистен*

**Андалузит**  $Al_2[SiO_4]O$ . (рис.29)

Название происходит от провинции Андалузия в Испании.

Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, столбчатые, поперечное сечение их близко к квадратному (характерный признак).

Цвет розовый, серый. Блеск стеклянный. Обладает высокой твердостью – 7,5. Плотность 3,2.

Разновидности. Андалузит, содержащий закономерные симметрично расположенные включения углистого вещества, носит название хиастолита. Обычно в поперечном сечении такие включения имеют вид черного креста.

**Диагностика.** Характерно почти квадратное сечение призматических кристаллов, их розовый цвет, высокая твердость и нахождение в глинистых сланцах и роговиках.

**Происхождение.** Метаморфическое - характерен для слюдяных и глинисто – углистых сланцев, также образуется в контактах

изверженных пород со сланцами. В глинистых сланцах нередко встречаются крупные призматические кристаллы. Спутниками андалузита являются слюды, гранат, иногда корунд.

**Применение.** Как высокоглиноземистое сырье используется в фарфоровой промышленности.



*Рис. 29. Андалузит*

**Силлиманит  $Al[AlSiO_5]$ .** (рис.30)

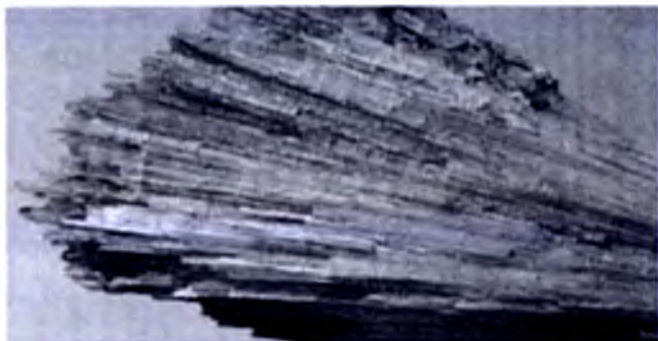
Сингония ромбическая. Обычно встречается в виде волокнистых масс, кристаллы игольчатые. Цвет серый с буроватым или зеленоватым оттенком. Спайность совершенная. Блеск стеклянный. Твердость 6,5-7. Плотность 3,23-3,25.

**Диагностика.** Характерны игольчатые, шестоватые и волосовидные формы кристаллов. По облику – тонкие, длинные, светлые кристаллы в метаморфических породах.

**Происхождение.** Метаморфическое – характерен для глубокометаморфизованных пород, богатых глиноземом (гнейсов, кристаллических сланцев). Встречается совместно с кордиеритом, биотитом, кварцем.

**Применение.** Богатые силлиманитом породы являются важным керамическим сырьем.

Силлиманит, дистен и андалузит, хотя и имеют один и тот же химический состав, однако различны по своей структуре и образуется в процессе метаморфизма пород при различных температуре и давлении.



*Рис. 30. Силлиманит*

### Группа эпидота

**Эпидот**  $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3[\text{Si}_2\text{O}_7]\cdot\text{O}(\text{OH})$ . (рис.31)

Сингония моноклинная. Кристаллы удлиненно – призматические, шестоватые, нередко сдвойникованные. Характерна грубая штриховка вдоль удлинения кристаллов. Часто образует сплошные, зернистые и шестоватые агрегаты. Цвет желто-зеленый (фисташково-зеленый). Блеск стеклянный. Твердость 6,5. Плотность 3,5.

Диагностика. Отличается своеобразным желто-зеленым цветом, стеклянным блеском, совершенной спайностью по  $\{001\}$ , удлиненными и с штрихованными вдоль  $[010]$  кристаллами.

Происхождение. Скарновос – в контактах встречается совместно с гранатом, кальцитом, кварцем, диопсидом. Характерно нахождение эпидота в основных эффузивных породах и в метаморфических породах с хлоритом и амфиболами (так называемые зеленые сланцы); хорошо образованные кристаллы встречаются в жилах альпийского типа.

Применение. Используется как не дорогой, красивый поделочный камень.





*Рис. 31. Эпидот*

### Группа пироксенов

**Энстатит  $Mg_2[Si_2O_6]$ .** Цвет светло-серый, зеленовато или желто-серый. Содержит до 5 % FeO, разности с содержанием FeO от 5 до 14% называют бронзитом.. Название произошло от греческого «энстатес» - противный (из-за его тугоплавкости).

Сингония ромбическая. Цвет бесцветный, серовато-белый с зеленоватым оттенком, реже буровато-зелёный. Блеск стеклянный. Твердость 5,5. Спайность по призме средняя. Плотность 3,1-3,3.

Диагностика. В неправильных зернах с уверенностью может быть определен лишь в тонких шлифах под микроскопом по оптическим константам. В кислотах не растворяется.

Происхождение. Типичный минерал многих богатых магнием магматических горных пород. Наблюдается и в эффузивных породах (базальтах, андезитах).

**Гиперстен  $(Fe, Mg)_2[Si_2O_6]$ .** Цвет темно-коричневый, темно-серый, коричнево-зеленый. Содержит FeO более 15 % (*рис.32*).

Как видно, цвет в зависимости от увеличения содержания железа от энстатита к гиперстену становится более темным. Также изменяются плотность (от 3,1-3,2 у энстатита, до 3,4-3,5 у

гиперстена) и другие свойства. Твердость этих минералов 5,5-6. Блеск перламутровый, стеклянный у энстатита, до бронзового, металлоидного у железистых разновидностей. В хорошо выраженных кристаллах указанные минералы встречаются редко, обычно они образуют зерна неправильной формы и зернистые агрегаты.

Происхождение. Магматическое; энстатит, бронзит и гиперстен породообразующие минералы некоторых основных и ультраосновных горных пород. Спутниками являются оливин, серпентин, магнетит и основные плагиоклазы. При действии гидротермальных растворов легко изменяются и превращаются в серпентин (бастит) и тальк. Встречаются в кристаллических сланцах, гнейсах, а также в метеоритах.



*Рис. 32. Гиперстен*

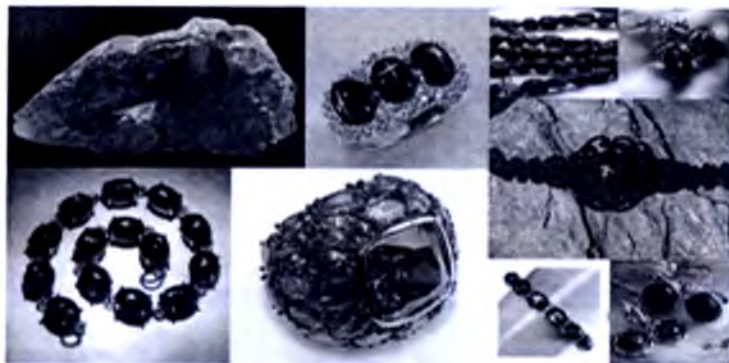
### **Диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ . (рис.33)**

Название происходит от греческих слов: «дис» - дважды и «опсис» - появление. Цвет серый, зеленый, иногда бесцветен. Сингония моноклинная. Твердость 5,5-6. Спайность по призме средняя с углом  $87^\circ$ . Плотность 3,27-3,38.

**Диагностика.** Хорошо образованные кристаллы диопсида отличаются от кристаллов авгита по своему облику и серыми или светлозеленоватыми оттенками окраски. В кислотах почти не разлагается.

**Происхождение.** Диопсид как минерал магматического происхождения широко распространен в основных и ультраосновных

изверженных породах (пироксенитах, перидотитах, габбро, диабазах). В контактово – метасоматических образованиях диопсид очень часто принимает существенное участие, входя в состав скарнов и роговиков.



*Рис. 33. Диопсид*

**Геденбергит  $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ .** Цвет темно-зеленый до черного. Физические, оптические и другие свойства закономерно изменяются в зависимости от состава. Блеск стеклянный. Спайность средняя по  $\{110\}$  под углом 87 и 93°. Твердость 5,5-6. Плотность от 3,27 (диопсид) до 3,55 (геденбергит) (*рис.34*).

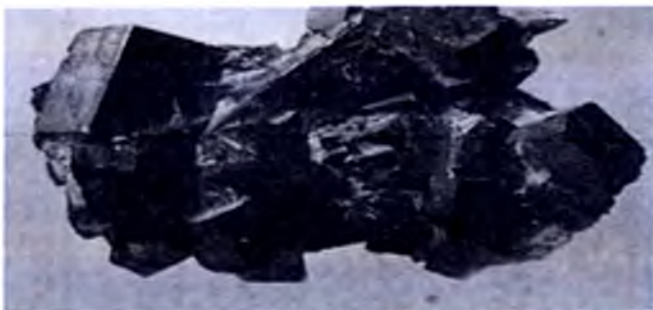
Кристаллы имеют вид коротких призм, иногда они крупные, до 40 см. Для диопсида со Слюдянки (Прибайкалье) характерны друзы. Геденбергит нередко встречается в лучистых агрегатах, бывает волокнистый. Распространены также сплошные зернистые массы.

**Разновидности.** Байкалит – крупные, хорошо образованные призматические кристаллы диопсида, иногда прозрачные, зеленые (Слюдянка, Прибайкалье). Лавровит там же, ярко-зеленый диопсид (от примеси ванадия). В Довыренском массиве, в Северном Прибайкалье известен голубой диопсид. Хромдиопсид-диопсид, содержащий до 3 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , изумрудно-зеленый. Встречается исключительно среди ультраосновных пород и в кимберлитах

Якутии. Мангангеденбергит – геденбергит содержащий до 7 % MnO, характерен для некоторых скарнов Средней Азии.

Диагностика. Характеризуются формой короткопризматических кристаллов, средней спайностью под углом  $87^\circ$  и  $93^\circ$  и зеленым цветом разных оттенков (до черного у авгита).

Происхождение. Минералы ряда диопсид – геденбергит характерны для контактов магматических пород с известняками (скарнов). Обычными спутниками в скарнах являются кальцит, гранат, везувиан, тремолит, скаполит, флогопит и апатит (для диопсида), эпидот, волластонит. Из рудных минералов в пироксен-гранатовых скарнах встречаются шеелит, молибденит, сульфиды Cu, Pb, Zn и магнетит. Скарны иногда выявляют ритмично-полосчатую структуру. Вторичные изменения заключаются в развитии по пироксенам уралита (роговой обманки, установленной впервые на Урале), хлорита и зеленовато-желтого минерала – нонтронита  $(\text{Fe, Al})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .



*Рис. 34. Геденбергит*

Авгит  $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})[(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$ . (рис.35)

Иногда содержит Mn, Ti, Cr.

Кристаллы короткопризматические таблитчатые агрегаты сплошные, зернистые.

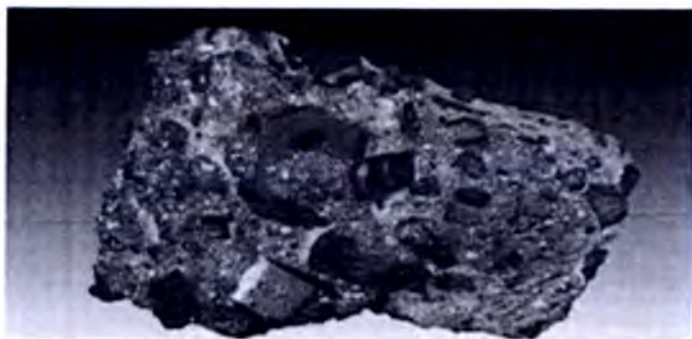
Цвет черный, буро-черный, темно-зеленый. Блеск стеклянный. Спайность, как у всех пироксенов, средняя по  $\{110\}$  под углом  $87^\circ$ . Твердость 5-6,5. Плотность 3,2-3,6.

Разновидности. Диаллаг (листоватый авгит) – разновидность авгита, отличающаяся совершенной отдельностью по  $\{100\}$ . Обыкновенный авгит темно-зеленого цвета. Базальтический авгит черного цвета (содержит Ti и Mn).

Происхождение. Магматическое – характерный породообразующий минерал в основных интрузивных и эффузивных породах. В габбро и диабазах встречаются темно-зеленые (обыкновенные) авгиты; в базальтах, туфах, вулканических пеплах – хорошо образованные кристаллы черного (Базальтического) авгита.

Известен также в контактах с известняками.

Продуктами вторичного изменения авгита являются уралит и хлорит.



*Рис. 35. Авгит*

Эгирин  $\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ . (рис.36)

Кристаллы длинно призматические, столбчатые иногда угольчатые; агрегаты шестоватые, лучистые.

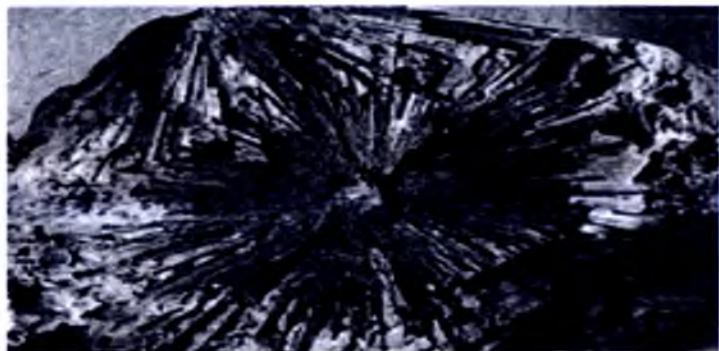
Цвет зеленовато-черный, темно-зеленый. Черта светло-зеленая. Блеск стеклянный. Твердость 6-6,5. Плотность 3,5.

Разновидности. Акмит отличается от эгирина остроконечными кристаллами, содержит Ti и Al.

Диагностика. Отличается удлинено-призматическими кристаллами зеленовато-черного цвета. Агрегаты шестоватые. Обычен

для щелочных пород, без кварца. Похож на турмалин и геденберgit, от которых отличается по парагенезису.

Происхождение. Встречается в щелочных изверженных породах, является составной частью нефелиновых сиенитов и связанных с ними пегматитов. Спутники – нефелин, микроклин, щелочные амфиболы и др.



*Рис. 36. Эгирин*

### Группа пироксеноидов

**Волластонит (дощатый шпат)  $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ . (рис.37)**

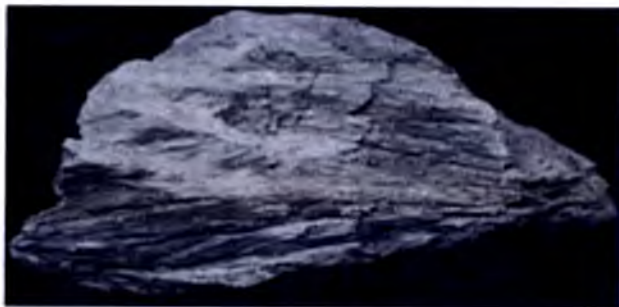
Сингония триклинная (псевдомоноклинная). Кристаллы таблитчатые с совершенной спайностью в одном направлении; агрегаты шестоватые, лучистые.

Цвет белый. Блеск стеклянный. Твердость 5. Плотность 2,9.

Диагностика: по цвету, блеску, шестоватым агрегатам. Разлагается в HCl с выделением кремнезема (но без выделения геля). Типичный минерал для контактов с известняками.

Происхождение. Характерен для контактов магматических пород и кварцевых жил с известняками, причем располагается непосредственно в самом контакте. Находится в экзоконтактовых зонах скарнов совместно с кварцем, гранатом, кальцитом, эпидотом и геденберgitом. Очень похож на тремолит.





*Рис. 37. Волластонит*

Родонит (орлец)  $Mn_5[Si_5O_{15}]$ . Название происходит от греческого слова «родон» - розовый. Сингония триклинная. Кристаллы крайне редки; встречаются в сплошных плотных массах. Твердость 6. Плотность 3,6. (рис.38)

Диагностика. Легко узнается по розовому цвету в сплошных зернистых массах. Характерно присутствие черных прожилков и пятен от гидроокислов марганца.

Происхождение. 1. Контактное. 2. Метаморфическое – при метаморфизме осадочных месторождений марганца. Спутниками родонита являются родохрозит, псиломелан, гранат.

Применение. Благодаря способности хорошо принимать полировку является ценным поделочным камнем; совместно с другими минералами марганца может служить рудой на марганец.



*Рис. 38. Родонит*

## Группа амфиболов

Тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ . (рис.39)

Кристаллы удлиненные, вытянутые; агрегаты шестоватые, лучистые. Цвет белый, светло-серый, светло-зеленый. Блеск стеклянный. Очень хрупок. Твердость 5,5-6. Плотность 2,9-3,0.

Диагностика. Для тремолита характерны игольчатые, удлиненные кристаллы, лучистые или шестоватые агрегаты, стеклянный блеск, хрупкость, белый цвет. От близкого по составу и происхождению актинолита отличается более светлой окраской. Иногда очень похож на волластонит (по форме агрегатов).

Происхождение. Скарновое – в контактах с известняками и метаморфическое – в кристаллических сланцах. Важнейшие спутники: диопсид, кальцит, доломит, тальк.

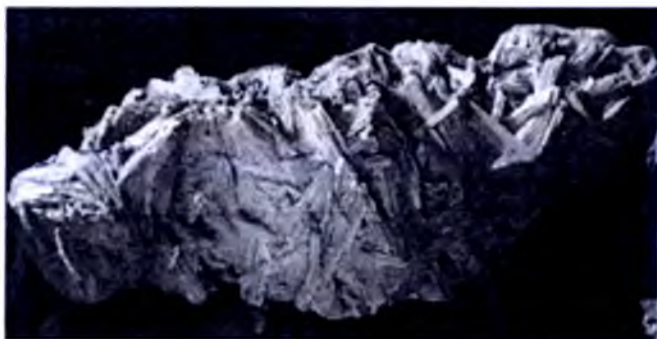


Рис. 39. Тремолит

Актинолит (лучистый камень)  $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ .  
(рис. 40)

Название от греческих слов «актис» - луч и «литос» - камень.

Физические, оптические и другие свойства изменяются постепенно от тремолита к актинолиту (в зависимости от содержания железа). Кристаллы такие же, как у тремолита. Характерны лучистые агрегаты.

Цвет зеленый, разных оттенков. Хрупок. Излом занозистый. Твердость 5,5-6. Плотность до 3,3.

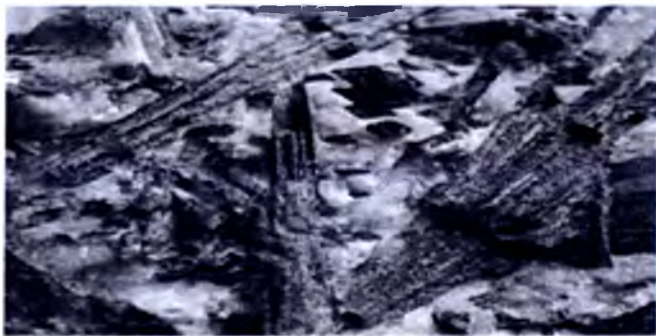


Разновидности. Тонковолокнистые мягкие агрегаты носят название актинолит-асбеста. Плотные скрытокристаллические массы, состоящие из перепутанных микроскопических волокнистых кристаллов, называются нефритом. Реже встречаются тремолитовые разновидности асбеста и нефрита.

Происхождение такое же, как и у тремолита. Распространен чаще, особенно в тальковых и хлоритовых сланцах. Иногда является главным породообразующим минералом (актинолитовые сланцы).

Нефрит образуется метасоматически в контактах серпентинитов с алюмосиликатными породами (габброидами).

Применение. Благодаря большой вязкости нефрит прекрасно принимает полировку и служит красивым подделочным камнем.



*Рис. 40. Актинолит*

**Роговая обманка**  $(Ca, Na)(Mg, Fe)_4(Al, Fe) \times [(Al, Si)_4O_{11}]_2(OH)_2$ .  
Химический состав сложный и непостоянный (рис. 41).

Кристаллы призматические, удлиненные; иногда агрегаты волокнистого или игольчатого сложения.

Цвет зеленый разных оттенков, от буро-зеленого до черного. Твердость 5,5-6. Плотность 3,0-3,5.

Роговая обманка весьма распространенный минерал.

Разновидности. Обыкновенная роговая обманка темно-зеленого цвета, встречается в интрузивных и метаморфических породах и в контактовых зонах. Базальтическая роговая обманка

бурого или черного цвета – в базальтах, туфах. В щелочных горных породах встречаются так называемые щелочные роговые обманки (богатые щелочами) черного или синего цвета. Вторичная роговая обманка, образующаяся в результате изменения пироксенов, особенно авгита, под воздействием гидротермальных растворов, носит название уралита. Процесс превращения пироксена в уралитовую роговую обманку называется уралитизацией.

Диагностика. От пироксенов отличается формой кристаллов, для отличия от других амфиболов нужны оптические и рентгеновские исследования.

Происхождение. В средних и щелочных интрузивных породах (например, в диоритах) роговая обманка имеет магматическое происхождение, являясь главным цветным компонентом породы; породообразующим минералом она является также в метаморфических породах – роговообманковых сланцах, гнейсах и амфиболитах. Менее обычна роговая обманка для контактового процесса и для малораспространенных пегматитов основной магмы, где она иногда наблюдается в крупных кристаллах.



*Рис. 41. Роговая обманка*

**Чароит** (точнее чарайт, так как минерал назван по р. Чара в Восточной Сибири)  $K_2NaCa_5[Si_{12}O_{30}] (OH, F) \cdot 3H_2O$ . Сложный силикат, выявляющий кристаллическую структуру амфиболового типа (рис.42).

Сингония моноклинная. Образует тонковолокнистые переплетные агрегаты от нежно-сиреневого до фиолетового цвета. Блеск

стеклянный с шелковистым отливом. Спайность средняя. Угол между плоскостями призматической спайности как у амфиболов -  $124^\circ$ . Твердость 5-5,5. Плотность 2,5-2,6. Редок.

Диагностика. Имеет яркий сиреневый или фиолетовый цвет, струйчатые агрегаты с шелковистым отливом.

Происхождение. Контактново- метаморфическое. Встречается в контактах известняков с сиенитами вместе с включениями медово-желтого тинаксита (сложный титаносиликат K, Na и Ca), светло-серого полупрозрачного кварца и почти черного эгирина.

Месторождения. Известен в среднем течении р. Чары (Восточная Сибирь).

Применение. Чароит великолепно принимает полировку и является красивейшим поделочным камнем.



*Рис. 42. Чароит*

### Группа тальк

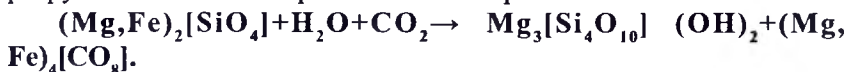
Тальк  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ . Синонимы: стеатит, жировик, тальковый камень (*рис.43*).

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

Цвет зеленый, светло-зеленый, белый и серо-зеленый в сплошных массах. Блеск иногда перламутровый. Спайность весьма совершенная. Твердость 1. Плотность 2,8.

Диагностика. Обычен слюдоподобный вид, весьма совершенная спайность, зеленый цвет. Тальк легко узнается по низкой твердости и жирности на ощупь.

Происхождение. Образуется при гидротермальной переработке богатых магнием ультраосновных пород, являясь продуктом разрушения оливина и ромбических пироксенов:



Оливин, тальк, брейнерит

Образуется также за счет доломитов при метаморфизме осадочных пород:



доломит, тальк, кальцит

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

Применение. В молотом виде тальк употребляется в бумажной, текстильной, резиновой, кожевенной, парфюмерной и других отраслях промышленности. Кусковой тальк – огнеупорный материал.



Рис. 43. Тальк

### Группа серпентина

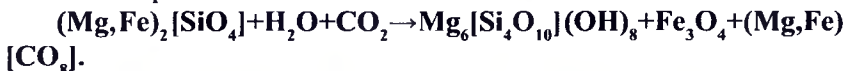
**Серпентин** (змеевик)  $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$ . Название «змеевик» дано по цвету, напоминающему цвет змеиной кожи (рис.44).

Сингония моноклинная. Образует плотные скрытокристаллические массы желто-зеленого или темно-зеленого цвета. Окраска иногда пятнистая. Блеск жирный или восковой. Твердость около 2,5-4. Плотность 2,5-2,7.

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. Ревдинскит и гарниерит – скрытокристаллические смеси серпентина с другими слоистыми силикатами, они содержат до 11 % NiO. Название ревдинскит дано по Ревдинскому району на Урале, где были обнаружены богатые никелем землистые коллоидальные массы бледного голубовато-зеленого цвета. Гарниерит также образует скрытокристаллические скопления голубовато-зеленого цвета.

Диагностика. Узнается по разным оттенкам зеленого цвета, плотным массам, жирному блеску, парагенезису. Ревдинскит и гарниерит – по голубовато-зеленому цвету.

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



Оливин,

серпентин

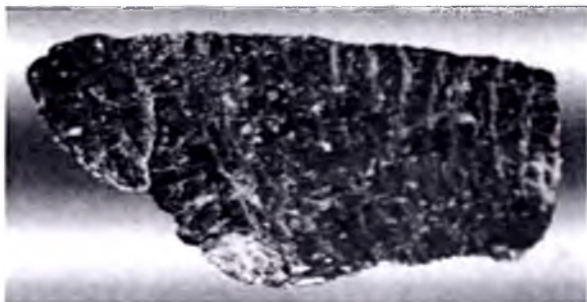


Рис. 44. Серпентин

Обычными спутниками серпентина являются асбест, магнезит, хромит, магнетит, тальк и др.

Ревдинскит и гарниерит образуется в коре выветривания ультраосновных пород в ассоциации с халцедоном, нонтронитом, магнезитом.

**Хризотил-асбест  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ .** В переводе с греческого «хризотил» - золотое волокно, «асбестус» - негорючий. Асбестом называют параллельноволокнистые агрегаты, являющиеся по химическому составу разновидностями серпентина, тремолита и актинолита. Хризотиловый (серпентиновый) асбест является наиболее ценным, волокна его отличается наибольшей прочностью.

Хризотил-асбест (рис.45) обычно встречается в серпентинитах (змеевиках) в виде тонких поперечноволокнистых прожилков. Цвет светло-зеленый, иногда золотистый. Блеск шелковистый. Твердость 2-3. Плотность 2,2. Длина волокон от долей миллиметра до 10-16 см. Волокна мягкие, гибкие, в распушенном виде белого цвета.

Диагностика. Легко узнается по параллельноволокнистым агрегатам, поперечным к жилкам, золотистому цвету, шелковистому блеску. От волокнистых амфиболов отличается мягкостью волокон и наличием большого количества воды.

Происхождение аналогично серпентину.

Применение. Асбестовое волокно употребляется для изготовления огнестойких тканей, теплоизоляции, тормозных колодок автомобилей и во многих других отраслях промышленности.





*Рис. 45. Хризотил-асбест*

## Группа глин

### **Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ . (рис. 46)**

Название происходит от названия горы Каулинг в Китае, где добывался этот минерал. Сингония моноклинная. Образует тонкодисперсные плотные массы; также землистый, порошковатый. Цвет белый, от примесей может быть разных оттенков. Твердость 1. Плотность 2,6. На ощупь жирный. В сухом состоянии прилипает к языку, во влажном образует пластичную массу.

**Диагностика.** Определяется по глиноподобному облику, мягкости, жирности на ощупь, тонкие чешуйки имеют перламутровый блеск. Для отличия от других глинистых минералов нужны рентгеновские исследования.

**Происхождение.** Образуется при выветривании полевых шпатов, слюд и других алюмосиликатов.

Каолинит входит в состав глин, мергелей, глинистых сланцев. Породы, состоящие из каолинита, называют каолинами.

Различают остаточные каолины, образовавшиеся на месте разложения алюмосиликатных пород, и переотложенные, связанные с размывом каолиновых пород, переносом их водными потоками и последующим отложением.

Применение. Каолиновые глины находят применение в строительном деле, керамической, бумажной промышленности, при производстве линолеума, красок, при бурении скважин и т.д.



Рис. 46. Каолинит

Галлузит  $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \cdot 4H_2O$ , образующий опалоподобные массы белого цвета с восковым блеском. Он типичен для коры выветривания основных пород и некоторых рудных месторождений.

К минералам глин также относится монтмориллонит  $(Al_2Mg_3)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ . Он входит в состав так называемых бентонитовых глин, характерной особенностью которых является сильное набухание в присутствии воды. Цвет белый, розовый, серый. Твердость 1. Плотность 2 – 2,2. Образуется при выветривании эффузивных пород (туфов, пеплов) (рис.47).

И, наконец, в этой же группе минералов нужно указать нонтронит  $(Fe, Al)_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ . Химический состав его непостоянен. Цвет нонтронита серо-зеленый, желто-зеленый для землистых агрегатов и более чистый желто-зеленый для псевдоморфоз по крупным кристаллам пироксена. Твердость около 2. В больших количествах образуется в коре выветривания ультраосновных пород, например, в Кемпирсайском массиве в Актюбинской области, где встречается в виде землистых масс зеленовато-желтого цвета. Никельсодержащие нонтрониты Актюбинской области являются хорошей рудой на никель (месторож-



дения Бурановка, Чугуевское и др). Чистые разновидности нонтронита характерны, например, для зоны окисления пироксеновых скарнов средней Азии, где он развивается по крупным кристаллам геденбергита (Ингичке, Лянгар и др.).

Минералы глиен уверенно различаются лишь при термических и рентгеноструктурных исследованиях и под электронным микроскопом.

Применение. Самостоятельного практического значения не имеет.



*Рис. 47. Галлузит*

## Группа слюд

**Мусковит**  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ . Название происходит от Москвы (Московского государства) (рис.48).

Бесцветен или желтоватого, часто с желтоватым, сероватым, зеленоватым, иногда с красноватым оттенком. Блеск стеклянный. Твердость 2-3. Спайность весьма совершенная. Плотность 2,76-3,10.

Мусковит является отличным изолятором для электрических токов обычного напряжения.

Разновидности. Серицит – мелкокристаллический светлый мусковит, являющийся продуктом разрушения алюмосиликатов

(главным образом плагиоклазов). Имеет шелковистый блеск. Фуксит – хромсодержащая разновидность мусковита ярко-зеленого цвета, характерна для лиственитов.

**Диагностика.** Хорошо распознается по светлой окраске, перламутровому блеску, весьма совершенной спайности и легкой расщепляемости на тонкие прозрачные упругие листочки..

**Происхождение.** Магматическое – в гранитоидных породах; метаморфическое – в кристаллических сланцах. Крупные пластины мусковита промышленного значения находятся в пегматитовых жилах в ассоциации с микроклином, олигоклазом, биотитом, шерлом, апатитом.

**Применение.** Около 90 % всей продукции мусковита идет в электропромышленность, радиотехнику и приборостроение, где используется его диэлектрические свойства. Крупные прозрачные пластины мусковита вставляют в окна металлургических и химических печей. Слюдяной порошок (скрап), получающийся при резке листовой слюды, используется как огнестойкий кровельный материал, в производстве огнестойких обоев, бумаги, красок, смазочных материалов и автомобильных шин.



*Рис. 48. Мусковит*

**Флогопит**  $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ . (рис.49)

Название происходит от греческого слова «флогопос» - огнеподобный (имеется в виду цвет минерала). Цвет флогопита светлый, желтовато - бурый, серебристый с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный. Твердость 2-3. Спайность весьма совершенная.

Диагностика. Узнается по весьма совершенной спайности, коричневому цвету и парагенезису.

Происхождение. Контактново – метасоматическое (скарновое) – характерен для некоторых магнезиальных контактовых зон докембрийского возраста. Ассоциирует с диопсидом, кальцитом апатитом, скаполитом, шпинелью и другими контактовыми минералами.

Применение то же, что и у мусковита.



*Рис. 49. Флогопит*

**Биотит К**  $(\text{Fe, Mg})_3 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH, F})_2$ . (рис.50)

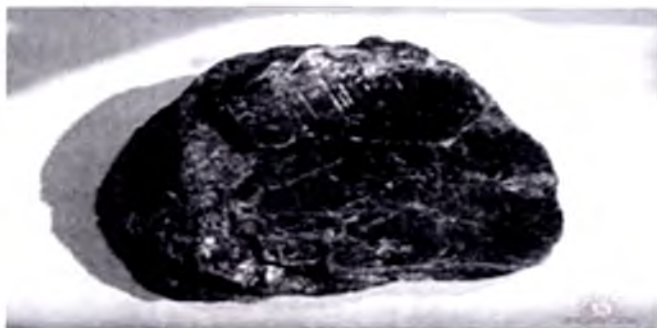
Среди слюд является наиболее распространенным минералом. Цвет черный, бурый, иногда с оранжевым, зеленоватым и др. оттенками. Непрозрачный или просвечивает. Сингония моноклинная. Блеск стеклянный. Твердость 2-3. Спайность весьма совершенная. Плотность 3,02-2,12 Содержит железо и поэтому не пригоден в качестве диэлектрика.

Разновидности. Лепидомелан – не содержит магния, черного цвета, характерен для щелочных пород (Урал).

Диагностика. Весьма совершенная спайность, листочки упругие, черного цвета.

Происхождение. Магматическое (биотитовые граниты); пегматитовое – в жилах с мусковитом и без него; метаморфическое – в различных сланцах и гнейсах.

Применение. Практическое значение не имеет. Применяется лишь в качестве блестящего материала при изготовлении из цветных камней детских игрушек и различных предметов для украшения.



*Рис. 50. Биотит*

### Группа полевых шпатов

Плагиоклазы представляют собой изоморфный ряд с двумя крайними членами: альбитом  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  и анортитом  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ . Смесимость этих компонентов полная;  $\text{Na}^+$  и  $\text{Si}^{4+}$  замещается  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$ . Название происходит от греческого слова «плагиоклаз» - косораскалывающийся, в связи со спайностью, которая в плагиоклазах проходит под углом, заметно отличающимся от прямого (на  $3,5-4^\circ$ ). В переводе с греческого языка – косораскалывающийся. Это название дано в отличие от моноклинных полевых шпатов, которые имеют угол между плоскостями спайности, равный  $90^\circ$ .

Плагиоклазы имеют огромное значение в петрографии для классификации изверженных пород, поэтому они хорошо изучены. Е. С. Федоровым была предложена их классификация, основанная на процентном содержании анортитовой составляющей. Исходя из этого, плагиоклазы разбиты по номерам:

№ плагиоклазов

Альбит (Ab) $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$		0-10
Олигоклаз	Изоморфные	10-30
Андезин	смеси альбита	30-50
Лабрадор	и анортита	50-70
Битовнит		70-90
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.

Ввиду того что содержание кремнекислоты от альбита к анортиту постепенно падает (от 68,81 % в альбите до 43,28 % в анортите), плагиоклазы от № 0 до № 30 носят название кислых, от № 30 до № 50 – средних и от № 50 до № 100 – основных. Кислые плагиоклазы наиболее распространены и встречаются в кислых изверженных горных породах.

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

Очень характерны сложные полисинтетические двойники по альбитовому закону – плоскость срастания  $\{010\}$ . Они хорошо распознаются под микроскопом при скрещенных николях; одни индивиды имеют вид темных полос, другие – светлых.

Цвет плагиоклазов белый, серый, иногда с различными оттенками. Блеск стеклянный. Спайность совершенная по  $\{001\}$  и  $\{010\}$ . Твердость 6-6,5. Плотность непрерывно повышается от альбита (2,61) до анортита (2,76).

Диагностика. Уверенно определить плагиоклаз и установить его состав (т. е. номер) можно химическим путем и при микроскопическом исследовании при помощи универсального столика Е.С. Федорова. По внешним признакам в некоторых случаях удается определить только альбит, лабрадор и при известном навыке олигоклаз.

Альбит распознается по белому цвету и формам выделения. Название его происходит от латинского слова «альбус» - белый.

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

Олигоклаз иногда можно отличить от других полевых шпатов по параллельной штриховке на поверхности спайности крупных кристаллов из пегматитовых жил. Цвет его белый, светло-серый.

Лабрадор. Назван по полуострову лабрадор в Северной Америке, где встречаются породы, целиком состоящие из лабрадора – лабрадориты. Цвет его серый, темно-серый. Очень характерны синие отливы на плоскостях спайности  $\{010\}$ . Такие отливающие в кристаллах синим цветом лабрадоровые породы хорошо принимают полировку и служат красивым облицовочным материалом (рис. 51).

В Москве ими облицована нижняя часть Мавзолея В. И. Ленина, многие здания и станции метро. Крупные месторождения лабрадорита находятся в Житомирской области на Украине (Турчинское и др.).

Происхождение плагиоклазов: магматическое – в магматических породах; пегматитовое; метаморфическое – в кристаллических сланцах и гнейсах (плагиогнейсы). Плагиоклазы являются важнейшими породообразующими минералами и весьма широко распространены.

Применение. Употребляется обычно для дешевых поделок.



*Рис. 51. Лабрадор*

## Группа полевых шпатов (К)

### Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$ . (рис.52)

Ортоклаз по-гречески значит «прямоколющийся» - указанные на направления совершенной спайности, идущие под прямым углом.

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

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

Разновидности. Высокотемпературная, бесцветная модификация  $K[AlSi_3O_8]$ , выделяемая иногда в самостоятельный минеральный вид, носит название санидина; она характерна для эффузивных пород. Адуляр – водяно-прозрачный полевой шпат клиновидной формы, встречается в жилах альпийского типа. Адуляры нежно-голубого цвета с серебристым отливом называются лунным камнем.

Диагностика. Распознается по цвету, твердости и спайности. Это главный породообразующий минерал гранитов.

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

Применение. Используется главным образом в стекольной и керамической промышленности.





*Рис. 52. Ортоклаз*

**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. Под микроскопом при скрещенных николях характерны «решетчатые» двойники. Кристаллы иногда достигают гигантских размеров, в пегматитовых жилах нередко обособления микроклина массой в десятки тонн (*рис. 53*).

Цвет белый, серый, розовый, желтый, красный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная по  $\{001\}$  и  $\{010\}$ . Твердость 6-6,5. Плотность 2,54-2,57.

Редкая разновидность микроклина зеленого цвета называется амазонитом, или амазонским камнем.

Широко распространены закономерные прорастания калиевых полевых шпатов кварцем и альбитом. Первые носят название «еврейского камня», или письменного гранита, и типичны для первых стадий пегматитового процесса. Вторые называются пертитами, чаще это микроклин-пертиты. Линзовидные волоконца более светлого альбита иногда заметны на глаз.

Диагностика. Отличается от ортоклаза по присутствию решетчатых двойников, видимых под микроскопом. Полевые шпаты зеленого цвета – микроклины.



Происхождение. Магматическое, крупные кристаллы встречаются в пегматитовых жилах.

Применение. Калиевые полевые шпаты из пегматитовых жил (главным образом микроклин) служат сырьем для керамической и стекольной промышленности. Лунный камень употребляется в ювелирном деле, амазонит для поделок.



*Рис. 53. Микроклин*

### **Группа фельдшпатоидов**

**Нефелин  $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ .** (рис.54)

Сингония гексагональная. Кристаллы мелкие, призматические, образуют вкрапленники, а также сплошные сливные массы с жирным блеском – элеолит.

Бесцветный, серый, красноватый, зеленоватый. Блеск жирный. Спайности нет. Твердость 5,5. Плотность 2,6.

Диагностика. Характерен жирный блеск в сплошных массах. Не встречается с кварцем. В  $\text{HCl}$  легко растворяется с образованием студневидного кремнезема. Важным диагностическим признаком является рыхлая серая корка на его поверхности, образующаяся в результате выветривания.

Происхождение. Магматическое – встречается в породах, бедных кремнекислотой и богатых натрием (в нефелиновых сиенитах и щелочных пегматитах). Ассоциирует с апатитом, эгирином, полевым шпатом, биотитом, ильменитом, титанитом,

цирконом и другими минералами щелочных пород. Не встречается в парагенезисе с кварцем.

Продуктами гидротермального изменения нефелина являются канкринит – алюмосиликат Ca, содержащий  $\text{CO}_2$ , серого или желтого цвета, и содалит  $\text{Na}_8[\text{AlSiO}_4]_6\text{Cl}_2$  синего цвета.

Применение. Руда на алюминий, используются в стекольной и фарфоровой промышленности.



*Рис. 54. Нефелин*

### **Группа содалита.**

**Лазурит** (ляпис-лазурь)  $\text{Na}_6\text{Ca}_2[\text{AlSiO}_4]_6(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})$ . (рис.55)

Сингония кубическая. Кристаллы редки, обычно встречаются в виде зернистых масс. Цвет яркий, темно-синий, до синефиолетового. Излом неровный. Спайность несовершенная. Твердость 5,5. Плотность 2,3-2,4.

Диагностика по ярко-синему цвету, несовершенной спайности, парагенезису; при действии  $\text{HNO}_3$  или  $\text{HCl}$  выделяет  $\text{H}_2\text{S}$ .

Происхождение метасоматическое в скарнах с флогопитом, диопсидом, форшгеритом, кальцитом, пиритом.

Применение. Красивый поделочный камень, который привлекал к себе внимание издавна.



*Рис. 55. Лазурит*

### Алюминиевые минералы

Алюминий (Al) – трехвалентный металл третьей группы.

Атомный вес 26,97, порядковый номер 13. Радиус атома 1,43,  $A^0$ , радиус иона 0,57  $A^0$ . Кларк 7,45.

Удельный вес 2,65 – 2,80. Температура плавления 658,7 $^0$ .

Алюминиевые соединения, и в частности квасцы, были известны в глубокой древности, но впервые металлический алюминий был получен Велером в 1827 г.

Огромную роль в литосфере играют соединения алюминия с кремнием, так называемые алюмокремниевые соединения.

Алюминий относится к первому изоморфному ряду (Al, Fe, Cr, Mn, Ti, В, (Сс), V, In).

Алюминий является одним из преобладающих элементов в земной коре. По акад. А. Е. Ферсману, известно около 250 минеральных видов, содержащих алюминия в основных углах своих пространственных решеток.

Простой окисел корунд  $Al_2O_3$

Алюминаты группы шпинели { шпинель  $MgO \cdot Al_2O_3$

Алюминат – хризоберилл  $BeO \cdot Al_2O_3$

Гидраты { диаспор  $Al_2O_3 \cdot H_2O$

{ боксит  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$

Из минералов алюминия рассмотрим:

1. Корунд 2. Диаспор 3. Алунит

Корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис 56)

Название происходит от старинного индийского термина «каурунтака».

Сингония тригональная. Кристаллы столбчатые боченковидной формы; представляют комбинации дитригональной призмы и нескольких дитригональных дипирамид, ромбоэдра и пинакоида. Кристаллы как бы вросшие в породу; крупные кристаллы нередко изогнуты. Встречается также в сплошных зернистых агрегатах. Цвет синий, серовато-синий, серый. Блеск стеклянный, до алмазного. Спайности нет, излом неровный. Характерна высокая твердость 9. Плотность 4.

Разновидности. Прозрачные разновидности синего цвета называются сапфиром, кроваво-красного-рубином (окраска от примеси  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Наждак – сплошная зернистая корундовая порода серовато-черного цвета от тонкой примеси гематита, магнетита, шпинели и других минералов.

Диагностика: по твердости, сильному блеску, форме кристаллов.

Происхождение. 1. Магматическое и пегматитовое в связи со щелочной магмой. 2. Контактново-метаморфическое в результате воздействия магматических пород на известняк и бокситовые породы.

Применение. Корунд и наждак используются как абразивный материал, рубин и сапфир – драгоценные камни. В настоящее время цветные корунды в значительном количестве изготавливаются искусственно.



*Рис. 56. Корунд*

**Диаспор  $\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$ . (рис.57)**

Сингония ромбическая. Кристаллы пластинчатые, удлиненные, агрегаты листоватые, чешуйчатые.

Цвет коричневый, бурый, серовато-белый. Спайность совершенная. Черта белая. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Твердость 6,5 – 7. Плотность 3,3 – 3,5. Хрупок.

Диагностика: по спайности, пластинчатому облику и высокой твердости. При нагревании в пробирке растрескивается и выделяет воду.

Происхождение. В контактовых месторождениях, часто вместе с корундом, но большей частью – экзогенный, в месторождениях бокситов и глин. Контактново-метасоматический диаспор в крупных листоватых кристаллах известен в месторождении наждака Косой Брод на Урале.

Применение. Диаспор является основной рудой алюминия



*Рис. 57. Диаспор*

**Алунит  $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$**  (рис.58)

Сингония тригональная. Наблюдается в плотных, землистых и сплошных камнеподобных массах. Цвет белый, сероватый, желтоватый, красноватый. Блеск стеклянный. Спайность ясная. Твердость 3,5-4. Плотность 2,6 - 2,8.

Диагностика. Обычно скрытокристаллические плотные массы белого или желтоватого цвета с неровным изломом. Надежно диагностируется оптически, рентгенографически и термографически.

Происхождение. Гидротермальное, в связи с вулканической деятельностью – образуется при переработке сернокислыми растворами эффузивных пород, богатых щелочами. Вместе с этим процессом (алунитизацией) происходит каолинизация и окремнение пород.

Применение. Алунитовые породы используются для производства квасцов и сульфата алюминия. В последнее время алунит рассматривается как источник окиси алюминия.

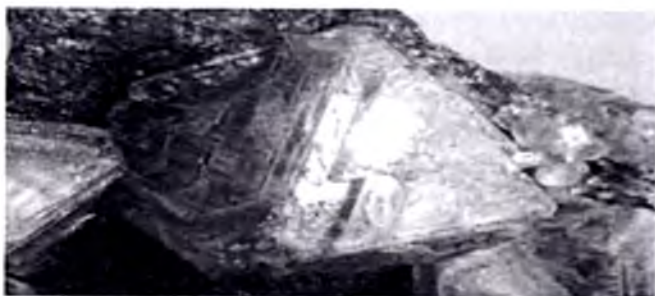


Рис. 58. Алузит

## Минералы углерода

Углерод (С) – четырехвалентный элемент четвертой группы. Атомный вес 12,00, порядковый номер 6, изотопы 12,13. Радиус атома 0,77 А°. Радиус иона 0,20 А°. Кларк 0,35. Углерод вещество полиморфное

	Уд.в.	Сингония
Модификация углерода: алмаз	3,51 – 3,52	– кубический
графит	2,22 – 2,32	– гексагональный
уголь	1,4 – 2,0	– аморфный

При нагревании в отсутствие кислорода полиморфные разновидности переходят в графит, который (в соответствии кислорода) плавится при 3845°

Углерод дает чрезвычайно большое количество химических соединений с водородом, которые изучаются в органической химии. Ниже приводится сокращенный список простейших соединений углерода.

Углеводороды:

насыщенные {метан  $\text{CH}_4$ родан  $(\text{SCH})_2$ ,

роданистоводородная

{этан  $\text{C}_2\text{H}_6$  кислота  $(\text{HSCN})$

Кислотные соединения:

ненасыщенные {этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$  двуокись  $\text{CO}_2$  (угольный ангидрид)

{ацетилен  $C_2H_2$  окись CO

Галоидные соединения углерода:

четырефтористый  $CF_4$  Кислоты:

четырехлористый  $CCl_4$

угольная  $H_2CO_3$

четырехбромистый  $CB_{r4}$

щавелевая  $H_2C_2O_4$

четырехиодистый  $CI_4$

Сульфиды:

фосген  $COCl_2$  сероуглерод  $CS_2$

Цианистые и роданистые;

Карбиды:

Циан  $(CN)_2$ , цианистоводо-

карбид кальция  $CaC_2$

родная кислота  $(HCN)$

карборунд  $SiC$

По акад. В. И. Вернадскому, углерод не входит в изоморфные ряды элементов.

Общеизвестно огромное промышленное значение минералов углерода.

При прокаливании органические соединения сгорают; при нагревании в закрытой трубке они выделяют летучие погонны и издают характерный запах. От действия соляной кислоты углекислые соли вскипают.

Соединения углерода находятся во всех термодинамических зонах от нижних частей магмосферы до атмосферы.

Особенно большое значение играет углерод в формировании живого вещества, в результате чего он накапливается в коре выветривания как биогенный минерал.

*Ниже приводится неполный список минералов углерода:*

Алмаз C

Гидроталькит

Графит C

$MgCO_3 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 2Al(OH)_3 \cdot 4H_2O$

Шунгит C

Бисмутит  $Bi_2O_3 \cdot CO_2 \cdot H_2O$

Углекислота  $CO_2$

Кальцит }  $CaCO_3$

Арагонит }

Доломит  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$

Анкерит  $CaCO_3 \cdot (Fe, Mg) CO_3$



Магнезит  $\text{MgCO}_3$   
 Сидерит  $\text{FeCO}_3$   
 Родохрозит  $\text{MnCO}_3$   
 Смитсонит  $\text{ZnCO}_3$   
 Сферокобальтин  $\text{CoCO}_3$   
 Бромлит  $(\text{Ca}, \text{Ba}, \text{Sr}) \text{CO}_3$   
     Витерит  $\text{BaCO}_3$   
     Стронцианит  $\text{SrCO}_3$   
     Церуссит  $\text{PbCO}_3$   
     Баритокальцит  $\text{BaCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$   
     Малахит  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$   
     Азурит  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$   
     Аурихальцит  
      $2(\text{Zn}, \text{Cu})\text{CO}_3 \cdot 3(\text{Zn}, \text{Cu}) (\text{OH})_2$   
     Гидроцинкит  $2\text{ZnCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$   
     Гидроцеруссит  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$   
     Алюмогидрокальцит  
      $\text{Ca} (\text{HCO}_3)_2 \cdot 2\text{Al} (\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
     Нахколит  $\text{NaHCO}_3$   
     Термонатрит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
     Трона  $\text{HNa}_3\text{C}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
     Сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
     Гейлюссит  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
     Гидромагнезит  
      $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Вышеперечисленные минералы по генетическому признаку разделяются следующим образом.

В связи с изверженными породами, пегматитами и пневматолитами образуются: алмаз, графит, шунгит, тухолит, карбуран, карбоцер, ураноталлит, фоглит, лантанит, бастнезит, паризит, углекислота.

В гидротермальных жилах, преимущественно в верхних частях, образуются следующие минералы: углекислота, кальцит,

арагонит, доломит, анкерит, сидерит, родохрозит, смитсонит, сферокобальтин, церуссит, малахит, азурит, аурихальцит, гидробисмутит, гидромагнезит, гидроталькит, бисмутит, базобисмутит, ледгилит и каледонит.

В нормальных осадочных породах образуются: углекислота, кальцит, арагонит, доломит, анкерит, сидерит, алюмогидрокальцит, нахколит, термонарит, трона, сода, тейлюсеит, уэвиллит, меллит, янтарь, волховит, озокерит, элатерит, нефть, асфальт, антрацит, каменный уголь и бурый уголь.

## **Из минералов углерода рассмотрим:**

### **1. Алмаз 2. Графит 3. Янтарь**

#### **Алмаз С. (рис.59)**

Название происходит от греческого слова «адамас» — непобедимый.

Внутренняя структура алмаза чрезвычайно прочная. Каждый атом углерода связан с четырьмя другими, тетраэдрически расположенными вокруг него.

Сингония кубическая. Облик кристаллов преимущественно октаэдрический, грани ромбододекаэдра и куба встречаются реже. Ребра нередко закруглены, кристаллы кажутся как бы оплавленными.

Алмаз обладает самой высокой среди минералов твердостью, равной 10. Отличается сильным, так называемым алмазным, блеском. Эти свойства обусловлены его внутренней структурой.

Цвет различный, чистые разности бесцветны, водяно-прозрачны, иногда имеет оттенки коричневого, красного, желтого, синего и других цветов. Довольно хрупок. Спайность по октаэдру средняя. Люминесцирует в ультрафиолетовых лучах голубовато-синим цветом. Плотность 3,5.

Измеряются алмазы в каратах; один метрический карат равен 0,2 г. Алмазы массой более 100 каратов представляют исключительную редкость и известным по данным им именам.

Разновидности. Различают алмазы ювелирные и технические.  
Диагностика. Высокая твердость, алмазный блеск, нерастворимость в кислотах, по люминесценции и по парагенезису.

Происхождение и месторождения. Происхождение алмазов магматическое. Коренные месторождения представляют собой трубообразные тела (трубки взрыва), выполненные своеобразной породой - кимберлитом. Они прорывают различные породы и уходят на большую глубину. Кимберлиты Южной Африки состоят из обломков ультраосновных пород (содержащих серпентин, оливин, авгит, пироп), сцементированных синей глиной. На поверхности благодаря выветриванию кимберлиты принимают буроватую окраску. Алмазы вкраплены как в синей глине, так и в обломках ультраосновных пород. Диаметр кимберлитовых трубок различный, в среднем 30—100 м. Содержание алмазов в них составляет от 0,00004 до 0,00009% от всей массы породы.

Образование алмазов связано с кристаллизацией остаточной магмы ультраосновного состава, богатой летучими соединениями. Кристаллизация алмазов, вероятно, начинается еще до начала извержения магмы, причем для этого необходимы специфические условия: очень высокое давление, приблизительно 60—80 тыс. атм, и сравнительно низкая температура — около 1000° С. Полагают, что такие условия существовали при образовании кимберлитовых трубок. Впоследствии в результате взрыва газов образовался «канал», а сами породы были брекчированы.



*Рис. 59. Алмаз*

В кимберлитах Южной Африки были найдены крупнейшие в мире алмазы: «Куллинан» (3024,74 карата), «Эксцельсиор» (995,3 карата), «Джонкер» (726 каратов) и др.

Применение. На технические алмазы приходится около 75—80% всей мировой добычи алмазов. Примерно 15% всех технических алмазов идет на алмазное бурение (алмазы вставляются в буровые коронки). Технические алмазы используются также в качестве резцов и сверл (фасонные алмазы), для протягивания тончайших проволок (волоочильные алмазы, или фильеры) и многих других целей. Наиболее низкосернистые алмазы широко применяются как абразивный (стирающий) материал. Чистые или равномерно окрашенные алмазы являются драгоценными камнями первого класса. Ограненные алмазы называются бриллиантами.

В настоящее время алмазы получают искусственным путем в основном в результате каталитической реакции, протекающей при высоких температурах и давлениях между графитом и некоторыми металлами (железо, никель, кобальт, хром, платина). Размеры их достигают 3—4 мм.

**Графит С.** Название происходит от греческого слова «графо» — пишу (*рис. 60*).

В отличие от алмаза графит представляет собой гексагональную модификацию углерода. Как указывалось выше, упаковка атомов углерода в графите менее плотная, чем у алмаза. Это приводит к уменьшению плотности графита по сравнению с алмазом, а значительные промежутки между плоскими гексагональными сетками вызывают совершенную спайность. Плотность графита 2,2, твердость 1.

Цвет железно-черный. Черта черная, блестящая. Блеск металловидный. Проводит электричество. Огнеупорен и кислотоупорен.

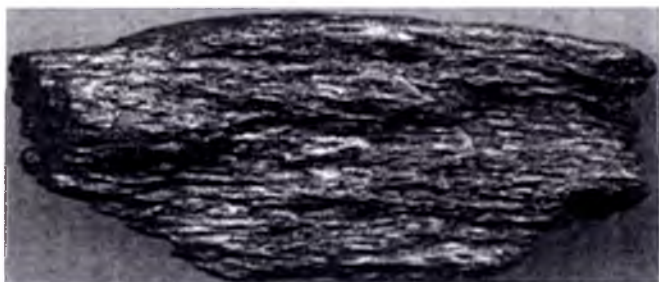
Графит образует мелкие шестиугольные кристаллики в известняках и сланцах. Агрегаты графита плотные, чешуйчатые, землянистые, сферические. От похожего на него молибденита отличается по черте: графит даст черную черту на бумаге, молибденит — голубоватую.

Разновидности. По структурным признакам различают кристаллический, чешуйчатый и аморфный графит. Первый представляет собой агрегаты волокнистых кристаллов, второй имеет форму чешуек или пластинок, третий — плотный, скрытокристаллический (графитит). Шунгит — аморфная разновидность углерода, образовавшаяся при метаморфизме каменных углей (переходная разновидность между каменным углем и графитом).

Диагностика: по черному цвету, чешуйчатому строению, жирности на ощупь, пачкает пальцы.

Происхождение. 1. Магматическое (?), связанное с воздействием интрузий на карбонатные породы. 2. Метаморфическое, в мраморах, гнейсах и кристаллических сланцах благодаря диссоциации  $\text{CaCO}_3$  и метаморфизму органического вещества. 3. При метаморфизме каменных углей.

Применение. Графит употребляется в металлургической промышленности (тигли, литейное дело), как смазочный материал, при производстве красок, карандашей, в электропромышленности (электроды).



*Рис. 60. Графит*

**Янтарь** —  $\text{C}_{40}\text{H}_{64}\text{O}_4$ . Слово «янтарь» происходит от латинского названия этого минерала *gentaras* (рис.61).

Химический состав: С-79,0%, Н - 11,0%, О - 10,0%; обычно содержит незначительные примеси серы. Разностями янтаря являются сукцинит — округлые формы в виде коржей с включением

листьев и третичной фауны: глессит – непрозрачная разность темного цвета.

Габитус. Наиболее типичными для янтаря являются исходные формы в виде затвердевших капель янтарной смолы. Иногда он встречается в форме коржеподобных выделений, натеков и сталактитов.

Физические свойства. Цвет янтаря желтый разных оттенков до желто-красного и желто-бурого. Блеск смолистый. Прозрачный или просвечивает. Излом раковистый. Аморфный, вязкий. Твердость – 2- 2,5 Хрупкий. Хорошо полируется и обрабатывается. Плотность – 1,05-1,10. Слабо электропроводный. От трения сукном и при нагревании электризуется. Это свойство янтаря было известно еще в древности (слово электричество происходит от греческого названия янтаря – электрон).

Диагностические признаки янтаря – цвет, включения различных остатков растений и насекомых, а также сгорание с ароматным запахом. Легко растворяется в бензоле и сероуглероде. П.п.т. сгорает уже при температуре 250-400°C (при температуре 150°C размягчается).

Происхождение и месторождения. Янтарь – ископаемая смола хвойных третичного периода. Впервые эту мысль о происхождении янтаря высказал М.В.Ломоносов, отметив, что включения в янтаре различных насекомых и остатков растений (цветов, лепестков, листьев и т.д.) являются доказательством того, что он представляет собой смолу, вытекавшую когда-то из растений. Янтарь встречается по берегам Балтийского моря в Польше ФРГ и ГДР, Дании, Швеции, а также в Англии, США и других странах. Он наблюдается здесь в третичных песчаноглинистых отложениях в виде скоплений, масса которых достигает иногда 10 кг. Крупнейшие месторождения янтаря находятся в Калининградской области. Янтарь известен также в третичных отложениях Киевской, Житомирской, Львовской и Харьковской областей.



*Рис. 61. Янтарь*

Практическое значение. Благодаря низкой электропроводности янтарь используется в электротехнической промышленности как изолятор. Он используется также для получения янтарной кислоты, медицинских препаратов и реактивов. Основное применение янтарь находит как поделочный камень (идет на изготовление брошек, шпилек, мундштуков и т.д.).

### **Минералы азота**

Азот (N) – элемент пятой группы.

Атомный вес 14, 008, порядковый номер 7. Изотопы 14 и 15.

Радиус атома 0, 71 А°, радиус иона 0,1 – 0,2 А°. Кларк 0,05.

Температура плавления твердого азота 210°.

Температура кипения жидкого азота 195,8°.

Соединения азота были известны еще в древнее время, но самый азот открыт Шелле только в 1777 г., причем он назвал его «испорченным воздухом»; несколько лет спустя Лавуазье дал ему название азотикиса, а Шапталь обозначил его, как нитрогениум. Начальная буква последнего названия (N) и была принята как химический знак для азота.

Известны следующие соединения азота с кислородом: закись азота  $N_2O$ , окись  $NO$ , трехокись  $N_2O_3$ , двуокись  $NO_2$ , пятиокись  $N_2O_5$ .

Пятиокись азота является ангидридом азотной кислоты. Ее соли или нитраты (селитры) представляют главные минералы



азота, образующиеся в коре выветривания; в магме азотная кислота носит уже иной характер и солей там не дает.

Из водородистых соединений азота для нас представляет интерес аммиак ( $\text{NH}_3$ ); его соли – нашатырь  $(\text{NH}_4)\text{Cl}$  и аммиачная селитра  $[(\text{NH}_4)\text{NO}_3]$  – встречаются в природе.

Природные реакции галоидных соединений азота  $\text{NF}_3$ ,  $\text{NCl}$ ,  $\text{NJ}_3$ , ближе не изучены.

Нитриты или соединения азота с металлами иногда выделяются при вулканических извержениях ( $\text{Fe}_5\text{N}_3$  на Этне).

По акад. В. И. Вернадскому, азот не входит в число изоморфных элементов.

К наиболее известным минералам азота относятся:

самородные элементы – азот (N)

нашатырь ..... $(\text{NH}_4)\text{Cl}$

масканьит..... $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

чермигит..... $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

натровая селитра..... $\text{NaNO}_3$

нитрокальцит..... $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Нитроглауберит..... $6\text{NaNO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Калиевая селитра .....  $\text{KNO}_3$

Все эти минералы образуются в коре выветривания, как вторичные продукты, и в большинстве случаев в связи с жизнедеятельностью нитробактерий. Кроме этого, азот выделяется в газовых струях минеральных источников. Главная масса азота находится в воздухе в свободном состоянии; соединения азота растворены в воде, в нефтях и каменном угле.

Практически азот получается главным образом из воздуха, также при перегонке каменных углей и, наконец, из минералов азота – селитры и нашатыря. Соединения азота играют видную роль среди удобрителей и в химической промышленности.

Из минералов азота мы рассмотрим натровую и калиевую селитры.



## **Натриевая (чилийская) селитра $\text{Na} [\text{NO}_3]$ .**

Сингония тригональная. Встречается в виде корочек, а также в сплошных зернистых массах.

Цвет белый, от примесей серый, желтый, красновато-коричневый. Спайность совершенная по ромбоэдру (кристаллы похожи на кальцит). Вкус солоноватый. Твердость 1,5-2. Плотность 2,25.

Диагностика. Легко растворима в воде. Вкус солоноватый. Окрашивает пламя в интенсивно желтый цвет (Na).

Дает вспышку при нагревании с порошком угля, но более слабую, чем калийная селитра.

Месторождения. Мировое значение имеют месторождения натриевой селитры в Чили. Она распространена на площади длиной до 700 км при ширине до 80 км. Запасы селитры около 200 млн. т. Происхождение не вполне ясно, однако установлено, что при образовании селитры главнейшими являются физико-географические факторы. Характерно содержание йода, который попутно добывается в большом количестве.

Применение. Натриевая селитра употребляется как лучшее минеральное удобрение, в пищевой промышленности, для получения  $\text{HNO}_3$  и изготовления взрывчатых веществ.

**Калиевая селитра –  $\text{K} [\text{NO}_3]$ .** Калиевая селитра получила название по составу (в отличие от натриевой селитры) (рис.62).

Сингония ромбическая, вид симметрии ромбодипирамидальный  $D_{2h} - mmm(3L_2, 3PC)$ .

Агрегаты и габитус. Калиевая селитра образует корки, налеты и выцветы, а также кристаллические агрегаты, отдельные индивиды которых имеют игольчатый облик. По внешнему виду ее кристаллы похожи на кристаллы арагонита.

Физические свойства. Калиевая селитра бесцветная или белая (механические примеси окрашивают минерал в разные цвета). Цвет черты белый. Блеск стеклянный. Излом полураковистый до неровного. Твердость-2. Хрупкая. Спайность совершенная по (011). Плотность-1,99-2,11. Оптические свойства: двухосная, отрицательная;

$N_g=1,504$ ,  $N_m=1,504$ ,  $N_p=1,332$ ;  $2V=7^\circ$ .

Диагностические признаки. Главные линии на рентгенограммах: 3,77; 3,33; 2,66. Легко растворяется в воде. П.п.т. ведет себя аналогично натриевой селитре.

Образование и месторождения. По своему происхождению калиевая селитра связана с разложением органических веществ. Крупных месторождений она не образует. Известна во многих местах Средней Азии (выцветы грунтов) и в Дагестане (выцветы на скалах известняков).

Практическое значение. Калиевая селитра используется как калийное удобрение, а также применяется при изготовлении азотной кислоты и пороха.



*Рис. 62. Калиевая селитра*

## Минералы серы

**Сера (S)** – металлоид шестой группы, аналог, с одной стороны, кислорода, с другой, - селена и теллура. (Двадцатый изоморфный ряд).

Атомный вес 32,06, порядковый номер 16, изотопы 32, 33, 34, 37, 38.

Радиус атома 0,9 – 1,0 Å, радиус иона 1,74 Å<sup>0</sup> (двухвалентного) и 0,36 Å<sup>0</sup> (шестивалентного). Полиморфное вещество. Кларк 0,10.

Сера была известна в глубокой древности.

Различают сернистые соединения (сульфиды), в которых сера двухвалентна и отрицательна, и сернокислые соли (сульфаты), в которых она шестивалентна и положительна.

Сера может находиться: в свободном виде, в соединении с кислородом, в виде трехоксида  $SO_3$ , двуоксида  $SO_2$ , полуторной окиси  $S_2O_3$ , закиси  $SO$ , перекиси  $S_2O_7$ . Эти соединения дают соответствующие соли. Из них наибольшее значение в природе имеют сульфаты, соли серной кислоты. В воде растворимы: сульфаты калия, натрия, магния, алюминия, хрома, никеля, кобальта, цинка, марганца, железа, меди, кадмия, висмута; мало растворимы: сульфаты кальция, серебра; практически в воде не растворимы сульфаты бария, стронция, свинца, радия.

Соединение серы с водородом –  $H_2S$  – относится к типу сернистых соединений, в этом соединении сера двухвалентна и отрицательна.

Насчитывается около 615 серосодержащих минералов; это составляет около 17% от всех минералов. Среди минералов серы количества сернистых минералов (289) и сульфатов (273) очень близки друг другу. В условиях коры выветривания, вне восстановительной среде устойчивыми являются только сульфаты, в восстановительной среде и в глубоких частях земной коры устойчивы сульфиды – сернистые соединения.

Самородная сера образуется при переходе сернистых соединений в сульфаты; она устойчива только в восстановительной среде.

Промышленную серу добывают из руд самородной серы. Кроме того, ее получают при обжиге пирита и колчеданных руд, преимущественно халькопирита. Сульфиды тяжелых металлов являются их промышленными рудами; сера при этом добывается попутно.

Сера употребляется главным образом в основной химии (производство серной кислоты и пр.), электрохимии, электротехнике, точной химии (реактивы); ею пользуются для удобрения и борьбы с сельскохозяйственными вредителями, для бумажного производства, для вулканизации каучука; она находит применение в медицине, санитарном, военном деле и т. п.

Из серосодержащих минералов мы рассмотрим:

1. Самородная сера S
2. Пирит  $\text{FeS}_2$
3. Марказит  $\text{FeS}_2$
4. Пирротин  $\text{FeS} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$

**Сера S.** (рис.63). Сингония ромбическая. Кристаллы имеют дипирамидальный облик (дипирамиды усечены) и образуют красивые друзы. Часто встречаются в сплошных массах и натечных формах.

Цвет желтый, бурый и черный от включения битумов. Черта светло-желтая. Кристаллы просвечивают. Блеск на гранях стеклянный, в изломе жирный, смолистый. Излом неровный до раковистого. Очень хрупкая. Твердость 1,5—2. Спайность несовершенная. Плотность 2,05 – 2,08. Хрупка.

Сера легко плавится и при  $270^\circ$  горит синим пламенем с выделением  $\text{SO}_2$ . Электропроводность и теплопроводность очень слабые (хороший изолятор). Диэлектрик при трении заряжается отрицательно. Растрескивается от теплоты рук.

Диагностика. Сера легко узнается по желтому цвету, хрупкости, блеску и легкости воспламенения. Кристаллические формы, цвет, низкая твердость и плотность, жирный блеск на изломе кристаллов, низкая температура плавления – характерные признаки серы.  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  нерастворима.  $\text{HNO}_3$  и царская водка окисляют серу, превращая ее в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Сера легко растворяется в сероуглероде, скиншадаре и керосине.

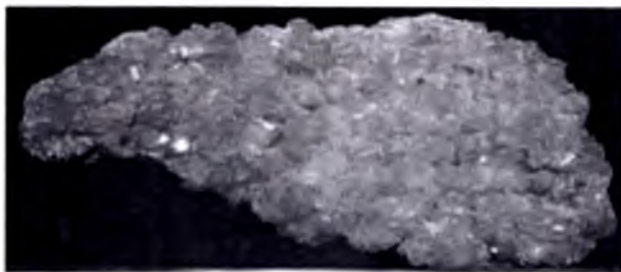


Рис. 63. Сера

Происхождение. 1. Осадочное, биохимическое, отчасти образуется благодаря жизнедеятельности серных бактерий; ассоциирует с гипсом, битумами. 2. При разложении гипсоносных толщ. 3. В зоне окисления сульфидов. 4. В результате возгона при вулканической деятельности дает порошковатые налеты, корки, натечные образования. Иногда встречается селенистая сера.

Месторождения. Осадочные месторождения известны в Средней Азии: в Туркмении (Гаурдак), в Ферганской долине (Шор-Су).

Применение. Сера идет главным образом на получение серной кислоты — основы химической промышленности; употребляется в текстильной и резиновой промышленности, для производства красок, спичек, фейервергов, взрывчатых веществ и для борьбы с вредителями сельского хозяйства.

**Пирит** (серный колчедан)  $\text{FeS}_2$  (Fe 46,0%; S 53,4%). “Пирос” по гречески — огонь. Повидимому, это название связано со свойством пирита давать искры при ударе или с его сильным блеском. Сингония кубическая. Кристаллы в виде кубов со взаимно перпендикулярной штриховкой на гранях, реже в виде пентагондодекаэдров и октаэдров. Образует друзы, вкрапленники, сплошные зернистые массы.

Цвет соломенно-желтый. Черта буровато- или зеленовато- черная. Блеск сильно металлический. Спайности нет. Излом неровный. Твердость 6—6,5. Плотность около 5. Пирит (рис.64) является самым распространенным минералом из группы сульфидов.

Диагностика. Пирит хорошо распознается по цвету, габитусу кристаллов и большой твердости. Отличается от халькопирита формой кристаллов, большей твердостью и более светлым цветом; от марказита — формой кристаллов.



**Рис. 64. Пирит**

**Происхождение.** Образуется при различных геологических процессах: магматическом, гидротермальном, осадочном, при метаморфизме и т. д. Промышленные месторождения пирита обычно обязаны гидротермальному процессу.

В зоне окисления пирит неустойчив и почти всегда переходит в бурые окислы железа (лимонит), сера при этом фиксируется в гипсе и других сульфатах. Часто встречаются псевдоморфозы лимонита по пириту. Железные шляпы рудных месторождений образуются в основном благодаря разрушению пирита.

**Применение.** Пирит является важным сырьем для получения серной кислоты. При переработке могут быть также использованы примеси — Cu, Zn, Au, Se, а огарки от обжига как железная руда.

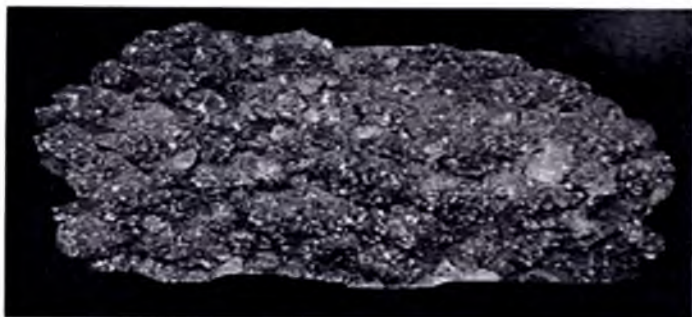
#### **Марказит $FeS_2$ .** (рис.65)

Название произошло от древнеарабского слова, которым называли пирит и марказит. Сингония ромбическая. В отличие от пирита никогда не встречается в кубических кристаллах. Обычен в виде желваков, конкреций, почковидных, гребенчатых и копьевидных агрегатов. Физические свойства те же, что и у пирита. Встречается гораздо реже.

Цвет марказита латунно – желтый с сероватым или зеленоватым оттенком. Черта темная зеленовато – серая. Блеск металлический. Твердость 5 – 6. Хрупок. Спайность несовершенная. Слабо проводит электричество.

**Диагностика.** Для кристаллов марказита характерны их копьевидные или таблитчатые формы, отличающие их от кри-

таллов пирита. В свежем изломе характерен зеленоватый оттенок, не свойственный пириту.



*Рис. 65. Марказит*

**Происхождение.** Большею частью экзогенное. Марказит в небольших количествах широко распространен в угленосных породах, песчаных и глинистых отложениях, в зоне окисления рудных месторождений. Возможно и гидротермальное происхождение (низкотемпературное).

Самостоятельных месторождений не образует. Так же, как и пирит, является вредной примесью в углях и огнеупорных глинах, понижая огнеупорность последних.

**Применение.** В случае наличия больших масс, месторождения марказита, так же как и месторождение пирита, могут являться предметом разработки с целью производства серной кислоты.

**Пирротин** (магнитный колчедан)  $Fe_{1-x}S$ , обычно от  $Fe_6S_7$  до  $Fe_{11}S_{12}$ . Иногда содержит примеси Cu, Ni и Co. Название происходит от греческого слова «пиррос» — огнецветный, красноватый (рис.66).

Сингония гексагональная. В кристаллах редок. Гексагональные пластинчатые кристаллы его известны в Приморье и на Кольском полуострове в Мончетундре. Обычно находится в виде сплошных мелкозернистых масс.

Цвет бронзово-желтый, иногда радужный. Черта серо-черная. Блеск металлический. В различной степени магнитен. Твердость 4. Плотность 4,5.



**Диагностика.** Характерными признаками являются цвет и магнитность.

**Происхождение и месторождения.** 1. Магматическое — в связи с основными горными породами в ассоциации с пентландитом и халькопиритом (Норильское месторождение в низовьях Енисея, Мончестундра на Кольском полуострове). 2. Контактво-метасоматическое или скарновое с полиметаллическими рудами (Тетюхе, Приморье). 3. Гидротермальное. 4. Встречается среди метаморфических и осадочных пород.

По распространенности пирротин уступает только пириту.

**Применение.** Используется для производства серной кислоты.



*Рис. 66. Пирротин*

## **Минералы фосфора**

Фосфор (P) – пентавалентный элемент пятой группы.

Атомный вес – 31,02; порядковый номер – 15.

Радиус атома 1,08 радиус иона 0,35 А°. Кларк 0,12.

Соединения фосфора известны очень давно, но для европейской культуры этот элемент открыт Брандом в 1669 г. Назван по свойству светиться в темноте («фосфорос» по – гречески - светоносный).

Фосфор имеет три модификации.

1. Белый фосфор – при температуре выше 15° – мягкий, как воск, с характерным запахом; его уд.вес 1,83, температура плавления 44,1, температура кипения 280°. Эта модификация фосфора легко растворима в сероуглероде, обладает большой активностью, которая выражается между прочим в том, что в



темноте этот фосфор светится, в тонко измельченном виде на воздухе самопроизвольно воспламеняется; легко восстанавливает некоторые тяжелые металлы из их солей. Сильно ядовит.

2. Красный фосфор с уд.весом 2,2, менее энергичен.

3. Черный фосфор с уд.весом 2,6 и твердостью 2, очень похож на графит. Является, в противоположность предыдущим модификациям, проводником электрического тока и тепла.

Известны следующие соединения фосфора:

Фосфин – газообразный фосфористый водород –  $\text{PH}_3$ ; жидкий фосфористый водород –  $\text{P}_2\text{H}_4$ ; твердый фосфористый водород –  $\text{P}_2\text{H}$  или  $\text{P}_{12}\text{H}_6$ .

Фосфиды, например  $\text{Ca}_3\text{P}_2$ .

Сульфиды фосфора -  $\text{P}_4\text{S}_3$ ,  $\text{P}_4\text{S}_7$  и  $\text{P}_2\text{S}_5$ , легко разлагающиеся соединения; из них  $\text{P}_4\text{S}_3$  – сесквисульфид фосфора употреблялся прежде для приготовления спичек, загорающихся от трения о всякую поверхность.

Соединения фосфора с галогенами малоустойчивы.

Устойчивыми соединениями фосфора являются его кислородные соединения – трехокись  $\text{P}_2\text{O}_3$  и пятиокись  $\text{P}_2\text{O}_5$  (фосфорный ангидрид). Последний представляет наибольший интерес.

Фосфорный ангидрид, образующийся при сгорании фосфора на воздухе или в кислороде, имеет вид снежно – белой массы, жадно соединяющейся с водой. При этом, в зависимости от температуры, могут образоваться:



Эти кислоты дают соли, называемые фосфатами. Их роль в химии земной коры весьма существенна.

Фосфор относится к четвертому ряду изоморфных элементов (V, P, As, Sb).

Фосфор в составе минерала определяется следующими способами: соли фосфора окрашивают пламя паяльной трубки в

зеленоватый цвет; иногда для разложения минерала необходимо прибавить смесь Турнера. Фосфорнокислые соединения алюминия и тяжелых металлов сплавляют на угле с двумя частицами соды, затем растертый сплав смешивают с металлическим магнием и нагревают в закрытой трубке; щелочные и щелочноземельные металлы непосредственно нагреваются с магнием; в обоих случаях после погружения трубки в воду образуется фосфористый водород  $\text{H}_3\text{P}$  с резким запахом. Из азотнокислого раствора молибденовокислый аммоний осаждает желтый осадок:



Фосфор применяется – главным образом в виде фосфатов как удобрение; применяется также в военном деле, в фармацевтических препаратах, для борьбы с грызунами, для покрытия коробок безопасных шведских спичек (красный фосфор).

В литосфере фосфор концентрируется главным образом в осадочных породах – в фосфоритах – и в щелочных изверженных горных породах – в апатите.

### Список минералов фосфора

Стеркорит  $\text{H}(\text{NH}_4)\text{NaPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Монетит  $\text{H}\text{CaPO}_4$

Апатит  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$

Фосфорит – аморфный апатит с примесями  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и др.

Курскит  $2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{CaCO}_3$

Подолит  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$

Сподиозит  $\text{Ca}(\text{CaF})\text{PO}_4$

Пироморфит  $\text{Pb}_1(\text{PbCl})(\text{PO}_4)_3$

Тагилит  $\text{Cu}(\text{CuOH})\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Триплоидит  $(\text{Mn}, \text{Fe})_2(\text{OH})\text{PO}_4$

Триплит  $(\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{FPO}_4$

Вагнерит  $\text{Mg}(\text{MgF})\text{PO}_4$

Либетенит  $\text{Cu}(\text{CuOH})\text{PO}_4$

Вивианит  $\text{Fe}_3(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Керченит  $3(\text{Fe, Mn, Mg, Ca})\text{O} \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 21\text{H}_2\text{O}$

Оксикерченит  $(\text{Mn, MgF})\text{PO}_4$

Анапаит  $(\text{Ca, Fe})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Гопеит  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Бериллонит  $\text{NaBePO}_4$

Натрофиллит  $\text{NaMnPO}_4$

Литиофиллит  $\text{Li}(\text{Mn, Fe})\text{PO}_4$

Струвит  $(\text{NH}_4)\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ксенотим  $\text{YPO}_4$

При рассмотрении этого списка минералов следует обратить внимание на то, что фосфор в изверженных породах входит в состав главным образом апатита; в пегматитах и в пневматолитах он концентрируется также в апатите и, кроме того, в монаците, ксенотиме, литиофиллите, натрофиллите, бериллоните, амбилогините, триплите и триплоидите; в эпитермальных месторождениях его минералами являются бирюза, лазулит, вавеллит, варисцит; при поверхностных изменениях рудных месторождений он собирается в пироморфите, тагилите, либетените, торберните, ураноцирците, отэните; при поверхностных изменениях рудных месторождений он собирается в пироморфите; при поверхностных процессах в связи с биосферой фосфор концентрируется в фосфоритах, курските, подолите, струвите, а в связи с железорудных осадочными месторождениями – в вивианите, керчените и оксикерчените.

Известно всего около 170 минералов, содержащих фосфор; по акад. А.Е Ферсману, из этого числа только 5% минералов образуется в магмах, 20% в гидротермальных жилах и 50% образуется в связи с поверхностными гипергенными процессами. Из всего этого количества минералов отметим следующие.

Апатит и фосфорит как главные руды на фосфор и индикаторы на него в области осадочных пород; вивианит и бирюза – в области метаморфических пород.

Ксенотим и монацит рассматриваются с минералами редких и рассеянных элементов, торбернит и отэнит – с радиоактивными минералами.

## Из минералов фосфора мы рассмотрим:

### 1. Апатит 2. Фосфорит 3. Бирюза

**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 (рис.67).

Химический состав апатитов сложный. По существу это группа минералов, состав которых благодаря изоморфным замещениям непостоянен. В общем виде формула минералов этой группы может быть записана так.  $\text{A}_5[\text{PO}_4]_3\text{Z}$ , где А – Са, Рb, атакже  $\text{TR}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ , Z –  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{OH})^-$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $[\text{CO}_3]^{2-}$ .

В связи с этим выделяют следующий разновидности апатитов:

- 1) фторапатит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$  (преобладает в природе),
- 2) хлорапатит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{Cl}$ ,
- 3) гидроксилapatит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{OH})$ ,
- 4) оксиapatит  $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6\text{O}$ .



Рис. 67. Апатит

Изоморфные замещения в апатитах могут быть как изоэлектронные, так и гетероэлектронные (т. е. могут замещаться ионы разных валентностей). При этом, если  $\text{Ca}^{2+}$  замещается  $\text{TR}^{3+}$ , то с целью компенсации зарядов в анионной части  $\text{F}^-$  замещается на  $\text{O}^{2-}$ .

Сингония апатита гексагональная. Кристаллы обычно представляют собой комбинации гексагональной призмы и дипирамиды. Размер их от очень мелких, видимых только под микроскопом, до гигантских масс в 50 кг. Также характерны сплошные зернистые сахаровидные массы.

Цвет желто-зеленый, белый, голубой, иногда бесцветен. Черта светлая. Блеск стеклянный. Спайность несовершенная. Излом неровный. Хрупок. Твердость 5. Плотность 3,2.

Диагностика: по форме кристаллов, цвету и твердости.

Происхождение. Магматическое – встречается в кислых породах как акцессорный минерал, в щелочных породах – совместно с нефелином является одним из главных породообразующих минералов (в нефелиновых сиенитах). Это важнейший промышленный тип месторождений апатита, последний представлен здесь светлыми, желто-зелеными мелкозернистыми массами.

Встречается в пегматитовых жилах с мусковитом. Типичен для некоторых контактово-метасоматических месторождений. Откуда происходят хорошо ограненные крупные кристаллы голубого или голубовато-зеленого цвета. Ассоциируется с диопсидом, флогопитом, кальцитом, скаполитом, а также образует зернистые диопсид-апатитовые породы.

Применение. Источник фосфорита; основное сырье для получения различных фосфорных удобрений.

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 (*рис. 68*).

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

Применение. Аналогичное апатиту.



*Рис. 68. Фосфориты*

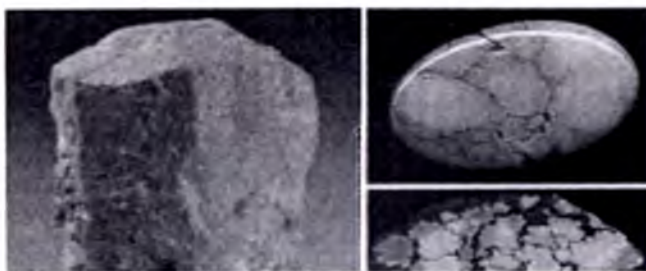
**Бирюза  $\text{Cu}(\text{Al}, \text{Fe})_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .** (рис.69)

Каллаит – древнее название бирюзы. Разновидность богатая железом названа рашлеитом. Сингония триклинная. Кристаллы очень редки. Обычно в виде плотных, почковидных скрытокристаллических стяжений и прожилков. Цвет небесно-голубой, зеленовато-голубой. Блеск восковой. Излом раковистый. Твердость 5-6. Плотность около 2,7.

Диагностика. По цвету, блеску, формам выделения; похожа на хризоколлу, но тверже ее.

Происхождение. Экзогенное – в виде прожилков в брекчированных вулканических породах. Характерна для засушливых областей.

Применение. Ювелирное сырье, обрабатывается в виде круглых или овальных форм (кабошонов).



*Рис. 69. Бирюза*

## Минералы бора

Бор (В) – трехвалентный металл третьей группы. Атомный вес 10,82, порядковый номер 5, изотопы 11 и 12.

Радиус атома 0,97 А<sup>0</sup>, радиус иона 0,20 А<sup>0</sup>. Кларк 0,01.

Удельный вес 2,5 – 2,6 (3,3), твердость близка к 10.

Соединение бора – бура была известна в глубокой древности.

Элементарный бор впервые получен Гей – Люссаком и Тенаром в 1808 г.

В большинстве своих соединений бор является трехвалентным;  $\text{BF}_3$  – удушливый газ,  $\text{BCl}_3$  – подвижная жидкость, кипящая при 18<sup>0</sup>;  $\text{B}_2\text{O}_3$  – борный ангидрид.

Борная или ортоборная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – твердое тело, при нагревании до 100<sup>0</sup> переходит в метаборную  $\text{HBO}_2$ , и выше 140<sup>0</sup> – в тетраборную кислоту.

Бор применяется в промышленности в виде солей, главным образом буры – для паяния, изготовления глазурей и эмалей, для специальных сортов стекла, в красильном, кожевенном производстве, для стирки; борная кислота применяется в медицине; пербораты – в косметике, при крашении тканей, при изготовлении зубных паст; элементарный бор применяется как высокотвердый абразив; соединения бора применяются также в качестве добавки к удобрениям для специальных культур (например свеклы, табака).

Всего насчитывается около 80 борных минералов, из них 30 боросиликатов и 50 боратов.

Главнейшие минералы бора образуются среди осадочных пород вместе с легко растворимыми солями, выделяются из горячих вод при вулканических процессах; из нефтяных из горячих вод и из вод грязевых вулканов. Силикаты и алюмосиликаты бора связаны с кислыми изверженными породами. Здесь бор принадлежит к числу энергичных минерализаторов, входя в состав как ряда аксессуарных минералов, так и крупных и контактных образований.

## Из минералов бора мы рассмотрим:

Турмалин  $pM_3B_2Si_2O_8 \cdot qM_2Al_2Si_2O_8 \cdot rA \cdot M = (H, Na, Li, Mg, Fe)$

Гидроборатит  $CaMgB_6O_{11} \cdot 6H_2O$

Турмалин  $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_3Al_3Si_6(O, OH)_{30}]$  – сложные боратосиликаты кольцевой структуры. Название происходит от сингалезского слова «турмали». Под этим названием он был привезен в Голландию в 1703 году вместе с другими драгоценными камнями.

Распространены среды минералов, между которыми установлена полная изоморфная смесимость:

Шерл  $(Na, Ca)Fe_3(Al, Fe)_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH, F)_4$ ;

Дравит  $NaMg_3(Al, Fe)_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH, F)_4$ ;

Эльбаит  $Na(Li, Al)_3Al_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH, F)_4$ .

Сингония тригональная. Кристаллы удлиненные, столбчатые, вытянутые вдоль оси  $L_3$ . Из простых форм преобладают тригональные и дитригональные призмы и пирамиды, иногда встречается моноэдр. Характерна штриховка кристаллов вдоль вертикальной оси и форма сферического треугольника в поперечном сечении. Размер отдельных кристаллов достигает 30-40 см, но обычно кристаллы мелкие.

Радиальнолучистые агрегаты турмалина носят название «турмалинового солнца», чаще встречаются игольчатые и зернистые агрегаты (рис. 70).

Цвет различный: черный, бурый, розовый, зеленый, белый. Черта белая. Спайность отсутствует. Хрупкий. Блеск стеклянный. Твердость 7,5-8. Плотность 2,9-3,2, обладает пирозлектрическими и пьезоэлектрическими свойствами. Электризуется при нагревании, трении, давлении, причем один конец кристалла заряжается положительно, другой отрицательно.





*Рис. 70. Турмалин*

Разновидности. Шерл-черный турмалин по составу железистый. Дравит – бурый, магнизиальный. Индиголит – темно-синий литиевый, железистый. Рубеллит – (сибирский рубин) – розовый, литиевый, марганцевый. Эльбаит (ахроит) – бесцветный, белый, щелочной. Кроме того, встречаются зеленые турмалины – один конец их кристаллов обычно зеленого цвета, середина белая, другой конец кристалла розовый.

Подавляющая масса турмалинов черного цвета (шерлы). Цветные турмалины сравнительно редки и обычно встречаются в пегматитах с минералами лития, цезия, бериллия, тантала и ниобия.

Диагностика. По удлиненной форме кристаллов и штриховке вдоль вертикальной оси, по характерному поперечному сечению, имеющему вид сферического треугольника, по высокой твердости, раковистому излому, парагенезису.

Происхождение. Преимущественно пегматитовое. Наиболее крупные кристаллы (шерлы) иногда в значительном количестве встречаются в пегматитовых жилах с полевым шпатом, кварцем, мусковитом, биотитом. Цветные турмалины обычны для редкометальных пегматитов с альбитом, лепидолитом, бериллом, сподуменом, колумбитом. Распространены также в грейзенах с топазом и касситеритом (пневматолитовое происхождение), в рудных жилах (гидротермальные) и некоторых метаморфических и контактовых породах.

Применение. Благодаря пирозлектрическим и пьезоэлектрическим свойствам турмалины используются в радиотехнике; рубеллиты являются драгоценным камнем; при значительных скоплениях турмалинов может служить в качестве сырья для получения бора ( $B_2O_3$  от 8 до 12 %).

**Гидроборацит**  $CaMg [B_2VO_4(OH)_3]_2 \cdot H_2O$  ( $B_2O_3$  50,5%). Название связано с борацитом, от которого весьма существенно отличается по составу. Сингония моноклинная. Образует сферолитовые, звездчатые агрегаты, игольчатый, лучистый, волокнистый (рис. 71).

Цвет белый или бесцветный, изредка окрашен в розовый, серый цвет. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 2. Плотность 2,1. Хрупкий.

Диагностика. Хорошо определяется по звездчатым агрегатам. В других случаях нужны специальные методы диагностики.

Происхождение. Образуется в кровле соляных куполов и как химический озерный осадок. Парагенезис: другие водные бораты, гипс, ангидрит.

Месторождения. Гидроборацит вместе с другими боратами (улексит, колеманит, иньоит и др.) известен в Казахстане.

Применение. Все указанные выше минералы являются рудой на бор. Соли бора и борная кислота употребляются в стекольной промышленности, металлургии, медицине, пищевой промышленности и других отраслях хозяйства.



*Рис. 71. Гидроборацит*

## Минералы хлора

Хлор (Cl) – элемент седьмой группы, относится к галогенам.

Атомный вес 35,457, порядковый номер 17, изотопы 35, 37, 39.

Радиус атома 1,07 Å. Радиус иона 1,81 Å. Кларк 0,20.

Температура кипения 34,7°, затвердевания – 101,5.

Хлор в 2<sup>1/2</sup> раза тяжелее воздуха.

Соединения хлора были известны в глубокой древности; сам же хлор был открыт Шееле в 1774 г.

С химической стороны хлор отличается энергией и дает много соединений, из которых для нас представляют интерес главным образом хлориды и оксихлориды. Первые представляют собой соли хлористо – водородной кислоты (HCl), вторые – соли хлорноватистой кислоты (HClO) и ее аналогов, например хлористой кислоты (HClO<sub>2</sub>).

Хлор относится к третьему ряду изоморфных элементов (Br, J, Cl, F).

Хлор окрашивает пламя паяльной трубки в голубой цвет при присадке окиси меди; после сплавления с содой или без этого в смеси с кислым серноокислым калием и небольшим количеством перекиси марганца в закрытой трубке, при нагревании, выделяется хлор, обладающий белящими свойствами. Из раствора азотнокислого серебра осаждается творожистый осадок хлорного серебра.

В химии земной коры хлор играет большую роль, принимая участие в образовании легко растворимых солей. В зоне магмы эти соединения не образуются, но образуются, но хлор способствует тяжелым металлам улетучиваться из магмы (магматическая экстракция). Тяжелые металлы в виде хлористых соединений поднимаются вверх и откладываются в трещинах и полостях – уже в виде сернистых или кислородных соединений. Способствуя миграции тяжелых металлов, хлор в термальных жилах с ними не соединяется, а мигрирует далее с термальными водами.

Хлористые соединения в большинстве своем легко растворяются в воде. Только соли серебра, свинца и одновалентной ртути в воде не растворимы. Из водных растворов в условиях земной коры выпадают хлориды.

При вулканических извержениях выделяется огромное количество хлора; сложными путями миграции он в конце концов концентрируется в виде солей в воде океанов.

Промышленная добыча хлора производится почти исключительно путем электролиза поваренной соли – галита, главного хлорсодержащего минерала. Хлор употребляется главным образом для беличения тканей, для хлорирования воды и как химический реактив.

### **Всего насчитывается около 50 хлорсодержащих минералов. Из них отметим:**

Галит  $\text{NaCl}$

Сильвин  $\text{KCl}$

Кераргирит  $\text{AgCl}$

Каломель  $\text{HgCl}$

Карналлит  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Бишофит  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ванадинит  $(\text{PbCl})\text{Pb}_4(\text{VO}_4)_3$

Содалит  $n\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot m\text{NaCl}$

В связи с магматическими глубинными породами образуются хлорапатит и содалит; при вулканических извержениях путем възгона на лаве образуются – галит, сильвин, нашатырь, нантокит, скаккит, атакамит; при выветривании рудных жил образуются: кераргирит, каломель, нантокит, атакамит, эглестонит, терлингваит, болент, матлокит, лаурионит, фосгенит, пироморфит, миметезит и ванадинит; в нормальных осадочных отложениях с растворимыми солями – галит, сильвин, карналлит, бишофит, тахгидрит, риннеит.

Главнейшие из этих минералов рассматриваются как минералы натрия, калия, меди и пр.

Из минералов хлора мы рассматриваем: Галит

**Галит-NaCl.** Название происходит от греч. слова гальс-соль  
Синоним-каменная соль (рис. 72).

Химический состав: Na -39,4 %, Cl-60,6% . Иногда содержит примеси Вг и Ag.

Сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический  $-O_h-m\bar{3}m(3L_46L_29PC)$ . Структурная ячейка содержит  $Na_4Cl_4$ ;  $a_0=5,64$ . Пространственная группа -  $-Fm\bar{3}m$ .

Кристаллическая структура галита типична для многих соединений состава AX. Ионы хлора образуют плотнейшую кубическую упаковку, октаэдрические пустоты между которыми выполнены ионами натрия; таким образом, вокруг ионов хлора находятся шесть ионов натрия и ионы натрия окружены шестью ионами хлора.

Агрегаты и габитус. Галит встречается в сплошных кристаллических зернистых массах, иногда образует корочки, налеты, выцветы и друзовые агрегаты. Кристаллы галита обычно имеют кубический, а иногда октаэдрический габитус. Для некоторых месторождений характерно образование волокнистых агрегатов.

Физические свойства. Галит прозрачный и бесцветный, иногда белый. Примеси окрашивают минерал в разные цвета. В месторождениях, где галит встречается вместе с сильвином, часто наблюдается синяя окраска галита. Блеск стеклянный. Спайность весьма совершенная по кубу. Излом раковистый. Твердость – 2. Хрупкий. Плотность -2,1 -2,2. Оптические свойства: изотропный;  $n=1,54$ . Имеет слабую электропроводность и высокую теплопроводность.

Диагностические признаки минерала – низкая твердость, легкая растворимость в воде, соленый вкус и спайность. Главные линии на рентгенограммах: 1,990; 1,259; 1,149. П.п.т. на угле легко плавится, окрашивает пламя в желтоватый цвет. Из раствора NaCl при действии  $AgNO_3$  выпадает белый творожистый осадок  $AgCl$ .

Отличие от сходных минералов. Галит можно спутать с сильвином, флюоритом, гипсом и кальцитом, от которых он легко отличается соленым вкусом.

Образование месторождения. Образование основных масс галита происходит путем осаждения в замкнутых водоемах (заливах морей и озерах). При быстром выпаривании растворителя на поверхности рассолов возникает много кристаллических лодочек, которые заполняются водой и оседают на дне, где продолжают свой рост, образуя нормальные прозрачные кристаллы и слоистые отложения. Известны незначительные скопления галита вместе с другими хлоридами на стенках кратеров вулканов как продукт возгона. Выделяют несколько разновидностей галита по происхождению):

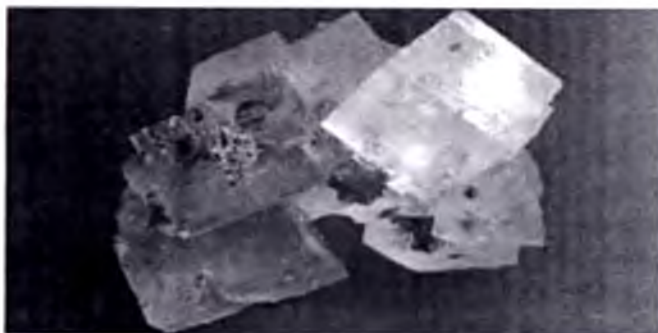
1) каменная соль (залегает между пластами горных пород в твердом виде, образуя пластовые залежи);

2) самосадочная соль (образуется на дне водных замкнутых бассейнов в странах с жарким и сухим климатом);

3) вулканическая соль – возгоны;

4) выцветы – пленки и налеты на поверхности земли в степных и пустынных районах.

Практическое значение. Галит применяется в пищевой промышленности и в различных отраслях химического производства как сырье для получения препаратов хлора и натрия.



*Рис. 72. Галит*

## Натровые минералы

Натрий (Na) – щелочной одновалентный металл первой группы.

Атомный вес 22,997, порядковый номер 11. Кларк 2,40.

Радиус атома 1,86 А°, радиус иона 0,98 А°.

Удельный вес 0,9712, температура плавления 97,5°.

Соли натрия известны с глубокой древности.

Металлический натрий получен Деви в 1807 г.

Соли натрия окрашивают пламя в интенсивный желтый цвет, который маскирует остальные окраски пламени. Желтое натровое пламя не видно через индиговую призму.

Соли натрия, за исключением алюмокремнеземистых, а также фтористого натрия, легко растворимы.

Хозяйственное значение натровых соединений огромно. Кроме общеизвестного, это соединение является основным сырьем в ряде важнейших химических производств – при получении соды, едкого натра, употребляются в мыловаренном производстве, сульфат натрия – в стекольном деле. Натровые соли употребляются в химических реактивах, медицине и т. п.

Сода и едкий натр употребляются в мыловаренном производстве, сульфат натрия – в стекольном деле. Натровые соли употребляются в химических реактивах, медицине и т. д.

По акад. А. Е. Ферсману, насчитывается около 140 натровых минералов, из них: галоидных 10, силикатов 70, карбонатов 10, титаносиликатов, ниобатов и титанатов 15, фосфатов и арсенатов 15, антимонитов 2, нитратов 3, боратов 6, сульфатов 8.

Следует отметить отсутствие сернистых соединений натрия и простых окислов.

Главная масса натровых минералов (70%) непосредственно магматического происхождения или связана с пегматитами и пневматолитами; это – алюмосиликаты, ниобаты, титанаты; остальные 30% натровых минералов относятся к поверхностным образованиям (гипергенным). Тем не менее натрий принадлежит к наиболее характерным элементам зоны гипергенеза.



В области коры выветривания алюмосиликаты разрушаются, и находящийся в них натрий переходит в хлориды, сульфаты и карбонаты, отлагающиеся в осадочных толщах. Кроме того, хлористый натрий выделяется при вулканических извержениях. Главная масса хлористого натрия концентрируется в водах океана.

### **Из минералов натрия мы рассматриваем:**

Тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Тенардит –  $\text{Na}_2[\text{SO}_4]$ . (рис.73)

Минерал назван в честь французского химика Луи Тенара.

Сингония – ромбическая, вид симметрии – ромбобипирамидальный.

Агрегаты и габитус. Тенардит образует преимущественно зернистые агрегаты. Кристаллы встречаются редко. Они имеют чаще всего бипирамидальный или пинакоидальный габитус.

Физические свойства. Минерал бесцветный, прозрачный, иногда с красноватым оттенком. Блеск стеклянный, спайность совершенная по (010), менее совершенная по (010) и несовершенная по (100). Твердость – 2,5-3,5. Хрупкий. Плотность – 2,67.

Диагностическим признаком тенардита является габитус кристаллов. Растворяется в воде. П.п.т. плавится и окрашивает пламя в интенсивный желтый цвет.

Отличие от сходных минералов. От похожих на него мирабилита и астраханита тенардит отличается по габитусу, а в зернистых агрегатах – только с помощью химических реакций.

Образование и месторождения. Тенардит – типичное осадочное образование, возникающее в водных бассейнах в результате осаждения. Тенардит кристаллизуется из чистых водных растворов при температуре выше  $32,4^\circ\text{C}$ , при низших температурах выпадает мирабилит. Если в растворе присутствует хлористый натрий, тенардит может выпадать и при более низких температурах (до



13,5° С). В соляных месторождениях тенардит встречается вместе с мирабилитом, астраханитом, галитом и гипсом, в самоосадочных озерах ему сопутствует только мирабилит.

Практическое значение. Тенардит добывается вместе с мирабилитом и применяется с ним в стекольной, содовой и других отраслях химической промышленности.



*Рис. 73. Тенардит*

**Мирабилит** (глауберова соль)  $\text{Na}_2[\text{SO}_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . (рис.74)

Немецкий врач и химик И. Р. Глаубер получил эту соль искусственно, назвав ее удивительной солью (salmirabile). Сингония моноклинная. Обычно встречается в сплошных зернистых массах, в виде корочек и выцветов.

Бесцветный, белый. Блеск стеклянный. Вкус горько-соленый. Твердость 1,5-2. Плотность 1,5. Весьма хрупок. Спайность совершенная. Излом по двум направлениям раковистый. В сухом воздухе постепенно теряет всю воду и, превращаясь в тенардит, становится белым порошковатым веществом. Обладает охлаждающим слабо горько – соленым вкусом.

Диагностика. В пробирке при нагревании растворяется в собственной кристаллизационной воде.

Происхождение. Мирабилит образуется в соляных озерах, богатых сульфатом натрия. На воздухе теряет воду, превращаясь в тенардит  $\text{Na}_2[\text{SO}_4]$ .

Применение. Мирабилит употребляется в стекольной, красочной промышленности, для приготовления соды по методу Леблана и в медицине употребляется как слабительное средство.



*Рис. 74. Мирабилит*

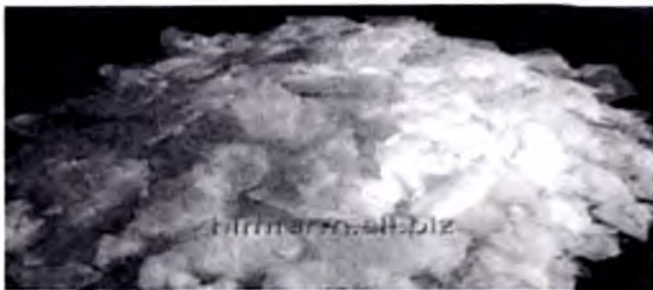
Сода –  $\text{Na}_2[\text{CO}_3] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . (рис.75)

Сингония моноклинная. Минерал встречается в виде кристаллических корок, налетов, а также плотных и мучнистых масс, иногда кристаллов. Он бесцветный или белый и имеет стеклянный блеск. Твердость 1 – 1,5. Спайность совершенная. Плотность 1,42 – 1,47.

Диагностика. Легко растворима в воде. При действии  $\text{HCl}$  бурно выделяет углекислый газ. На воздухе быстро теряет воду и белеет.

Образование и месторождения. Содовые минералы представляют собой химические озерные осадки, а также выцветы почв. Сода отлагается в озерах в холодный период.

Практическое значение. Содовые минералы используются для получения соды и в различных отраслях промышленности: мыловаренной, стекольной, красильной, а также химической и металлургической.



*Рис. 75. Сода*

### **Калиевые минералы**

Калий (К) – щелочной одновалентный металл первой группы. Атомный вес 39,10, порядковый номер 19, изотопы 39, 40, 41.

Радиус атома 2,23 А°, радиус иона 1,33 А°. Кларк 2,35.

Удельный вес 0,86 – один из самых легких металлов.

Плавится при 63,6°. Калий слабо радиоактивен, излучает  $\gamma$ -лучи.

Одна из солей калия – поташ – была известна в глубокой древности. Калий, как элемент, был впервые выделен Г. Дэви в 1807 г.

Калиевые соли окрашивают пламя в красновато – фиолетовый цвет; иногда окраска маскируется от присутствия солей натрия, поэтому применяются светофильтры, через которые видна красновато – фиолетовая окраска, присущая калию.

Соли калия почти все растворимы в воде, за исключением кремнефтористоводородной, алюмокремниевой кислоты и группы нерастворимых квасцов (алунит).

Соли калия применяются главным образом в качестве удобрения, как химические реактивы, для приготовления жидкого стекла, в военном деле и пр.

Всего известно около 75 калиевых минералов, из них: 10 галоидов, 30 силикатов, 1 нитрат, 2 бората и 25 фосфатов. Самородных, сернистых, простых окислов среди минералов калия не имеется.

## Из минералов калия мы рассматриваем:

Сильвин  $KCl$

Карналлит  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

**Сильвин- $KCl$ .** Название происходит от латинизованного имени (Сильвий) голландского врача и химика Франциска де ля Бое.

Химический состав:  $K$ -52.5%,  $Cl$  - 47.5%. Иногда содержит примеси  $Na$  и  $NH_4$  (рис.76).

Агрегаты и габитус. Сильвин чаще всего встречается в сплошных зернистых скоплениях вместе с другими минералами соляных отложений. Сравнительно редко он образует друзы и отдельные кристаллы, обычно кубические с преобладающим развитием  $\{100\}$ , очень напоминая по внешнему виду галит. Отличительной чертой сильвина является притупленность углов куба, обусловленная развитием октаэдра  $\{111\}$ . Отмечаются параллельные сростки сильвина с галитом и гематитом.

Физические свойства. Сингония ромбическая. Сильвин воднопрозрачный и бесцветный. Примеси обуславливают различную окраску минерала. Блеск стеклянный. Спайность весьма совершенная по  $(100)$ . Излом неровный. Твердость – 1,5-2. Хрупкий. Плотность-1,97-1,99. Изотропный,  $n=1,490$ . Имеет высокую теплопроводность.

Диагностические признаки сильвина – горьковатосоленый острый, жгучий вкус, гигроскопичность. Теплопроводность высокая. Главные линии на рентгенограммах: 2,25; 1,403; 1,045. Растворяется в воде. П.п.т. легко плавится, окрашивая пламя в фиолетовый цвет.

Отличие от сходных минералов. От похожего на него галита сильвин отличается по вкусу.

Образование и месторождения. Как и галит, сильвин возникает главным образом путем химического осаждения из водных

растворов (в заливах морей и в озерах). В соляных отложениях он находится вместе с галитом, карналлитом и другими минералами. Сильвин образуется и теперь в так называемых калийных озерах, крупнейшими среди которых являются Серлс в Калифорнии и Мертвое море, осаждение сильвина наблюдается также в ряде озер Западного Казахстана и Средней Азии. В процессе осаждения солей сильвин выпадает последним и потому он характерен для верхних горизонтов соленосных отложений. Сильвин возникает также за счет карналлита и известен как продукт сублимации на стенках кратеров вулканов.

**Практическое значение.** Сильвин является сырьем для получения искусственных удобрений. В химической промышленности он применяется в изготовлении различных калийных препаратов, которые используются в медицине, парфюмерии, фотографии, для очистки шерсти, в бумажной, стекольной, лако-красочной и других производствах.



*Рис. 76. Сильвин*

**Карналлит -  $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ .** (рис.77)

Сингония ромбическая. Встречается в сплошных зернистых массах.

Цвет белый, розовый и красный от включений  $Fe_2O_3$ . Твердость 2—3. Хрупок Спайность отсутствует. Плотность 1,6. Вкус горький. Необычайно гигроскопичен.

Диагностика. Легко растворяется в воде, на влажном воздухе расплывается. При нагревании на стекле растворяется в собственной кристаллизационной воде.

Происхождение и спутники карналлита такие же, как у галита и сильвина. Он выпадает из раствора одним из последних и поэтому характеризует самые верхние горизонты соляных месторождений. Чередование слоев снизу вверх идет в следующей последовательности: гипс, ангидрит, галит, сильвин, карналлит.

Применение. Карналлит служит источником для получения металлического магния и калийных удобрений.



*Рис. 77. Карналлит*

### **Кальциевые минералы**

Кальций (Ca) – щелочноземельный двухвалентный металл второй группы.

Атомный вес 40,07, порядковый номер 20, изотопы 40, 41, 44.

Радиус атома 1,97 А°, радиус иона 1,06 А°. Кларк 3,25.

Удельный вес 1,54, температура плавления 843°.

Соли кальция были известны в глубокой древности. Металлический кальций получен Деви в 1808 г.

В воде растворяются хлористый, йодистый, бромистый и азотнокислый кальций, остальные соли плохо растворяются или совсем не растворяются. Из соединений кальция следует отметить следующие:

гидрид кальция  $\text{CaH}_2$  или «гидролит»; применяется как исходный материал для получения водорода;

хлористый кальций  $\text{CaCl}_2$  – реактив, медицинское средство, применяется в пищевой промышленности и т. д.;

сернистый кальций  $\text{CaS}$  применяется в светящихся красках;

карбид кальция  $\text{Ca}_2\text{C}$  применяется для получения ацетилена.

Ряд соединений кальция употребляется в строительном деле как вяжущие вещества.

Насчитывается около 300 кальциевых минералов. Среди них представлены самые разнообразные типы соединений. На долю силикатов и алюмосиликатов приходится 45%. Наибольшую роль в химии земной коры кальций играет в составе силикатов, алюмосиликатов и карбонатов. Главная масса минералов двух первых из названных групп сосредоточена в средних и кислых изверженных породах. При разрушении последних кальций переходит в карбонаты и сульфаты, которые концентрируются в осадочных породах.

Из минералов кальция мы рассматриваем:

Кальцит  $\text{CaCO}_3$

Арагонит  $\text{CaCO}_3$

Гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Ангидрит  $\text{CaSO}_4$

### **Кальцит $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ . (рис.78)**

Кристаллы весьма разнообразны, главным образом ромбоэдри и скаленоэдри. Агрегаты зернистые (мрамор), землистые (мел), часто представляют собой натечные формы в виде сталактитов и сталагмитов.

Цвет белый, наблюдаются также светлые оттенки разных цветов. Иногда прозрачен. Блеск стеклянный. Спайность совершенная по ромбоэдру. Твердость 3. Хрупок. Плотность 2,6 – 2,8. Бурно реагирует даже с разбавленной соляной кислотой – шипит с выделением  $\text{CO}_2$ . При сжатии, сопровождающемся двойникованием, электрзуется. Образцы некоторых месторож-



дений обнаруживают явление люминесценции, причины которой точно не изучены.

Разновидности. Прозрачные бесцветные разновидности кальцита получили название исландского шпата, или оптического кальцита. Для него характерно сильное двойное светопреломление.

Диагностика. С HCl реагируют со вскипанием (отличие от доломита). От арагонита отличается меньшей плотностью и спайностью. При нагревании в пробирке с раствором  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  порошок кальцита не изменяет цвета в отличие от минералов группы арагонита, которые становятся фиолетовыми.

Происхождение. Широко распространен в природе в виде известняков, мела и мрамора. Известняки являются химическими или биогенными морскими осадками. Мрамор – перекристаллизованный известняк, образуется при региональном метаморфизме. Кальцит встречается также как поверхностный минерал в коре выветривания и как низкотемпературный гидротермальный – в рудных жилах.

Применение. Известняки употребляются в строительном деле, химической (известь, цемент, стекло, получение соды) и металлургической (флюс) промышленности. Месторождения их многочисленны. Мраморы – ценный облицовочный материал. Исландский шпат используется в оптических приборах (поляризационные микроскопы и др.).



*Рис. 78. Кальцит*



### **Арагонит $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ . (рис.79)**

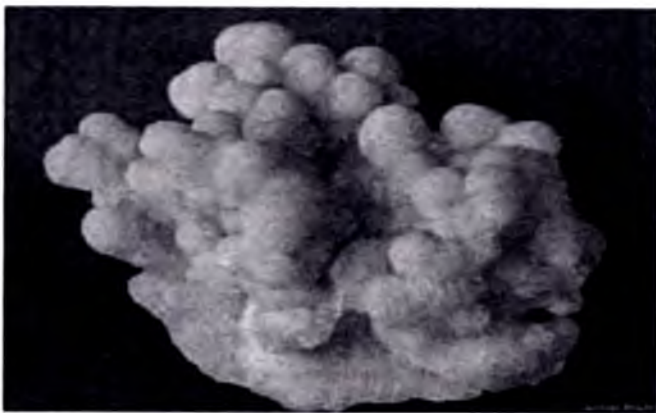
Назван по местности Арагония (Испания), где был впервые установлен. Встречается реже кальцита. Кристаллы призматические, игольчатые; агрегаты шестоватые, радиальнолучистые. Характерны натечные формы, оолиты («гороховый камень», ветвистые формы («железные цветы»)).

Сингония ромбическая. Цвет белый, желтовато – белый. Блеск стеклянный. Спайность отсутствует. Твердость 3,4-5. Плотность 2,9. При обычной температуре неустойчив, в присутствии растворителя медленно переходит в кальцит, почему и не встречается в более древних осадках. При повышении температуры до  $400^{\circ}$  этот переход совершается быстро.

Диагностика. Отсутствует спайность. В  $\text{HCl}$  разлагается бурно, так же, как и кальцит. От последнего отличается тем, что тонкий порошок арагонита при кипячении в растворе азотнокислого кобальта  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  приобретает фиолетовый цвет, в то время как порошок кальцита цвета не изменяет.

Происхождение. Образуется в отложениях горячих источников и в миндалинах эффузивных пород. В основном экзогенного происхождения – наблюдается в коре выветривания горных пород и зоне окисления рудных месторождений.

Применение. Употребляются в строительном деле, химической (известь, цемент, стекло, получение соды) и металлургической (флюс) промышленности.



*Рис. 79. Арагонит*

**Гипс (легкий шпат)  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . (рис.80)**

«Гипс» - старое греческое название минерала.

Сингония моноклинная. Кристаллы толсто- и тонкотаблитчатые, иногда очень крупные; характерные двойники - «ласточкин хвост». Агрегаты плотные, зернистые, листоватые, волокнистые (селенит).

Цвет белый, часто прозрачен, также серый и розовый от примесей. Черта белая. Блеск стеклянный, у волокнистых разновидностей шелковый. Спайность весьма совершенная по  $\{010\}$ . По спайности можно отщеплять тонкие листочки. Твердость 2, чертится ногтем. Плотность 2,3.

Диагностика. Хорошо диагностируется по малой твердости и весьма совершенной спайности. Листочки гибкие. При нагревании в пробирке становится белым и выделяет воду. Обладает заметной растворимостью в воде. Замечательной особенностью гипса является то обстоятельство, что растворимость его при повышении температуры достигает максимума при  $37-38^\circ$ , а затем довольно быстро падает.

Происхождение. По происхождению и нахождению в природе гипс тесно связан с ангидритом. Это типичный морской химический осадок. Среди осадочных пород образует пласты, часто

ассоциируется с ангидритом, галитом, самородной серой, иногда нефтью, может образоваться при гидратации ангидрита. Гипс также образуется в зоне выветривания сульфидов и самородной серы, при этом возникают плотные или рыхлые массы, обычно загрязненные глинистыми и другими примесями – так называемые гипсовые шляпы. Как и ангидрит, гипс встречается в продуктах фумарольной деятельности.

**Применение.** Гипс употребляется в сыром и обожженном виде. При нагревании в условиях атмосферного внешнего давления, гипс начинает терять воду при 80-90°, и при температуре 120-140° переходит в полугидрат  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  (полуобожженный гипс или алебастр), при более высоких температурах получается обожженный гипс (строительный гипс).



*Рис. 80. Гипс*

Обожженный гипс применяется для лепных работ, в архитектуре, для штукатурки, в медицине, в цементной и бумажной промышленности. Сырой гипс используется при производстве портландцемента, для ваения статуй и в качестве удобрения. Волокнистый гипс – селенит (особенно из района Кунгура на Урале) – широко применяется для поделок.

**Ангидрит  $\text{Ca}[\text{SO}_4]$ .** (рис.81)

Название минерала «безводный» указывает на отсутствие в нем воды, в отличии от гипса. Сингония ромбическая. Кристаллы

толстотаблитчатые, близкие к изометрическим. Обычно сильно развиты пинакоиды, по которым проходит совершенная спайность. Агрегаты сплошные, мелкозернистые.

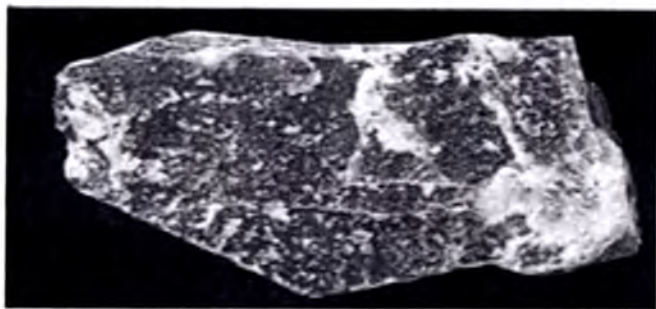
Цвет белый, голубоватый. Черта белая. Блеск стеклянный, иногда слабо перламутровый на плоскостях спайности. Спайность совершенная. Твердость 3,5. Плотность 2,8-3,0. В присутствии воды при атмосферном давлении постепенно переходит в гипс, сильно увеличиваясь в объеме (до 30%). С увлечением внешнего давления этот переход затрудняется.

Диагностика. От других сульфатов отличается наименьшим удельным весом и направлением плоскостей спайности, а также оптическими свойствами, по цвету и прямоугольным выколкам по спайности. От кальцита отличается большей плотностью, от гипса большей твердостью.

Происхождение. Ангидрит важный породообразующий минерал, встречающийся вместе с гипсом и галитом в осадочных породах. Он выпадает в осадок из морской воды при температуре выше 42°. При более низкой температуре отлагается гипс  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В случае значительной концентрации солей ( $\text{NaCl}$  и особенно  $\text{MgCl}_2$ ) ангидрит может отлагаться и при более низких температурах (20-30°).

При нормальном давлении в присутствии воды ангидрит переходит в гипс с большим увеличением объема (на 30%). Глубина залегания, на которой возможен такой переход, учитывая давление вышележащих пород, не превышает 100-150 м. Возможны и обратные изменения: часть ангидрита, вероятно, образуется при дегидратации гипса.

Применение. Ангидрит, также как и гипс, используется главным образом в производстве вяжущих веществ (цементов). Плотные тонкокристаллические разновидности, кроме того, употребляются для всевозможных подслоков.



*Рис. 81. Ангидрит*

### **Магниевые минералы**

Магний (Mg) – щелочноземельный двухвалентный металл второй группы. Атомный вес 24,32; порядковый номер 12; изотопы 24, 25, 26.

Радиус атома 1,62 А°, радиус иона 0,78 А°. Кларк 2,35.

Удельный вес 1,741; температура плавления 651°. В XVII веке соли магния называли горькими солями. Деви выделил магний в 1808 г.

Хлористая, бромистая, йодистая, азотнокислая и сернокислая соли магния растворимы в воде. Не растворимы в воде фтористые, углекислые кремнекислые, фосфорнокислые и мышьяковокислые соли магния; нерастворим также гидрат окиси магния.

Металлический магний применяется в металлургии легких сплавов (магнолий), в металлургии для выделения редких металлов, в органическом синтезе; металлический магний применяется для освещения в фотографическом деле. Окись магния является сверхогнеупором. Хлористый магний с обожженным магнезитом дает быстровяжущий цемент (Сореля).

Всего имеется около 190 магниевых минералов, из них: галоидных 7, окислов 8, силикатов 103, карбонатов 12, фосфатов и арсенатов 20, боратов 16, ниобатов и титанатов 2, сульфатов 19.

Из минералов магния мы рассматриваем:

Магнезит  $MgCO_3$   
Доломит  $MgCO_3 \cdot CaCO_3$

### **Магнезит $Mg [CO_3]$ . (рис.82)**

Магнезия – область в Фессалии (Греция). Встречается в виде кристаллически-зернистых агрегатов и фарфоровидных плотных, скрытокристаллических масс.

Сингония тригональная. Цвет белый с желтоватым и сероватым оттенком, иногда снежно-белый. Спайность совершенная по ромбоэдру. Блеск стеклянный. Твердость 4-4,5. Плотность 3.

Диагностика. Белая массивная разновидность похожа на кварц, но обладает более низкой твердостью. Агрегаты часто крупнозернисты. В HCl разлагается только при нагревании.

Происхождение. Метасоматическим путем – при замещении известняков растворами, содержащими магний (при этом предполагается, что магний выщелачивается из доломитовых толщ); при гидротермальной переработке богатых магнием ультраосновных пород и при их выветривании. Парагенезис: тальк, доломит, серпентин, опал.

Применение. Магнезит употребляется для изготовления огнеупорных кирпичей. Возможный источник магния. Употребляется также для производства электроизоляторов, в бумажном, сахарном, резиновом и других производствах.



*Рис. 82. Магнезит*

### **Доломит $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ . (рис.83)**

Обычен в виде кристаллически-зернистых агрегатов; похож на мрамор. Образует также пористые и землистые массы.

Сингония тигональная. Цвет белый, серовато-бурый. Блеск стеклянный. Твердость 3,5-4. Хрупок. Спайность совершенная по ромбоэдру. Плоскости спайности большей частью искривлены. Плотность 1,8-2,9.

Диагностика. Как и другие карбонаты кальцитового ряда, доломит характеризуется спайностью по ромбоэдру. С соляной кислотой реагирует слабо, в горячей – бурно вскипает.

Происхождение. В основном осадочное, возможно, также за счет преобразования известняков под влиянием магниезальных растворов. Гидротермальное – в рудных жилах.

Применение. Доломит применяется как строительный материал и как флюс и огнеупор в металлургии, в химической промышленности, для изготовления вяжущих веществ, термоизоляционного материала в смеси с асбестом,



*Рис. 83. Доломит*

## **Минералы железа**

Железо (Fe) – металл восьмой группы – обычно бывает двух- и трехвалентным.

Атомный вес 55,84, порядковый номер 26, изотопы 54, 56. Радиус атома 1,27 Å; радиус иона 0,83 Å и трехвалентного 0,67 Å. Кларк 4,20.



Удельный вес 7,86; температура плавления 1530°.

Азотнокислородное, сернокислородное и хлорное железо легко растворимы в воде; в ней не растворимы гидраты, карбонаты, фосфаты, арсенаты, бораты, силикаты и алюмосиликаты железа.

Двухвалентное железо устойчиво в восстановительной среде, в окислительной оно переходит в трехвалентное.

Примерами соединений двухвалентного железа являются:  $\text{FeS}$ ,  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{FeSiO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и пр.

Представителями трехвалентного железа являются:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$  и пр.

Железо окрашивает перл буры в окислительном пламени в желтый, а в восстановительном – в бледно-зеленый цвет. При варке нормального (оконного) стекла следы железа узнаются по зеленоватой окраске; это самая чувствительная реакция на следы железа в силикатах и в кварце.

Растворы закисной соли железа окрашиваются красной кровяной солью в синий цвет, а окисные соли – в зеленый цвет. Роданистый калий ( $\text{KCNS}$ ) дает с солями окиси железа красное окрашивание. При прокаливании минерала, содержащего железо, в восстановительном пламени железо переходит в закисную форму, благодаря чему минерал приобретает магнитные свойства.

Общеизвестно огромное значение железа в народном хозяйстве; нет такой отрасли хозяйства, где бы оно не применялось в том или ином виде.

В химии земной коры железо играет очень большую роль.

Предполагают, что внутреннее ядро земли состоит из железа.

Акад. А. Е. Ферсман насчитывает около 300 минералов железа, из них: самородных 4, сернистых 25, галоидных 7, окислов 35, карбонатов 5, силикатов 80, титанитов 20, фосфатов и арсенатов 60, боратов 6, сульфатов 60, вольфрамитов и молибдатов 3, органических 1.

Главную массу железа добывают или из гидратов окиси железа или из получившейся в результате их метаморфизации окиси железа – гематита; также из магнитного железняка и углекислой соли – сидерита.



Из минералов железа мы рассматриваем:

Гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,

Магнетит  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

Гетит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Лимонит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Сидерит  $\text{FeCO}_3$

**Гематит** (красный железняк)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fe 70,0 %). (рис.84)

Название происходит от греческого слова «гематикос» - кровавый.

Сингония тригональная. Цвет железно-черный, темно-красный до черного. Черта вишнево-красная (характерный диагностический признак). Не магнитен. Блеск полуметаллический. Твердость 5-6. Хрупок. Спайность отсутствует. Плотность 5,2.

Разновидности. По форме выделения и облику различают: 1) железный блеск – тонкочешуйчатые образования черного цвета. Сюда относятся кристаллы гематита и различные яснокристаллические агрегаты: железная роза, железная слюдка и др. 2) красный железняк – плотные агрегаты красного цвета. Сюда относятся натечные образования с гладкой поверхностью – красная стеклянная голова, землистые, охристые массы и оолиты.

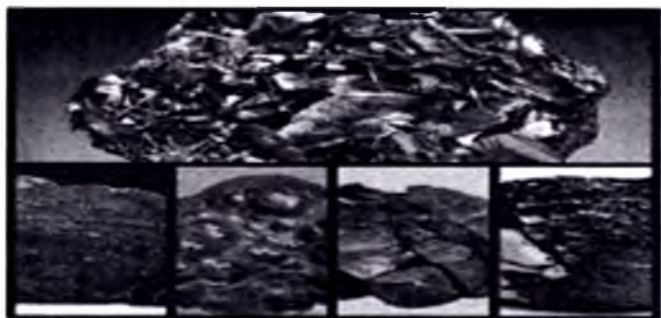
Диагностика: довольно легко отличается по цвету черты, высокой твердости, облику кристаллов и агрегатов и по отсутствию магнитности.

Происхождение: 1) Контактво-метасоматическое в скарновых зонах.

2) Гидротермальное (железный блеск) в жилах – красивые кристаллы и агрегаты.

3) Осадочное. 4) Метаморфическое – при метаморфизме осадочных железных руд (бурых железняков). В зоне окисления неустойчив и превращается в различные гидроокислы железа.

Применение. Гематит является важнейшей железной рудой, из которой выплавляются чугун и сталь. Чистые разности порошkovатого гематита употребляются в качестве красок и для изготовления красных карандашей.



*Рис. 84. Гематит*

**Магнетит** (магнитный железняк)  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$  (Fe 72.4 %). (рис.85)

Название связано с местностью Магнезия ( в Македонии) или с именем пастуха Магнес, впервые нашедшего природный магнитный камень. Сингония кубическая. Кристаллы встречаются в хорошо выраженных октаэдрах; агрегаты сплошные, зернистые.

Сингония кубическая. Цвет железно-черный. Черта черная. Блеск полуметаллический. Спайность отсутствует. Твердость 5,5–6. Плотность 5,0–5,2. Магнетит легко узнается по сильным магнитным свойствам. Сильно магнитен, иногда полярно. При красном калении ( около  $580^\circ$  ) магнетизм внезапно исчезает, но при охлаждении снова обнаруживается.

Разновидности. 1. Титаномagnetит — магнетит с содержанием  $\text{TiO}_2$ , до нескольких процентов; также содержит ванадий. 2. Магномagnetит (Fe, Mg) $\text{Fe}_2\text{O}_4$ .

Диагностика. Узнается по черному цвету и черте, сильным магнитным свойствам, октаэдрическому габитусу кристаллов и твердости.

Происхождение магнетита различно. 1. Магматическое — в связи с основным и редко кислыми породами. 2. Скарновое, 3. Гидротермальное. 4. Метаморфическое, связанное с метаморфизмом первичноосадочных руд (бурых железняков). Встречается также в пегматитовых жилах, в хлоритовых и тальковых сланцах, но практического значения в этих случаях не имеет.

При окислении магнетит переходит сначала в мартит (псевдоморфозы гематита по магнетиту), затем в различные гидроокислы железа. Часто встречается в россыпях и при промывке придает шлиху черный цвет.

Применение. Так же, как и гематит, является важнейшей рудой на железо. Титаномагнетиты служат рудой на ванадий.



*Рис. 85. Магнетит*

Гётит  $\alpha\text{-FeO(OH)}$  ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  89,9 %;  $\text{H}_2\text{O}$  10,1 %; Fe 62,9 %).  
(рис.86)

Назван в честь немецкого поэта и философа И. В. Гёте (1749-1832).

Сингония ромбическая. Кристаллы мелкие пластинчатые, игольчатые; плотный в виде сталактитовых масс и землистый. Цвет темно-коричневый до желто-бурого. Черта бурая с красноватым оттенком. Блеск кристаллов алмазный до полуметаллического, волокнистых разновидностей – шелковистый. Спайность совершенная. Твердость 4,5- 5,5. Плотность 3,3 – 4,3.

Диагностика. Нередко плотный в виде натечных форм с гладкой блестящей поверхностью. От гематита отличается по цвету и цвету черты. Трудно отличим от других гидроокислов железа. Уверенно диагностируется рентгенографически.

Происхождение. Осадочное – является биогенным или химическим осадком. Часто встречается в коре выветривания как продукт разрушения пирита, сидерита, магнетита и других минералов, содержащих железо. Входит в состав лимонита.

Применение. Является важнейшим сырьём для выплавки чугунов и сталей в доменных печах.



*Рис. 86. Гётит*

**Лимонит  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . (рис.87)**

Название происходит от греческого слова «лемон» – луг, чем подчеркивается его образование в болотах. Синоним лимонита – бурый железняк, так как черта его на фарфоровой пластинке в отличие от других железных руд бурая или желто-бурая. Под термином лимонит объединены различные и гидроокислы железа бурого, коричнево-бурого и буро-желтого цвета. Лимонит не является минеральным видом, это смесь главным образом скрытокристаллических или землистых минералов — гётита и лепидокрокита, а также механических примесей – глинистого вещества, кремнезема и др.

Лимонит образует ржавые, бурые, коричневые корочки, примазки, разнообразные натечные формы, землистые и охристые массы, встречается в виде конкреций и оолитов.

Иногда лимонит имеет гладкие, блестящие поверхности темно-коричневого цвета. Такие натечные формы называются бурой стеклянной головой (по аналогии с красной стеклянной головой для красного железняка). Лимониты оолитового сложения часто называют бобовой рудой. Обычны псевдоморфозы лимонита по шпириту, сидериту, марказиту и другим минералам. Физические

свойства лимонита сильно колеблются в зависимости от состава. Твердость от 1 у рыхлых и землистых до 4 у плотных разновидностей. Плотность 3,3 – 4. При нагревании в пробирке выделяет воду.

Происхождение. Типичное экзогенное – образуется в результате выветривания железосодержащих минералов (сульфидов, окислов, силикатов) и часто слагает «железные шляпы» вокруг выходов рудных месторождений. Большое практическое значение имеют химические или биохимические осадочные образования, отлагающиеся на дне озер и в прибрежной полосе морей.

Применение. Одна из важных железных руд.



*Рис. 87. Лимонит*

### **Сидерит $\text{Fe} [\text{CO}_3]$ (Fe 48.2 %). (рис.88)**

Название происходит от греческого «Сидерос» - железо.

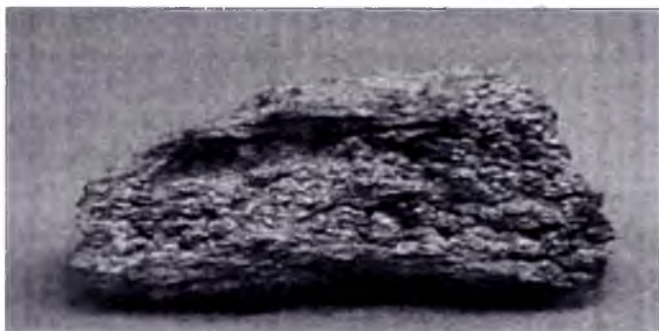
Агрегаты зернистые, землистые, плотные, иногда в шаровидных конкрециях (сферосидерит).

Сингония тригональная. Цвет буровато-желтый, бурый. Спайность совершенная. Твердость 3,5-4,5. Хрупок. Плотность 3,9.

Диагностика. Отличается по высокой плотности. В  $\text{HCl}$  разлагается сравнительно легко, капля  $\text{HCl}$  при этом желтеет от образования  $\text{FeCl}_3$ . Происхождение. Гидротермальное – встречается в полиметаллических месторождениях как жильный минерал. При замещении известняков образует метасоматические залежи.

Может быть осадочного происхождения (оолитовое строение), а также метаморфического – при метаморфизме осадочных месторождений железа. В зоне окисления легко разлагается и переходит в гидраты окислов железа, образуя железные шляпы.

Применение. Сидерит – важная руда на железо.



*Рис. 88. Сидерит*

### **Марганцовые минералы**

Марганец (Mn) принадлежит к седьмой побочной группе, обладает переменной валентностью, но в своих распространенных минералах является двух-, трех- и четырехвалентным.

Атомный вес 54,93; порядковый номер 25; радиус атома 1,30 Å, радиус иона 0,91, 0,70, 0,52 Å. Кларк 0,098.

Удельный вес 7,3, температура плавления 1245°.

Соединения марганца были известны в глубокой древности; их употребляли в качестве черной краски и в стекольном деле для обесцвечивания стекол путем превращения окиси железа в закись, считая их «мылом стекловаров», откуда и произошло название «пирролюзит» - от греч. «мою огнем».

В 1744 г. марганец как элемент был указан Шееле, и в том же году Ганн получил металлический марганец.

В воде растворяются следующие соединения марганца: хлористый, йодистый, бромистый, азотнокислый, сернокислый и хромовокислый и борнокислый Mn не растворимы в воде.

Соли марганца окрашивают перл буры в окислительном пламени в фиолетовый цвет. После кипячения порошка минерала в азотной кислоте к раствору прибавляют  $PbO_2$  или  $Pb_3O_2$ ; при этом раствор марганцевых солей принимает красновато-фиолетовую окраску. По К. Фадееву, браунит, гаусманит, вад и псиломелан при растворении их в разбавленной (1 : 1) серной кислоте и кипячении окрашивают раствор в красно-фиолетовый цвет.

Марганец применяется как присадка в специальных сортах стали и вообще играет огромную; роль в черной металлургии; применяется также в электротехнике, химической и стекольной промышленности, медицине и т. д.

По акад. Ферсману, имеется около 150 марганцевых минералов, из них: сульфидов 2, галоидных 3, окислов 30, карбонатов 4, силикатов 50, титанитов 5, фосфатов 45, боратов 3, сульфатов 7.

### Из минералов марганца рассмотрим:

Пиролюзит  $MnO_2$

Псиломелан  $nMnO_2 \cdot mMnO \cdot qH_2O$

Родохрозит  $MnCO_3$

**Пиролюзит  $MnO_2$  (Mn 63.2 %). (рис.89)**

Название в переводе с греческого означает «пирос» - огонь, «люзиос» - уничтожающий», т.е. «смывающий огонь», так как этот минерал употребляется для уничтожения зеленого оттенка стекла.

Сингония тетрагональная. Обычно распространен в сплошных кристаллических или скрытокристаллических землистых массах, иногда в виде радиальнолучистых игольчатых агрегатов, а также оолитов.

Цвет черный. Черта черные. Блеск полуметаллический. Твердость различная — от 2 у рыхлых и землистых разновидностей до 5-6 у кристаллических. Очень хрупок. Непрозрачен. Спайность совершенная. Плотность 4,7—5,0.

Пиролюзит является широко распространенным минералом.



Диагностика: по черному цвету и черте, обычно низкой твердости, по характерной для него спайности, хрупкости. Трудно отличим от других окислов и гидроокислов марганца.

Происхождение. Экзогенное — образуется в зоне выветривания за счет различных минералов и пород, содержащих марганец. Пиролюзит встречается совместно с манганитом, псиломеланом, вадом, лимонитом.

Применение. Важнейшая руда на марганец. В металлургии марганец употребляется как добавка к стали, он придает ей твердость, вязкость и ковкость. В производстве сухих электрических батарей, в стекольном деле для обесцвечивания зеленого стекла, при изготовлении химических препаратов, употребляемых в медицине.



*Рис. 89. Пиролюзит*

Псиломелан. Приблизительный состав может быть выражен формулой  $m\text{MnO} \cdot n\text{MnO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ , содержит также железо, барий, кальций и другие элементы. «Псилос» по гречески — лысый, «мелас» — черный (черная стеклянная голова). Сингония ромбическая.

Псиломелан встречается в натечных формах — гроздьевидных и почковидных, а также в сплошных плотных массах, в виде дендритов и оолитов (рис. 90).

Цвет черный, черта коричнево-черная. Блеск полуметаллический. Твердость 4–6. Хрупок. Плотность 4,4–4,7.



Разновидности. Вад – рыхлые, землистые разности псиломелана с низкой твердостью, обычно около 1–2. Цвет и черта, как и у псиломелана, черные. Плотность 2,8–4,4. Асболан содержит примесь кобальта.

Диагностика трудна; от других окислов марганца псиломелан отличается твердостью, от гидроокислов железа и лимонита – черной чертой, по натечным формам агрегатов. При растворении в соляной кислоте выделяется хлор. В закрытой трубке выделяет воду и кислород.

Происхождение. Экзогенное – образуется при окислении различных минералов марганца, марганцевые породы являются химическими осадками.

Псиломелан-вады широко распространены в виде прослоев.

Спутниками их являются пиролюзит, манганит, родохрозит, лимонит, кальцит, доломит, барит.

Применение. Псиломеланы и вады – руда на марганец. Вад, содержащий кобальт (асболан), – руда на кобальт.



*Рис. 90. Псиломелан*

### **Родохрозит $Mn [CO_3]$ . (рис.91)**

Агрегаты зернистые, сплошные, гроздьевидные.

Цвет розовый, при выветривании буреет. Твердость 3,5–4.

Плотность 3,6.

Диагностика. Отличается розовым цветом и ромбоэдрической спайностью. В НС1 разлагается медленно, при нагревании – бурно.

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

Применение. Может служить рудой на марганец, используемой в черной металлургии для выплавки ферромарганца.



*Рис. 91. Родохрозит*

### Стронциевые минералы

Стронций (Sr) – щелочной двухвалентный металл второй группы; атомный вес 87,63; порядковый номер 38, изотопы 86, 87, 88. Радиус атома 2,13 Å°, радиус иона 1,27 Å°. Кларк 0,035.

Удельный вес 2,63, температура плавления около 800°.

Соединения стронция были открыты в 80-х годах XVIII столетия в Шотландии, близ Стронциана, откуда элемент и получил свое название. В 1809 г. Деви выделил металлический стронций.

Галоидные, азотнокислые, сернистые соли стронция растворимы в воде, также гидрат окиси. Сульфаты, карбонаты, силикаты и алюмосиликаты не растворяются.

Соединения стронция применяются главным образом в сахарной промышленности; также в медицине, пиротехнике, для светящихся составов временного действия, в металлургии – для дегазификации меди и обессеривания стали; металлический стронций применяется как присадка к некоторым сплавам.

В магматических породах стронций находится в рассеянном виде, только в некоторых щелочных жильных породах наблюдается небольшая концентрация стронция в карбонатах, фосфатах и силикатах. Главная же масса стронция концентрируется в осадочных месторождениях, в минералах целестине и стронцианите.

### **Из минералов стронция мы рассматриваем: Целестин**

#### **Целестин $\text{Sr}[\text{SO}_4]$ . (рис.92)**

«Целестин» по латыни – небесный. Относительно редко встречается, но среди минералов стронция он является главным. Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые, призматические, пирамидальные, иногда сильно вытянутые. Агрегаты шестоватые, зернистые, плотные, нередко в друзах.

Цвет небесно-голубой, голубовато-белый, серый, иногда прозрачен. Спайность совершенная. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности до перламутрового. Твердость 3-3,5. Хрупок. Плотность 4.

Диагностика. Отличается бледно-голубым цветом, таблитчатой формой кристаллов, высокой плотностью. После прокаливания и смачивания окрашивает пламя в карминово-красный цвет (реакция на стронций).

Происхождение. В основном осадочное, в парагенезисе с гипсом, кальцитом, баритом, самородной серой. Возможно низкотемпературное гидротермальное происхождение.

Применение. Целестин является основной рудой на стронций, употребляемый в пиротехнике, в химической, сахарной, стекольной и керамической промышленности.



*Рис. 92. Целестин*

### **Бариевые минералы**

Барий (Ba) – двухвалентный элемент второй группы.

Атомный вес 137,6, порядковый номер 56, изотопы 135, 136, 137, 138.

Радиус атома 2,17 Å; радиус иона 1,43 Å. Кларк 0,05. Уд.вес – 3,78, температура плавления 850°.

Барий как элемент был открыт Шселе и Ганном в 1774 г.

Соединения бария широко применяются в химической промышленности; в красочном производстве (баритовые белила, литопон), для борьбы с сельскохозяйственными вредителями; тонкомолотый барит – в качестве тяжелого наполнителя и т. д.

Бариевые минералы характеризуются высоким удельным весом.

В химии земной коры соединения бария не играют заметной роли.

Главная же масса этого элемента концентрируется в барите Ba и в меньшей степени в виверите  $BaCO_3$ , откуда этот элемент и добывается. Барит нередко образует тело мезотермальных жил с рудами свинца, цинка и меди.

## Из минералов бария рассмотрим:

Барит	$BaSO_4$
Витерит	$BaCO_3$

**Барит** (тяжелый шпат)  $Ba[SO_4]$ . Название происходит от греческого слова «барос» - тяжесть (рис. 93).

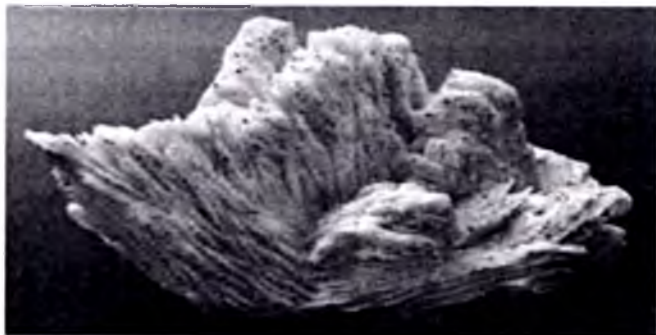
Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые; агрегаты зернистые, плотные, листоватые, нередко встречаются в друзах.

Бесцветный, иногда водяно-прозрачный, чаще белый, серый, нередко окрашен примесями в красный, синеватый, бурый и другие цвета. Черта белая. Спайность совершенная. Блеск стеклянный, иногда перламутровый. Твердость 3-3,5. Хрупок. Плотность 4,3-4,7.

Диагностика. Узнается по тяжести, характерной спайности, таблитчатому облику кристаллов и значительно меньшей твердости.

Происхождение. Гидротермальное – встречается в рудных жилах с галенитом, сфалеритом, пиритом, киноварью, флюоритом, часто образует самостоятельные баритовые жилы. Барит экзогенного происхождения образуется в зоне железной шляпы за счет реакций растворимых солей бария с сульфатами других металлов или с  $H_2SO_4$ .

Применение. Употребляется в промышленности в чистом виде и в виде препаратов бария. Применяется при бурении скважин в качестве утяжелителя глинистых растворов, в лакокрасочной промышленности для производства высокосортowych белил, цветных красок, как наполнитель при производстве обоев, клеенки, линолеума. Соли бария употребляются для борьбы с вредителями сельского хозяйства и в медицине. В резиновой и бумажной промышленности применяется в качестве наполнителя и утяжелителя, как главная часть шкатулки для стен рентгеновских лабораторий с целью защиты работников от вредного действия рентгеновских лучей.



*Рис. 93. Барит*

**Витерит -  $\text{Ba}[\text{CO}_3]$ .** Назван в честь английского физика и минералога Вильгельма Витеринга (1741-1799 г.г), впервые обратившего внимание на этот минерал (рис.94).

**Агрегаты и габитус.** Витерит встречается в шаровидных, почковидных и сплошных, а также жилковатых, волокнистых и листоватых агрегатах. Кристаллы его всегда сдвойникованы и имеют вид псевдогексагональных бипирамид. Иногда они бывают призматическими и линзовидными.

**Физические свойства.** Сингония ромбическая. Витерит обычно окрашен в сероватый или желтоватый цвет, иногда он бесцветный или белый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Спайность практически отсутствует. Твердость 3-3,5, плотность 4,2-4,3. В катодных лучах витерит иногда светится желтым цветом. Витеритовая пыль отравляюще действует на организм человека. Поэтому при бурении шпуров прибегают к так называемому мокрому бурению.

**Диагностические признаки.** Признаком витерита является высокая плотность. Отличен и по поведению перед паяльной трубкой и в кислотах. Растворяется с шипением в разведенных  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$ . П.п.т. легко плавится в прозрачное стекло, которое после охлаждения становится эмалевидным. Пламя окрашивается в характерный желто-зеленый цвет.

Отличие от сходных минералов. От арагонита и стронцианита витерит отличается большой плотностью и поведением перед паяльной трубкой.

Образование и месторождения. Витерит - редкий минерал. Он возникает гидротермальным путем в жилах вместе с баритом и различными сульфидами, а также образуется в экзогенных условиях как вторичный минерал по бариту.

Практическое значение. Витерит используется в химической промышленности для получения бария, используемых в различных отраслях химической промышленности, в красильном деле для получения сульфата бария – красивой белой акварельной краски.



*Рис. 94. Витерит*

### **Минералы фтора.**

Фтор (F) – галоген, элемент седьмой группы, одновалентный. Атомный вес 19,00; порядковый номер 9. Радиус атома 0,68 А°, радиус иона 1,33 А°. Кларк 0,08.

Фтор – газа, при  $-187^{\circ}$  сгущается в жидкость, при  $-273^{\circ}$  затвердевает.

Муассан в 1886 г. выделил фтор в свободном виде. (О применении см. описание плавикового шпата.)

Из соединений фтора наибольшее значение имеют фториды, производные фтористоводородной кислоты (HF).

Фтор – типичный элемент кислой остаточной магмы, где он является одним из энергичнейших летучих минерализаторов.



Фтор входит в состав многих магматогенных минералов, апатитов, слюд, пегматитовых, пневматолитовых и контактовых минераллов; выделяется при вулканических процессах, концентрируются главным образом в термальных жилах в плавиковом шпате.

## **Из минералов фтора мы рассматриваем: Флюорит**

**Флюорит** (плавиковый шпат)  $\text{CaF}_2$ , (рис.95)

Название происходит от слова «флюорум» — течь, так как минерал легко плавится и используется как пламень.

Сингония кубическая. Кристаллы имеют вид кубиков, нередко образуют красивые друзы; также сплошной, жилковатый, натечного вида. Цвет большей частью фиолетовый, зеленый и белый.

Один и тот же образец в разных частях может быть различно окрашен, т. е. бывает полихромным. Спайность совершенная по октаэдру. В природе эта форма встречается редко, но ее можно легко выколоть из кубического кристалла. Блеск стеклянный. Твердость 4. Плотность 3,18.

В катодных лучах флюорит светится фиолетовым цветом (флюоресценция). Некоторые разности светятся от нагревания (термо-люминесценция).

Разновидности. Оптический флюорит — прозрачные бесцветные разности флюорита; ратовкит — землистый, бледно-фиолетовый нечистый флюорит, встречающийся в мергелистых породах и доломитизированных известняках.

Диагностика: по кубическому облику кристаллов, спайности по октаэдру, стеклянному блеску, низкой твердости, красивой окраске.

Происхождение. Гидротермальное, промышленные месторождения обычно низкотемпературные. Реже — пневматолитовое в грейзенах. Ратовкит — осадочного происхождения. Спутниками флюорита в кварцевых жилах являются барит, кальцит, сульфиды Pb, Zn, Sb и других металлов, в грейзенах — мусковит, топаз, гурмалин, вольфрамит и касситерит,



Месторождения. Средней Азии — Аурахматское.

Применение. Основная масса флюорита употребляется как плавень при производстве алюминия, а также как источник различных фтористых соединений. Оптический флюорит — ценное оптическое сырье. В металлургии с елью получения более легкоплавких шлаков, в химической промышленности из флюорита получают ряд фтористых соединений, из которых плавиковая кислота употребляется для гравирования на стекле, получения перекиси водорода, применяется в керамике для получения эмалей и глазури. Прозрачные разновидности используются в оптике для изготовления линз.



*Рис. 95. Флюорит*

### **Мышьяковые минералы.**

Мышьяк (As) — элемент пятой группы, встречается в земной коре в двух-, трех- и пентавалентном состоянии.

Атомный вес 74,91; порядковый номер 33. Радиус атома 1,40 Å, радиус иона 0,69 Å; может быть 0,3-0,4 Å. Кларк 5 · 10<sup>-4</sup>. Удельный вес (кристаллической модификации) 5,72, температура кипения 616°, при нагревании возгоняется, не плавясь.

Мышьяк был известен очень давно; о нем имеются указания Аристотеля, но в чистом виде был получен алхимиками в XIII в.

Металлический мышьяк применяется для изготовления некоторых сплавов, в том числе ружейной дроби. Соединения мышьяка ядовиты, поэтому в большинстве случаев их применяют в борьбе с сельскохозяйственными вредителями; вместе с тем в определенной дозировке соединения мышьяка широко применяются для изготовления ярких красок.

Главная масса мышьяка сосредоточена в мышьяковом колчедане, образующемся в гипо- и мезотермальных жилах; он входит также в состав сульфосолей серебра и меди и, наконец, в сульфиды, выпадающие из растворов в верхних частях эпитермальных жил, совместно с сурьмой и ртутью.

В коре выветривания все соединения мышьяка переходят в мышьяковые кислоты.

Из минералов мышьяка рассмотрим:

Реальгар	$As_2S_2$
Аурипигмент	$As_2S_3$
Арсенопирит	$FeAsS$
Скородит	$FeAsO_4 \cdot 2H_2O$

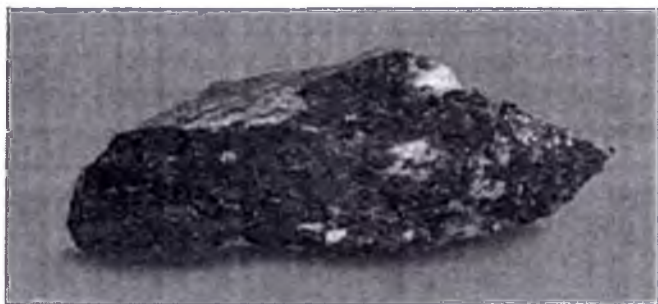
Реальгар  $AsS$ . (рис.96)

Сингония моноклинная. Кристаллы короткопризматические, мелкие, образуют друзы. Также встречается в зернистых и землистых агрегатах и в виде налетов.

Цвет ярко-красный, оранжево-красный. Черта светло-оранжевая. Блеск алмазный, в изломе жирный. При длительном и сильном освещении яркость и окраска теряются, реальгар разрушается и переходит в аурипигмент  $As_2S_3$  и арсенолит  $As_2O_3$ . Твердость 1,5—2, режется ножом. Плотность 3,5.

Диагностика. Отличается красным цветом, светло-оранжевой чертой, низкой твердостью, шриховатостью граней и ассоциацией с аурипигментом. Электричество не проводит. П.П.тр. легко плавится и улетучивается, выделяя характерный чесночный запах мышьяка. Растворяясь в царской водке, выделяет серу.

Происхождение. Гидротермальное (низкотемпературное). Обычно ассоциирует с аурипигментом, а также с другими минералами мышьяка и с антимонитом; присутствует в некоторых серебряных, золотых и полиметаллических месторождениях (с марказитом, кальцитом, арагонитом, халцедоном). Встречается как возгон при вулканической деятельности.



*Рис. 96. Реальгар*

Применение. Относится к числу малораспространенных минералов. Очень редко совместно с аурипигментом образует чисто мышьяковые месторождения. В этих случаях он представляет практический интерес как сырьё для получения  $As_2O_3$  (путем обжига). Имеет применение в красильном деле, пиротехнике, стекольном производстве и др. отраслях промышленности.

**Аурипигмент  $As_2S_3$ .** В переводе с латинского означает “аурум”-золото, “пигментум”-краска, т.е. «золотая краска» (рис.97).

Сингония моноклиная. Кристаллы редки, обычно встречается в виде листоватых, слюдоподобных, зернистых и землистых масс.

Цвет лимонно-желтый или золотисто-желтый. Черта такая же, но светлее. Блеск от алмазного до полуметаллического. Спайность весьма совершенная, листочки гибкие, но не упругие. Твердость 1,5—2. Плотность 3,5. Электричество не проводит. Электризуется при разрывах листочков по спайности.

Диагностика. Легко узнается по яркому лимонно-желтому цвету, низкой твердости, весьма совершенной спайности и сильному алмазному или полуметаллическому блеску в изломе.

Происхождение. Низкотемпературное гидротермальное. Встречается вместе с реальгаром. «Выцветает» с течением времени и, окисляясь, переходит в арсенолит  $As_2O_3$ .

Применение. Аурипигмент и реальгар в случае значительных скоплений могут быть использованы как мышьяковая руда. Аурипигмент также идет на приготовление желтой краски для живописи.



*Рис. 97. Аурипигмент*

**Арсенопирит** (мышьяковый колчедан)  $FeAsS$  (Fe 34,3%; As 46,0%; S 19,7%) (рис.98).

Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, иногда вытянутые, шестоватые, агрегаты плотные, зернистые.

Цвет оловянно-белый, часто побежалость желтого цвета. Черта серовато-черная, иногда с буроватым оттенком. Блеск металлический. Твердость 5,5-6. Спайность несовершенная. Хрупок. Плотность 6. Электрчество проводит.

Диагностика. Отличается оловянно-белым или серебряно-белым цветом, высокой твердостью, формой кристаллов, содержанием в качестве главных составных частей железа, мышьяка и серы. При скользящем ударе стальным предметом выбиваются искры, причем появляются характерный синеватый дымок и чесночный запах мышьяка.

Происхождение. В большинстве случаев гидротермальное (высоко- и среднетемпературное). Спутниками являются касситерит  $\text{SnO}_2$ , вольфрамит  $(\text{Fe}, \text{Mn}) [\text{WO}_4]$ , сфалерит  $\text{ZnS}$ , галенит  $\text{PbS}$ , руды золота, серебра и меди. Возможно и контактово-метасоматическое (скарновое) происхождение. В поверхностных условиях арсенопирит переходит в землистый минерал грязно-зеленого цвета — скородит  $\text{Fe} [\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Применение. Арсенопирит — главнейшая руда на мышьяк. Последний используется в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и для протравы семян, а также в кожевенной, красочной и других отраслях промышленности.



*Рис. 98. Арсенопирит*

**Скородит** —  $\text{Fe}^{3+}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Название происходит от греческого слова скородон — чеснок (при резком ударе по минералу чувствуется характерный запах чеснока) (рис.99).

Сингония — ромбическая, вид симметрии — ромбобипирамидальный —  $D_{2h} - mmm(3L_2, 3PC)$ .

Агрегаты и габитус. Скородит встречается в виде землистых масс и в тонкораспыленном состоянии в породах. Реже он образует мелкие кристаллики пирамидального или призматического габитуса. Главные формы на кристаллах скородита бипирамида, призма и пинакоид.

Физические свойства. Цвет скородита белый, зеленоватый и бурый. Спайность несовершенная. Излом неровный. Твердость – 3,5. Хрупок. Плотность – 3,3.

Диагностические признаки скородита – бледно-зеленая окраска и пирамидальный габитус кристаллов. Легко растворяется в HCl, частично в HNO<sub>3</sub>. П.п.т. сплавляется в блестящую серую магнитную массу. В запаянной трубке выделяет воду и приобретает желтый цвет.

Образование и месторождения. Скородит образуется в зоне окисления рудных месторождений за счет арсенопирита и леллингита.

Скородит известен в месторождениях Австрии (Леллинг), Восточного Забайкалья (Запокровское месторождение), Узбекистана (Брич-Мулла) и Южного Урала (Джетигаринское и Кокчарское месторождения).



*Рис. 99. Скородит*

### **Ртутные минералы**

Ртуть (Hg) – двухвалентный металл второй группы. Атомный вес 200, 01; порядковый номер 80.

Имеется 9 изотопов (193, 196, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204).

Радиус атома 1,55 А°

Удельный вес при 0° – 13,59, при обычной температуре ртуть жидкая, при – 390 затвердевает; удельный вес твердой ртути 14.

О ртути имеются сведения еще у Теофраста, около 300 лет до нашей эры.

Ртуть добывается главным образом из киновари при обжиге ее с железом или с известью



Ртуть применяется для физических и химических приборов; во взрывном деле — гремучая ртуть (аммонийные соединения ртути); в электротехнике, в медицине и зубоврачевании; при добыче драгоценных металлов (амальгамировании); в металлургии некоторых сплавов; для приготовления зеркал (амальгама); в текстильном деле; для изготовления красок.

Ртутные минералы концентрируются в верхах эпитермальных жил и в продуктах выветривания этих месторождений.

### Из минералов ртути рассмотрим:

Киноварь HgS

**Киноварь HgS** (Hg 86,2%). Название происходит от арабского слова «кинобари» — кровь дракона (*рис. 100*).

Сингония тригональная. Встречается главным образом в виде зернистых вкрапленников, а также сплошных масс, налетов и примазок.

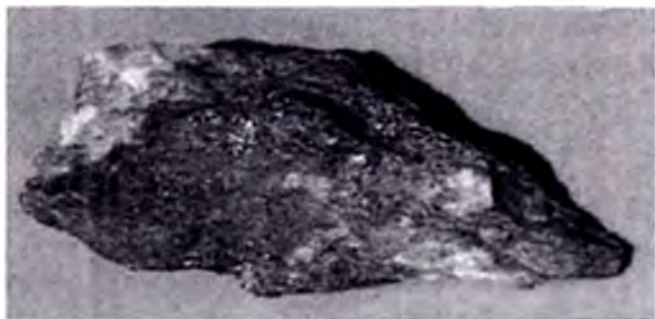
Цвет — яркий темно-красный. Черта красная. В тонких обломках прозрачна. Блеск алмазный, иногда со слабой свинцово-серой побежалостью. Полупрозрачна. Спайность довольно совершенная. Твердость 2—2,5. Хрупка. Плотность 8,09-8,20.

Диагностика. Легко узнается по красному цвету и черте, высокой плотности, низкой твердости, спайности и парагенезису. При нагревании в пробирке выделяет ртуть. Не проводит электричества. Растворяется в царской водке. Хлор вообще разлагает киноварь.

Происхождение. Киноварь характерен для низкотемпературного гидротермального процесса; обычно встречается совместно с антимонитом, флюоритом, баритом и халцедоном. Находится в карбонатных породах, иногда в песчаниках и сланцах, образуя неправильную вкрапленность и прожилки.



**Применение.** Киноварь является единственной рудой на ртуть, которая употребляется преимущественно для амальгамации золота при добыче его из коренных руд, для изготовления химикалий, гремучей ртути-взрывчатого вещества для детонаторов, и физических приборах, градусниках, является ценной природной краской.



*Рис. 100. Киноварь*

### **Минералы сурьмы.**

Сурьма (Sb) – элемент пятой группы – обычно бывает трех- и пентавалентный.

Атомный вес 121,76; порядковый номер 51; изотопы 121 и 123. Радиус атома 1,61 А<sup>0</sup>, радиус иона 0,90 А<sup>0</sup> и 2,45 А<sup>0</sup>. Кларк 5 · 10<sup>-5</sup>. Уд.вес 6,67, точка плавления 630,5<sup>0</sup>.

Соединения сурьмы были известны в древней Руси и во многих других странах как косметическое средство.

В XV в. Василий Валентин получил металлическую сурьму.

Металлическая сурьма применяется главным образом в сплавах (типографский сплав со свинцом), в химических препаратах и в медицине.

Всего насчитывают около 80 минералов сурьмы, из них: самородных 3, сернистых соединений 53, оксихлорид 1, окислов 5, фосфатов, ниобатов и антимонатов 18.



Главная масса сурьмы концентрируется в сурьмяном блеске ( $Sb_2S_3$ ) и в продуктах его разложения.

### Из минералов сурьмы рассмотрим:

Антимонит  $Sb_2S_3$

Антимонит (сурьмяный блеск, стибнит)  $Sb_2S_3$  (Sb71,4%).

Название происходит от латинского слова “антимониум” – сурьма (*рис.101*).

Сингония ромбическая. Кристаллы удлиненно-призматические, столбчатые, с грубой штриховкой по длине, иногда образует хорошо ограненные друзы.

Цвет свинцово-серый до стально-серого, иногда с синеватой побежалостью. Черта такая же. Блеск металлический, Непрозрачен. Спайность совершенная. Твердость 2-2,5. Плотность 4,6. Электричества не проводит.

Диагностика. Внешне отличается от других минералов удлиненной формой кристаллов и вертикальной штриховкой, а также малой твердостью, поперечными штрихами на плоскостях спайности и синеватой побежалостью. Легко плавится в пламени свечи. Если чиркать вдоль удлинения, легко зажечь спичку.

Происхождение. Гидротермальное (низкотемпературное) в кварцевых жилах. Парагенезис: киноварь, пирит, флюорит, кальцит, кварц, барит, халцедон. При окислении переходит в сурьмяные охры светло-желтого цвета, образующие иногда псевдоморфозы по антимониту.

Применение. Антимонит является важнейшей рудой на сурьму. Последняя употребляется в сплавах со свинцом и оловом (подшипники, аккумуляторы, типографский шрифт), в резиновой промышленности (с целью вулканизации резины), текстильном производстве (пропитка тканей), стекольном деле, медицине и др.



*Рис. 101. Антимонит*

## Минералы золота

Золото (Au) – металл перовой группы; бывает одновалентным или трехвалентным.

Атомный вес 197,2; порядковый номер 79.

Радиус атома  $1,44 \text{ \AA}$ , радиус иона  $1,37 \text{ \AA}$ . Кларк  $5 \cdot 10^{-6}$

Уд.вес 18,88 – 19,33. Тв 2,5. Плавится при  $1063^\circ$ , имеет характерный желтый цвет в отраженном свете и зеленый – в проходящем; блеск металлический.

Золото известно с глубокой древности (греч. – хрюзос, латинск. - аурум).

Золото во всех странах считается драгоценным металлом и служит государственной валютой; употребляется в ювелирном деле, медицине и зубоврачебном деле, в электротехнике, фотографии, в физических приборах и химических реактивах.

### Из минералов золота рассмотрим:

Самородное золото Au

Электрум (Au, Ag)

**Золото Au.** Химически чистое золото в природе почти не встречается. Хотя бы в небольшом количестве оно содержит Ag, Cu, реже другие металлы, с которыми образует твердые растворы.

Сингония кубическая. В кристаллах встречается редко и большей частью образует мелкую вкрапленность в виде зерен и

чешуек в кварце. Иногда встречается в виде дендритов, нитевидных агрегатов и натечных форм (рис. 102).



*Рис. 102. Золото*

Цвет золотисто-желтый; чем больше примесь серебра, тем золото светлее; от примеси меди приобретает красноватый оттенок. Цвет черты желтый. Блеск металлический. Твердость 2,5—3. Легко расплющивается в тончайшие листочки. Спайность отсутствует. Очень ковкое и тягучее, из 1 г золота можно растянуть до 3 км проволоки или раскатать пластинку в 27 м<sup>2</sup>. Излом крючковатый. Плотность зависит от примесей, для чистого золота она равна 19,3.

Характеризуется химической стойкостью, в кислотах не растворяется (кроме царской водки). Обладает высокой тепло- и электропроводностью.

Разновидности. Э л е к т р у м — золото, содержащее более 20% серебра.

Диагностика: по цвету, блестящей черте, высокой плотности, ковкости, тягучести, малой твердости (легко режется ножом), большая ковкость, неокисляемость на воздухе.

Происхождение. Золото является рассеянным элементом литосферы. Химические анализы устанавливают его присутствие в малых количествах во всех изверженных породах и в морской воде.

Месторождения золота генетически связаны с кислыми интрузиями. Наиболее характерным для него является гидротермальное происхождение в кварцевых жилах.

Спутниками золота являются пирит, арсенопирит, блеклые руды, халькопирит, висмутин.

Благодаря химической стойкости золото накапливается в россыпях. По геологическим признакам различают аллювиальные, делювиальные, террасовые, русловые и другие россыпи. Выделяются также современные и древние (погребенные) россыпи. В россыпях золото находится в округлых или сплюснутых зернах и самородках. Наиболее крупные самородки массой в 74,6; 70,8 и 69,7 кг были найдены в Австралии. Самый большой самородок «Плита Холтермана» (вес с породой 260 кг, чистый вес – 93,3 кг) был найден на руднике Хилл-Энд в Австралии в 1872 г. Самые большие чистые самородки золота «Приятный незнакомец» (вес 59,69 кг, 1857 г.), «Желанный гость» (вес 68,08 кг, 1869 г.) – также найдены в Австралии, в штате Виктория.

Наибольший из сохранившихся самородков массой 36,2 кг («Большой треугольник») найден в середине прошлого века в Миасском районе на Южном Урале. Он вместе с другими самородками золота и алмазами выставлен для обозрения в Кремле, в Алмазном фонде.

Содержание золота должно быть не менее 4—5 г/т, для коренных месторождений и не менее 0,1 г/т для россыпных.

Применение. Золото является главным валютным и денежным металлом. Широко применяется оно в ювелирном деле, в некоторых приборах и реактивах, в зубо врачебном деле. Сведения о запасах и добыче золота весьма приблизительные. Мировая добыча золота около 1000 т в год.

## Минералы серебра

Серебро (Ag) – одновалентный металл первой группы.

Атомный вес 107,88; порядковый номер 47. Имеются два изотопа: 107 и 109.

Радиус атома 1,44 А°, радиус иона 1,13 А°. Кларк  $1 \cdot 10^{-5}$ . Кристаллизуется в кубической сингонии.

Удельный вес 10,25 – 10,60; тв. 2,5 – 3. Плавится 960,5°, обладает характерным металлическим серебряно – белым цветом. Серебро было известно в глубокой древности (греч. аргирос, лат. – аргентум).

Серебро применяется в ювелирном деле, для изготовления предметов домашнего обихода, физических и химических приборов, в электротехнике, в медицине, фотографии, при изготовлении зеркал, в военном деле, для чеканки разменной монеты и др.

Главные месторождения серебра приурочены к верхней части мезотермальных жил и к продуктам их окисления. В зависимости от цен, промышленным содержанием считается около 1 кг серебра на тонну руды.

### **Из минералов серебра рассмотрим:**

Самородное серебро Ag

Аргентит и акантит Ag<sub>2</sub>S

**Серебро Ag.** Часто содержит примеси Au, Cu, Hg. (рис.103)

Сингония кубическая. Обычно встречается в виде дендритов, тонких пластинок, разнообразных волосовидных и проволочных форм.

Цвет и черта серебряно-белые, на поверхности иногда с черным налетом. Блеск металлический. Черта металлически блестящая. Твердость 2,5. Плотность 10,1-11,1. Весьмо ковкое. Излом крючковатый. Отличается высокой электропроводностью.

Диагностика: по цвету, большой плотности, ковкости, электропроводности, характерному крючковагому, зонистому излому. Плавится при 960 °С в блестящий шарик, легко растворяется в HNO<sub>3</sub>, парагенезис с арсенидами Co и Ni; аргентитом, кальцитом, баритом.

Происхождение. Самородное серебро встречается в качестве гидротермального минерала в жилах с сульфидами и в зоне окисления серебряных и некоторых полиметаллических месторож-

дениях, где оно образуется за счет аргентита ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) и сложных сульфосолей серебра гидротермального происхождения.

Применение. Серебро употребляется в ювелирном деле, для чеканки монет, в различных сплавах, в фотографии.

В месторождении Шнееберг в Саксонии встречен самородок серебра весом 40т, а в Фрейберге – 5т. В Чили найдены пластины самородного серебра весом около 1,5 т.



*Рис. 103. Серебро*

**Аргентит  $\text{Ag}_2\text{S}$ .** Аргентит получил название по содержанию серебра (лат.аргентум). Синоним – серебряный блеск. Порошковатая разновидность называется серебряной чернью (рис.104).

Сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический.

При температуре выше  $179^\circ\text{C}$  существует стойкая кубическая модификация – аргентит, ниже этой температуры образуется ромбическая модификация – акантит (от греч.- аканта - колючка), имеющий вытянутый облик кристаллов. В природе обычно наблюдаются параморфозы акантита по аргентиту.

Агрегаты и габитус. Аргентит встречается в зернистых и массивных скоплениях, иногда образует кристаллы кубического и октаэдрического габитуса. Очень редко встречаются двойники срастания по (111).

Физические свойства. Сингония кубическая. Цвет аргентита черновато-свинцово-серый. Черта блестящая, серая. Блеск металлический. Непрозрачный. Спайность несовершенная. Ковок.

Твердость – 2-2,5. Плотность – 7,2 -7,4. Проводит электричество только при высоких температурах.

Под микроскопом аргентит имеет вид выделений неправильной жилковидной формы, а также дендритов и волосовидных скоплений. При скрещенных николях устанавливается характерная тонкая пластинчатая или решетчатая полисинтетическая сдвойникованность.

Диагностические признаки. Макроскопически определить аргентит трудно. Различается он по низкой твердости, ковкости и плотности. Аргентит растворяется в  $\text{HNO}_3$  с выделением S. При добавлении  $\text{HCl}$  получается густой творожистый белый осадок  $\text{AgCl}$ . П.п.т. на угле в окислительном пламени плавится, вспучивается. Выделяет серные пары и образует королек серебра.

Образование и месторождения. Аргентит образуется гидротермальным путем, главным образом в связи с так называемой кобальто – никелево - серебряной жильной формацией эпитеpmального типа, где встречается вместе с самородным серебром и его сульфосолями (пираргиритом  $\text{Ag}_3[\text{SbS}_3]$ ), пруститом –  $\text{Ag}_3[\text{AsS}_3]$ , стефанитом –  $\text{Ag}_5[\text{SbS}_4]$  а также с золотом, блеклыми рудами и галенитом, в котором образует мелкие включения (серебросодержащий галенит). Самые большие концентрации аргентита находятся в зонах окисления и цементации полиметаллических месторождений, где он возникает за счет минералов серебра по схеме:



В зоне окисления аргентит встречается с первичными несокисленными сульфидами, а также с халькозином ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), церусситом ( $\text{Pb}[\text{CO}_3]$ ), кераргиритом ( $\text{AgCl}$ ), самородным серебром и бурыми железняками. Большие самостоятельные скопления аргентит дает очень редко. Обычно он встречается вместе с самородным серебром, сульфосолями серебра и минералами висмута.



Под действием сильного света полированная поверхность аргентита темнеет. Известны псевдоморфозы аргентита по самородному серебру и сульфосолям серебра (миаргириту, пруститу, пираргириту, стефаниту).

**Практическое значение.** Вместе с другими серебровмещающими минералами аргентит используется для получения серебра. Минимальным промышленным содержанием серебра в рудах считается 0,02%.



*Рис. 104. Аргентит*

## Минералы свинца

Свинец (Pb) – металл четвертой группы, обладает валентностью +2 и +4. В своих наиболее распространенных минералах свинец обычно двухвалентен.

Атомный вес 207,21; порядковый номер 82; изотопы 206, 207, 208 (радий G 206,5; актиний D207; торий D 207,77; радий D 210; актиний B 211; торий B212; радий B 212).

Радиус атома  $1,74 \text{ \AA}$ , радиус иона  $1,32 \text{ \AA}$ ;  $0,84 \text{ \AA}$  для четырехвалентного. Кларк  $1 \cdot 10^{-4}$

Уд.вес 11,34, тв. – 1,5.

Плавится при  $327^\circ$ ; цвет серовато-белый.

Свинец известен с глубокой древности (греч. молибдос, лат. плумбум).

Хлористые и сернокислые соединения свинца в воде трудно растворимы; азотнокислые – легко растворимы.



При 18° в литре воды растворяется следующее количество свинцовых солей (г):

$PbSO_4$	- 0,041
$PbCO_3$	- 0,001
$PbCl_2$	- 14,900
$Pb(NO_3)_2$	- 516,600

Карбонат свинца растворим в углекислой воде, в обычной же нерастворим. Во всех этих соединениях свинец является двухвалентным; в сурике часть свинца находится в четырехвалентном состоянии  $Pb_3O_4$ ; свинцовый ангидрид –  $PbO_2$ ; свинцово-калиевая соль –  $K_2PbO_2$ .

Свинец применяется главным образом в военном и охотничьем деле, в составе типографского металла, в припоях, в баббитах, антикоррозионных сплавах для изоляции телефонных и телеграфных установок, кислотоупорной аппаратуры; как защита от лучей рентгена и радия, как утяжелитель; соли свинца применяются в красочном деле (свинцовые белила) и в медицине.

Главнейшие свинцовые минералы концентрируются в мезотермальных жилах и в продуктах их выветривания.

### **Из минералов свинца рассмотрим:**

Галенит  $PbS$

Церуссит  $PbCO_3$

Англезит  $PbSO_4$

Галенит (свинцовый блеск)  $PbS$  (Pb 86,6%). Иногда содержит Ag. Название происходит от лат. слова “галена” – свинцовая руда.

Сингония кубическая. Из кристаллографических форм наиболее обычен куб, реже развиты грани октаэдра и ромбододекаэдра. Образует зернистые, сплошные агрегаты, встречается в друзах.

Цвет свинцово-серый. Черта серовато-черная. Блеск металлический. Характерна совершенная спайность по кубу. Минерал сравнительно мягкий, твердость 2- 3. Хрупок. Спайность весьма

совершенная. Плотность 7,5. Обладает слабой электропроводностью и хорошими детекторными свойствами.

Диагностика. Галенит узнается по цвету, блеску, совершенной спайности, небольшой твердости, и значительной плотности, свинцово-черной черте и легкоплавкости (рис.105).

Происхождение. 1. Гидротермальное (средне- и низкотемпературное) — встречается в жилах, метасоматических телах, а также в скарнах. Характерна тесная ассоциация галенита со сфалеритом и сульфидами серебра и меди — это и есть так называемые полиметаллические руды. Встречается также совместно с пиритом, пирротинном и другими сульфидами, с баритом, кварцем и кальцитом. 2. Осадочное — образует вкрапленность, главным образом в битуминозных карбонатных породах.

В зоне окисления галенит неустойчив и легко разрушается с образованием церуссита  $Pb[CO_3]$ , англезита  $Pb[SO_4]$ , пироморфита  $Pb_3[PO_4]_2$  и других минералов.

Месторождения. Алтын-Топкан, Кургашинкан (Средняя Азия)

Применение. Галенит представляет собой важнейшую свинцовую руду. Почти вся мировая продукция свинца связана с добычей этого минерала. Помимо выплавки металла, небольшая часть галенитовых руд перерабатывается на глет ( $PbO$ ) с целью получения свинцовых препаратов в частности красок (белил, крона и др.) и глазури.



*Рис. 105. Галенит*

### **Церуссит $Pb[CO_3]$ , (Pb 77.5 %).**

«Церусса» по латыни – белила. Кристаллы таблитчатые, игольчатые, шестоватые. Агрегаты преимущественно сплошные, зернистые, часты натечные формы, встречаются сетчатые волокнистые агрегаты. Очень хрупок.

Сингония ромбическая. Цвет белый с сероватым, буроватым оттенком. Блеск алмазный. Излом неровный раковистый. Твердость 3-3,5. Весьма хрупок. Спайность несовершенная. Характерна высокая плотность – 6,5.

Диагностика. Распознается по алмазному блеску, большой плотности, легкоплавкости и парагенезису. В  $HNO_3$  растворяется с шипением.

Происхождение. Типичный минерал зоны окисления свинцово-цинковых месторождений, образуется за счет галенита и англезита.

Применение. При значительном развитии зоны окисления является важной рудой на свинец.

### **Англезит $Pb[SO_4]$ (Pb 68.3 %) (рис.106).**

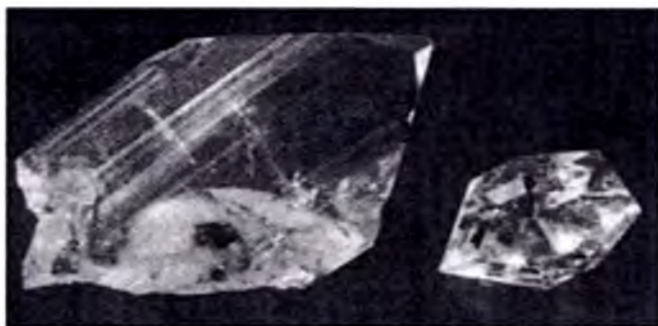
Впервые был установлен на о. Англези (Уэлс), откуда и произошло его название. Сингония ромбическая. Образует мелкие тонко таблитчатые, вытянутые кристаллы, а также зернистые, плотные массы.

Бесцветный до белого. Блеск алмазный. Твердость 2,5-3. Весьма хрупок. Спайность несовершенная. Плотность 6,3.

Диагностика. Распознается по очень большой плотности, алмазному блеску и парагенезису. В отличие от церуссита не вскипает в  $HNO_3$ .

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

Применение. Англезит может идти в плавку вместе с другими окисленными рудами.



*Рис. 106. Англезит*

## Минералы цинка

Цинк (Zn) металл второй группы, обычно находится в двухвалентном состоянии.

Атомный вес 65,38; порядковый номер 30; изотопы 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.

Радиус атома  $1,37 \text{ \AA}$ , радиус иона  $0,83 \text{ \AA}$ . Кларк  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Удельный вес 6,9 – 7,19, твердость 3,5; при изломе хрустит; плавится при  $419,4^\circ$ ; серовато-белого цвета.

Соединения цинка были известны грекам и назывались кадмия, откуда произошло название галмея для окисленных руд.

В Китае и Индии цинк был известен очень давно. Производство цинка в Европе началось впервые в Силезии в 1798 г; до этого времени цинк ввозился в Европу из Индии.

В воде растворимы хлористые, бромистые, иодистые, азотнокислые, сернокислые и хромовокислые соли цинка.

При  $180^\circ \text{C}$  растворимость цинковых солей (в г/л) следующая:

$\text{ZnSO}_4$  – 551,20

$\text{ZnCl}_2$  – 2039,00

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  – 1178,00

$\text{ZnCO}_3$  – 0,07.

Цинк широко применяется в народном хозяйстве: для изготовления ванн, ведер, холодильников, покрытия кровель; для

оцинкования железа, в защиту его от окисления; в сплавах с медью (латунь, томпак); для приготовления белил и литопона (белой краски); хлористый цинк является антисептиком; применяется для химических реактивов и в медицине.

Всего известно около 55 минералов, содержащих цинк: самородных 1, сернистых 7, окислов 4, карбонатов 8, манганатов 4, сульфатов 11, фосфатов, арсенатов и ванадатов 10, силикатов 10.

Главная масса цинка концентрируется в мезотермальных жилах – в сфалерите (цинковой обманке); при выветривании этой руды цинк переходит в карбонаты, сульфаты и силикаты.

### **Из минералов цинка рассмотрим:**

Сфалерит или цинковая обманка ( $Zn, Fe, S$ ) (и вюртцит)  
Смитсонит  $ZnCO_3$

Сфалерит (цинковая обманка)  $ZnS$  ( $Zn$  67,1 %).

Название происходит от греческого слова «сфалерос» – обманчивый, очевидно, потому, что по внешним признакам он совершенно не похож на обычные сульфиды. В виде изоморфных примесей содержит железо, кадмий (0,5—1 %), индий (до 0,1 %), галлий (до 0,1%), германий (до 0,3%). Название происходит от греческого слова «сфалерос» — обманчивый, в связи с трудностью его диагностики по внешнему виду.

Сингония кубическая. Кристаллы имеют тетраэдрический облик: агрегаты — сплошные, зернистые, реже скрытокристаллические концентрически-зонального строения.

Цвет преимущественно коричневый, бурый до черного и желтый до бесцветного. Нередко прозрачен или просвечивает. Черта от светлой у бесцветного и желтого сфалерита до темно-коричневой у разностей черного цвета.

Сфалерит обладает совершенной спайностью по ромбодоэкаэдру. Блеск алмазный. Твердость 3—4. Довольно хрупок. Спайность весьма совершенная. Плотность 3,5—4. Электричества не проводит.

Разновидности. Высокотемпературная железистая разновидность черного цвета называется марматитом. Низкотемпературные бесцветные или светло-желтые сфалериты обычно без примесей носят название клейофана.

Диагностика. Отличается цветом, твердостью, алмазным блеском и совершенной спайностью. Вкрапленные зерна изометричны. Марматит имеет красновато-коричневую черту.

Происхождение. 1. Гидротермальное — с галенитом, халькопиритом, пиритом и другими минералами, широко распространен в метасоматических залежах и рудных жилах. 2. Экзогенное — в осадочных породах, иногда в месторождениях угля.

При окислении сфалерит переходит в смитсонит  $Zn[CO_3]$  и гемиморфит  $Zn_4[Si_7O_{21}](OH)_2 \cdot H_2O$ .

Месторождения. Полиметаллические месторождения Средней Азии.

Применение. Сфалерит — важнейшая руда на цинк.

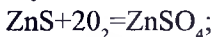
Смитсонит  $Zn [CO_3]$ , (Zn 52 %). (рис.107)

Встречается обычно в натечных формах, в виде корок и почковидных агрегатов.

Сингония тригональная. Цвет белый с зеленоватым или голубоватым оттенком от примеси меди. Твердость 5. Хрупок. Спайность по ромбоэдру, заметна лишь в явнокристаллических агрегатах. Плотность 4,1-4,5.

Диагностика. По натечным формам зеленовато-голубого цвета, большой плотности и нахождению в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений. В HCl легко разлагается.

Происхождение. Экзогенное — типичный минерал зоны окисления полиметаллических сульфидных месторождений. Образуется за счёт сфалерита:



Спутники: церуссит, гемиморфит, лимонит, сфалерит, галенит, глинс.

Применение. Смитсонит является ценной рудой на цинк.



*Рис. 107. Смитсонит*

### Минералы меди

Медь (Cu) – элемент первой группы. Атомный вес 63,57; порядковый номер 29, изотопы 63, 65. Радиус атома 1,28 А°, радиус иона 0,96 А°. Кларк  $3 \cdot 10^{-3}$ .

Кристаллизуется в кубической системе. Уд.в. 8,93, тв. 3. Плавится при 1083°; медно – красного цвета с металлическим блеском.

Медь была известна в глубокой древности (греч. халькос, лат. - купрум).

Медь – главным образом в виде проволоки – широко применяется в электротехнике; в виде различных сплавов – при изготовлении деталей машин, приборов, инструментов, бытовых и хозяйственных вещей; применяется также для чеканки разменной монеты. Ее соли употребляются в красочном деле, в технологии искусственного волокна, для борьбы с сельскохозяйственными вредителями, в гальванопластике, фотографии и др.

Всего насчитывается около 155 минералов меди, из них: самородных 3, сернистых 47, галоидных 18, окислов 5, карбонатов 6, силикатов 8, фосфатов 35, нитратов 2, сульфатов 30, прочих 2.

## Из минералов меди рассмотрим:

Самородная медь.....	Cu
Халькозин.....	Cu <sub>2</sub> S
Халькопирит.....	Cu <sub>2</sub> S · Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
Малахит.....	CuCO <sub>3</sub> · Cu (OH) <sub>2</sub>
Азурит.....	2CuCO <sub>3</sub> · Cu (OH) <sub>2</sub>

**Медь Cu.** Встречается в виде дендритов, в крупных неправильных пластинках и ветвистых агрегатах (*рис.108*).

Сингония кубическая. Цвет медно-красный, черта блестящая. Блеск металлический. Твердость 2,5—3. Плотность 8,9. Тягучая и ковкая. Спайность отсутствует. Излом крючковатый. Обладает высокой электропроводностью.

Диагностика: по красному цвету свежей поверхности, блестящей черте и ковкости, плотности, обычно покрыта медной зеленью и другими окисленными минералами меди. В разведенной азотной кислоте растворяется легко, в соляной - труднее. Раствор с избытком аммиака имеет характерный синий цвет. (температура плавления 1083°С.)

Происхождение. 1. Экзогенное — медь главным образом находится в зоне окисления медных месторождений в ассоциации с халькозином, купритом, борнитом, лимонитом, малахитом, кальцитом. Самородки меди в зоне окисления достигают иногда нескольких тонн. 2. Гидротермальное — редко, причем всегда низкотемпературное.

Применение. Основными потребителями меди являются электротехника, машиностроение, приборостроение и судостроение. Широко применяются различные сплавы с медью (бронза, латунь, мельхиор).

Химический состав: Медь обычно бывает химически чистой, иногда содержит примеси Ag, Au, uFe (2,5%)

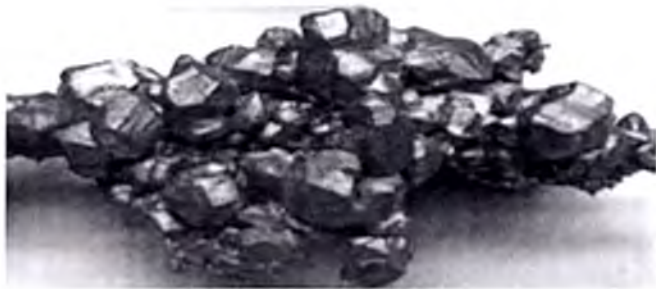
Разности: золотистая медь с содержанием Au до 2-3%; витнеитс с содержанием Au до 11,6%.



В некоторых месторождениях были встречены сплошные массы меди весом в несколько тонн. Например, в районе Верхнего озера в США найдены отдельные глыбы самородной меди до 1000 т.

Отличие от сходных минералов. Самородную медь в сплошных скоплениях можно спутать с никелином и борнитом.

Отличия: 1) никелин нековкий имеет буровато-черную черту и более высокую твердость (5); 2) борнит имеет индигово-синюю побежалость.



*Рис. 108. Медь*

**Халькозин** (медный блеск)  $\text{Cu}_2\text{S}$  (Cu 79,8%). Название происходит от греческого слова «халькос» — медь.

Сингония ромбическая. Кристаллы редки, обычно встречается в сплошных массах, плотный.

Цвет и черта свинцово-серые. Блеск металлический. Спайность несовершенная. Излом раковистый. Спайность несовершенная. Твердость 2—3. Слабо ковков. Плотность 5,7. Хороший проводник электричества.

Диагностика. Характерными признаками халькозина являются небольшая твердость, ковкость и свинцово-серый цвет.

Происхождение. Экзогенное — образуется в зоне вторичного сульфидного обогащения (в зоне цементации) медных месторождений в результате реакций растворов сульфатов меди с неокисленными сульфидными рудами. Реже имеет гидротермальное происхождение. Ассоциирует с борнитом  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ,

блеклыми рудами  $\text{Cu}_3(\text{Sb, AS})\text{S}_3$ , халькопиритом  $\text{CuFeS}_2$  и другими сульфидами. При окислении переходит в малахит  $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ , куприт  $\text{Cu}_2\text{O}$ , самородную медь и другие минералы.

Месторождения. В Казахстане – Дзезказган, Коунград; в Узбекистане – Алмалык.

Применение. Халькозин является важной медной рудой.

**Халькопирит** (медный колчедан)  $\text{CuFeS}_2$  (Cu 34,6%; Fe 30,5%; S 34,9). Название происходит от греческих слов «халькос» — медь и «пирос» — огонь (рис. 109).

Сингония тетрагональная. Кристаллы тетраэдрического вида, но встречаются редко; обычно в виде вкрапленности, также сплошной, зернистый.

Цвет латунно-желтый. Черта черная или зеленовато-черная. Непрозрачен. Блеск металлический. Твердость 3—4. Довольно хрупок. Спайность несовершенная. Плотность 4,2. Иногда характерна пестрой побежалости.

От пирита отличается более темным цветом, меньшей твердостью и отсутствием кубических кристаллов.

Разновидность — талнахит (кубическая модификация халькопирита).

Диагностика. Узнается по латунно-желтому цвету, зеленовато-черной черте, пестрой побежалости, твердости, резк отличающийся от пирита.

Происхождение. 1. Магматическое — в ассоциации с пирротином и пентландитом. 2. Скарновое с андрадитом, магнетитом, шеелитом, пирротином. 3. Гидротермальное — с пиритом, пирротином, сульфидами Pb, Zn, Cu и др. 4. Экзогенное — в осадочных породах.

В зоне окисления за счет разрушения халькопирита образуются вторичные минералы: самородная медь, халькозин, ковелин, куприт, малахит, азурит, хризоколла и др.

Месторождения. Алмалык в Узбекистане — гидротермальные.

Применение. Важнейшая руда на медь, которая расходуется в машиностроении, судостроении, изготовлении аппаратуры для химической промышленности, жилищном строительстве.



*Рис. 109. Халькопирит*

**Малахит  $\text{Cu}_2 [\text{CO}_3] (\text{OH})_2$  (Cu 57.4 %).** (рис.110)

«Малахе» по гречески -мальва (астение). Очевидно, назван по сходству с цветом зелени. Сингония моноклинная. Встречается в натечных формах, почковидных образованиях, землистых массах и налетах. Иногда образует волокнистые радиальнолучистые агрегаты с характерным шелковистым блеском. Землистый малахит носит название медной зелени.

Цвет зеленый, черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный, шелковистый. Твердость 3,5. Хрупок. Спайность средняя. Плотность 4.

Диагностика. Хорошо диагностируется по ярко-зеленому цвету, черте, натечным гроздевидным формам, минеральной ассоциации. Легко разлагается в HCl с шипением. В стеклянной трубке выделяет воду и чернеет..

Происхождение. Образуется в зоне окисления медных и других месторождений, содержащих в первичных рудах сульфиды меди. Парагенезис: азурит, хризоколла, самородная медь, куприт, лимонит, гипс, различные сульфиды меди.

Ярко-зеленые примазки и корочки малахита являются важным поисковым признаком на минералы меди.

Применение. Натечные образования малахита употребляются как ценный поделочный материал., идут на изготовление красивых по оттенкам и рисункам ваз, шкатулок, столов и др. Малахитовая

мелочь употребляется на изготовление красок. Вместе с другими минералами зоны окисления идет в плавку и служит рудой на медь.



*Рис. 110. Малахит*

**Азурит  $\text{Cu}_3 [\text{CO}_3]_2 (\text{OH})_2$  (Cu 55.2 %).** (рис.111)

Название происходит от фран. слова «азуре» \* лазурный, голубой. Сингония моноклинная. Кристаллы мелкие, столбчатые или таблитчатые. Обычно образует мелкокристаллические корочки и друзы. Встречается также в виде налетов и землистых масс-медная синь.

Цвет темно-синий, в землистых массах голубой. Черта голубая. Блеск стеклянный. Твердость 3,5-4. Хрупок. Спайность средняя. Плотность 3,8. В кислотах растворяется с шипением.

Диагностика. По ярко-синему цвету и нахождению в зоне окисления минералов меди. Растворяется в аммиаке, окрашивая раствор в голубой цвет.

Происхождение и спутники те же, что и у малахита. Встречается реже малахита. Является поисковым признаком на медь.

Применение. Употребляется для изготовления синей краски.



*Рис. III. Азурит*

### **Кобальтовые минералы**

Кобальт (Co) элемент VIII группы, в своих соединениях обычно бывает двух- и трехвалентным, аналог Fe и Ni, атомный вес 58,97; порядковый номер 27. Радиус атома  $1,26 \text{ \AA}$ , радиус иона  $+ 0,82 \text{ \AA}$ . Кларк  $9 \cdot 10^{-4}$ .

Удельный вес 8,83, тв. 5,5; ковкий и тягучий, плавится около  $1490^\circ$ . Серовато-белого цвета.

Кобальтом или кобольдом назывался в Скандинавии злой горный дух; позднее это название как бранное слово стали употреблять горнорабочие для казавшегося бесполезным минерала, содержащего кобальт. В 1735 г. Брандт открыл в нем элемент, названный кобальтом. Соединения кобальта, из которых получалась синяя краска для эмали, стекла и керамики, были известны еще в древнем Египте.

Техническое применение кобальта значительное; он применяется в сплавах с вольфрамом и хромом для быстрорежущей стали (стеллита), предохраняет металлы от коррозии, усиливает магнитные свойства железа; соли кобальта применяются в изготовлении масляных акварельных, керамических красок, а также красок для стекла и эмалей.

Главнейшие собственно кобальтовые минералы концентрируются в мезотермальных жилах – в ассоциации с никелем

или без него, в арсенопиритах и пирротинах и в продуктах их окисления.

По акад. А. Е. Ферсману, всего имеется 36 минералов, содержащих кобальт, из них: сульфидов 12, преимущественно мышьяковых соединений, окислов 8, карбонатов 3, арсенатов и фосфатов 8, роданатов 1, силикатов 1, сульфатов и селенитов 3.

### Из минералов кобальта рассмотрим:

Кобальтин  $\text{CoAsS}$

**Кобальтин** (кобальтовый блеск)  $\text{CoAsS}$  (Co 35,4 %; As 45,3 %; S 19,3 %) (рис. 112).

Сингония кубическая. Кристаллы кубического или октаэдрического облика; агрегаты зернистые, плотные.

Цвет белый, стально-серый с характерным розоватым оттенком (важно для диагностики). Черта серо-черная. Блеск металлический. Спайность средняя. Твердость 5,5. Хрупок. Слабо проводит электричество. Плотность 6,3.

Диагностика. Похож на пирит, но отличается от него по стально-серому цвету с розоватым оттенком и присутствию спайности, высокой твердостью.

Происхождение. Гидротермальное — встречается в жилах, с арсенопиритом  $\text{FeAsS}$ , арсенидами кобальта и никеля, халькопиритом  $\text{CuFeS}_2$ , самородным серебром Ag, аргентитом  $\text{Ag}_2\text{S}$ , уранинитом  $\text{UO}_2$ , сидеритом  $\text{Fe}[\text{CO}_3]$ , кальцитом  $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ , а также в скарнах с глаукодотом  $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$ , магнетитом  $\text{FeFe}_2\text{O}_4$  и другими минералами. В зоне окисления неустойчив и переходит в эритрин  $\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  розового цвета.

Применение. Кобальтин — важная руда на кобальт, который применяется в металлургии качественных сталей и в сплавах, а также как синяя краска для стекла и фарфора.



*Рис. 112. Кобальтин*

### **Висмутовые минералы**

Висмут (Bi) – элемент пятой группы, в большинстве случаев встречается в трехвалентной форме.

Атомный вес 209,60; порядковый номер 83. Радиус атома 1,82 А°. Кларк  $8 \cdot 10^{-7}$ . Уд.в. 9,80, температура плавления 271,0°.

Висмут был известен алхимику Василию Валентину. Химически висмут – близкий аналог сурьмы и мышьяка.

Висмут применяется для приготовления легкоплавких сплавов, как металл для подшипников; соли висмута – для увеличения показателя преломления стекла, для цветных глазурей, в медицине, для химических реактивов.

Висмут изоморфно может замещаться сурьмой и мышьяком.

Главная масса висмута концентрируется в виде сернистых, селенистых и теллуристых соединений в пневматолитах, гипо- и мезотермальных жилах, реже встречается на контактах.

### **Из минералов висмута рассмотрим:**

Висмутин (висмутовый блеск)  $\text{Bi}_2\text{S}_3$

Висмутин (висмутовый блеск)  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ , (Bi 81,2%).

Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, столбчатые, удлиненные до игольчатых с характерной вертикальной штриховкой.



Цвет свинцово-серый до оловянно-белого. Черта свинцово-серая. Непрозрачен. Блеск металлический. Спайность совершенная. Твердость 2. Плотность 6,6. Минерал сравнительно редкий. Электричества не проводит.

Диагностика. Отличается сильным блеском, большой плотностью и реакцией с КОН. П.п.тр. на угле легко плавится, кипит и разбрызгивается.

Происхождение. Встречается в высокотемпературных гидротермальных жилах и в грейзенах с самородным висмутом, пиритом, арсенопиритом, вольфрамитом, халькопиритом, касситеритом, кварцем, топазом, бериллом и другими минералами. В зоне окисления переходит в висмутовую охру.

Применение. Важнейшая руда на висмут. Висмут употребляется в сплавах с низкой температурой плавления.

### **Молибденовые минералы**

Молибден (Mo) – элемент шестой группы, обычно четырех- и шестивалентный.

Атомный вес 96,0; порядковый номер 42; изотопы 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100.

Радиус атома 1,40 Å°, радиус четырехвалентного иона 0,68 Å°. Кларк  $2 \cdot 10^{-4}$ .

Уд.в. 10,02 – 10,32; температура плавления 2570°.

Молибден применяется главным образом в специальных сплавах с железом, в красочном деле и в качестве реактива на фосфор.

Главная масса молибдена концентрируется в пегматитах и пневматолитах, также на контактах и отчасти в гипотермальных выделениях в виде молибденита  $\text{MoS}_2$ ; значительно меньшая часть – во вторичном минерале – повеллите.

### **Из минералов молибдена рассмотрим:**

Молибденит  $\text{MoS}_2$

Молибденит (молибденовый блеск)  $\text{MoS}_2$  (Mo 60%). (рис.113)



Название происходит от греч. слова “молибдос” – свинец. Сингония гексагональная. Кристаллы образуют тонкие, иногда шестигранные листочки с совершенной спайностью. Агрегаты листоватые, чешуйчатые, звездчатые.

Цвет свинцово-серый. Черта на бумаге голубовато-серая. Блеск сильный металлический. Спайность весьма совершенная. Твердость 1, пачкает руки, жирный на ощупь. Плотность 4,7. Электропроводность при комнатной температуре незначительна, но при повышении температуры увеличивается.

Диагностика. Характерны свинцово-серый цвет, металлический блеск, низкая твердость, совершенная спайность. Может быть в виде шестиугольной формы листочков. Очень похож на графит, отличается от него по голубоватому цвету черты на бумаге и по парагенезису.

Происхождение. Магматическое — встречается в виде вкрапленности в гранитах и гранодиоритах. Известен в пегматитовых жилах; часто (пневматолитовый) — в грейзенах. Промышленные месторождения связаны с гидротермальными образованиями, особенно с кварцевыми жилами, окварцованными породами и скарнами. Известны месторождения, где молибденит тонко распылен в кварце и придает ему серый, чуть голубоватый цвет.

Продукты окисления молибденита — молибденовая охра (ферримолибдит)  $Fe[MoO_4] \cdot 7H_2O$  и повеллит  $Ca[MoO_4]$ . Спутники: в скарнах — моноклинные пироксены, гранат, шселит; в кварцевых жилах обычно находится без других минералов; в грейзенах — вольфрамит, касситерит, висмутин, арсенопирит и другие сульфиды. Нередко ассоциирует с халькопиритом, образуя гидротермальные медно-молибденовые месторождения.

Применение. Молибденит — единственный источник молибдена, около 95% которого идет на изготовление специальных сталей, обладающих большой твердостью и способностью самозакалки, используется в электротехнике, красочном производстве, беспроводной телеграфии, химических производствах и др.



*Рис. 113. Молибденит*

### **Минералы вольфрама**

Вольфрам (W) – металл шестой группы, обычно шестивалентный.

Атомный вес 184,0; порядковый номер 74; изотопы 196, 198, 199, 187, 183, 184, 186.

Радиус атома 1,41 Å радиус иона 0,68 Å. Кларк  $9 \cdot 10^{-5}$ .

Уд.в. 19,1 – 21,4, температура плавления 3388°.

Вольфрам открыт Шееле в 1781 г.

В промышленности вольфрам употребляется для получения главным образом специальных (быстрорежущих, самозакаливающихся а также ружейных) сортов стали, сверхтвердых сплавов, бронз. Соли поливольфрамовых кислот применяются в производстве художественных красок, протрав и утяжелителей в текстильном деле, в фотографии и др.  $\text{CaWO}_4$  применяется для изготовления экранов при рентгенокопии.

Вольфрамовые минералы концентрируются главным образом в пегматитах, пневматолитах, нижних частях гипотермальных месторождений и на контактах.

### **Из минералов вольфрама рассмотрим:**

Вольфрамит (Fe, Mn)  $\text{WO}_4$

Шеелит  $\text{CaWO}_4$

**Ферберит**  $\text{FeWO}_4$  и **гюбнерит**  $\text{MnWO}_4$  – крайние члены изоморфного ряда вольфрамита  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$  ( $\text{WO}_3$  около 76 %).

К фербериту относятся минералы с 100 – 80 %  $\text{FeWO}_4$ , к вольфрамиту 80 – 20 % и к гюбнериту 20–0 %  $\text{FeWO}_4$  (рис 114).

Эти минералы нередко рассматриваются в классе вольфрамов, однако особенности их структуры и физические свойства указываются на целесообразность отнесения их к сложным окислам.

Сингония моноклиная. Кристаллы обычно пластинчатые или таблитчатые. Цвет черный (у ферберита) до темно-бурого (у вольфрамита) и красновато-коричневого (у гюбнерита). Черта темно-бурая, почти черная у железистых разновидностей и красновато-коричневая у гюбнерита. Блеск неметаллический, на плоскостях спайности стеклянный. Спайность совершенная в одном направлении. Твердость 4–4,5. Хрупкий. Плотность 7,5. Богатые железом разновидности слабо магнитны.

Диагностика. Очень высокая плотность, пластинчатые уплощенные кристаллы, совершенная спайность в одном направлении; черный до красновато-коричневого цвет, парагенезис.

Происхождение. Гидротермальное, высокотемпературное – встречается в кварцевых жилах с касситеритом, молибденитом, висмутином, арсенопиритом, халькопиритом и другими сульфидами. Это главный промышленный тип. Также встречается в грейзенах с топазом, касситеритом.

Применение. Вольфрамит – важнейшая руда на вольфрам. Вольфрам входит в состав сверхтвердых сплавов и специальных сортов стали, используется в черной металлургии, для изготовления специальных коронок для бурения скважин, в электротехнике на изготовление нитей для электрических лампочек, антикатодов в рентгеновских трубках, также в химической промышленности, в керамике для окраски стекла и фарфора и др.

**Шеелит**  $\text{Ca}[\text{WO}_4]$  ( $\text{WO}_3$  80,6 %).

Назван по фамилии шведского химика Шееле (1742-1786), впервые открывшего вольфрамовую кислоту.

В виде изоморфной примеси в шеелитах иногда устанавливается молибден (до 24 %  $\text{MoO}_3$ ). Если количество  $\text{MoO}_3$  более 1 % , минерал может быть назван молибдошеелитом.

Сингония тетрагональная. Кристаллы в виде тетрагональных дипирамид, чаще образует неправильные вкрапленники в скарнах и кварцевых жилах.

Цвет белый, серый, желтый. Черта белая. Блеск жирный. Спайность средняя. Излом неровный. Спайность ясная. Твердость 4,5. Хрупкий. Плотность около 6. В катодных лучах обычно сильно светится голубым цветом.

Диагностика. Шеелит, особенно в виде мелкой вкрапленности, легко спутать с другими светлыми минералами (кварцем, полевым шпатом). Он узнается по жирному блеску, высокому удельному весу и голубоватому свечению в катодных и ультрафиолетовых лучах. В  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  разлагается с выделением желтого осадка  $\text{WO}_3$ ; раствор при нагревании с металлическим оловом становится синим.

Происхождение. В основном скарновое. Особенно характерна неправильная вкрапленность шеелита в пироксеновых, пироксен-гранатовых и гранатовых скарнах. Важнейшие спутники: салит, геденбергит, андрадит, кальцит, кварц, молибденит.

Применение. Шеелитовые руды служат источником получения вольфрама.



*Рис. 114. Шеелит*

## Минералы олова

Олово (Sn) – металл четвертой группы, бывает четырех- и двухвалентным.

Атомный вес 119,70; порядковый номер 50. Кларк  $6 \cdot 10^{-4}$ .

Изотопы 112, 114, 115, 116, 117, 118.

Радиус атома 1,58 А°; радиус иона 0,74 и 1,04 А°.

Уд.в. 5,35 – 7,30. Температура плавления 231,9°.

Олово было известно в глубокой древности (бронзовый век).

В воде растворимы галоиды олова и сернистое олово; гидрат, окись и сернистое олово в воде не растворимы.

Олово применяется в сплавах с медью и цинком (бронзы) для изготовления подшипниковых металлов, для получения белой жести на консервные банки и др., для фольги, для лужения посуды, для красок, химических реактивов, в керамике и пр.

Количество олово в земной коре незначительное ( $6 \cdot 10^{-4}$ ). Олово может изоморфно замещаться германием.

Главная масса олово концентрируется в пегматитах, пневматолитах и в гипотермальных жилах – преимущественно в виде оловянного камня.

### Из минералов олова рассмотрим:

Касситерит SnO<sub>2</sub>,

Касситерит (оловянный камень) SnO<sub>2</sub> (Sn 78,8 %). Содержит примеси Fe, Nb, Ta, W. Название происходит от греческого слова «касситерос» — олово (рис.115).

Сингония тетрагональная. Кристаллы призматического вида, дипирамидального, изометрические, характерны двойники. Кристаллы обычно мелкие, но иногда достигают 5 см. Также встречается в виде вкрапленных зерен неправильной формы.

Цвет темно-коричневый, бурый до черного. Черта светло-коричневая. Блеск металловидный или алмазный. Твердость 6,5 — 7. Хрупок. Спайность несовершенная. Излом раковистый. Плотность 6,8—7,0. Труден для диагностики, особенно в мелких зернах.

Характерной реакцией для распознавания касситерита служит получение так называемого «оловянного зеркала». Зерно минерала кладут на цинковую пластинку и смачивают каплей HCl. В случае касситерита грани зерна, лежащие на пластине, становятся светло-серыми за счет восстановления металлического олова. То же можно проделать, слабо нагревая касситерит в пробирке с небольшим количеством HCl в присутствии металлического цинка. После трения на сукне налет металлического олова становится блестящим.

Разновидности. Натечные скорлуповатые плотные формы касситерита бурого цвета, похожие на древесину, называются деревянистым оловом.

Диагностика. Распознается по облику кристаллов, большой плотности, сильному алмазному блеску, светлой черте.

Происхождение. 1. Пневматолитовое — генетически связан с кислыми изверженными породами, встречается в грейзенизированных и альбитизированных пегматитах, где нередко образуется богатые, но небольшие гнезда, и в грейзенах в связи с высокотемпературными жилами. Предполагается, что образование такого касситерита происходит по следующей схеме:



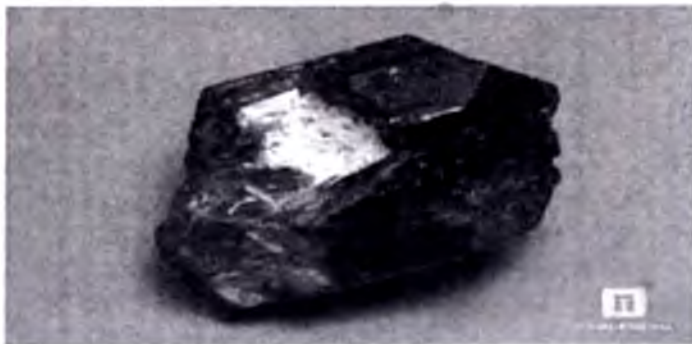
2. Гидротермальное — при этом различают две промышленные формации: касситерит-кварцевую и касситерит-силикатно-сульфидную, представленные жильными образованиями.

Встречается в парагенетической ассоциации со следующими минералами: в пегматитах с мусковитом, кварцем, альбитом, колумбитом; в грейзенах с кварцем, топазом, полевым шпатом, флюоритом, турмалином; в кварцевых жилах с вольфрамитом, молибденитом, пирротинитом, пиритом, халькопиритом, хлоритом.

В. Л. Барсуковым показано, что наиболее вероятной формой переноса олова является соединение  $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH}, \text{F})_6]$ , которое может объяснить его миграцию на значительные расстояния и характерный парагенезис с фторсодержащими минералами — слюдами, топазом, флюоритом и другими.

Касситерит устойчив в условиях выветривания, благодаря чему скапливается в россыпях, откуда и добывается в значительном количестве. Следует обратить внимание на характерные типоморфные особенности касситерита, имеющие большое поисковое значение. Облик кристаллов из пегматитовых жил и грейзенов преимущественно дипирамидальный, в кварцевых жилах (гидротермальное—происхождение) — призматический. Высокотемпературные образцы касситерита из пегматитовых жил содержат акцессорные примеси ниобия, индия, иногда тантала и бериллия и имеют черный цвет; более низкотемпературный касситерит гидротермального происхождения содержит примесь вольфрама и обычно имеет бурый цвет. Таким образом, если мы обнаружили касситерит в шлихах, то, проведя минералогическое изучение и спектральный анализ, можно узнать, происходит ли данный касситерит из пегматитовых или кварцевых жил и соответственно направить поисковые работы.

**Применение.** Касситерит является важнейшей рудой на олово. Олово применяется в легкоплавких сплавах с Cu, Zn и Pb, для лужения, получения белой жести и др.



*Рис. 115. Касситерит*

### **Бериллиевые минералы**

Бериллий (Be) – двухвалентный металл второй группы.



Атомный вес 9,02; порядковый номер 4; изотопы 8, 9, 10, 11.

Радиус атома 1,13 А°, радиус иона 0,34 А°. Кларк  $1 \cdot 10^{-4}$ .

Уд.в. 1,86, температура плавления 1278°, тв. 5.

Бериллий был открыт Вокленом в 1797 г.; в Европе и Америке его называют иногда также глицинием, от греч. глицюс – сладкий, так как соли бериллия имеют сладкий вкус.

Металлический бериллий применяется главным образом в сплавах с медью, образуя бронзы необычайной твердости и исключительно высоких механических качеств. Металлический бериллий применяется также в рентгентехнике; соединения бериллия – в керамическом, стекольном, красочном и других производствах.

В химии земной коры этот элемент не играет особой роли. Минералы бериллиевой группы концентрируются преимущественно в пегматитовых жилах и пневматолитах.

### Из бериллиевых минералов рассмотрим:

Берилл  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$

**Берилл  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  (Be 5.1 %).** (рис. 116)

Сингония гексагональная. Кристаллы столбчатого вида, обычно представляют собой комбинацию гексагональной призмы и пинакоида, иногда головка кристаллов усложнена дипирамидами. Характерно нахождение в кристаллах; кристаллы крупные, масса их достигает нескольких десятков килограммов.

Цвет зеленый, желто-зеленый, голубой, белый, розовый, Блеск стеклянный. Излом неровный. Твердость 7,5-8. Хрупок. Спайность несовершенная. Излом неровный, часто раковистый. Плотность 2,7.

Разновидности. Прозрачные бериллы изумрудно-зеленого цвета носят название изумруда; зеленый цвет их обусловлен примесью хрома. Прозрачные, голубоватые бериллы цвета морской воды, называют акваарином (от латинского «аква» - вода, «марэ» - море).



Диагностика. Характерны гексагональные призматические кристаллы, светло-зеленый цвет, большая твердость, гексагональной сингонии и нахождение в пегматитах.

Происхождение. Пегматитовое – в ассоциации с полевым шпатом, кварцем, мусковитом, турмалином и другими минералами пегматитовых жил. Это важный промышленный тип бериллиевых руд. Также характерно пневматолитовое происхождение в грейзенах и высокотемпературных жилах; здесь берилл ассоциирует с топазом, вольфрамитом, касситеритом, молибденитом.



*Рис. 116. Берилл*

Применение. Используется как руда на бериллий, который применяется для получения легких сплавов с магнием, алюминием и медью. Соли бериллия применяются в различных отраслях промышленности. Изумруд – драгоценный камень первого класса, аквамарин – также драгоценный камень, применяемые в ювелирном деле. Бериллиевые соли находят применение в различных отраслях промышленности и в медицине.

### **Литиевые минералы**

Литий (Li) – щелочной одновалентный металл первой группы. Атомный вес – 6,94; порядковый номер 3; изотопы 6 и 7.

Радиус атома 1,57 А°, радиус иона 0,78 А°. Кларк 0,012.

Уд в. – 0,53 – самый легкий металл. Тв. 0,6. Плавится при 179°. Имеет сербристо-белый цвет.

Литий как элемент открыт в 1817 г. Арфведсоном и назван греческим словом литеос, что значит каменный, так как впервые был открыт в камне.

Литий применяется в металлургии, повышая твердость сплавов и понижая их хрупкость и коэффициент расширения. Соли лития, фтористые и хлористые, применяются при паянии алюминия, силикаты лития – в керамике, прочие соли – в медицине и пиротехнике.

Общее количество добычи лития в год невелико – несколько сотен тонн.

### **Из минералов лития рассмотрим:**

Сподумен  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

Лепидолит и цинвальдит  $(\text{OH}, \text{F})_2\text{KLiAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$

**Сподумен  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$** , содержания  $\text{Li}_2\text{O}$  8.1 %. (рис.117)

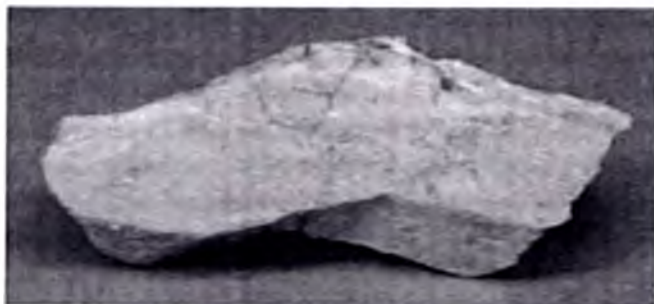
Сингония моноклинная. Кристаллы вытянутые, пластинчатые, крупные. Цвет белый, серый, зеленоватый, фиолетовый (кунцит).

Спайность совершенная. Блеск стеклянный. Твердость 6-7. Плотность 3,2. Похож на полевой шпат, от которого отличается уплощенными кристаллами, занозистым изломом и парагенезисом.

Диагностика. Образует дощатого вида крупные светлые кристаллы с совершенной спайностью и занозистым изломом.

Происхождение. Пегматитовое, нередко кристаллы сподумена ориентированы поперек жилы. Парагенезис: кварц, полевой шпат, клевеландит, мусковит, лепидолит, полихромные и розовые турмалины, берилл, касситерит, танталит.

Применение. Важнейшая руда на литий. Добавка лития к алюминию и свинцу придает им твердость, устойчивость к коррозии. Литий употребляется также в сплавах и в виде различных препаратов в медицине и фотографии.



*Рис. 117. Сподумен*

**Лепидолит**  $\text{KLi}_2\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH}, \text{F})_2$  – литиевая слюда.

Сингония моноклинная. Цвет розовый, светло-фиолетовый. Листочки в отличие от других слюд не дают больших пластинок. Часто образует изогнутые скорлуповатые формы и тонкозернистые массы. Блеск стеклянный. Твердость 2-3. Спайность весьма совершенная. Плотность 2,8-2,9.

Диагностика. Порозовой или сиреневой окраске, скорлуповатой форме листочков и парагенезису. П.п.тр. легко плавится в белую эмаль. Окрашивает пламя в красный цвет.

Происхождение. Встречается в редкометальных пегматитах и грейзенах. В пегматитах ассоциируют с клевеландитом, кварцем, сподуменом, полихромными турмалинами, бериллом.

Применение. Является одним из главных источников получения солей лития, применяющихся при изготовлении щелочных аккумуляторов (для подводных лодок), получения специальных оптических стекол, в пиротехнике (яркий красный цвет), медицине, синтезе органических соединений, приготовлении искусственных минеральных вод, в фотографии, рентгенографии и пр.

### **Циркониевые минералы**

**Цирконий (Zr)** – четырехвалентный металл четвертой группы.

Атомный вес 91,22; порядковый номер 40; изотопы 90, 92, 94, 96 (?). Радиус атома 1,60 Å, радиус иона 0,87 Å. Кларк  $5 \cdot 10^{-3}$ . Уд.в. 6,53; температура плавления 1900°.

Окись циркония выделил впервые Клапрот в 1787 г., а металлический цирконий получил Берцелиус в 1824 г.

Металлический цирконий прибавляется в сплавы для улучшения литья, так как он поглощает кислород и азот. Известны также твердые сплавы циркония с кобальтом и никелем. Применяется (в виде двуокиси) для сверхогнеупорных изделий, таже в производстве змали, в фарфоровом и стекольном производстве, в красочном деле, в медицине. Циркониевые соединения обычно содержат примесь гафния.

### **Из минералов циркония рассмотрим:**

Циркон  $Zr[SiO_4]$

**Циркон  $Zr[SiO_4]$ .** В виде изоморфных примесей содержит гафний Hf, торий Th и редкие земли. Название в переводе с иранского означает «золотой цвет» (*рис.118*).

Сингония тетрагональная. Обычно встречается в виде хорошо образованных кристаллов. Из простых форм развиты тетрагональныепризмыидипирамиды. Тетрагональныйкороткостолбчатый облик кристаллов является важным диагностическим признаком, хотя в некоторых случаях (особенно в щелочных пегматитах) встречаются кристаллы, имеющие дипирамидальный вид.

Цвет золотистый, желтый, бурый, серый. Блеск алмазный. Характерны высокая твердость (7,5-8) и значительная плотность (4,7), спайность обнаруживается сравнительно редко. Излом неровный или раковистый.

Диагностика: по облику кристаллов, цвету, блеску, высокой плотности и твердости. В кислотах не растворяется.

Происхождение. Магматическое и пегматитовое. Как акцессорный (второстепенный) минерал распространен в изверженных горных породах – гранитах и сиенитах, причем кристаллизуется одним из первых. Крупные кристаллы, размером 1 см и более, характерны для щелочных пегматитов. Встречается в парагенезисе с нолесвыми шпатами, апатитом, сфеном, нефелином, черной слюдой

(лепидомеланом), минералами редких земель, тантала, ниобия и тория. Как механически стойкий минерал циркон скапливается в россыпях, откуда и добывается (иногда совместно с монацитом).

**Применение.** Циркон является рудой на металл цирконий, употребляемый в производстве быстрорежущих сталей и броневых плит. Окись циркония используется как высокоогнеупорный и кислотоупорный материал. Попутно из циркона может добываться гафний.



*Рис. 118. Циркон*

## **Ниобовые и танталовые минералы**

Ниобий (колумбий) и тантал – пятивалентные элементы пятой группы.

Nb или Сb (колумбий), атомный вес 93,3; порядковый номер 41.

Ta – атомный вес 181,4; порядковый номер 73.

Nb – радиус атома 1,46 А°, радиус иона 0,69 (?) А°. Кларк  $6 \cdot 10^{-6}$ .

Ta – радиус атома 1,46 А°, радиус иона 0,69 (?) А°. Кларк  $2,3 \cdot 10^{-6}$ .

Ввиду тождественности радиусов ионов они легко друг друга замещают.

Уд.в. Nb = 8,56; температура плавления 1950°;

Уд.в. Ta = 16,6; температура плавления 3027°.

Металлический ниобий и тантал поглощают большое количество газа. Эти металлы применяются в антикоррозионных и сверхтвердых сплавах, в электротехнике, в изготовлении кислотоупорной химической аппаратуры.

### **Главнейшие минералы ниобовия и танталаследующие:**

Колумбит  $(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$

Танталит  $(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$

**Колумбит  $(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ .**

**Танталит  $(\text{Fe}, \text{Mn}) (\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$ .** Оба минерала представляют непрерывный изоморфный ряд. При преобладании ниобия минерал называется колумбитом, при преобладании тантала – танталитом. Марганец изоморфно замещает железо и нередко присутствует в большем количестве. Танталит более редок.

Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые от толстотабличатых до листоватых, иногда встречаются очень тонкие, толщиной в бумажный лист.

Цвет черный. Черта темно-красная до черной. Блеск металловидный. Спайность средняя. Излом неровный. Хрупкие. Твердость 6. Плотность 5,3 – 8,0.

Диагностика: по черному цвету, красноватой черте, высокой плотности и нахождению в пегматитах.

Происхождение. Пегматитовое – встречаются в так называемых редкометалльно-замещенных пегматитах, с интенсивным развитием процессов альбитизации и грейзенизации. Обычно находятся среди альбита.

Парагенезис: альбит пластинчатый и сахаровидный, микроклин, лепидолит, кварц, мусковит, сподумен, черный и полихромные турмалины, берилл, касситерит, фосфаты марганца и железа.

Применение. Колумбит и танталит являются важной рудой на тантал и ниобий.

## Минералы титана

Титан (Ti) – трех- и четырехвалентный элемент четвертой группы. Атомный вес 47,9; порядковый номер 22; изотопы 48, 50.

Радиус атома 1,45 Å°, радиус ионов 0,69 Åо и 0,64 Å°. Удельный вес 4,49; температура плавления 1800°. Кларк 0,22.

Титан открыт Клапротом в 1796 г., но еще до него в 1789 г. англичанин Грегор открыл «механин» из титанистого магнитного железняка.

В химии земной коры играют роль кислородные соединения титана.

Титан образует сплавы с большинством металлов. Применяется он главным образом в металлургии стали; также в химической и красочной промышленности, в керамике и стеклоделии, текстильной, кожевенной промышленности, пиротехнике и т.п. Всего имеется около 70 минералов титана

### Из минералов титана рассмотрим:

Рутил  $TiO_2$

Ильменит  $FeTiO_3$

Титанит  $CaTiSiO_5$

**Рутил  $TiO_2$ .** Название происходит от латинского слова «рутилус» - красноватый (рис.119). Сингония тетрагональная. Кристаллы призматические, исстрихованные вдоль, нередко игольчатые. Характерны коленчатые двойники и тройники.

Цвет коричнево-красный или темно-красный. Черта светло-коричневая, желтая. Блеск металловидный или алмазный. Твердость 6-6,5. Хрупок. Спайность совершенная. Плотность 4,2.

Разновидности. Сагениит – игольчатый рутил в сетчатых агрегатах или в виде вrostков в других минералах. Особенно часты нитевидные кристаллы рутила в кварце («волосатики»).

Диагностика. Отличается сильным блеском, формой, двойниками кристаллов и коричнево-красным цветом. От касситерита отличается меньшей плотностью. Неплавок.





*Рис. 119. Рутил*

Происхождение. Магматогенное – в основных и щелочных изверженных породах. Метаморфическое – в гнейсах и сланцах. Гидротермальное – в кварцевых жилах и особенно жилах альпийского типа, где рутил образует отдельные кристаллы и друзы. Встречается в россыпях.

Применение. При значительных скоплениях является важной титановой рудой. В керамике в качестве бурой краски, в радиотехнике как детектор, для изготовления титановых белил.

**Ильменит** (титанистый железняк)  $\text{FeTiO}_3$  (Fe 36,8 %; Ti 36,6 %). Название происходит от Ильменских гор на Урале.

Сингония тригональная. Кристаллы толстотаблитчатые, пластинчатые, встречается обычно в виде неправильных вкрапленников.

Цвет железно-черный. Черта черная, буроватая. Блеск металлический или металловидный. Излом раковистый. Спайность весьма несовершенная. Твердость 5,5. Плотность 4,7. Слабомагнитен.

Диагностика. В отличие от магнетита не магнитен, от гематита отличается цветом черты, от хромита – по форме выделения.

Происхождение. Магматическое – связан с основными изверженными породами, в которых образует жилы и вкрапленники. Часто находится в пегматитах щелочной магмы. В зоне выветривания устойчив и скапливается в россыпях.

Спутниками ильменита являются магнетит, рутил, сфен, полевые шпаты, биотит, ванадиевая шпинель.



Месторождения. Известен в пегматитах Ильменских гор.

Применение. Ильменит является важнейшей рудой на титан. Употребляется для получения металлического титана, ферротитана, особых сортов стали и белой краски (титановые белила).

**Титанит (сфен)  $\text{CaTi}[\text{SiO}_4] \text{O}$ .** (рис.120)

Сингония моноклинная. Кристаллы клиновидной, таблитчатой формы, плоские. Характерны одиночные кристаллы, вросшие в полевой шпат, - все они в поперечном сечении имеют форму ромба.

Цвет коричневый, бурый, золотистый. Черта белая. Блеск алмазный, в изломе жирный. Спайность несовершенная. Твердость 5,5. Плотность 3,4-3,5.

Диагностика: по плоским клиновидной формы кристаллов коричневого цвета и алмазному блеску.

Происхождение. Титанит может быть различного происхождения. Как акцессорный минерал в интрузивных породах он имеет магматическое происхождение. Крупные кристаллы титанита (до нескольких сантиметров) встречаются в пегматитовых жилах, особенно щелочного состава. Здесь он ассоциирует с полевым шпатом, роговой обманкой, ильменитом, цирконом и другими минералами. Обычен для некоторых контактов с известняками (с диопсидом, апатитом, скаполитом) и для метаморфических пород. В жилах альпийского типа в ассоциации с кальцитом, адуляром, хлоритом образует красивые кристаллы.

Применение. Значительные скопления титанита могут иметь промышленное значение как руда на титан.



*Рис. 120. Титанит (сфен)*

## Хромовые минералы

Хром (Cr) – трех- и шестивалентный элемент шестой группы. Атомный вес 52,01; порядковый номер 24; изотопы 50, 52, 53, 54.

Радиус атома 1,28 Å, радиус иона 0,64 Å, 0,3 Å – 0,4 Å.

Уд.вес 6,9 – 7,2; температура плавления 1765°. Кларк  $9 \cdot 10^{-3}$ .

Хром открыт Вокеленом в 1797 г.

Хром применяется для специальных сортов стали в сплавах с железом, никелем, ванадием, вольфрамом, молибденом, кобальтом; проволоки с низкой электропроводностью; для изготовления красок, для дубления; хромит, кроме этого, употребляется как основной огнеупор.

### Главнейшие минералы хрома следующие:

Хромит  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$

Хромит (хромистый железняк)  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  (FeO 32,0 %;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  68,0 %).

Сингония кубическая. Обычно массивный, в зернистых агрегатах.

Цвет черный. Черта бурая (важно для диагностики). Блеск металловидный. Твердость 5,5. Спайность отсутствует. Плотность 4,5–4,8.

Диагностика: по черному цвету, бурой черте, высокой твердости и реакции на хром и парагенезису.

Происхождение. Исключительно магматическое – в связи с ультраосновными горными породами, образует вкрапленность, шпировые выделения или залежи в дунитах, перидотитах и серпентинитах. Парагенезис: серпентин, оливин, магнетит, уваровит, платина, хромовый хлорит и др.

Применение. Хромит — единственная руда на хром. В металлургии хром употребляется как добавка к сталям, что придает им вязкость, повышает твердость и антикоррозионные свойства. Бедные хромовые руды используются в металлургии как огнеупорный материал.

## Минералы платиновой группы

Осмий, иридий и платина принадлежат к восьмой группе.

Осмий (Os) – атомный вес 191,5; порядковый номер 76; изотопы 186, 187, 188, 189, 190.

Радиус атома 1,34 А°, радиус иона 0,67 А°. Кларк  $5 \cdot 10^{-7}$ .

Уд.в. 22,48; температура вес 193,1; порядковый номер 77.

Иридий (Ir); атомный вес 193,1; порядковый номер 77.

Радиус атома 1,35 А°, радиус иона 0,66 А°. Кларк  $1 \cdot 10^{-7}$ .

Уд.в. 22,65; температура плавления 2440°.

Платина (Pt); атомный вес. 195,23; порядковый номер 78.

Радиус атома 1,38 А°. Кларк  $4 \cdot 10^{-7}$

Уд.в. 21,4; температура плавления 1762°.

Платина была известна в Америке в глубокой древности; как химический элемент она выделена в 1750 г. Ватсоном. Осмий и иридий открыты Тенантом в 1804 г.

Платиновые металлы в земной коре концентрируются в ультраосновных породах, где они выделяются в самородном виде, образуя самородные минералы; после разрушения этих пород платина попадает в россыпи, откуда она обычно и добывается.

### Из минералов платины рассмотрим:

Самородная платина Pt (рис.121)

Платина Pt. В чистом виде не встречается, обычно она образует твердые растворы с железом, иридием, палладием, родием, осмием медью и другими металлами. В связи с этим различают платину иридистую, палладистую, родистую и др. Наиболее распространенным в природе является поликсен (Pt, Fe) с содержанием железа 9-11 %.

Сингония кубическая. Обычно находится в неправильных зернах, самородках. Цвет и черта светлые, стально-серые. Блеск металлический твердость 4—4,5. Ковкая, излом крючковатый.

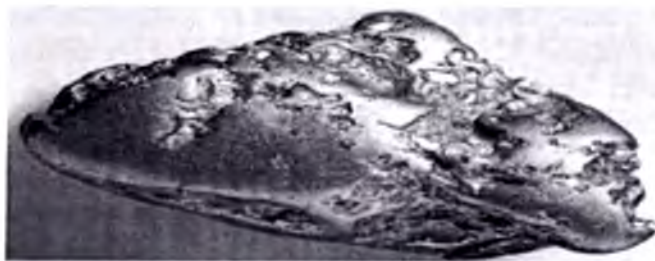
Диагностика. Отличительными свойствами платины являются большая плотность (15—19), тугоплавкость (температура плав-

ления 1771°) и химическая инертность. Платина растворяется только в царской водке.

Происхождение. Магматическое — генетически связана с ультраосновными породами (дунитами, перидотитами, пироксенитами), образуя в них вкрапленность или шлировые выделения. Спутниками платины являются оливин, пироксен, хромит, магнетит. В результате выветривания ультраосновных пород платина скапливается в россыпях, откуда добывается промывкой.

Применение. Платина применяется для изготовления химической посуды (тиглей, шпателей, чашек), как катализатор в химической промышленности и как благородный металл в ювелирном и зубоврачебном деле.

Месторождения. Платиноносные россыпи Урала пользуются мировой известностью. Здесь был найден крупнейший в мире самородок платины массой 9,6 кг. Добыча платины ведется драгами. Россыпные месторождения известны в Колумбии. Содержание платины в россыпях должно быть не менее 0,1-0,5 г/т.



*Рис. 121. Платина Pt.*

### **Минералы радиоактивных элементов**

Всего насчитывается 42 радиоактивных элемента, образующиеся один из другого они составляют три семейства или ряда ( урана, актиния, тория). Кроме того , имеются ещё одиночные радиоактивные элементы: калий, рубидий, самарий может быть, бериллий, иллий.

Из них мы рассмотрим только уран и торий.

Уран (U) – четырёх и шестивалентный металл шестой группы. Атомный вес 238,14; порядковый номер 92. Радиус атома  $1,60 \text{ \AA}$ , радиус иона  $1,05 \text{ \AA}$  Кларк  $4 \cdot 10^{-5}$ . Удельный вес 19,20. Уран открыт Клапротом в 1789 году. Уран даёт соединения с кислородом ( $\text{UO}_2$ ). Радикал ( $\text{U}^{\text{vi}}\text{O}_2$ ) с двумя свободными валентностями носит название уранила. Он обладает основными свойствами. Известны соли уранила, уранил-сульфат ( $\text{UO}_2(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; производные трёхокси урана ( $\text{UO}_3$ ) называется уранатами, уранат натрия  $\text{Na}_2(\text{U}_2\text{O}_7)6\text{H}_2\text{O}$ .

Из урановых соединений добывается радий, кроме того сам уран применяется в своих солях в качестве керамической краски для флюоресцирующих стекол и пр.

Торий (Th) – четырёхвалентный элемент четвёртой группы. Атомный вес 232,12; порядковый номер 90. Радиус атома  $1,80 \text{ \AA}$ , радиус иона  $1,10 \text{ \AA}$  Кларк  $2 \cdot 10^{-4}$ . Удельный вес 11,68, температура плавления  $1700^\circ$ . Открыт Берцелиусом в 1828 году.

Кислородные соединения тория – окись  $\text{ThO}_2$  – даёт соединения с кремнезёмом. Из ториевых соединений добывается мезоторий (изотоп радия). Сам торий употребляется для производства калильных сеток, нитрат тория в смеси с порошком магния употребляется для получения вспышек.

### Группа уранинита

К группе уранинита относятся двуокиси урана, тория и циркония, среди которых наибольшее значение имеет изоморфный ряд уранинита и бадделеит.

Уранинит -  $\text{UO}_2$  Под названием уранинита в настоящее время объединяются минералы, образующие изоморфный ряд, крайними членами которого уранинит -  $\text{UO}_2$  и ториянит -  $\text{ThO}_2$ , получившие название по содержанию урана и тория.

Химический состав характеризуется наличием  $\text{UO}_2$  (от 4,41 до 74,43%)  $\text{UO}_3$  (от 1,8 до 59,9%),  $\text{ThO}_2$  (от следов до 93,02%), Pa, Ac, Po, TR, Pb и Hc (свинец и гелий являются продуктами радиоактив-

ного распада. Синоним для уранинита – урановая смоляная руда, урановая смолка. Известны также разновидности уранинита: 1) Урановая чернь, или урановая охра – порошковатая землистая разновидности; 2) настуран – вторичное образование в виде гроздбевидных и натечных форм, иногда в виде псевдоморфоз по ураниниту; 3) нивенит – сплошная, иттрий содержащая разновидность; 4) клевет – разновидность, содержащая иттрий, европий, торий и особенно много аргона и гелия, а также воду.

Сингония кубическая, вид симметрии – гексоктаэдрический –  $Rm\bar{3}m(3L_4, 4L_3, 6L_2, PC)$ .

Агрегаты и габитус. Уранинит образует зернистые массы и натёчные агрегаты, реже он наблюдается в отдельных кристаллах, растающих в породе и представляющих собой комбинацию октаэдра и куба, ромбического додекаэдра. Торианит наблюдается в виде кубических и октаэдрических кристаллов, обычно более или менее округленных (окатанных водой). Для него отмечаются двойники прораствания.

Физические свойства. Цвет уранинита смолянно-чёрный, цвет черты – чёрный. У торианита – темно-серый до коричнево-чёрного и чёрного; черта серая до зеленовато-серой. Блеск смолистый или полуметаллический, матовый на несвежих изломах. В тонких пластинках просвечивает. Излом неровный, раковистый. Твёрдость уранинита – 5-6, торианита – 6,5. Хрупкие. Плотность уранинита 10,3-10,6, торианита – 9,7. Сильно радиоактивные. Оптически изотропны. Под микроскопом в проходящем свете уранинит зеленоватый, желтоватый и тёмно-коричневый, торианит – бурый и почти непрозрачный. В полированных шлифах имеют серый цвет с коричневым оттенком. Отражательная способность низкая – около 14%.

Диагностика. Основным признаком уранинита и торианита является сильная радиоактивность. Главные линии на рентгенограммах: уранинита – 3,112; 1,917; 1,634; торианита – 3,126; 1,964; 1,675; Растворяются в  $HNO_3$ ,  $HF$ ,  $H_2SO_4$  и труднее в  $HCl$ . П.п.т не плавится.

Отличие от сходных минералов. Уранинит похож на блеклую руду и ильменит. Отличия: 1) блеклая руда имеет матовый блеск. Плотность ниже 5, радиоактивность отсутствует; 2) ильменит имеет меньшую плотность и другие кристаллические формы.

Образования и месторождения. Месторождения уранинита редки. Встречается вместе с ортитом, торитом и другими минералами пегматитовых руд. В гидротермальных месторождениях и рудных жилах уранинит находится в ассоциации с серебро-кобальтовыми и серномышьяковыми минералами, с галенитом, баритом и касситеритом (в оловянных месторождениях). Гидротермальные месторождения дают выше 80% всей добычи урана.

Практическое значение. Являются важнейшей урановой и радиевой рудой.

## Указатель минералов и элементов

### А

Авгит	67
Адуляр	86
Азот	102
Азурит	187
Акантит	172
Акварин	198
Акмит	68
Актинолит-асбест	71
Актинолит	71
Альбит	84
Альмандин	58
Алюминий	90
Алмаз	97
Алунит	93
Амазонит	87
Амфиболы	71
Ангидрит	138
Англезит	178
Андалузит	61
Андезин	83
Андрадит	57
Анортит	83
Антигорит	76
Апатит	115
Арагонит	136
Аргентит	173
Арсенопирит	163
Асболан	150
Аурипигмент	162

### Б

Базальтический авгит	67
Байкалит	66
Барий	155
Барит	156
Бастит	76
Берилл	199
Бериллий	198
Биотит	82
Бирюза	117
Битовнит	86
Бор	118
Бриллиант	97

### В

Вад	150
Висмут	190
Висмутин	190
Витерит	157
Волластонит	69
Вольфрам	193
Вольфрамит	193

### Г

Галенит	176
Галит	124
Галлуазит	79
Гарниерит	76
Геденбергит	66
Гематит	144



Гидроборацит	121	Исландский шпат	133
Гиперстен	64		
Гипс	137	<b>К</b>	
Глаберовая соль	128	Калий	130
Глессит	100	Калиевая селитра	104
Глины	78	Кальций	133
Гранат	57	Кальцит	134
Графит	99	Каолинит	78
Гроссуляр	57	Карналлит	132
Гюбнерит	192	Касситерит	196
		Кианит	60
	<b>Д</b>	Киноварь	166
Диаллаг	68	Клевеландит	84
Диаспор	92	Клейофан	179
Диопсид	65	Кобальт	188
Дистен	60	Кобальтин	189
Доломит	142	Кобальтовый блеск	
Дравит	119	Колумбит	205
		Корунд	91
	<b>Ж</b>	Красный железняк	143
Железный Блеск	143	Кремний	49
Железо	142	<b>Л</b>	
		Лабрадор	85
	<b>З</b>	Лавровит	64
Змеевик	75	Лазурит	89
Золото	169	Лепидомелан	82
		Лепидолит	202
	<b>И</b>	Лимонит	147
Известняк	133	Литий	200
Изумруд	197	Лунный камень	86
Ильменит	207	Лучистый камень	71
Индиголит	118		
Иридий	209		

<b>М</b>		Олова	196
Магnezит	141	Орлец	70
Магнетит	145	Ортоклаз	86
Магний	140	Осмий	210
Малахит	186	Офит	76
Марганец	149		
Марказит	109	<b>П</b>	
Марматит	180	Пирит	108
Медь	182	Пироксен	64
Медный блеск	183	Пиролозит	150
Медный колчедан	184	Пироп	58
Микроклин	87	Пирротин	110
Мирабилит	128	Плавиновый шпат	158
Молибден	191	Плагиоклазы	83
Молибденит	191	Платина	209
Монтмориллонит	80	Повеллит	190
Мрамор	133	Полевые шпаты (Na-Ca)	82
Мусковит	80	Полевые шпаты (K)	83
Мышьяк	160	Псиломелан	151
Мышьяковый колчедан	162		
		<b>Р</b>	
<b>Н</b>		Ратовкит	158
Наждак	90	Реальгар	161
Натрий	126	Ревдийскит	76
Натриевая селитра	104	Роговая обманка	72
Нефелин	88	Ртуть	165
Нефрит	72	Рубин	90
Ниобий	204	Рубеллит	118
Нонтронит	79	Родонит	70
		Родохрозит	152
<b>О</b>		Рутил	206
Оливин	56		
Олигоклаз	85		

**С**

Сагениит	204
Санидин	86
Сапфир	90
Свинец	175
Сера	105
Селенит	136
Серебро	171
Серицит	80
Серпентин	75
Сидерит	148
Сильвин	131
Силлиманит	62
Скородит	164
Слюды	80
Смитсонит	181
Содалит	89
Сода	129
Спессартин	58
Сподумен	201
Стибнит	167
Стронций	153
Сукцинит	100
Сурьма	167
Сфалерит	180
Сфен	

**Т**

Талнахит	184
Тальк	74
Тантал	204
Танталит	205
Тенардит	127

Титан	206
Титанит	208
Топаз	59
Торианит	210
Тремолит	71
Турмалин	119
Тяжелый шпат	155

**У**

Уваровит	58
Углерод	94
Уралит	73
Уранинит	212

**Ф**

Фаялит	56
Ферберит	194
Фельдшпатоиды	88
Флогопит	81
Флюорит	159
Форстерит	56
Фосфор	111
Фосфорит	115
Фтор	158
Фуксит	81

**Х**

Халцедон	53
Халькозин	184
Халькопирит	185
Хиастолит	60
Хлор	122
Хризолит	56

Хризотил	77
Хром	209
Хромит	209

## Ц

Целестин	154
Церуссит	178
Цинк	179
Цинковая обманка	180
Циркон	203
Цирконий	202

## Ч

Чароит	73
Чилийская селитра	104

## Ш

Шеелит	194
Шерл	119

## Э

Эгирин	68
Электрум	168
Элеолит	88
Эльбаит	119
Энстатит	64
Эпидот	63

## Я

Янтарь	100
--------	-----

## Список литературы

1. Introducing Geology: A Guide to the World of Rocks London 22 Apr. 2010.
2. Earth Science/ Geology, the Environment and the Universe Copyright © 2008 The McGraw-Hill Companies, Inc.
3. ESSENTIALS OF GEOLOGY. Geology-Textbooks. I. Tarbuck, Edward J. II. Title. QE26.3.L87 2012
4. Xaldar S.K., Josip Tisljar. Intraducshin to mineralogy and petrology (Введение в минералогию и петрографии). Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Sydney, Tokyo, 2014.
5. Ф.Хетч, А. Уэллс. М. Уэллс. Петрология магматических пород. Перевод с английского П.П. Смолина. Из-во «Мир» Москва: 1975.
6. К.Х. Адилханов. Минералогия. ИМП – 2017 г.
7. К.Х. Адилханов. Минералогия. ИМП – 2014 г.
8. К.Х. Адилханов, Н.Ш. Туляганова Кристаллография и минералогия. ТГТУ, 2017.
9. А.Г. Бетехтин. Минералогия. Москва: 2003г.
10. В.Т. Toshmuhamedov, M.V. Abdunabiyeva, N.Sh. Tulyaganova. «Kristallografiya va mineralogiya» fanidan uslubiy qo'llanma. Toshkent: 2011.
9. M.V. Abdunabiyeva «Kristallografiya va mineralogiya» fanidan uslubiy qo'llanma. Toshkent: 2016.
10. Т.З. Шермухаммедов. «Чўкинди тоғ жинслари петрографияси», дарслик, Тошкент: ИМП. 2013.
11. N.Sh. Tulyaganova Petrografiya. Fan va texnologiya nashriyoti. Toshkent: 2014.
12. T.N. Dolimov, A.A. Musayev, O.Q. Qo'shmurodov, I.N. G'aniyev, M.H. Qodirov, X.D. Eshbayev. «Petrografiya», O'quv qo'llanma, Toshkent: O'zMDU, 2005.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Кристаллография.....	4
Определение элементов симметрии.....	4
Кристаллографические категории, сингонии, классы.....	6
Определение простых форм и комбинаций.....	9
32 Вида симметрии.....	18
Искусственное выращивание кристаллов образование и рост кристаллов.....	21
Расчет координационных чисел.....	25
Решетка Бравэ.....	30
Знакомство с музеем минералогии.....	31
Определение минералов по внешним признакам.....	32
Вычисление химической формулы минералов.....	41
Вычисление химических формул минералов.....	42
Метод паяльной трубки.....	42
Определение удельного веса минерала.....	45
Удельный вес вычисляется по формуле:.....	49
Минералы кремния.....	49
Группа гранатов.....	57
Группа топаза.....	59
Группа силлиманита.....	60
Группа эпидота.....	63
Группа пироксенов.....	64
Группа пироксеноидов.....	69
Группа амфиболов.....	71
Группа талька.....	74
Группа серпентина.....	75
Группа глини.....	78

Группа слюд .....	80
Группа полевых шпатов .....	83
Группа полевых шпатов (К).....	86
Группа фельдшпатоидов .....	88
Группа содалита. Содалит .....	89
Алюминиевые минералы .....	90
Минералы углерода.....	94
Минералы азота.....	102
Минералы серы.....	105
Минералы фосфора.....	111
Минералы бора .....	118
Минералы хлора .....	122
Натровые минералы .....	126
Из минералов натрия мы рассматриваем .....	127
Калиевые минералы .....	130
Кальциевые минералы .....	131
Магниевые минералы .....	140
Минералы железа .....	142
Марганцовые минералы .....	149
Стронциевые минералы.....	153
Бариевые минералы .....	155
Минералы фтора.....	158
Мышьяковые минералы.....	160
Ртутные минералы .....	165
Минералы сурьмы.....	167
Минералы золота.....	169
Минералы серебра.....	171
Минералы свинца .....	175
Минералы цинка .....	179
Минералы меди .....	182
Кобальтовые минералы.....	188

Висмутовые минералы .....	190
Молибденовые минералы .....	191
Минералы вольфрама.....	193
Минералы олова .....	196
Бериллиевые минералы .....	198
Литиевые минералы .....	200
Циркониевые минералы.....	202
Ниобовые и танталовые минералы.....	204
Минералы титана .....	206
Хромовые минералы .....	209
Минералы платиновой группы .....	210
Минералы радиоактивных элементов .....	211
Группа уранинита .....	212
Указатель минералов и элементов .....	215
Список литературы .....	220



КАРИМ АДИЛХАНОВ, НАРГИЗА ТУЛЯГАНОВА

# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

**Рекомендовано Министерством высшего  
и среднего специального образования в качестве  
учебного пособия по практическим занятиям**

Издательско-полиграфическое объединение  
«Международной исламской академии Узбекистана»  
Ташкент – 2020

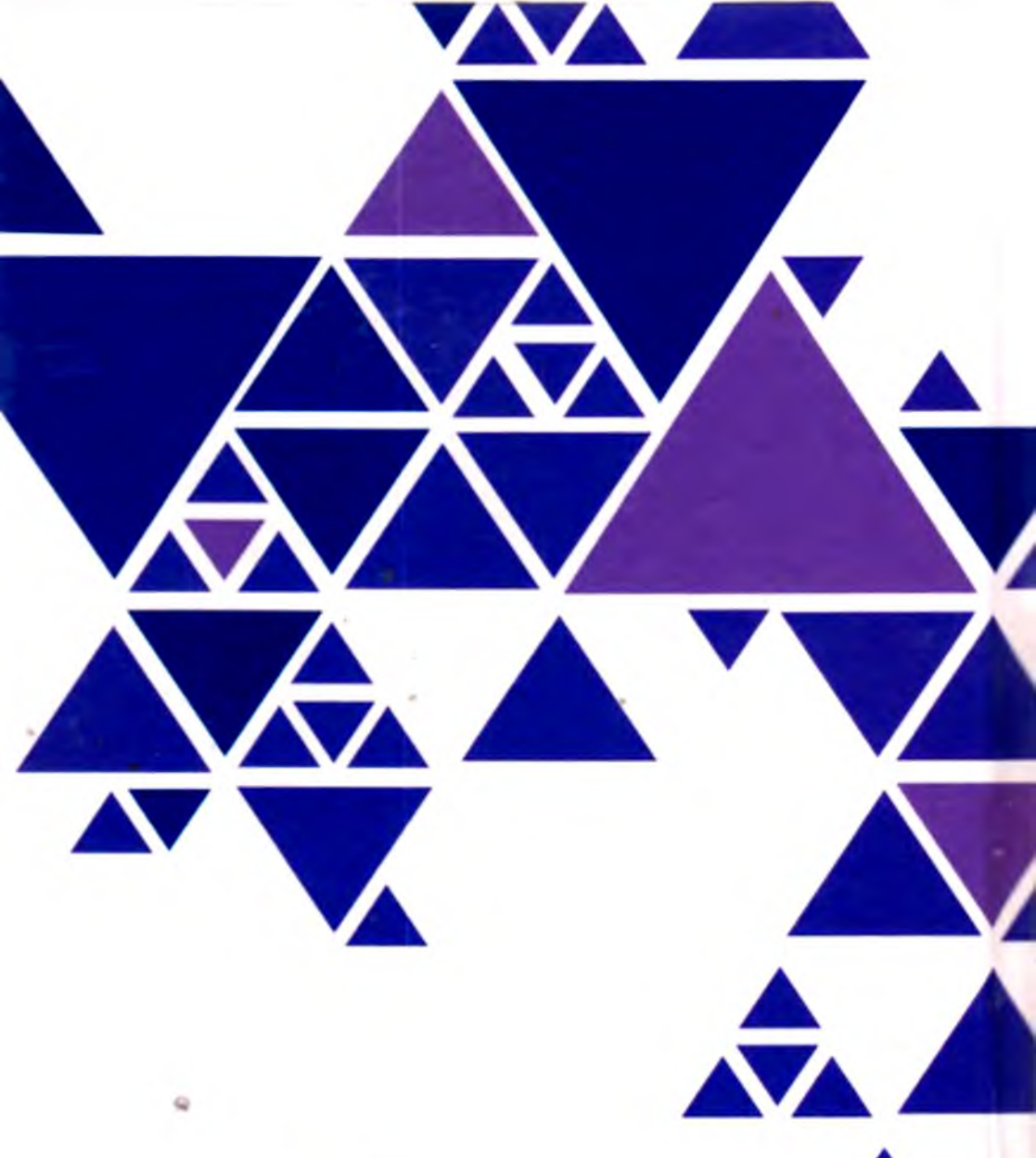
Издатель: **И.Ашурматова**  
Редактор: **А.Кабилова**  
Художественный редактор: **Ф.Собирова**  
Верстальщик: **Л.Абдуллаева**

**Нашр. лиц. АА № 0011. 06.05.2019 й.**

Разрешено к печати 12.11.2020.  
Формат 60x84  $\frac{1}{16}$  Усп. п.л. 12,9. Изд. пл. 13,4.  
Тираж 200. Заказ № 69.

Издательско-полиграфическое объединение  
Международной исламской академии Узбекистана.  
Индекс: 100011. Ташкент, ул. А.Кадыри й.

**www.iiiau.uz      e-mail: nashr@iiiau.uz**



ISBN 978-9943-6712-2-5



9 789943 671225