

А. Р. ТИТОВ

# МИНЕРАЛОГИЯ



УДК 547.4(075) 406.0

А. Г. ТИТОВ

549:548(071.1)

549:548

Т 45

# МИНЕРАЛОГИЯ С ОСНОВНЫМИ СВЕДЕНИЯМИ ИЗ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Допущено Всесоюзным комитетом  
по делам высшей школы при Совнаркоме СССР  
в качестве учебника для высших педагогических  
учебных заведений

644

181



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
НАРКОМПРОСА РСФСР. • МОСКВА • 1938

Ответственный редактор *М. М. Местергази.*  
Технический редактор *Е. Г. Доскач.*  
Переплет художника *Л. Б. Кащенко.*  
Рисунки в тексте художников: *Д. Ф. Паршина, В. М. Окорокова, Н. Ф. Пелецкого, А. Л. Гурова, О. В. Святницкой, А. Ткачева.*  
Корректор *Л. И. Безр.*

\*

Сдано в набор 3/VIII 1937 г. Подписано к печати 19/III 1938 г. Тираж 10 000 экз. Формат бумаги  $60 \times 92\frac{1}{16}$ . Бумага Камской бумфабрики. Печ. лист.  $17\frac{3}{4} + 2$  вклейки  $\frac{1}{4}$  печ. лист. Автор. лист.  $23,1 + \frac{1}{4}$  лист. вклейки. Уч.-авт. лист.  $23,1 + \frac{1}{4}$  лист. вклейки. Бум. лист.  $87\frac{7}{8} + \frac{1}{8}$  лист. вклейки. В 1 бум. листе 103 000 печ. знаков.

\*

Уполномоченный Главлита № Б-39299. Учпедгиз № 9610. Индекс У-3. Заказ № 1694.

\*

Цена книги 3 р. 80 к. Переплет 2 р.

\*

2-я типография Огиза РСФСР треста „Полиграфкнига“ „Печатный Двор“ им. А. М. Горького, Ленинград, Гатчинская, 26.

# О П Е Ч А Т К И

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей вине</i>
46	11 сверху	массу	решетку	По вине издательства
47	подпись под рисун- ком 76	циркон	цирконий	По вине издательства
94	под рисун- ком 108	Глубины и давле- ние в клм.	Глубины в клм. и давление в атм.	По вине издательства
116	в нижней табл. в 3-м столб. 1 стр. сверху	20.64	30.64	По вине издательства

К книге Титова, А. Г. „Минералогия“. Зак. 1694.

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

Предлагаемое руководство написано для учащихся педагогических институтов и первоначально было рассчитано на слушателей биологического отделения. Однако в дальнейшем это было несколько изменено и расширено, а именно, в рассматриваемых темах сейчас учтены также интересы географов и химиков.

Весь курс распадается на две части: кристаллографическую и минералогическую. В кристаллографической части даются только общие сведения о кристаллах, и рассмотрению подлежат лишь главные вопросы, касающиеся строения и структуры кристаллического вещества, а также вопросы, связанные с характеристикой формы их, симметрии и некоторых физических свойств. Минералогический раздел представляет вторую часть курса и в свою очередь делится на три основных отдела: I. Общие сведения о минералах. II. Генетическая минералогия. III. Описание минералов. Элементы петрографии занимают в этом курсе очень немного места, вследствие того что часть горных пород описывается в курсе геологии для педвузов.

В виде заключительной части приведена и кратко описана периодическая система элементов, в основном это преследует цель описания и краткой характеристики простых тел.

Автор далек от мысли о совершенстве курса. Конечно, в нем еще много недостатков, указания на которые с благодарностью будут учтены автором.

*А. Титов.*

17 апреля 1937 г.

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ КРИСТАЛЛОГРАФИИ.

**Общие замечания.** Все вещества, известные в природе, а также получаемые искусственно, могут быть в трех состояниях: в газообразном, жидком и твердом. Твердым состоянием считают состояние кристаллическое, тогда как газы и жидкости являются представителями некристаллических, или аморфных, тел.

Не следует, однако, представлять, что только твердое состояние отвечает состоянию кристаллическому, среди некристаллических аморфных тел наблюдаются также тела твердые, как, например, стекла. Но физические свойства этих тел резко отличны от свойств тел кристаллических и больше приближаются к свойствам жидкостей, а потому их обыкновенно принимали и принимают за так называемые переохлажденные жидкости<sup>1</sup>. Основным признаком кристаллов является геометрическая форма, присущая этим телам в качестве естественного облика и создающаяся в процессе образования их.

Способность кристаллов к самоограничению давно обратила на себя внимание исследователей и повела в свое время к тщательному изучению этих веществ, в результате чего получился богатейший материал, характеризующий геометрические формы кристаллов.

Однако мы сейчас знаем, что внешняя геометрическая форма кристаллов не определяет собою сущности природы этих тел, а является лишь следствием внутреннего строения данных веществ.

Ввиду того что внешний геометрический облик всегда первым бросается в глаза и обращает на себя внимание, мы в нашем изучении и поставим эту тему первой — охарактеризуем некоторые группы веществ в кристаллическом состоянии в связи с распространением их и происхождением; это будет целесообразно и с методической стороны.

## **РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ОБЛИК КРИСТАЛЛОВ В СВЯЗИ С ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕМ.**

Не следует думать, что кристаллы представляют собой редкости; наоборот, они встречаются очень часто и можно без преувеличения сказать, что почти все твердые тела, окружающие нас, являются телами кристаллическими. Правда, крупные кристаллы можно встретить не всегда, их иногда можно получить искусственно, например из насыщенных растворов различных солей, или нередко можно видеть в минералогических музеях, где собраны различные минеральные

<sup>1</sup> О стеклообразном состоянии см. дальше, на стр. 18.

тела, среди которых попадаются превосходно образованные природные кристаллы, часто напоминающие модели. С кристаллами минеральных тел нередко соприкасаемся мы при разнообразных разведках на полезные ископаемые, при поисках руд или даже при обычных геологических и минералогических экскурсиях. Часто во время таких экскурсий удается собрать интересную и весьма поучительную коллекцию минералов в виде хорошо образованных кристаллов.

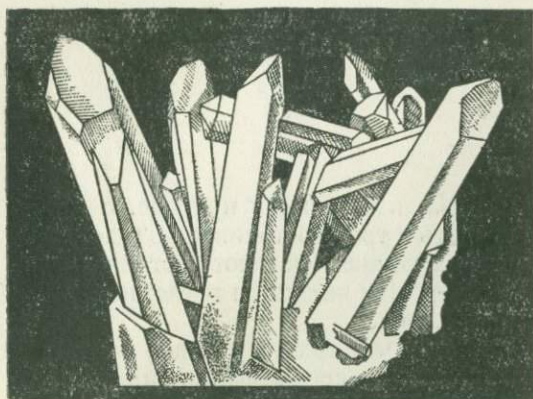


Рис. 1. Друза кристаллов кварца (из Dauphinée, Франция).

### Кристаллы минеральных тел.

На рисунке 1 приведены кристаллы кварца в виде так называемой друзы. Этот минерал весьма широко распространен в природе и встречается в различных мест-

ностях. Его кристаллы образованы хорошо развитыми призматическими гранями и относятся к гексагональной сингонии. Образовались такие кристаллы в большинстве случаев осаждением из водных растворов, циркулирующих в глубинных областях земли и несущих в себе растворимую кремниевую кислоту. Осаждение кристаллов обычно происходит в особых пустотах или трещинах различных горных пород, куда проникают эти растворы, нагретые до высокой температуры и связанные в некоторых случаях с высокими давлениями. Вследствие изменения внешних условий происходит кристаллизация растворимых веществ — кристаллы начинают осаждаться на внутренних стенках пустот, точно так же, как осаждаются различные соли в искусственных сосудах или трубках. Кварц обычно настолько хорошо кристаллизуется, что является одним из замечательнейших в кристаллографическом отношении минералов.

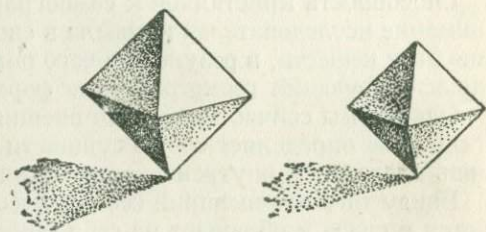


Рис. 2. Кристаллы магнетита, Урал.

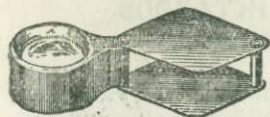


Рис. 3. Минералогическая лупа.

Рисунок 2 представляет внешний вид отдельных кристаллов магнетита, минерала очень важного, как руда на железо. Кристаллы магнетита имеют форму октаэдров, т. е. правильных восьмигранников, которые нередко являются хорошо образованными и попадают среди многих железорудных месторождений.

Приведенные примеры иллюстрируют случаи крупных кристаллических образований. Такие образования обычно называют м а к р о-

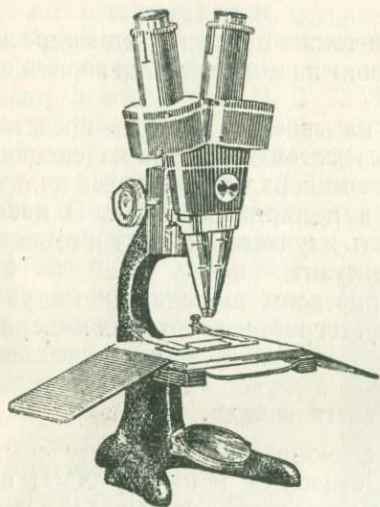


Рис. 4. Бинокляр.

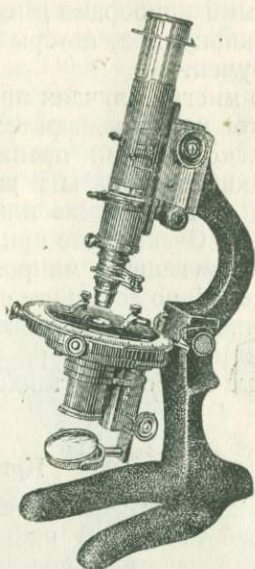


Рис. 5. Поляризационный микроскоп.

к р и с т а л л а м и. Но те же минералы, равно как и ряд других, еще чаще наблюдаются в виде м и к р о к р и с т а л л о в, встречающихся

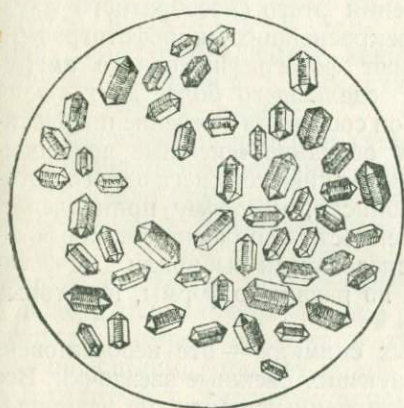


Рис. 6. Микроскопия кристаллов железистого кварца «компостельские рубины» из месторождения Сан-Ягоди-Компостелло, в Испании.

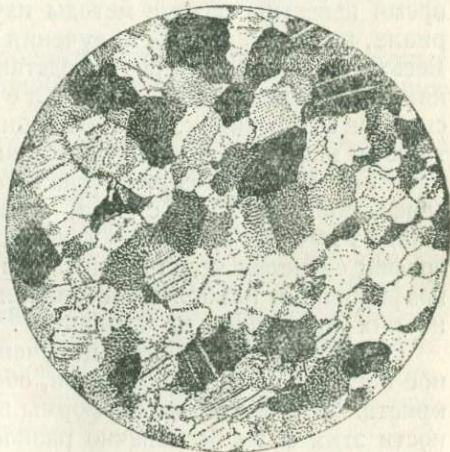


Рис. 7. Микрофотография мрамора из Каррары, Италия (из Weinschenk E.).

в сплошных скрытокристаллических массах. Микрокристаллы попадают нам почти на каждом шагу. Большинство горных пород, разнообразные соли и множество других объектов состоят из микрокристаллических агрегатов. Конечно, такие кристаллы весьма затруд-

нительно наблюдать простым невооруженным глазом, их не всегда можно хорошо разглядеть. Для этой цели пользуются увеличительными приборами и изучение их проводят или при помощи лупы, или бинокля, который в этом отношении является очень удобным инструментом.

Во многих случаях приходится также пользоваться микроскопом; для этой цели предварительно готовят из минерала или горной породы микроскопический препарат.

Такие препараты в виде так называемых шлифов представляют собой весьма тонкие пластинки, изготовляющиеся на специальных станках. Очень часто при изучении минеральных шлифов пользуются не обыкновенным микроскопом, а поляризационным. В последнем случае можно детальнее обследовать изучаемый объект и выявить ряд свойственных ему оптических констант.

На прилагаемых рисунках приведены вышеназванные увеличительные приборы, а также микрофотографии некоторых минеральных тел.

### Кристаллы снега и льда.

Кристаллографические формы снежинок прекрасно изучены. Первые работы в этом направлении относятся к началу XVII в.; этот период замечателен появлением классического сочинения К е п л е р а (1611) «Strena seu de nive sexangula» («Новогодний подарок или о шестиугольном снеге»).

С середины XIX в. и позднее изучение снежинок сопровождается микроскопическими наблюдениями с тщательным зарисовыванием их форм и разбором кристаллографических особенностей. В настоящее время известны разные методы изучения этого своеобразного материала, включительно до получения прекраснейших микрофотографий. Весьма большой интерес представляют фотографии одного американского метеоролога Б е н т л е я, сделавшего более двух тысяч снимков со снежинок. Эту коллекцию он составлял в течение пятидесяти лет и называл свое многочисленное собрание «снежные драгоценности»<sup>1</sup>. Кроме того, известна коллекция снимков снега одного фотографа-любителя С и г с о н а, из Рыбинска, которому принадлежат одни из лучших в мире по художественности исполнения микрофотографии снежных кристаллов. Эти исследователи выбирали для фотографирования наиболее совершенные по развитию формы, некоторые из них приведены на таблице 1. 57 64

Самое замечательное в полученных снимках — это необыкновенное богатство форм кристаллов, образующих снежные звездочки. Все кристаллы, правда, имеют формы шестигранных призм, но разновидности этих форм бесконечно разнообразны.

В 1933 г. были воспроизведены фотографии снега в количестве более трехсот снимков наблюдателем полярной станции К а с а т к и н ы м на Земле Франца-Иосифа<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Б е н т л е я умер в 1931 г.; еще при его жизни Американское бюро погоды издало атлас снежинок по его фотографиям, содержащий около 3000 снимков.

<sup>2</sup> При фотографировании снежинок помещают их не на предметное стеклышко, как обычный микроскопический препарат, а на тончайшую шелковую сеточку;

Были случаи, когда наблюдали в непосредственной кристаллической форме также град, который выпадал не в виде обычных округлых масс, а в отчетливо и резко выраженных кристаллах льда. Такие оригинальные градины были зарисованы, например, А б и х о м у нас на Кавказе и рядом других лиц; отдельные экземпляры этих кристаллов нередко достигали крупных размеров.

Весьма интересно отметить, что оригинальные формы градин наблюдал М а л и н к о В. В. 13 июня 1929 г. в Московской области, в поселке Жаворонки, Звенигородского района. Изображения двух таких градин в натуральную величину, представленные автором для напечатания в этой книге, приведены на рисунке 8.

Интересными являются еще случаи кристаллизации льда в виде тонких иголочек, стоящих вертикально на почве наподобие стебельков — «ледяные стебельки». Подобные образования наблюдались во многих местностях и особенно широко на Кольском полуострове, в Хибинских тундрах. Игольчатые кристаллики льда обычно появлялись в горах на высоких плато, на склонах и в долинах рек после ясных морозных ночей. По длине ледяные кристаллики бывают различными от 1 до 2 см, а в некоторых случаях вытягиваются до 10—12 см. В толщину они определяются лишь долями миллиметра. В некоторых случаях наблюдали у них отчетливо выраженную шестигранную призматическую форму<sup>1</sup>.

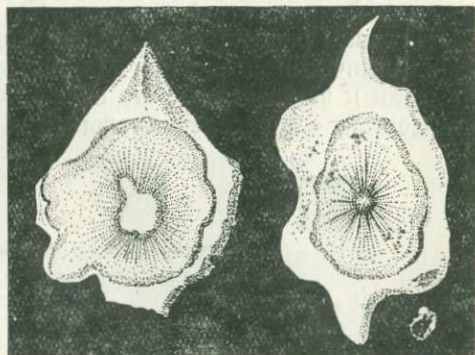


Рис. 8.

На земной поверхности существуют еще такие места, где иногда можно видеть превосходные кристаллы льда среди больших масс его и в довольно крупных образованиях; это ледяные пещеры, которые встречаются в различных странах по преимуществу с жарким и коротким летом, но холодной и длинной зимой. В летние месяцы каменные массы гор не успевают прогреться насквозь и в глубине их, в пещерах, сохраняется низкая температура. Вода, просачивающаяся сверху, быстро замерзает в этих холодных пространствах и, стекая по каплям, образует целые колонны сталактитов и сталагмитов, а в некоторых случаях — причудливые гирлянды кристаллов, ярко сверкающие по стенам таких подземелий.

этим устраняется расплывание их, которое происходит даже и на холоду, и достигается резкость очертаний в передаче на снимке. Кроме того, Вейнберг о м устроено было особое приспособление для помещения снежинок под микроскоп, а также выработаны были такие приборы, в которых снежинки могут сохраняться целыми месяцами.

<sup>1</sup> Эта интересная форма кристаллизации льда, наблюдавшаяся в Хибинских тундрах, описана Б о н ш т е д т Э., «Ледяные стебельки», «Природа» № 10—12, 1921.

Издавна известна знаменитая ледяная пещера на Урале, близ города Кунгура в Пермском районе. Эта пещера была описана еще в сороковых годах минувшего столетия и привлекала многих исследователей и туристов. Особенно замечательным местом в этой пещере является так называемый бриллиантовый грот, стены и потолок которого покрыты сплошь кристаллами льда в виде правильных шестиугольных табличек и отдельных отростков. Кунгурскую ледяную пещеру в 1904 г. посетил акад. К а р а к а ш, которому удалось не только обойти это холодное пространство, но и воспроизвести фотографии различных мест его, а также изучить и сфотографировать отдельные кристаллы льда <sup>1</sup>.

### Кристаллы в растительных и животных организмах.

В живых растительных тканях довольно часто удается наблюдать кристаллические вещества. Микрoхимические исследования этих тел привели к заключению, что за немногими исключениями отложения эти состоят из щавелевокислого или углекислого кальция.

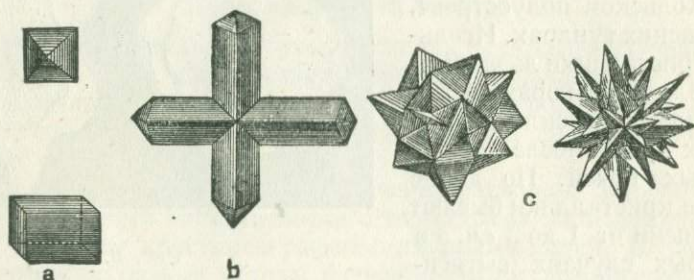


Рис. 9. Кристаллы щавелевокислого кальция из черешков и листьев *Begonia* (из Фаминцына А.):

а — единичные кристаллы; б — двойник; в — друзы.

Давно было обращено внимание на отложение этих веществ в клетках листьев *Begonia* и *Allium*, а также в черешках и стеблях многих других растений (рис. 9 и 10).

Отлично развитые кристаллы щавелевокислого кальция наблюдаются в столбчатой паренхиме листьев *Citrus vulgaris*; по описанию П ф и ц е р а, кристаллы эти занимают всю полость клетки и представляют собой образования, связанные с определенными физиологическими отправлениями; на рисунке 11 представлены главнейшие формы этих кристаллов.

Кроме того, в настоящее время хорошо изучены кристаллы х л о р о ф и л л а, к а р о т и н а и различных сахаров. обстоятельно изучены кристаллы многих растительных белковых веществ, например, так называемые алейроновые зерна, состоящие из кристаллов глобулина. Это вещество выделено в кристаллическом виде из семян многих растений; кристаллы его имеют вид ромбических и шестиугольных пластинок, другие виды белков кристаллизуются в октаэдрах.

<sup>1</sup> Описание Кунгурской пещеры можно найти в книге Н е ч а е в а «В царстве воды и ветра», Очерки и картины из жизни и истории земли, 1926.

Большое количество кристаллических образований наблюдается также среди веществ животного происхождения.

Так, например, давно было обращено внимание, что кровь позвоночных обладает свойством сравнительно легко переходить в кристаллическую массу. Кристаллические образования крови отличаются хорошо выраженными формами и достигают нередко больших, почти макроскопических размеров. Продуктам этим вначале дано было название «кристаллов крови», но впоследствии было установлено, что кристаллическая структура принадлежит красящему веществу крови—гемоглобину.

Гемоглобин крови кристаллизуется сравнительно легко и у разных животных представлен разными формами: в виде игл, призм, ромбических пластинок, кубов, октаэдров и пр. (рис. 13).

Точно также известны случаи кристаллизации многих белковых веществ и их продуктов распада, как, например, т и р о з и н а, кристаллизующегося в форме тончайших игл.



Рис. 10. Рафиды в клетках *Allium* (Фаминцын А.).

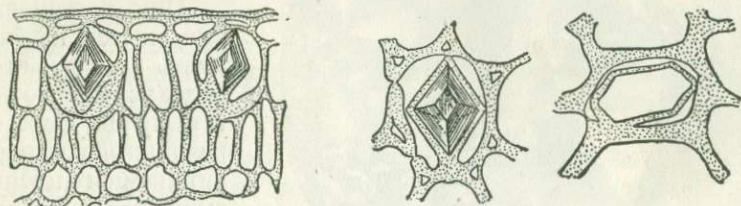


Рис. 11. Кристаллы щавелевокислого кальция в листьях *Citrus vulgaris* Risso (Фаминцын А.).

Некоторые виды жирных кислот, находящихся внутри различных жировых клеток, также наблюдались в кристаллическом состоянии.

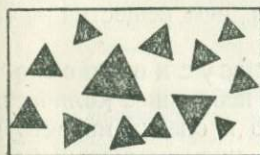


Рис. 12. Кристаллы хлорофилла.

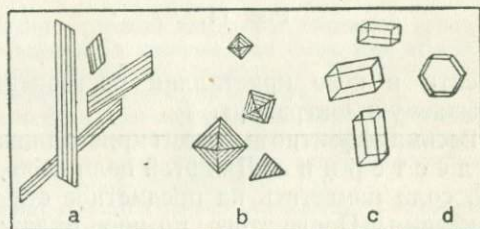


Рис. 13. Кристаллы гемоглобина (красящего вещества крови):

а — человека; б — морской свинки; с — хомяка; д — белки.

В последнее время, в связи с изучением химического состава и строения различных частей животных организмов, выяснилось, что кристаллическая природа свойственна также веществам, определяющим главные составные части костей позвоночных организмов.

## Кристаллы в искусственной обстановке.

Помимо различных природных кристаллов можно привести большое количество примеров образования их и в искусственной обстановке — лабораторной или школьной.

При помощи разнообразных веществ можно показать превосходные случаи кристаллизации, пользуясь при этом различными методами.

Одним из наиболее простых и доступных приемов является выращивание кристаллов из растворов. Для этой цели готовят насыщенный раствор какой-нибудь соли: квасцов, медного купороса, дихромовоокислого калия, селитры и пр. и оставляют в спокойном месте

для того, чтобы раствор мог свободно высыхать. Через некоторое время можно заметить появление кристаллов растворенного вещества, которые постепенно начнут расти.

При постановке таких опытов необходимо иметь в виду, что для более успешного результата лучше даже первоначальный раствор готовить немного крепче насыщенного — то, что называют пересыщенным. При этом обыкновенно и пересыщенный раствор не склонен сразу выделить из себя кристаллы, и часто надо бывает или подождать некоторое время, или же

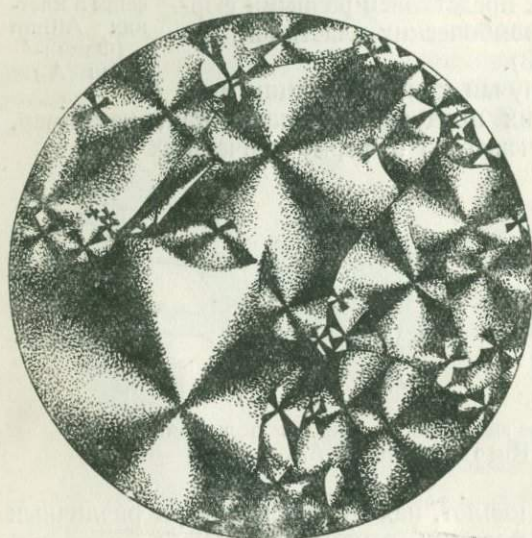


Рис. 14.

бросить в него кристаллик растворенного в нем вещества — так называемую «затравку».

Весьма эффектно выглядит кристаллизация уксуснокислого холестерина. Для этой цели необходимо небольшое количество этой соли поместить на предметное стеклышко и слегка нагреть до плавления. После этого, по мере охлаждения, уксуснокислый холестерин начинает кристаллизоваться не сразу, а дает вначале твердую тонкую, ультрамикроскопическую мусть, собирающуюся в отдельные комочки. При дальнейшем остывании начинается кристаллизация; появляются великолепные лучистые кристаллические сростки — сферолиты. Эти сферолиты представлены на рисунке 14, изображающем микрофотографию в поляризованном свете. Все поле зрения, как видно, разбито на отдельные участки гиперболическими линиями. Внутри каждого участка расположены центры, из которых во все стороны расходятся лучами кристаллы. Четыре пучка кристаллов

образуют темный крест, вследствие потухания в этих местах поляризованного света, при скрещенных николях. Сферолиты уксуснокислого холестерина, спроектированные при помощи эпидиакопа на экран, представляют зрелище, принадлежащее к одним из красивейших явлений кристаллизации.

## ПОНЯТИЕ О КРИСТАЛЛЕ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СРЕДЕ.

Как внешняя геометрическая форма, так и почти все физические свойства кристаллов, за исключением очень немногих, связаны с внутренним атомным строением. С изменением этого строения изменяются как свойства, так и форма.

Атомное строение кристаллов определяется так называемой пространственной решеткой, сущность которой заключается в том, что материальные частицы — атомы, из которых построено кристаллическое вещество, расположены по соответствующим направлениям пространства в строго определенном порядке. Порядок расположения этих частиц обуславливается наличием тождественных одинаковых расстояний между ними. При этом каждое направление может характеризоваться своими величинами расстояний.

Если расстояния между частицами будут определяться различными величинами в тех или иных направлениях, то кристалл по этим направлениям будет неодинаково развит, и физические свойства его в отношении этих направлений будут также определяться различными физическими константами.

Но кристалл может быть развит одинаково сразу по нескольким направлениям — двум или трем. Такое положение будет в том случае, если частицы его по этим направлениям будут расположены на одинаковых расстояниях. В этом случае и физические свойства кристалла будут определяться одинаковыми величинами.

Таким образом, свойства кристалла можно рассматривать как векторы, и кристаллическое тело будет характеризоваться как тело анизотропное, т. е. такое, свойства которого зависят от направления.

**Анизотропия кристаллов.** Под анизотропией как раз и понимают неравнозначность кристаллического вещества, в котором, как было уже отмечено, физические свойства изменяются в зависимости от направлений. По этому поводу можно привести ряд примеров, характеризующих это явление:

1. У кубического кристалла каменной соли всегда наблюдается минимальная сопротивляемость к разрыву в направлениях, перпендикулярных к плоскостям куба, тогда как по диагональным направлениям у того же кристалла способность к разрыву проявлена в гораздо более слабой степени (рис. 15).

2. В зависимости от направления меняется также и твердость, т. е. сопротивление кристалла к нарушению его поверхностей. То, что эта особенность связана с направлениями в кристаллах, хорошо известно лицам, например, занимающимся обработкой алмаза. При граниении многих других веществ не раз также было обращено внимание на различную твердость у кристаллов в разных направлениях. Так, например, на кристалле г р а н а т а (минерала из группы силикатов) наблюдается большая твердость по граням куба, нежели по плоскостям октаэдра и ромбодекаэдра. На классическом же примере к и а н и т а (д и с т е н а —  $Al_2SiO_5$ ) можно показать изменение твердости методом царапания в зависимости от направления наносимой черты (рис. 16).

3. Таким же образом от направления меняются и оптические свойства кристаллов. Очень интересным примером в этом отношении является минерал к о р д и е р и т, представляющий собой сложный алюмосиликат магнезия  $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ .

При прохождении света через кристалл кордиерита происходит различная адсорбция лучей в трех разных направлениях, вследствие чего в одном направлении кристалл становится окрашенным в темносиний цвет, в другом — цвет является желтым, а по третьему направлению наблюдается серая окраска.

4. Соответственно с направлениями меняются также термические свойства кристаллов. Давно было обращено внимание на теплопроводность в кристалле гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  которая у этого минерала на разных гранях выражается

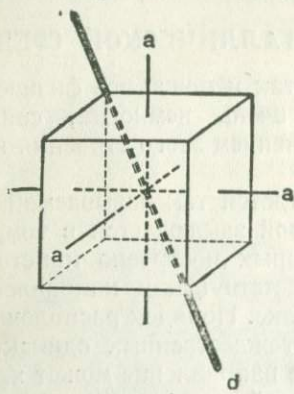


Рис. 15.

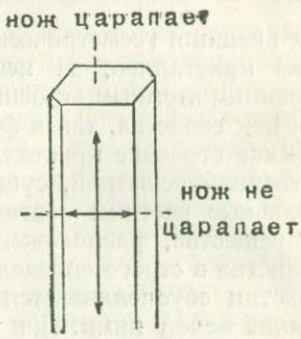


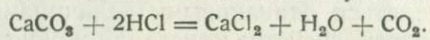
Рис. 16.

различными константами. На основании ряда опытов, произведенных с кристаллическими поверхностями этого вещества, покрытыми тончайшим слоем воска, легко заметить эллиптическую кривую, появляющуюся вокруг места нагревания, например, там, где была продета нагревательная нить (рис. 17).



Рис. 17.

5. Кроме всего вышеизложенного, необходимо обратить еще внимание на изменение химических свойств кристаллов в связи с направлениями. Так, при действии на кальцит  $\text{CaCO}_3$  соляной кислотой наблюдается неодинаковое выделение угольного ангидрида на различных плоскостях кристалла, несмотря на то, что опыт поставлен в одинаковых условиях:



Точно так же при действии плавиковой кислоты на кварц  $\text{SiO}_2$  наблюдается неодинаковый эффект разедания его поверхностей. По исследованиям Мюгге О. реакция разложения этого минерала в направлении главной оси идет в 150 раз энергичнее, чем в направлениях перпендикулярных к этой оси (рис. 18).

Подобные химические изменения кристаллов были прослежены и на ряде других объектов, например у турмалина.

6. Анизотропией объясняется также закономерное развитие внешних геометрических поверхностей кристаллов — его граней, например, кристалл каменной соли при определенных условиях всегда будет развит по граням куба, тогда как алмаз ограничен поверхностями октаэдра, и пр. Словом кристалл растет неодинаково быстро по различным направлениям и, следовательно, если образование его поставлено в подходящие условия и если для осуществления этих условий не встречается никаких препятствий и рост идет согласно своим внутренним силам, то в результате должен получиться определенный многогранник, отвечающий внутренним анизотропным соотношениям данного кристаллического вещества. Внешняя геометрическая форма кристалла обнаруживает нам те закономерности, которые управляют изменениями скорости роста его с изменением направления, и является только выражением одного из общих физических свойств кристаллического вещества. Можно сказать, что при росте кристаллов анизотропность кристаллического вещества воплощается в про-

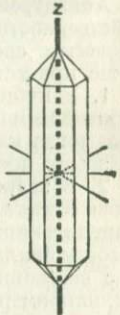


Рис. 18.

пространственную геометрическую фигуру, как бы застывает в той или иной форме многогранника, которым определяется данный характер кристаллического вещества.

Такой взгляд на кристаллический многогранник есть результат успехов, одержанных кристаллографией в самое последнее время.

### Пространственная решетка.

Все отмеченные особенности, характеризующие природу кристаллического вещества, как уже было сказано, имеют теснейшую связь с внутренним строением, другими словами, с характером расположения атомов в пространственной решетке (рис. 19). Различные типы и архитектурные конфигурации решеток обуславливают то исключительное многообразие, которым определяются геометрические формы и их разнообразные комбинации, наблюдаемые в кристаллах<sup>1</sup>.

Основными элементами кристаллических решеток являются следующие:

**1. Узлы** представляют собой те материальные частицы, из которых построено кристаллическое вещество. Узлами могут быть атомы, ионы и в некоторых случаях молекулы. В схемах построения решеток каждую кристаллическую частицу (узел) мы обозначаем точкой, как бы отмечая только факт ее существования, и тогда строение кристаллического вещества представится в виде пространства, заполненного правильно и закономерно расположенными точками.

**2. Межузловые расстояния** определяют собой общие направления гомологично расположенных частиц в кристалле, вследствие чего все параллельные направления в кристалле принимают также гомологичный характер. Это обуславливает одинаковость физических свойств в параллельных направлениях. Межузловые расстояния в кристаллах весьма различны. Частицы не могут быть на бесконечно близком расстоянии одна от другой. Та или иная группировка кристаллических частиц стоит в прямой связи со многими физическими свойствами кристаллов, например с твердостью, степенью прямого или непрямого излома и пр. В настоящее время расстояния между атомами в пространственной решетке часто поддаются определению и имеют величины порядка ангстрема ( $\text{\AA}$ ), представляющего собой величину в  $10^{-8}$  см.

**3. Кристаллическая элементарная ячейка** (рис. 20) представляет собой первоначальную объемную единицу кристаллического пространства. Ячейка всегда обладает той или иной геометрической фор-

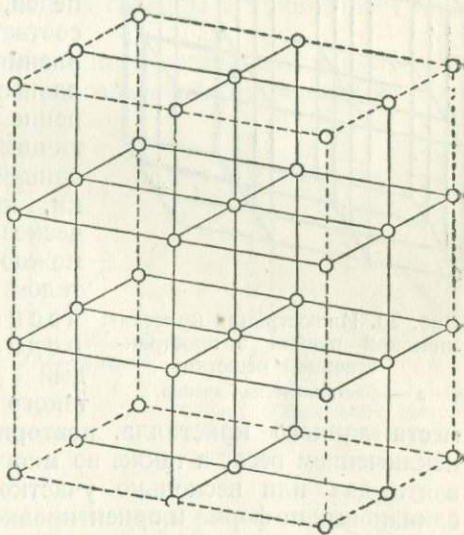


Рис. 19.

<sup>1</sup> При этом необходимо заметить, что на форму кристаллов оказывают влияние не только решетки, но также и внешние окружающие условия.

мой и является частицей пространственной решетки. Пространственную решетку кристалла можно разделить на ряд ячеек тремя системами плоских сеток, отвечающих трем направлениям пространства.

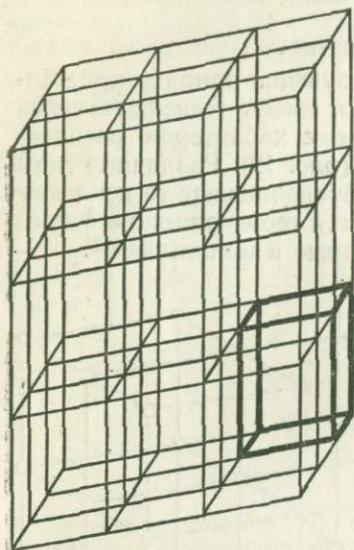


Рис. 20. Иллюстрация кристаллической ячейки в пространственной решетке:  
а — кристаллическая ячейка.

Кристаллические ячейки обычно имеют вид параллелепипедов, равных и совместимых друг с другом. Этими параллелепипедами, повторяющимися большое число раз и заполняющими ту или иную часть пространства, и обуславливается вся конфигурация кристаллической решетки.

Вследствие того что при наложении друг на друга таких параллелепипедов, а также при перемещении их в соответствующих параллельных направлениях произойдет совмещение их а равных частей и воспроизведет повторение гомологичных точек данной решетки, кристаллическое вещество можно назвать телом физически однородным. Каждый участок

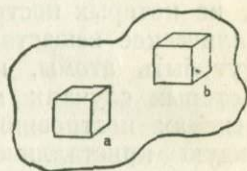


Рис. 21.

такого вещества, взятый из любого места данного кристалла, повторит свойства всего кристалла (за исключением веса, а также во многих случаях формы). Если же взять два или несколько участков такого вещества, совершенно одинаковых по форме и ориентировке в окружающем пространстве, то все физические свойства их будут абсолютно одинаковы. На рисунке 21 два кубика а и в обладают совершенно одинаковыми свойствами.

## АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ.

Аморфные вещества прежде всего определяются своей бесформенностью, т. е. отсутствием способности к самоограничению (отсюда выражение «аморфное»; «а» — не, отрицание, «морфе» — форма). В отличие от кристаллов аморфные тела никогда не обладают геометрической формой, ибо эти тела не являются связанными с теми пространственными внутренними структурами, которыми определяется вся природа тел кристаллических. Вследствие этого и физические свойства аморфных тел будут резко отличны от таковых же в кристаллах. Часто в пределах одного и того же вещества можно наблюдать резко отличные константы физических свойств для разновидностей — кристаллической и аморфной. Так, например, призма из аморфного кремнезема  $\text{SiO}_2$  (стекла) объемом в  $16,39 \text{ см}^3$  весит  $36,40 \text{ г}$ , в то время как тот же объем кристаллической  $\text{SiO}_2$  (кварца) обладает весом в  $42,25 \text{ г}$ . Такое резкое различие в весе при одном и том же объеме объясняется

только различным расположением атомов внутри каждого из этих веществ (стекла и кварца). В стекле частицы кремния и кислорода сгруппированы менее плотно, чем у кварца, атомы аморфного кремнезема и кремнезема кристаллического имеют разное структурное расположение.

Аморфные тела распространены в природе и в искусственной обстановке не менее, чем кристаллы, и многие из них получили огромное применение в технике. Однако до настоящего времени теория аморфного состояния еще далеко не разработана. Наука об аморфном твердом состоянии находится только в самом начале своего развития.

К числу аморфных состояний прежде всего относятся все газообразные и жидкие состояния веществ. Взаимные переходы одних состояний в другие (аморфных в кристаллические и обратно) сейчас известны для весьма многих веществ и связаны с понижением или повышением температуры.

Вместе с тем переход кристаллического состояния в аморфное и обратно, всегда сопровождается разрывом непрерывности в ходе кривой, иллюстрирующей эти переходы. Разрыв непрерывности связан с соответствующей амплитудой во времени, которая оказывается необходимой для производства некоторой внутренней работы атомномолекулярных сил, определяющей эти переходы.

На рисунке 22 изображены кривые, показывающие: I — переход вещества из кристаллического состояния в аморфное жидкое — расплавленное (график повышения температуры) и II — переход тела из аморфного расплавленного состояния в твердое кристаллическое (график понижения температуры).

В обоих случаях на ординатах графиков отмечены температуры  $T$ , а оси абсцисс изображают время  $t$ .

По мере нагревания некоторого кристаллического вещества  $A$  температура его повышается и от начальной точки  $a$  доходит до точки  $b$ . В точке  $b$  температура останавливается и становится постоянной, и на пространстве  $b-c$  мы имеем переход твердого вещества в жидкое. Точка  $b$ , таким образом, является точкой температуры плавления данного кристаллического вещества  $A$ . После того, как вся масса твердого тела перейдет в жидкое состояние, наступит дальнейшее нагревание за счет подводимого в течение всего процесса тепла. Это нагревание будет отмечено линией  $c-d$ , причем пространство, лежащее вправо от линии  $Kcd$ , соответствует жидкому состоянию.

При понижении температуры, сопровождаемом переходом расплавленного аморфного состояния в твердое кристаллическое, мы получим обратный ход явлений, представленный на графике II.

Здесь точка  $c$  является началом процесса кристаллизации данного вещества.

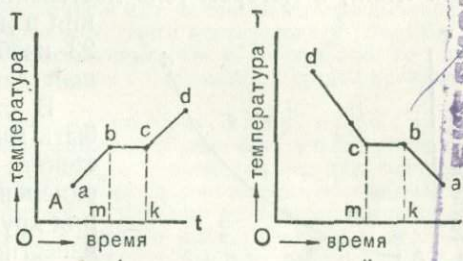


Рис. 22: I — график повышения температуры, II — график понижения температуры.

БИБЛИОТЕКА  
 Геологического института  
 Архив Физико-математического института СССР

Геологический институт  
 Академии наук СССР  
 Библиотека

Таким образом плавление и отвердевание вещества в связи с переходом его из кристаллического состояния в аморфное и обратно совершаются по определенным законам и представляют собой явления, сопровождаемые теми или иными перегруппировками материальных частиц внутри данного вещества. Интервал во времени  $mk$  в обоих графиках можно сопоставить с процессами разрушения (I) и формирования (II) кристаллической решетки для испытуемого вещества А.

Помимо газообразных и жидких состояний к разряду аморфных тел относятся и некоторые твердые фазы, как, например, некоторые твердые сахаристые состояния — карамель, патока, а также все вещества, способные быть в так называемом стекловидном состоянии и.

Одним из главных отличий стекла от кристаллов является отсутствие определенной температуры плавления, а следовательно, и разрыва непрерывности на кривых нагревания и охлаждения. Вместо температуры плавления здесь наблюдается растянутый интервал размягчения, в котором тело постепенно переходит из твердого состояния

в жидкое и обратно. На рисунке 23 изображена кривая, иллюстрирующая данный переход.

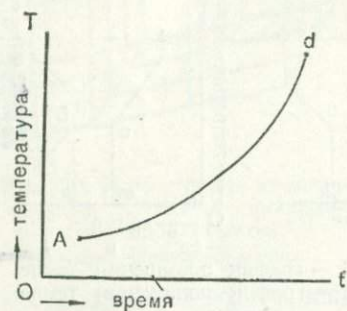


Рис. 23. Кривая стеклообразного состояния.

В стеклообразном состоянии могут быть многие вещества. Кроме обычного стекла, состоящего из кремнезема и окислов некоторых металлов, имеется ряд других, в достаточной мере хорошо известных в настоящее время. К таким веществам относятся: ангидрид борной кислоты, некоторые соли борной кислоты, фосфорная кислота и ее соли, многие органические соединения, например бетол, пиперин, смолы, клей,

канифоль, канадский бальзам и т. д.; из природных продуктов также многие вулканические породы — обсидиан, пемза и другие. В стеклообразное состояние можно искусственно перевести некоторые тела, находящиеся при обычных условиях в кристаллическом виде, например кварц, серу и некоторые другие. Это достигается обычно быстрым охлаждением их из расплавленных состояний.

Само название «стекло» на основании современных представлений имеет гораздо более широкий смысл, чем обычное понятие о стекле, и термин «стекло» обозначает скорее состояние вещества, чем само вещество, и, таким образом, распространяется на многие тела.

Структура и внутреннее строение этих веществ еще не совсем ясны и возбуждают ряд вопросов, связанных с дальнейшими работами.

Однако большинство исследований настоящего времени держится мнения, что стекла и вещества, близкие к ним, являются сильно переохлажденными жидкостями, в которых молекулы находятся в состоянии чрезвычайно малоподвижном из-за огромного внутреннего трения. Так что, несмотря на то, что стекло есть физически твердое тело,

все же большинство свойств его резко отлично от свойств тел кристаллических и больше приближается к свойствам жидкостей<sup>1</sup>.

### Общее понятие о коллоидах.

Коллоидное состояние материи было впервые констатировано Грэмом (Graham, 1860) при изучении им явлений диффузии веществ, растворенных в воде. Грэм обратил внимание на чрезвычайно резко выраженное обстоятельство: одни вещества, как, например, соли различных металлов, сахар и многие другие, диффундируют с большей или меньшей скоростью в растворах, тогда как ряд других, например желатина, белковина, камеди и пр., — чрезвычайно медленно. Кроме того, первые из этих веществ при выпаривании растворов их выделяются в кристаллах, вторые же не дают кристаллических осадков, а образуют желатинообразные массы наподобие клейстера, так называемые гели. На основании этих особенностей Грэм одни вещества назвал кристаллоидами, другие, не дающие настоящих растворов и не проходящие через перепонки, были названы коллоидами.

Подробное изучение коллоидов в настоящее время развилось в особую дисциплину — коллоидную химию.

Коллоидное состояние не следует отождествлять с аморфным состоянием, эти два понятия не равнозначны. В настоящее время считают, что коллоидальное состояние не есть особый род формы вещества, но это просто частицы вещества, находящиеся в состоянии так называемой дисперсии, т. е. тончайшего распыления, начиная от сравнительно грубой суспензии и до почти молекулярных раздроблений. Дисперсные частицы могут быть кристаллическими и аморфными. Те или иные сочетания дисперсных частиц в соответствии с окружающей средой приводят к образованию дисперсных систем.

В дисперсных системах различают: дисперсную фазу и дисперсионную среду. Дисперсной фазой называют обычно всю ту часть системы, которая представлена совокупностью дисперсных частиц (иначе, как говорят, это есть растворенная фаза). Дисперсионной средой является та часть системы, которая представляет собой основной субстрат, в котором расплывлены дисперсные частицы или, как говорят, в котором растворена дисперсная фаза. Дисперсионная среда, таким образом, является как бы растворителем дисперсной фазы.

В связи с изучением дисперсных систем, относящихся к разнообразным веществам как неорганическим, так и органическим, удалось на основании различной величины раздробленности дисперсной фазы (другими словами, различной степени дисперсности) подобить к распределению их на некоторые группы, иначе говоря, представить дисперсные системы в известной классификации.

Вольфганг Оствальд устанавливает следующие группы дисперсных систем:

**1. Грубо-дисперсные системы.** В этих системах частицы дисперсной фазы являются видимыми в обычный микроскоп и соответствуют размерам более 100  $\mu$ , т. е. более ста миллимикрон (1 миллиметр равен 1000 микронам, 1 микрон равен 1000 миллимикрон).

**2. Коллоидно-дисперсные системы** характеризуются частицами дисперсной фазы, размеры которых определяются величинами от 1 до 100  $\mu$ . Эти частицы можно наблюдать только в ультрамикроскопы, вследствие чего они часто именуются ультрамикронами или субмикронами.

Среди этих ультрамикронных систем обычно различают суспензии и эмульсии. Первые формы представляют собой твердые дисперсные фазы, находящиеся во взвешенном состоянии в жидкой дисперсионной среде. Сюда относятся многочисленные коллоидные растворы. Вторые являются жидкими дисперсными фазами в жидкой же дисперсионной среде.

**3. Молекулярно-дисперсные системы.** Частицы этих систем обычно меньше одного миллимикрона. Их называют часто амикронами.

Коллоидные состояния наблюдаются среди многих природных минеральных тел. Так, например, к числу наиболее известных и распространенных коллоидных образований принадлежат многие разновидности водного кремнезема  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ,

<sup>1</sup> Под термином «переохлаждение» в данном случае следует понимать переход в твердое аморфное состояние, а не просто переохлаждение на несколько градусов ниже температуры плавления.

а также водного глинозема  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ . Весьма типичными коллоидами являются глины, некоторые гидраты окиси железа  $nFe_2O_3 \cdot xH_2O$  и марганца Mn, многие соединения других металлов, например меди, кобальта, никеля и пр. К числу коллоидных состояний относятся еще некоторые фосфаты и ряд других веществ<sup>1</sup>.

## ЭЛЕМЕНТЫ ОГРАНИЧЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ.

**Общие замечания.** Рассматривая кристалл как однородную и анизотропную среду, сложенную из закономерно расположенных материальных частиц, необходимо иметь в виду, что внешняя геометрическая форма со всеми ее свойствами и особенностями есть лишь следствие внутренней структуры — пространственной решетки.

На основании ряда как чисто математических доказательств, так и непосредственных наблюдений известно, что в такой среде, как кристалл, невозможны случаи безграничных сочетаний в отношении внутренних структурных элементов, а следовательно, и наличия большого числа типов кристаллических структур.

Правильно и идентично расположенные точки в каждом направлении кристаллического пространства не позволят получить то разнообразие геометрически возможных образов, какие, вообще говоря, возможны были бы вне подобной закономерности.

Вследствие этого мы приходим к заключению, что в фигурах кристаллических в отличие от фигур некристаллических (например математически возможных) существует некоторое ограничение в наличии возможных структурных группировок. Такое ограничение прежде всего отражено на общем количестве систем и классов кристаллических многогранников. Во всем многообразном и широком мире кристаллов нам известно всего лишь шесть систем (или сингоний) и тридцать два класса (находящихся в пределах этих шести систем), по которым группируются кристаллы в отношении тождественных признаков.

### Понятие о симметрии.

Основной особенностью кристаллических многогранников, на что еще давно было обращено внимание, является симметрия. На самом деле, эта особенность всегда резко и четко бросается в глаза при первом же знакомстве с кристаллами, а еще лучше с моделями кристаллов.

При изучении формы кристаллических многогранников модели кристаллов играют весьма большую роль и практически помогают разобраться во многих сложных вопросах. Такие модели специально готовятся как копии кристаллических веществ и отображают в себе как бы идеально развитые кристаллические формы.

<sup>1</sup> О коллоидах и коллоидном состоянии сейчас имеется довольно обширная литература. Наиболее известными и общедоступными книгами по этому вопросу являются следующие:

Морен Ш., Физические состояния материи, 1912.

Джером Александр, Коллоидная химия, 1926.

Вольфганг Оствальд, Мир обобщенных величин, 1930.

Наумов В., Химия коллоидов, 1932.

Байбаев А. И., О коллоидах, 1934.

Чухров Ф. В., Коллоиды в земной коре, 1936.

Кройт Г. Р., Коллоиды, 1936.

Бехгольд Т., Введение в учение о коллоидах, 1936.

Таким образом такое явление как симметрия более резко будет ощущаться на моделях, изображающих в неискаженном виде кристаллы, нежели на непосредственных кристаллических объектах.

Обычно симметрией пользуются при планировке предметов, расположенных в определенном порядке, если при этом хотят подчеркнуть элемент повторяемости равнозначных частей их. На основании

этого понятие симметрии можно дать в следующем определении: симметрия есть закономерная повторяемость каких-либо объектов. Геометрически симметрия выражается повторяемостью плоскости, линии или точки. Отсюда явилось и само выражение «симметрия», что значит с греческого «соразмерность». На рисунке 24

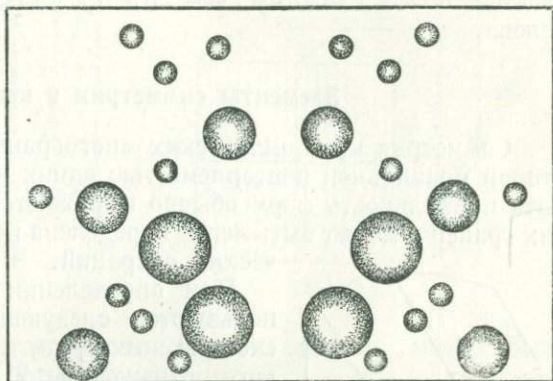


Рис. 24.

группа шаров, находящаяся в левой части, симметрична к группе шаров, расположенной в правой части.

Рисунок 25, как видно, не отвечает симметричному положению. Здесь одна группа шаров не соответствует в расположении другой группе.

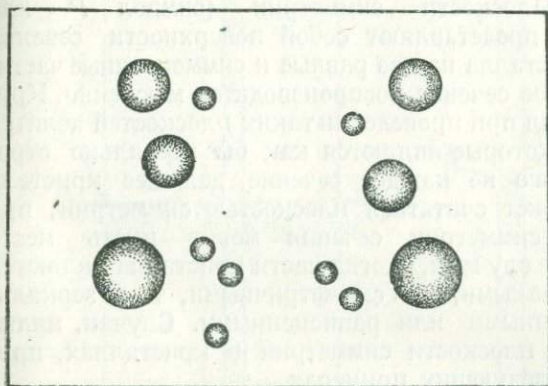


Рис. 25.

В обоих примерах решающей стороной в оценке симметрии и асимметрии (или несимметрии предметов) явилась линия, делящая наши рисунки на две равные соразмерные части, и действительно, только при помощи этой линии и по отношению к этой линии так легко и просто удалось решить вопрос о симметрии в этом примере. Эту ли-

нию можно было бы и не отмечать непосредственно, ее достаточно было бы представить только мысленно, но отбрасывать ее совсем нельзя, ибо в таком случае устранилось бы самое понятие о соразмерности левой и правой частей, в связи с чем только и можно было судить о симметрии данного случая.

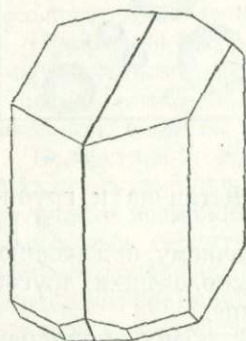
При выяснении вопроса о симметрии предметов, расположенных по обеим сторонам, или каких-либо частей их, обычно принято пользоваться не линией, а плоскостью, проводимой мысленно. Такая плоскость и является руководящим элементом симметричных положений

и представляет собой поверхность, по отношению к которой симметричные части предмета будут относиться друг к другу так, как какой-либо объект к своему зеркальному изображению.

Необходимо, однако, отметить, что элементами симметрии могут быть не только плоскости. При разрешении вопроса о симметрии пользуются и другими элементами, и самое явление симметрии оказывается более сложным, чем это представляется в обычном смысле слова.

### Элементы симметрии в кристаллах.

Симметрия кристаллических многогранников определяется некоторой правильной повторяемостью одних и тех же форм кристалла. Эта правильность форм обычно выражается в физическом равенстве их граней и может быть легко определена помощью простых геометрических операций.



P

Рис. 26.

При определении симметрии в кристаллах пользуются следующими элементами: 1) плоскостью симметрии, т. е. поверхностью зеркального отражения, 2) осями симметрии — линией вращения кристалла на полную окружность и 3) центром симметрии, т. е. точкой инверсионного равенства всех противоположных частей кристалла.

Рассмотрим в кратких чертах каждый из этих элементов симметрии в отдельности.

Плоскости симметрии (символ  $P$  или  $\pi$ ) представляют собой поверхности сечения кристалла на две равные и симметричные части. Такое сечение воспроизводится мысленно. Кристалл при проведении таких плоскостей делится

пополам на такие части, которые являются как бы зеркально отраженными. Вследствие этого не каждое сечение, делящее кристалл на две равные части, может считаться плоскостью симметрии; при

плоскостях симметрии сечения могут иметь место только в тех случаях, когда части кристалла являются не только равными, но и симметричными, т. е. зеркально-равнозначными или равноценными. Случаи, иллюстрирующие плоскости симметрии в кристаллах, приведены на следующих примерах.

1. Кристалл ортоклаза  $K_2Al_2Si_6O_{16}$  имеет только одну плоскость симметрии ( $P$ ) (рис. 26).

2. Кристалл эпсомита  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  имеет две плоскости симметрии ( $2P$ ) (рис. 27).

3. Кристалл куба поваренной соли  $NaCl$  имеет девять плоскостей симметрии ( $9P$ ) (рис. 28).

4. Кристалл куба пирита  $FeS_2$  с взаимно перпендикулярной штриховкой на гранях имеет только три плоскости симметрии ( $3P$ ) (рис. 29).

Оси симметрии (символ  $L$ ) представляют собой линии вращения кристалла на полную окружность, т. е. на  $360^\circ$ . При этом

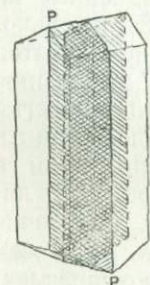


Рис. 27.

осью симметрии будет только такая ось, во время поворота вокруг которой все внешние части кристалла симметрично повторяются то или иное число раз.

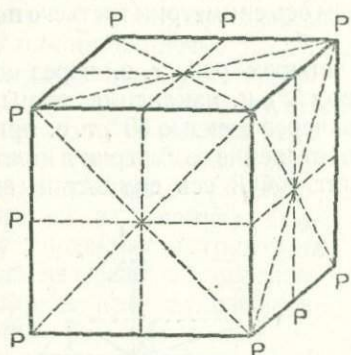


Рис. 28.

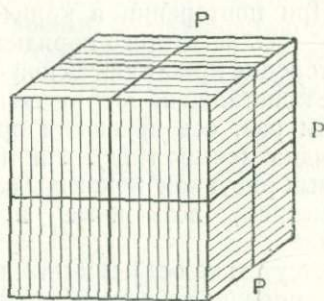


Рис. 29.

Оказывается, что в кристаллах такое повторение может быть в количестве двух, трех, четырех и шести раз.

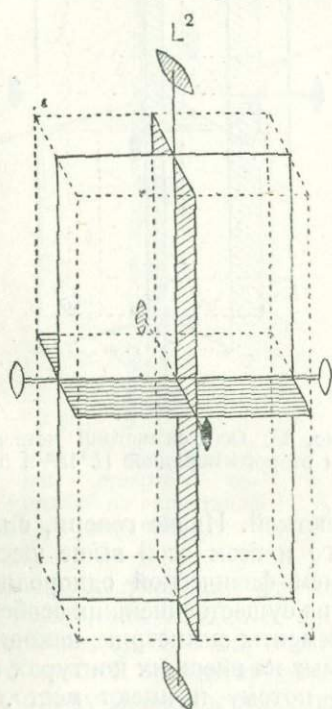


Рис. 30. Оси симметрии второго порядка ( $3L^2$  и  $3P$ ).

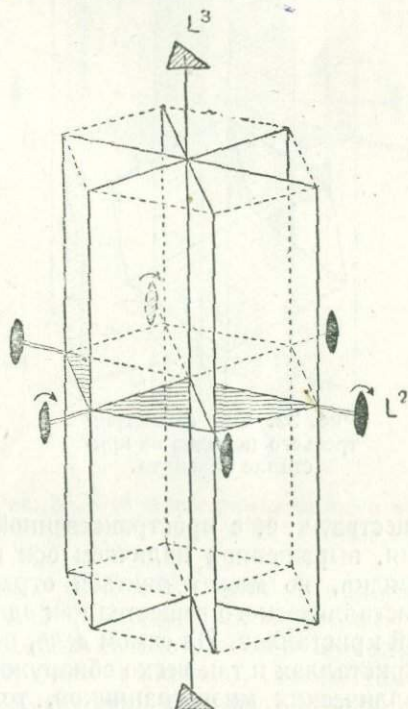


Рис. 31. Оси симметрии третьего и второго порядков ( $L^3L^2$  и  $4P$ ).

Другими словами, если при повороте кристалла на полную окружность (на  $360^\circ$ ) повторение всех его частей будет наблюдаться через каждые  $180^\circ$ , т. е. произойдет повторение симметричной фигуры в ко-

личестве двух раз, то данная ось вращения представит собой ось симметрии второго порядка (символ  $L^2$ ).

В случае повторения симметричной фигуры в количестве трех раз, иначе через каждые  $120^\circ$ , мы имеем ось симметрии третьего порядка (символ  $L^3$ ).

При повторении в количестве четырех раз, т. е. через каждые  $90^\circ$ , — ось четвертого порядка (символ  $L^4$ ), и, наконец, если мы имеем повторение кристаллической фигуры через каждые  $60^\circ$ , т. е. при повороте кристалла на  $360^\circ$  будем иметь повторение симметрии в количестве шести раз, ось вращения представит собой ось симметрии шестого порядка (символ  $L^6$ ). На прилагаемых рисунках показаны все оси симметрии, возможные в кристаллах.

Отсутствие осей симметрии других порядков, например пятого и всего выше шестого, объясняется несогласованностью этих последних случаев симметрии с внутренней структурой кристаллического

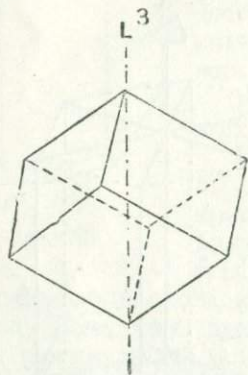


Рис. 32. Ось симметрии третьего порядка на кристалле кальцита.

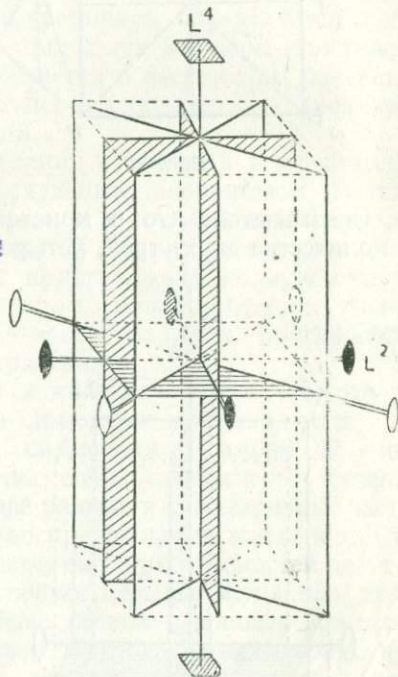


Рис. 33. Оси симметрии четвертого и второго порядков ( $L^4L^2$  и  $5P$ ).

вещества, т. е. с пространственной решеткой. Иначе говоря, симметрия, выраженная наличием оси пятого и всех осей выше шестого порядка, не может явиться отражением физической однородности кристаллического вещества как одной из существеннейших особенностей кристаллов. На самом деле, все элементы симметрии, находимые в кристаллах и так легко обнаруживаемые на внешних контурах кристаллических многогранников, только потому и имеют место, что само внутреннее строение кристаллического вещества отвечает именно данному, а не какому-либо другому положению в смысле возможных геометрических построений.

В связи с этим, например такая ось симметрии, как ось пятого порядка, бесспорно возможная в различных геометрических построениях, например в центре правильного пятиугольника, отсутствует

в кристаллических телах по причине невозможных сочетаний точек без нарушения однородности по распределению их в кристаллической решетке в порядке пятиугольных фигур. Нетрудно убедиться, что мы никак не можем помощью правильных пятиугольников заполнить ту или иную плоскость, а также и пространство, не нарушив при этом тождественных расстояний между точками, совокупностью которых и обуславливается существование кристаллической решетки. Поскольку при сочетании этих пятиугольников ряд точек попадает не на свои места в общей конфигурации всей сетки (а следовательно, и в решетке), постольку подобные структуры являются неотвечающими основной природе кристаллического состояния.

Доказательства существова-

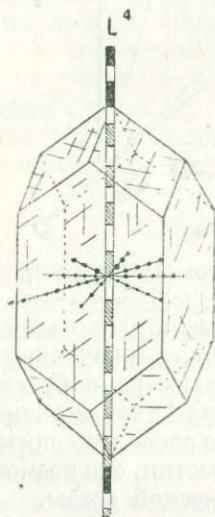


Рис. 34. Ось симметрии четвертого порядка на кристалле циркона.

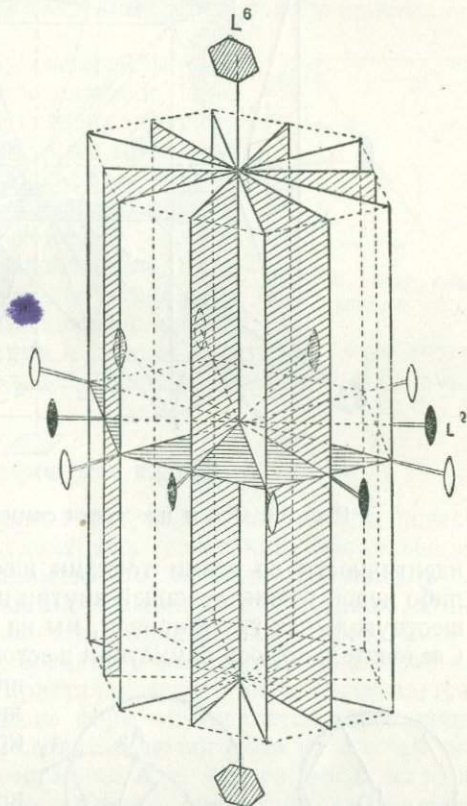


Рис. 35. Оси симметрии шестого и второго порядков ( $L^6L^2$  и  $7P$ ).

ния и несуществования тех или иных осей симметрии в кристаллах методически можно привести еще на следующих примерах.

Наличие оси того или иного порядка мы легко практически свяжем с простой элементарной геометрической фигурой, соответствующей данному симметричному положению. Так, например, в правильном шестиугольнике центральная точка  $O$  представит собой проекцию оси симметрии шестого порядка  $L^6$ . Принимая во внимание закономерность строения кристаллического вещества — его план строения по принципу сетчатой структуры, мы все другие точки, находящиеся на углах данного шестиугольника, должны считать как идентичные с центральной и связанные с тождественными и кратчайшими расстоя-

ниями с последними. Вследствие этого любую точку на углах мы можем принять за аналогичную же проекцию новой оси симметрии шестого порядка и путем проведения окружности радиусом ближайшего расстояния мы получим ряд новых точек, совпадающих по своей

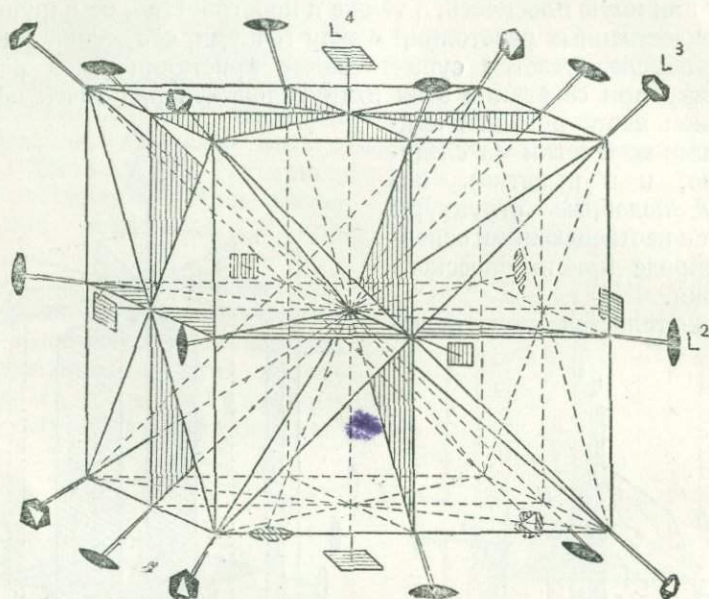


Рис. 36. Оси и плоскости симметрии в кубе ( $3L^4L^36L^29P$ ).

идентичности со всеми точками шестиугольника. Ни одной какой-либо новой точки, лежащей внутри нашего круга и находящейся вне шестиугольных группировок, мы на данном примере не будем иметь. Следовательно, ось симметрии шестого порядка  $L^6$  согласована с правильностью расположения кристаллических частиц, она возможна для кристаллической среды.

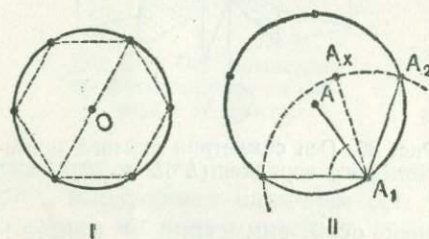


Рис. 37: I — шестерная ось, возможная в кристаллах; II — пятерная ось не может существовать в кристаллах.

должны получиться новые точки, согласованные по своему расположению с первыми. На самом же деле получается другое. Окружность, проведенная через точку  $A_1$  радиусом  $A_1-A_2$ , приводит к новой точке  $A_x$ , лежащей, как видно, внутри взятого пятиугольника в месте, несогласованном в отношении всех остальных идентичных точек, что противоречит и правильному общему расположению их в связи

с соответствующими тождественными расстояниями и общей симметричностью, определяющей углом в  $72^\circ$ . В силу такого противоречия с однородностью всей структуры оси симметрии пятого порядка в кристаллах невозможны. Из приведенных примеров нетрудно убедиться также в невозможности существования осей симметрии всех других порядков, кроме  $L^2$ ,  $L^3$ ,  $L^4$ ,  $L^6$ .

Наконец, центром симметрии (символ  $C$ ) является точка внутри кристалла, при посредстве которой делятся пополам все без исключения диагонали, проведенные через данную кристаллическую фигуру.

Практически, руководствуясь внешней формой кристалла, центр симметрии определяется наличием так называемых парных граней; другими словами, центр симметрии узнается по тому признаку, что всякая грань кристалла без исключения с диаметрально противоположной стороны должна иметь такую же грань физически равную, параллельную и обратно расположенную. Если какое-либо положение (равенство или параллельность) не согласуется с поставленным условием, то в таком случае центр симметрии в данном кристалле будет отсутствовать. На приведенном рисунке 38 показан случай наличия центра симметрии.

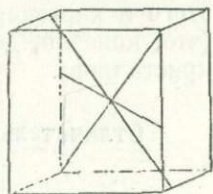


Рис. 38. Центр симметрии.

### Кристаллографические классы.

Те или иные группировки в элементах симметрии, получающиеся в результате определенных закономерных сочетаний, вытекающих из основного строения кристаллического вещества, приводят к некоторым ассоциациям форм кристаллических многогранников, к так называемым кристаллическим классам. Каждый класс представляет собой некоторый комплекс всех элементов симметрии, какие только возможны в отношении данного кристаллического вида. Оказывается, что в кристаллах все разнообразие форм определяется всего лишь тридцатью двумя случаями симметрии, включая сюда же случай так называемого асимметрического состояния, т. е. такого, когда на кристаллах не проявлено ни одного элемента симметрии (асимметрический класс).

Нетрудно видеть, что тридцать два вида симметрии и соответствуют тридцати двум классам, которые давно были выведены теоретически, а затем непосредственно изучены на кристаллических веществах (таблица тридцати двух классов в связи с сингониями приводится ниже).

### Сингонии кристаллов.

Руководствуясь симметрией кристаллов и учитывая в них некоторые сходственные элементы, вытекающие из их общей структуры, оказалось возможным все известные кристаллические многогранники распределить еще на более крупные отделы, именуемые сингониями, или системами<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Слово «сингония» происходит от греческого «*syngonos*», что значит «родной».

Таких сингоний, как уже отмечалось, известно шесть:

- I. Кубическая сингония
- II. Тетрагональная, или квадратная сингония
- III. Гексагональная (с тригональной подсингонией) сингония
- IV. Ромбическая сингония
- V. Моноклиная сингония
- VI. Триклинная сингония

Каждая из этих сингоний отличается своими специфическими признаками, которые в основном сводятся к различной векториальной развитости кристаллов, принадлежащих к этим сингониям. Вследствие этого и характер анизотропии этих сингоний также будет различен (что, конечно, должно отразиться и на физических свойствах самих кристаллов).

### Отличительные признаки кристаллографических сингоний по векториальной развитости.

Изучая внешнюю форму кристаллов, особенно на моделях, мы всегда наблюдаем их разнообразную развитость по соответствующим

направлениям пространства. Эта особенность формы всецело связана с внутренним строением и прежде всего находится в прямой связи с имеющимися в этих кристаллах элементами симметрии.

В соответствии с этим такие сингонии, как триклинная, моноклиная и ромбическая, считаются сингониями низшими, вследствие того, что кристаллы, принадлежащие к этим сингониям, неодинаково развиты в трех направлениях пространства, а следовательно, и менее симметричны, т. е. обладают меньшим количеством элементов симметрии.

Что же касается различия этих сингоний друг от друга, то в основном это связано с характером наклона векторов как в отношении пространственной решетки, так и внешней формы кристаллических многогранников при их ориентировке.

Таким образом, сопоставляя эти особенности, можно в отношении всех вышеназванных трех сингоний принять следующую характеристику:

1. **Ромбическая сингония** характеризуется такими кристаллическими многогранниками, которые являются неодинаково развитыми в трех направлениях пространства и при ориентировке которых

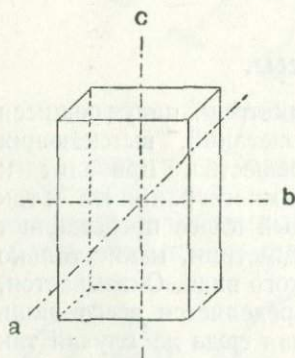


Рис. 39. Сингония ромбическая.

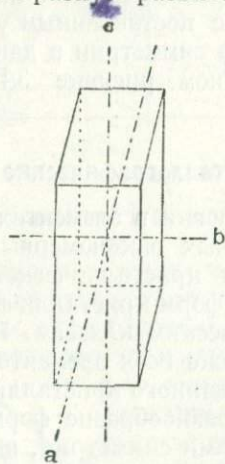


Рис. 40. Сингония моноклиная.

мы имеем прямоугольную систему векторов (или координатных осей) (рис. 39).

**2. Моноклинная сингония.** Сюда относятся кристаллы, тоже неодинаково развитые в трех направлениях и имеющие наклон одного

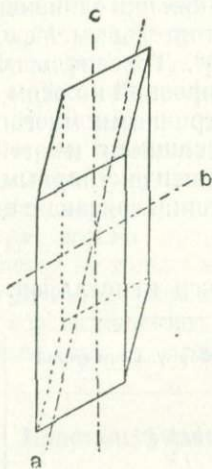


Рис. 41. Сингония триклинная.

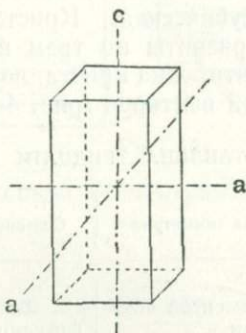


Рис. 42. Сингония тетрагональная.

из векторов; отсюда и название: «моно» — один, «клин» — наклон, т. е. кристаллы имеют не прямой угол в одном направлении (рис. 40).

**3. Триклинная сингония.** Кристаллы в трех направлениях также неодинаково развиты и в этих же направлениях косоугольны — триклинная, в трех направлениях наклонены (рис. 41).

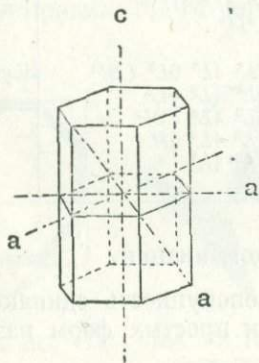


Рис. 43. Сингония гексагональная.

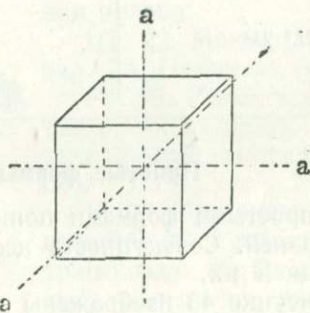


Рис. 44. Сингония кубическая.

К числу средних сингоний относятся тетрагональная (или квадратная) и гексагональная (подразделяющаяся на тригональную и гексагональную подсингонии).

**1. Тетрагональная сингония** характеризуется кристаллами, одинаково развитыми в двух направлениях и имеющими прямо-

угольный характер в отношении ориентировки по координатным осям (рис. 42).

**2. Гексагональная сингония.** Кристаллы этой сингонии отличаются от других наличием четырех векториальных направлений, при этом в трех горизонтальных направлениях они одинаково развиты, четвертое—вертикальное—является самостоятельным. Между горизонтальными векторами углы равняются  $60^\circ$ . Тригональный характер симметрии определяется такой же ориентировкой по осям (рис. 43).

Высшей сингонией с наиболее симметричными многогранниками является **кубическая**. Кристаллы, относящиеся к этой сингонии, одинаково развиты по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Ориентировка кристаллов этой сингонии связана с прямоугольной системой векторов (рис. 44).

ТАБЛИЦА ТРИДЦАТИ ДВУХ КЛАССОВ КРИСТАЛЛОВ.

№	Формула симметрии	Сингония	№	Формула симметрии	Сингония
1	Нет элементов симметрии	I Триклинная	16	$L^3 3L^2 C3P$	Va Тригональная подсингония
2	$C$		17	$L^3 3L^2$	
3	$L^2 CP$	II Моноклинная	18	$L^3 3P$	Vb Гексагональная подсингония
4	$L^2$		19	$L^3 C$	
5	$P$		20	$L^3$	
6	$3L^2 C 3P$	III Ромбическая	21	$L^6 6L^2 C7P$	VI Кубическая
7	$3L^2$		22	$L^6 6L^2$	
8	$L^2 2P$		23	$L^3 6P$	
9	$L^4 4L^2 C5P$		24	$L^6 CP$	
10	$L^4 4L^2$	IV Тетрагональная	25	$L^6$	
11	$L^4 4P$		26	$L^3 3L^2 4P$	
12	$L^4 CP$		27	$L^3 P$	
13	$L^4$		28	$3L^4 4L^3 6L^2 C9P$	
14	$L_4^2 2L^2 2P$		29	$3L^4 4L^3 6L^2$	
15	$L_4^2$		30	$3L^2 4L^3 C3P$	
			31	$3L^2 4L^3 6P$	
			32	$3L^2 4L^3$	

### Простые формы и их комбинации.

Под простыми формами понимают совокупность одинаково развитых граней. Совокупность нескольких простых форм называется комбинацией их.

На рисунке 45 изображены куб и комбинация его с октаэдром. Все шесть граней куба одинаково развиты, представляют собой квадраты и являются равными. Вторая фигура представляет комбинацию куба и октаэдра. Октаэдрические грани занимают места углов куба и в количестве восьми образуют самостоятельную форму. Каждую из этих простых форм можно рассматривать отдельно и выделить в виде самостоятельной фигуры. Для этой цели нужно только продолжить грани той или иной формы до их взаимного пересечения, вследствие чего получится обособленная фигура в виде отдельного многогранника.

На рисунке 46 в контуре представлены изображения простых форм, выделенные из комбинации: *a* — куб и *b* — октаэдр.

Точно так же на рисунке 47 дан еще пример, иллюстрирующий возможный случай комбинации. Многогранник, как видно, состоит из восьми равных треугольных граней; четыре из них окрашены в черный цвет, четыре же другие оставлены белыми. Геометрически вся фигура представляет октаэдр, с точки зрения кристаллографической — это комбинация двух тетраэдров: черного и белого.

В этом примере показан случай, когда для характеристики простых форм весьма существенным является не только простое геометрическое равенство граней, но тождественность граней должна быть отражена и в зеркально-равных друг другу величинах.

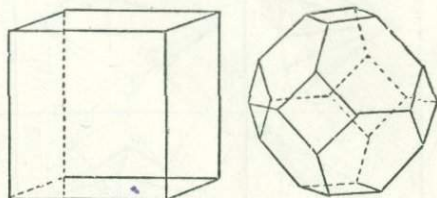


Рис. 45.

### Простые формы, возможные в кристаллах.

I. 1. Пирамида ромбическая. 2. Тригональная пирамида. 3. Дитригональная пирамида. 4. Тетрагональная пирамида. 5. Дитетрагональная пирамида. 6. Гексагональная пирамида. 7. Дигексагональная пирамида. 8. Ромбическая дипирамида. 9. Тригональная дипирамида. 10. Дитригональная дипирамида. 11. Тетрагональная дипирамида. 12. Дитетрагональная дипирамида. 13. Гексагональная дипирамида. 14. Дигексагональная дипирамида (рис. 48).

II. 15. Ромбическая призма. 16. Тригональная призма. 17. Дитригональная призма. 18. Тетрагональная призма. 19. Дитетрагональная призма. 20. Гексагональная призма. 21. Дигексагональная призма.

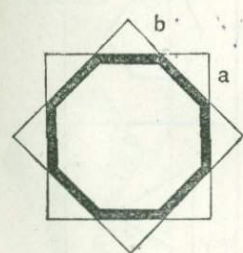


Рис. 46.

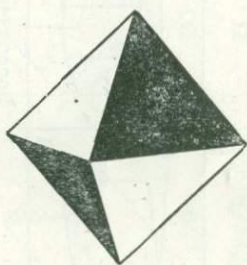


Рис. 47. Комбинация двух тетраэдров.

III. 22. Моноэдр. 23. Диэдр. 24. Пинакоид (рис. 49).

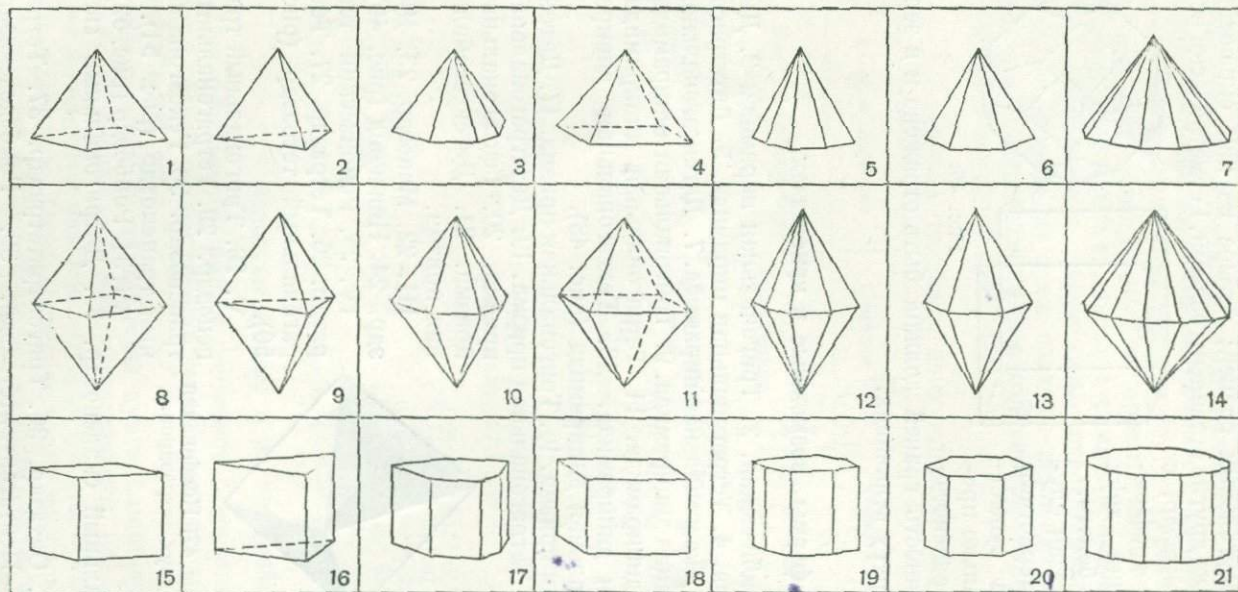
IV. 25. Ромбический тетраэдр. 26. Тетраэдр. 27. Тетрагональный тетраэдр (рис. 50).

V. 28. Тригональный трапецоэдр. 29. Тетрагональный трапецоэдр. 30. Гексагональный трапецоэдр (рис. 51).

VI. 31. Ромбоэдр (рис. 52).

VII. 32. Тетрагональный скаленоэдр. 33. Дитригональный скаленоэдр (рис. 53).

VIII. 34. Куб. 35. Октаэдр. 36. Тригонритетраэдр. 37. Тетрагонритетраэдр. 38. Пентагонритетраэдр. 39. Ромбододекаэдр. 40. Пентагондододекаэдр. 41. Тетрагексаэдр. 42. Гексатетраэдр. 43. Дидододекаэдр. 44. Тетрагонтриоктаэдр. 45. Тригонтриоктаэдр. 46. Пентагонтриоктаэдр. 47. Гексоктаэдр (рис. 54).



Поперечные проекции вышеприведенных форм

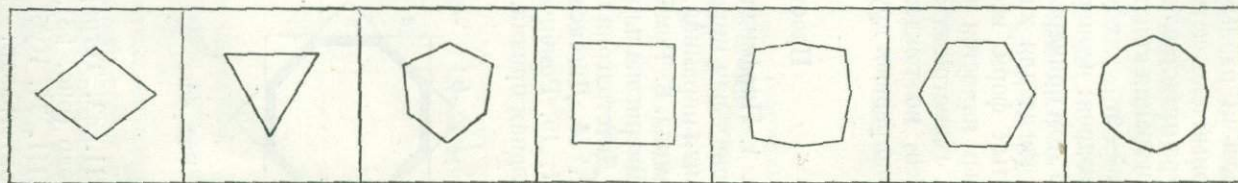


Рис. 48.

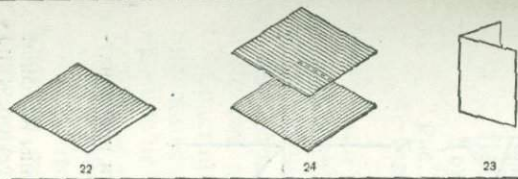
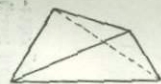


Рис. 49.



25

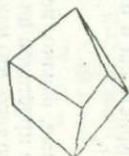


26

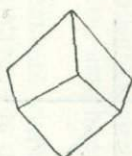


27

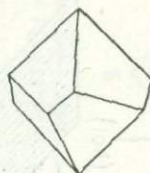
Рис. 50.



28

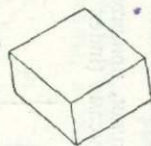


29



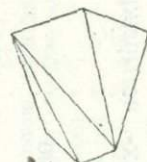
30

Рис. 51.



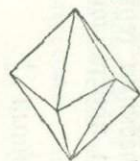
31

Рис. 52.

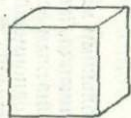


32

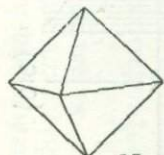
Рис. 53.



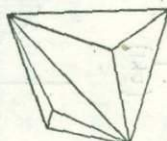
33



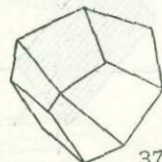
34



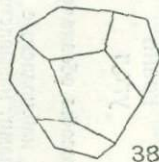
35



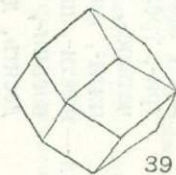
36



37



38



39



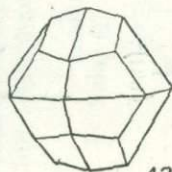
40



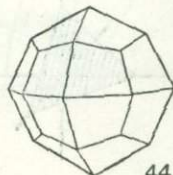
41



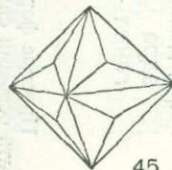
42



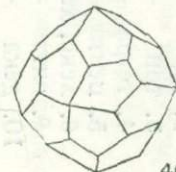
43



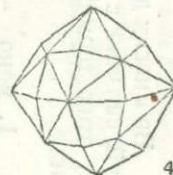
44



45



46



47

Рис. 54.

## Происхождение кристаллографической номенклатуры.

Во многих дисциплинах большинство специальных научных названий связано с латинскими или греческими терминами. Некоторые из этих терминов, употребляемых в кристаллографии, приводятся ниже.

- |                |   |                              |
|----------------|---|------------------------------|
| 1. моно        | — | одно-, единственный          |
| 2. ди          | — | дву-, дважды                 |
| 3. три         | — | три-, трех-, трижды          |
| 4. тетра       | — | четыре-, четырех-, четырежды |
| 5. пента       | — | пяти-, пятью                 |
| 6. гекс, гекса | — | шести-, шестью               |
| 8. окта        | — | восемь-, восемью             |
| 10. дека       | — | десять, десяти               |
| 12. додека     | — | двенадцать, двенадцати       |
| эдра           | — | грань                        |
| гония          | — | угол                         |

### Способы обозначения кристаллических форм.

Простые формы, наблюдаемые в кристаллах, принято выражать или обозначать особыми символами, называемыми индексами (index — указатель). Для этой

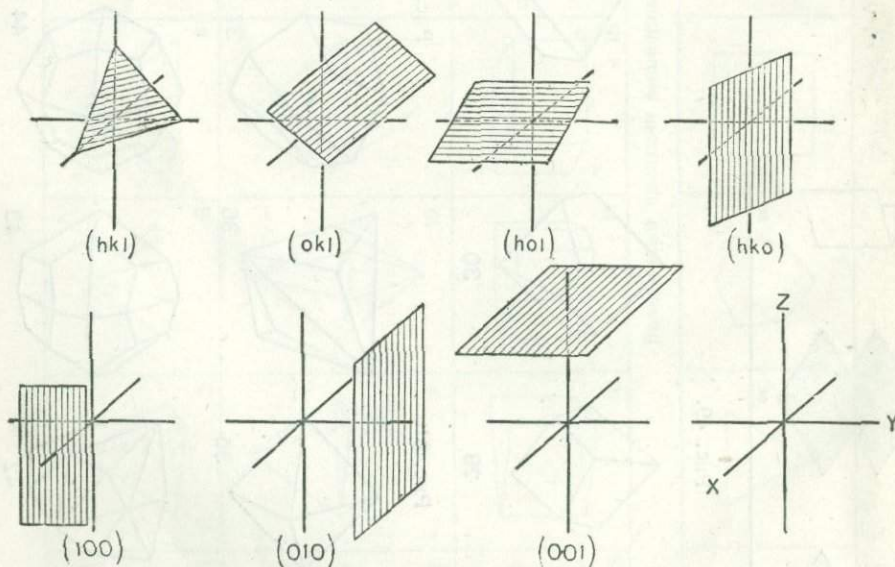


Рис. 55. Различные случаи положения грани кристалла в отношении координатных осей ( $xuz$ ).

цели пользуются несколькими методами, которые, однако, все основаны на одном и том же принципе, а именно, на ориентировке кристалла по трем ( $xuz$ ) и реже по четырем ( $xuzv$ ) координатным осям. Вследствие того, что каждая из простых форм ограничена гранями одноименными, то достаточно бывает определить относительно этих осей положение только какой-либо одной из граней, составляющей форму. То или иное положение грани в кристалле оценивается на основании отрезков — параметров, получающихся от места пересечения грани с осями и до места

начала координат. В результате ряда весьма несложных операций получают числа индексов или то или иное значение их, например  $(hkl)$ , определяющие вполне точно положение грани в кристалле.

Таким образом, если положение грани в кристалле таково, что данная грань пересекает все три координатные оси ( $x, y, z$ ), то индекс данной грани можно обозначить символом  $(hkl)$ . В случае пересечения по каким-либо двум осям символы будут:

- |  |
|--|
| 1 — пересечение по $(xy\infty)$ — символ $(hk0)$ |
| 2 — " " " $(x\infty z)$ — " $(h0l)$              |
| 3 — " " " $(\infty yz)$ — " $(0kl)$              |

Если грани пересекают только одну из трех осей, символы их примут выражение:

- |   |
|---|
| 1 — пересечение по $(x\infty\infty)$ — символ $(h00)$ или $(100)$ |
| 2 — " " " $(\infty y\infty)$ — " $(0k0)$ " $(010)$                |
| 3 — " " " $(\infty\infty l)$ — " $(00l)$ " $(001)$                |

Во многих случаях индексы простых форм для различных многогранников будут выражены следующими символами:

- |                   |         |             |                |                     |
|-------------------|---------|-------------|----------------|---------------------|
| 1. Куб            | $(xyz)$ | $h = k = l$ | — индекс формы | $(h00)$ или $(100)$ |
| 2. Октаэдр        | $(hkl)$ | $h = k = l$ | — " "          | $(hhh)$ " $(111)$   |
| 3. Ромбододекаэдр | $(hkl)$ | $h = k$     | — " "          | $(hh0)$ " $(110)$   |

### Двойники.

При кристаллизации различных веществ очень часто образуются не одиночные кристаллы, а закономерные срастания их, именуемые

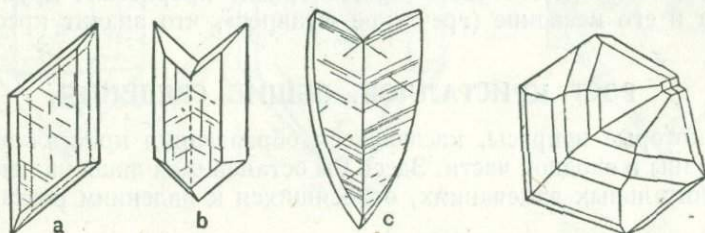


Рис. 56. Двойники кристаллов гипса: а — единственный кристалл; б, с — двойники.

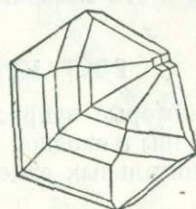


Рис. 57. Двойник касситерита.

д в о й н и к а м и. Особенно двойниками богат и разнообразен мир природных естественных образований — минералов. Многие минералы можно легко определить и узнать по их характерным двойниковым образованиям, например гипс, касситерит (оловянный камень) и многие другие.

Срастание отдельных индивидуумов является следствием срастания самих пространственных решеток кристалла и представляет собой явление не случайное, а находящееся в прямой зависимости от структуры самого вещества.

В двойниках различают: 1. Поверхность срастания — это физическая поверхность кристаллов, отделяющая один индивид от другого. 2. Двойниковую плоскость, представляющую плоскость, при отражении в которой все части одного индивида дают соответственные части другого. Часто двойниковая плоскость совпадает с поверхностью срастания, но нередко бывают и такие случаи, когда совпадения нет. Третьим элементом двойниковых образований является двойниковая ось, при пово-

роте вокруг которой на  $180^\circ$  один индивид двойника выводится из другого.

Среди двойников различают: 1 — двойники сростания, 2 — двойники прорастания и 3 — полисинтетические двойники, или многократные (от «поли» — много и «синтез» — соединение). Примером полисинтетических образований может служить также гипс, полевые шпаты и пр. (рис. 58). Примером двойникового прорастания является,

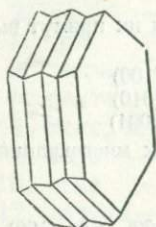


Рис. 58. Полисинтетический двойник плагиоклаза.

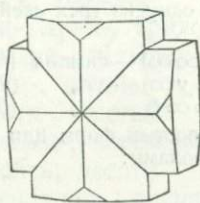
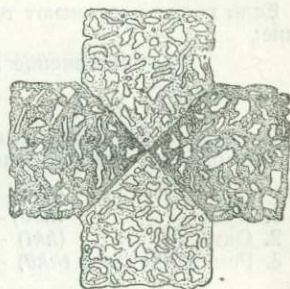


Рис. 59. Двойники ставролита.



например, минерал ставролит (из группы алюмосиликатов); отдельные индивидуумы его часто крестообразно прорастают друг друга, откуда и его название (греческое «ставрос», что значит крест).

## РОСТ КРИСТАЛЛОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Некоторые вопросы, касающиеся образования кристаллов, были разобраны в вводной части. Здесь мы остановимся лишь на некоторых дополнительных замечаниях, относящихся к явлениям роста.

### Основные пути образования кристаллов.

Известны следующие пути образования кристаллов.

1) Выделение кристаллов из раствора — водного или безводного. Кристаллизация происходит вследствие уменьшения растворимости того или иного вещества или увеличения концентрации соли в растворителе. Эти изменения в состоянии раствора могут быть вызваны различными причинами. Главнейшими из них являются: изменение температуры среды (по большей части охлаждение), изменение давления, влияние тех или иных примесей, удаление достаточной части самого растворителя и пр.

2) Образование кристаллов из расплавленного состояния, вследствие охлаждения и затвердевания расплава. В природе такой способ кристаллизации имеет широкое распространение.

3) Кристаллизация путем процессов возгонки, т. е. перехода вещества из парообразного состояния непосредственно в твердое.

4) Перекристаллизация в твердом состоянии. Этот вид кристаллизации также наблюдается как в природе, так и в искусственной обстановке; сюда, например, относятся случаи «расстекловывания» стекол, т. е. случаи перехода стекла из аморфного в кристаллическое состояние.

Все эти виды кристаллизации можно легко показать на простых опытах в небольшой лабораторной обстановке, особенно кристаллизацию из раствора<sup>1</sup>.

### Основной закон кристаллографии.

Этот закон был установлен в конце XVIII в. французским ученым Ромэ-де-Л'Илем (1736—1790) и носит название закона постоянства углов.

Факты, побудившие к установлению данного закона, были связаны с многочисленными наблюдениями и изучением внешних форм кристаллов. Давно уже было замечено, что многие кристаллы, относящиеся к одному и тому же веществу, чрезвычайно различны по своим формам. Отдельные кристаллы часто настолько искажены в отношении размеров и внешнего вида, что в сравнении с нормальной или идеальной формой данного вещества нередко мало имеют чего общего. Необходима была весьма большая наблюдательность, чтобы

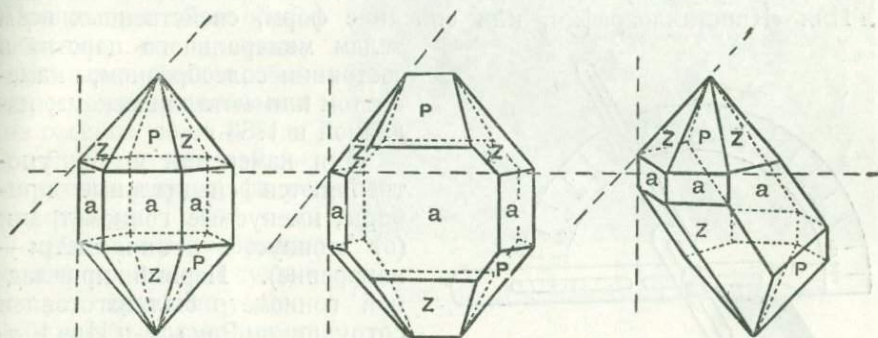


Рис. 60.

установить общность и соответствующую тождественность между отдельными кристаллами одного и того же вещества. Однако при всем этом на отдельных веществах стали подмечать, что, несмотря на кажущийся различный облик кристаллов у этих веществ, углы между гранями всегда остаются постоянными. Такое явление было изучено в 1669 г. датчанином Стеноном на кварце ( $\text{SiO}_2$ ), затем современником Стенона датчанином Бартолином на исландском шпате ( $\text{CaCO}_3$ ) и несколько позже голландцем Левенгуком на гипсе ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Кроме того, еще гораздо раньше, в 1615 г. о постоянстве углов у кристаллов упоминает Кеплер в своих работах со снежинками.

Все эти наблюдения касались лишь отдельных веществ, но необходимого обобщения этого явления, как закона, распространяющегося

<sup>1</sup> В связи с этим можно порекомендовать учащимся посетить некоторые заводы и фабрики по выработке химически чистых реактивов. Здесь в соответствующих отделениях, где занимаются очисткой химических препаратов, ведут кристаллизацию в массовом масштабе. При надлежащей налаженности дела и соответствующего оборудования все эти процессы здесь развернуты с исключительной четкостью, яркостью и наглядностью.

В Москве в этом направлении можно указать, например, на завод имени Карпова за Добрынинской заставой, у деревни Нижние Котлы.

на все кристаллические вещества, еще не было сделано. И только после ряда систематических исследований Ромэ-де-л'Иля, произведенных над множеством различных веществ, эта особенность кристаллов приобрела форму основного закона кристаллографии.

По Ромэ-де-л'Илю закон этот формулируется следующим образом:

*Кристаллы одного и того же вещества могут иметь разную величину, форму и число граней, но углы между соответствующими гранями остаются постоянными.*

На рисунке 60 изображены отдельные кристаллы кварца, имеющие разный геометрический облик в отношении своих граней. Но, измеряя у всех трех кристаллов углы между гранями, мы получаем следующее постоянство:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1) углы между гранями призмы <i>a</i>   | равны $120^\circ$ |
| 2) " " " ромбоэдров <i>p</i> и <i>z</i> | " $133^\circ 14'$ |
| 3) " " " призмы и ромбоэдров            | " $141^\circ 47'$ |

и т. д.

Этот рисунок с расчетами углов помещен в книге самого Ромэ-де-л'Иля «Кристаллография, или описание форм, свойственных всем телам минерального царства в состоянии солеобразном, каменистом или металлическом», изданной в 1783 г.

Для измерения углов употребляются специальные приборы, именуемые гониометрами (от «гониус» — угол и «метр» — измерение). Первый прикладной гониометр был изготовлен сотрудником Ромэ-де-л'Иля Каранжо (рис. 61). В дальнейшем это дело начало постепенно развиваться и в настоящее время доведено до высокого совершенства со всеми приемами и методами вычислительной кристаллографии.

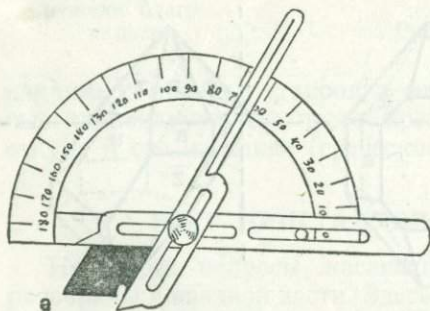


Рис. 61. Гониометр Каранжо: *a* — кристалл.

В дальнейшем это дело начало постепенно развиваться и в настоящее время доведено до высокого совершенства со всеми приемами и методами вычислительной кристаллографии.

### Фигуры роста.

Если кристаллизация какого-нибудь вещества протекает при относительно нормальных условиях и связана с известной длительностью во времени и если при этом среда, из которой образуется кристалл, является в достаточной мере подвижной, то обычно кристалл вырастает в свойственной ему выпуклой многогранной форме, т. е. в форме обычного многогранника.

Но в ряде случаев, в силу тех или иных причин, связанных с характером окружающей обстановки, кристаллы не образуются

в своих целых формах, а принимают форму так называемых кристаллических скелетов.

Весьма характерным примером в этом отношении являются



Рис. 62. Снежинки (из Гольдшмидта).

снежинки, описание которых приводилось выше. Как известно, эти своеобразные тела обычно имеют форму разнообразных шестилучевых звездочек и представляют собой фигуры роста льда, кристаллизующегося в гексагональной сингонии. Точно так же подобные же фигуры роста можно часто видеть в форме своеобразных ветвистых или древовидных образований, называемых дендритами, например ледяные узоры на окнах, и во множестве других образований.

Иногда фигуры роста в виде ступенчатых пирамид обнаруживаются у поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ), кристаллизующейся обычно в кубах. Происходят такие образования по причине, главным образом, быстрого испарения воды из рассола соли. Среди различных тел наблюдаются и другие фигуры роста.

По росту и образованию кристаллов существует довольно большое число специальных работ. К этой категории явлений относятся разнообразные темы, связанные, например, с вопросами о скоростях роста граней кристаллов, о влиянии тех или иных факторов при росте на внешний облик кристалла, здесь же всплывают вопросы и о поверхностной энергии кристалла, о так называемых концентрационных потоках и т. д.

Интересующиеся этими вопросами могут почерпнуть соответствующий материал из книг:

Вульф Г. В., Кристаллы, их образование, вид и строение.

Шубников А. В., Как растут кристаллы, 1935.

## РЕНТГЕНОМЕТРИЯ КРИСТАЛЛОВ.

Для изучения кристаллов особенно ценным в настоящее время является метод, связанный с явлениями дифракции рентгеновских лучей. Эти явления впервые были исследованы немецким физиком Лауэ в 1912 г., а затем и другими учеными — Брэггом У. (1912), Вульфом (1913), Дебайем (1913)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Рентгеновы лучи известны с 1895 г. В это время немецким ученым Рентгеном (Вильгельм-Конрад Рентген, род. в 1845 г. в Рейнской провинции, в г. Леннепе) был открыт особый род лучей, носящих теперь его имя. Лучи эти возникают из катодных лучей при ударе их о какое-нибудь твердое тело — антикатод. Катодные лучи представляют собой быстро движущийся поток электро-

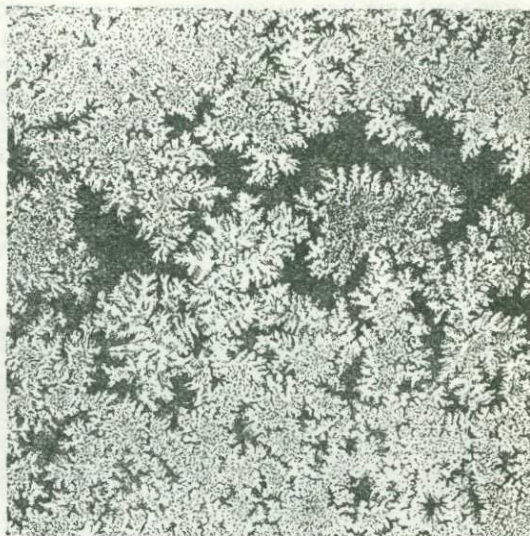


Рис. 63. Дендриты снега (из Леба М.).

Сущность опыта заключалась в том, что пучок рентгеновых лучей, прошедший через точечную диафрагму, пропускаться через кристалл, а затем на фотопластинку, помещенную с противоположной стороны кристалла.

В полученной рентгенограмме вокруг почерневшего центрального пятна, которое является следом прошедшего луча, на фотографии оказался еще ряд других пятен, расположенных по отношению к центральному в закономерном порядке. Эта система пятен, различная по яркости и густоте расположения, подтверждает решетчатое строение кристаллов, так как является следствием пересечения отраженных пучков лучей от плоскостей кристаллической решетки. Сам кристалл при этом действует на рентгеновы лучи как дифракционная решетка.

Картина пятен (бликов) на рентгенограмме находится в теснейшей связи с положением или ориентировкой кристалла по отношению к проходящему сквозь него лучу. В зави-

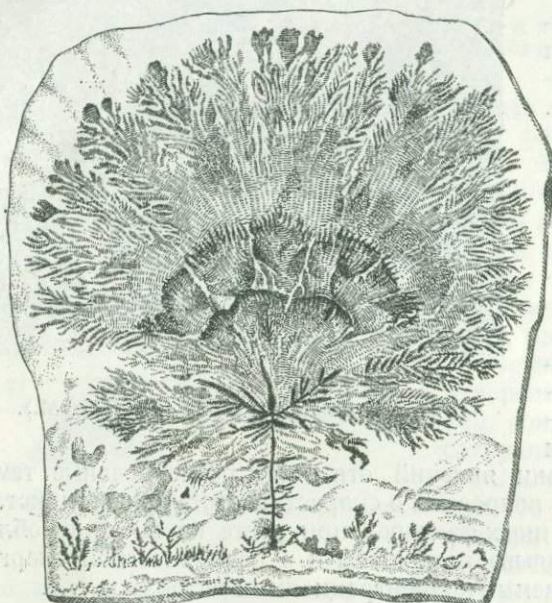


Рис. 64. Дендриты мanganита на известняке (из Золенгофена — Sauer A.).

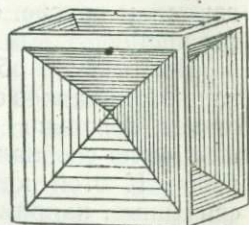


Рис. 65. Скелет каменной соли.

симости от того или иного положения кристалла симметрия пятен соответствующим образом меняется.

В настоящее время для получения рентгенограмм кристаллических тел пользуются разными методами. Существенной особенностью метода Лауэ<sup>1</sup> являются применение только кристаллов, имеющих крупные размеры, и их точная ориентировка по отношению к проходящему пучку лучей. Расчет полученных этим методом рентгенограмм,

пов из накаливаемой металлической проволоки, образующей катод. В трубках Кулиджа удары быстрых электронов об антикатод вызывают внутри его атомов «перескоки» электронов, наподобие самопроизвольных скачков внутри радиоактивных атомов. Эти-то возмущения и являются источником рентгеновых лучей.

Открытие Рентгена создало целую эпоху в области физических знаний и вместе с тем дало в руки человечеству неоценимое орудие для разнообразных практических целей.

<sup>1</sup> Friedrich W., Knipping P. u. v. Laue, M., Ann. d. Phys., 1913.

или лауэграмм, представляет собой довольно сложные математические операции. Весьма интересным является еще метод Б р э г г о в (отца

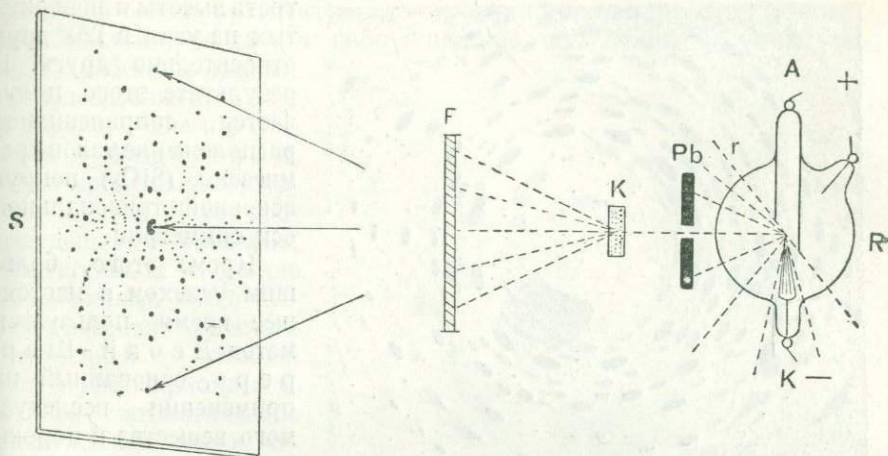


Рис. 66. Схема установки Лауэ:

*R* — рентгеновая трубка; *K* — катод; *A* — антикатод; *r* — рентгеновы лучи; *Pb* — свинцовые ширмы; *K* — кристалл; *F* — фотографическая пластинка; *S* — система бликов на фотопластинке.

и сына), основанный также на употреблении целого кристалла, но с введением в самую методику исследования дополнительного приспособления в качестве спектрометра. При помощи этого приспособления вопрос о структуре кристаллов решается сравнением спектров разных порядков от различных плоскостей. Методом Б р э г г о в удалось произвести исследования над многими изоморфными телами. Блестящим примером применения этого метода является разбор структуры кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ), принадлежащего к ромбоэдрическому классу гексагональной сингонии, а также цинковой обманки ( $\text{ZnS}$ ), структура которой отвечает структуре алмаза, и многие другие. Большой интерес представляет строение кварца ( $\text{SiO}_2$ ). Несмотря на химическую простоту этого вещества, до сих пор еще не удалось пол-

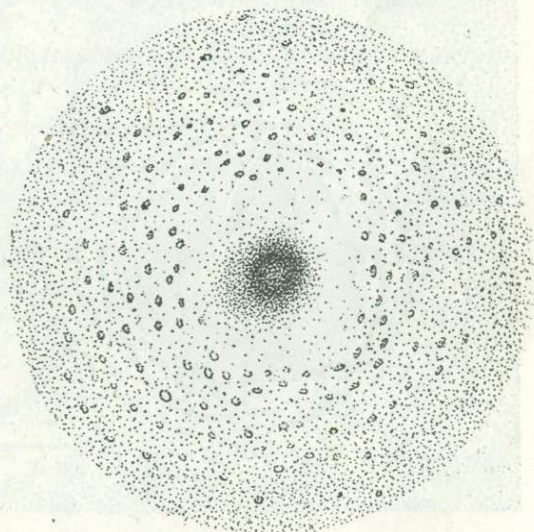


Рис. 67. Лауэграмма.

ной отвечает структуре алмаза, и многие другие. Большой интерес представляет строение кварца ( $\text{SiO}_2$ ). Несмотря на химическую простоту этого вещества, до сих пор еще не удалось пол-

ностью разрешить все вопросы, касающиеся структуры его. Брэггам удалось установить, что кварц состоит из трех гексагональных реше-

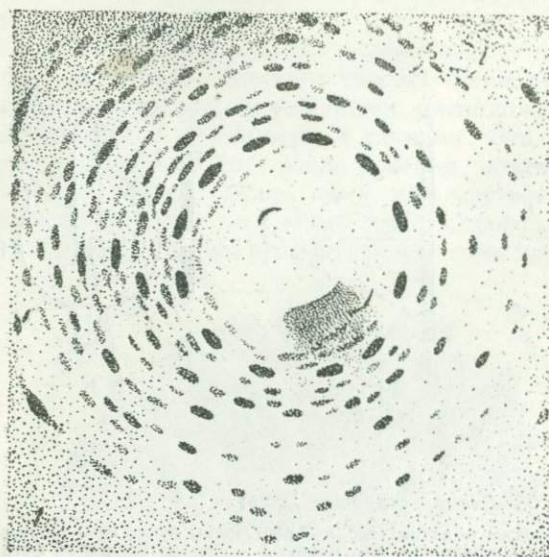


Рис. 68. Рентгенограмма берилла.

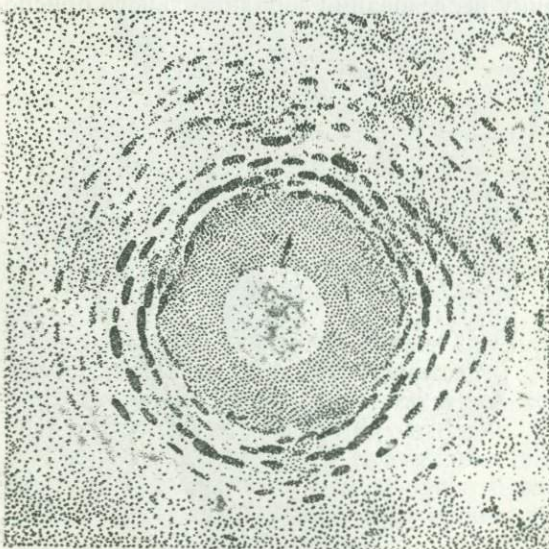


Рис. 69. Рентгенограмма турмалина.

щих полную структурную характеристику исследуемого вещества. Открытию Лауэ в 1912 г. истинной природы кристаллического вещества методом дифракции рентгенолучей предшествовал ряд положений,

тот, сдвинутых на одну треть высоты и повернутых на угол в  $120^\circ$  друг относительно друга. В результате этого получается спиралевидное расположение узлов кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) вокруг основной тригональной оси симметрии.

Кроме этого, большим успехом в настоящее время пользуется метод Дебай-Шеррера, основанный на применении исследуемого вещества в порошкообразном состоянии. Громадное преимущество этого метода заключается в том, что для него не требуется наличия крупных образцов кристаллических тел. Перед употреблением испытуемое вещество в мелко растертом состоянии обычно спрессовывается в небольшой столбик. Этим методом возможно исследовать не только спрессованные порошки, но и вести работу над готовыми образцами металлов в виде проволоки, если кристаллики их достаточно мелки.

Вследствие того, что при наличии множества кристаллов отражение может произойти от любой грани каждого кристалла, на рентгенограмме обычно получается ряд линий, даю-

основанных на твердой уверенности, что кристалл представляет собой пространственную решетку определенных размеров. Вследствие гениальных гипотез Г а ю и (1743—1822) и Б р а в е (1811—1863) была заложена основа архитектурного строения кристаллических веществ. Впоследствии, когда эти гипотетические положения блестяще были разработаны такими исследователями, как Зонке, Шенфлисом и Федоровым, то ко времени уже первых опытов Лауэ, произведенных в Мюнхене, существовала и вполне обосновалась чисто математическая теория о внутренней атомной структуре кристаллов. Строго математические рассуждения после открытия Лауэ нашли физико - математические объяснения и привели к установлению экспериментальных методов определения кристаллической структуры. Этот момент является знаменательным в истории науки. Рентгеновы лучи явились новым способом изучения структуры кристаллического вещества.

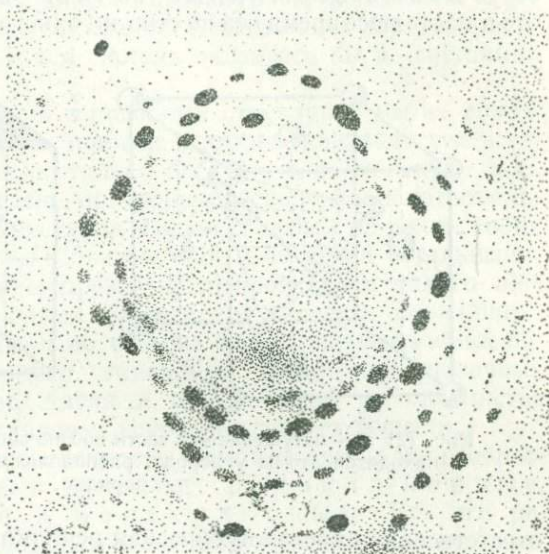


Рис. 70. Рентгенограмма кварца.

### Основные типы пространственных решеток.

На основании рентгеновских методов исследования в настоящее время с достаточной определенностью выявились многие конфигура-

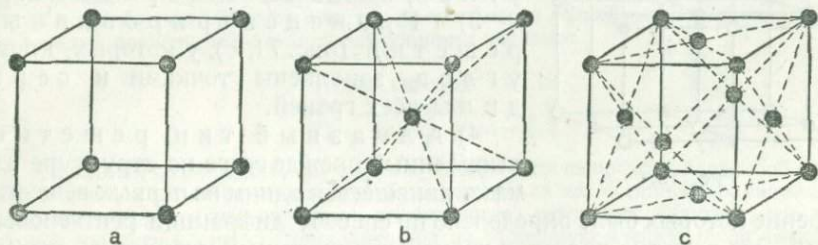


Рис. 71.

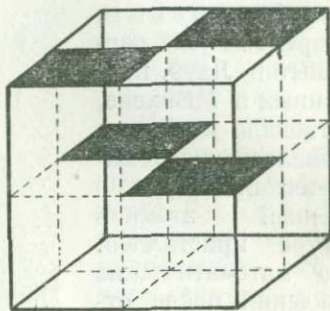
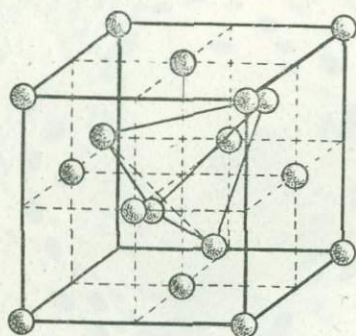
ции и типы пространственных решеток кристаллов в соответствии как с характером расположения частиц, так и с химической природой их.

В связи с этим мы можем выделить следующие группы решеток.

**Атомные решетки.** В узлах этих решеток расположены атомы как электрически нейтральные частицы. Решетки эти свойственны

элементам и в соответствии с количеством узлов в отношении каждой отдельной ячейки распределяются еще на отдельные виды. Из решеток, относящихся к кубической сингонии, можно привести следующие:

1) Простая кубическая решетка (рис. 71, а) представляет собой случай, где в ячейке, имеющей форму куба, заняты лишь ее угловые вершинные точки. Однако необходимо отметить, что в настоящее время неизвестно ни одного вещества, которому бы со-



а

Рис. 72: а — затухеванные части обозначают кубы, в центре которых находятся атомы углерода, расположенные в тетраэдрическом порядке.

ответствовала простая кубическая решетка. Обычно эти простые решетки превращены в так называемые составные, путем вставления друг в друга двух или нескольких простых решеток. При этом часто обнаруживается, что отдельные решетки, из которых построена составная решетка, сложены не только из одних и тех же атомов, но и из разных видов их.

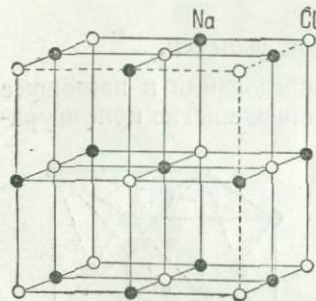


Рис. 73.

2) Объемноцентрированные решетки (рис. 71, б) являются такими, у которых в элементарной ячейке, кроме углов, занята еще и середина.

3) Гранецентрированные решетки (рис. 71, с), у которых, кроме углов, заполнены точками и середины всех граней.

4) Алмазный тип решетки, выявленный прежде всего на структуре алмаза, явившегося одним из первых веществ,

строение которых было определено по способу дифракции рентгеновых лучей. Эта решетка является гранецентрированной кубической решеткой, в которую еще включены четыре атома углерода в тетраэдрическом расположении друг к другу. Этот тип решетки свойствен, кроме алмаза, и многим другим веществам (рис. 72).

**Ионные решетки.** В узлах их расположены ионы, т. е. ионизированные атомы, имеющие положительные или отрицательные заряды. Классическим примером ионных структур является решетка каменной соли (NaCl), относящейся также к кубической сингонии (рис. 73).

Здесь в узлах ее попеременно расположены ионы натрия  $\text{Na}^+$  и ионы хлора  $\text{Cl}^-$ . В подобных структурах, вследствие несимметричности расположения зарядов в отдельных атомах, при сближении происходит некоторое взаимодействие друг на друга, в результате чего получается взаимное притяжение, и вся система оказывается в положении некоторого устойчивого структурного комплекса. Само собой очевидно, что в случае сближения одноименных зарядов произошло бы расталкивание и вся система оказалась бы в состоянии разрушения.

С химической точки зрения в подобных структурах мы не можем различить отдельных молекул; понятие о химической молекуле в таком кристалле теряется, если только не считать за молекулу весь кристалл в целом. На самом деле, при данном расположении материальных частиц, каждый ион кристалла связан с любым из шести своих соседей в точности таким же образом, как и со всеми остальными, вследствие чего нет причины преимущественной связи какого-либо иона натрия с каким-либо одним ионом хлора из шести ближайших.

Подобные структуры довольно обычны среди так называемых бинарных соединений, например галоидных соединений щелочных металлов — натрия, калия, лития и пр., а также у большинства окисей двухвалентных металлов и некоторых других веществ.

Кроме разобранных типов решеток, известны еще и многообразные другие, среди которых различают: радикальные, комплекс-ионные и молекулярные. Все эти решетки свойственны разнообразным веществам включительно до сложнейших органических.

#### Примеры некоторых сложных комплексных решеток.

Фосфорнокислое серебро —  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  (рис. 74). Кристаллизуется в кубической сингонии. В элементарной кубической ячейке атомы серебра расположены в количестве двенадцати частиц на гранях куба в местах половинных расстояний в отношении трех перпендикулярных плоскостей, делящих всю кубическую ячейку на восемь равных маленьких кубиков. Фосфор сконцентрирован на углах большого куба и в центре его в количестве девяти атомов. Кислород же заключен в центре каждого маленького куба, которые в количестве восьми образуют большой общий куб, представляющий отдельную ячейку кристалла.

Таким образом общее количество всех атомов в данной ячейке, приходящихся на каждый элемент, выражается следующими числами:

- 1) для серебра — 12
- 2) „ фосфора — 9
- 3) „ кислорода — 8

Принимая во внимание, что кристалл данной соли не представляет собой отдельной ячейки, а является комплексом большого числа их, соединенных своими плоскостями в одно общее сплошное пространство, нетрудно убедиться, что число атомов каждого элемента, приходящихся на отдельную ячейку, будет несколько иное, а именно:

- 1) для серебра — 6
- 2) „ фосфора — 2
- 3) „ кислорода — 8

Такое изменение в числе атомов вызвано тем обстоятельством, что при взаимном соприкосновении всех ячеек многие из атомов окажутся общими для двух или даже нескольких ячеек одновременно. Вследствие этого при общем подсчете их приходится учитывать не целые атомы, а только соответствующие части их, скла-

дывая которые, мы и получаем уже новые числа. Так, например, атомы, находящиеся на вершинах какой-нибудь шестигранной фигуры и участвовавшие в построении этой изолированной от всего остального пространства фигуры в количестве восьми единиц, сократятся всего лишь до одной частицы, если от этой единичной изолированной фигуры перейти к целому комплексу их, соединенных в одну общую сплошную пространственную массу. Здесь уже каждая угловая частица является составной частью не одной фигуры, а целых восьми, находящихся в окружении около каждой частицы. Вследствие этого каждая угловая частица в отношении отдельной ячейки будет участвовать лишь только одной восьмой своей частью, что в общей сумме составит одну целую единицу, приходящуюся на каждую ячейку.

Таким образом для разбираемого вещества — фосфата серебра  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  структурный анализ показывает следующие соотношения элементов:  $\text{Ag}_6\text{P}_2\text{O}_8$ , что соответствует формуле  $(\text{Ag}_3\text{PO}_4)_2$  или просто  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ .

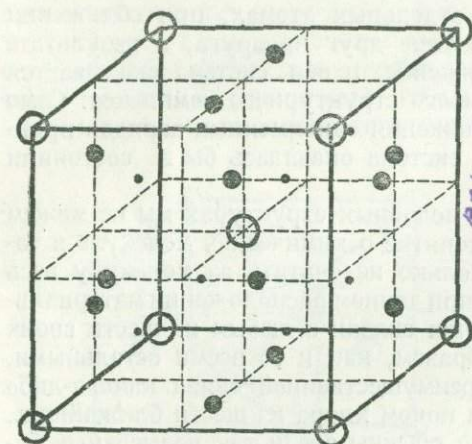
Хлороплатинат калия

$\text{K}_2\text{PtCl}_6$  (рис. 75). Кристаллизуется в кубической сингонии. В элементарной ячейке, имеющей вид куба, атомы калия заключены в центрах восьми маленьких кубов, получающихся при делении всей ячейки тремя взаимно перпендикулярными плоскостями. Атомы платины занимают вершины большого куба и центральные части граней его в количестве четырнадцати узлов. Хлор сконцентрирован вокруг каждого атома платины в количестве шести узлов и размещен по ребрам кубов в местах полувинных расстояний от плоскости, делящих большой куб на восемь маленьких. Нетрудно убедиться, что положение хлора в отношении каждого атома платины определяется октаэдрической структурой.

Таким образом общее количество атомов данного вещества для отдельной ячейки выражается следующими цифрами:

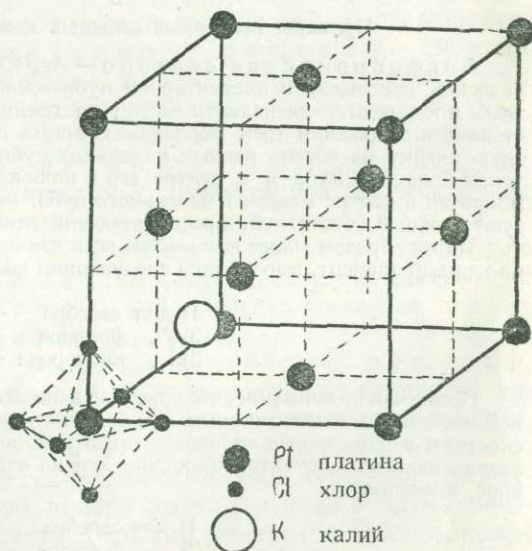
- 1) для калия — 8
- 2) „ платины — 14
- 3) „ хлора — 54

(В отношении расположения атомов хлора необходимо отметить, как это видно и из рисунка, что на угловые узлы платины приходится по три хлора:  $8 \times 3 = 24$  узла, тогда как на гранные по пяти:  $6 \times 5 = 30$ ; всего 54, или на ребрах большого куба размещается всего 24 атома, т. е. по два на каждом. На гранях



- Ag серебро
- P фосфор
- O кислород

Рис. 74.



- Pt платина
- Cl хлор
- K калий

Рис. 75.

этого же куба тоже 24 атома — по четыре на каждой грани — и шесть отдельных атомов хлора находится в центре большого куба в соответствии с граничными атомами платины. В общем итоге такое получается 54 атома.)

При перечислении на всю решетку, согласно предыдущему разобранному случаю, на ячейку придется:

- 1) для калия — 8
- 2) " платины — 4
- 3) " хлора — 24

Такие соотношения в числах атомов приводят нас к следующему обозначению химического состава данного вещества:

$K_8Pt_4Cl_{24}$ , что соответствует  $(K_2PtCl_6)_4$  или  $K_2PtCl_6$ .

В настоящее время, с точки зрения разнообразных структур, большой интерес приобретают силикаты, представляющие собой большую и разнообразную группу минеральных тел, широко распространенную в природе. Сейчас по структуре силикатов имеется весьма обильный материал, явившийся результатом широко развернувшихся в этой области исследовательских работ за последнее время<sup>1</sup>.

В качестве некоторых примеров можно остановиться на рассмотрении структуры циркония, представляющего силикат циркония  $ZrSiO_4$  (минерал, описанный в специальной части) (рис. 76).

Кристаллы циркония относятся к тетрагональной сингонии. Элементарная ячейка его имеет форму тетрагональной призмы. Атомы циркония расположены по углам призмы в количестве восьми узлов, и один атом его еще находится в центре. Таким образом девять атомов циркония представляют в совокупности объемноцентрированную призму. Кроме того, еще четыре атома циркония помещаются на четырех призматических гранях ячейки в местах на половинном расстоянии от горизонтальной плоскости, делящей всю ячейку на две равные части (верхнюю и нижнюю). Таким образом общее количество атомов циркония соответствует тринадцати.

Что же касается атомов кремния и кислорода, то последние в этой структуре сгруппированы в форме тетраэдрического комплекса, отвечающего составу  $SiO_4$ , и обычно именуемого кислородным тетраэдром, так как центральная часть его занята кремнием, а по углам расположены четыре атома кислорода (рис. 77).

В отношении рассматриваемого минерала кислородные тетраэдры группы  $SiO_4$  размещены в следующих местах ячейки: два тетраэдра находятся в центрах верхней и нижней граней призмы, четыре других помещаются по середине каждого из четырех ребер, параллельно связанным одной общей поперечной зоной призмы, четыре же последних тетраэдра занимают места на гранях призмы, свободные от занятых таким образом циркониевых атомов. Всего кислородных тетраэдров в ячейке оказывается десять.

Согласование такой структуры с химическим составом данного вещества до чрезвычайности просто.

Если на единичную ячейку приходится атомов циркония тринадцать, то для всей решетки это будет соответствовать четырем из следующего расчета:

- |    |                    |                |   |
|----|--------------------|----------------|---|
| 1) | В единичной ячейке | по углам — 8,  | для полной решетки на ячейку — 1                          |
| 2) | "                  | в центре — 1,  | "   |
| 3) | "                  | по граням — 4, | "   |
|    |                    |                | Всего <span style="border-top: 1px solid black;">4</span> |

<sup>1</sup> См.: Брэгг В. Л., Структура силикатов, ГНТИ 1934, а также Гасель, Кристаллохимия, ОНТИ 1936.

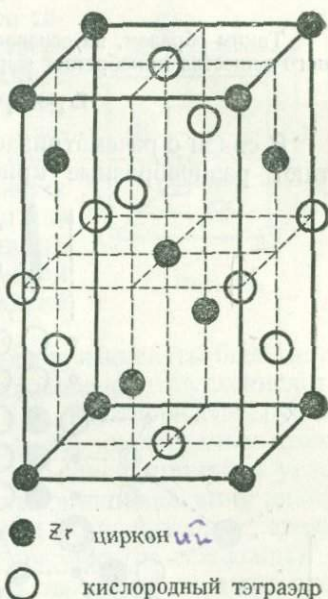
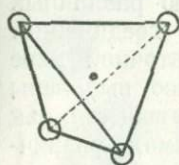


Рис. 76.



• Si

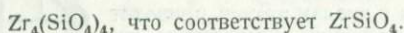
○ O

Рис. 77.

Количество же кислородных тетраэдров в единичной ячейке определяется десятью, для всей решетки это будет соответствовать также четырем:

1) в единичной ячейке по граням — 6, для всей решетки на ячейку — 3	— 3
2) „ „ „ „ ребрам — 4, „ „ „ „ „ „ „ „ — 1	— 1
	Всего 4

Таким образом, на основании структурного анализа, химический состав данного вещества приобретает выражение:



В связи с рассматриваемыми вопросами высокий интерес приобретают разнообразные кристаллы, характеризующиеся своеобразной

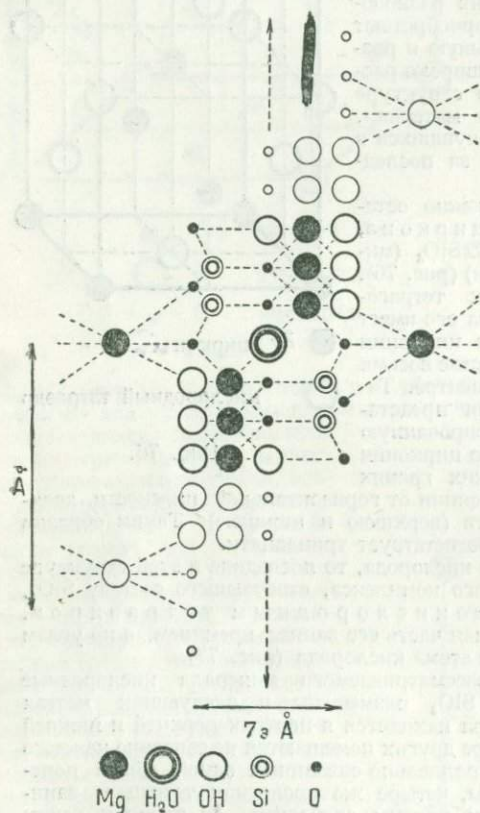


Рис. 78.

волокнистой структурой. В этом отношении в высшей степени оригинальным строением отличается хризотиласбест, представляющий сложный магнезиальный силикат. Его структура была изучена Варреном и Бреггом и является весьма сложной. Проекция структуры этого вещества изображена на рисунке 78. Обращает на себя внимание весьма слабая связь в узлах магнезия, расположенных между смежными полосами, в направлении которых, повидному, и происходит расщепление на волокна.

Весьма интересные данные имеются в настоящее время по исследованию различных органических соединений. Сейчас в достаточной мере ярко и отчетливо выявлены структуры таких веществ, как клетчатка, крахмал, различные сахара, проведены рентгенографические исследования каучука, гуттаперчи, некоторых белковых веществ,

фиброина шелка, коллагена — вещество сухожилий, и многие другие.

Среди разнообразных структур, известных в настоящее время, весьма интересными являются еще структуры, определяющиеся так называемыми слоистыми решетками. Эти решетки свойственны всем жирным и скользящим веществам, как, например, графиту, различным органическим кислотам жирного ряда, как, например, стеариновой, пальмитиновой, олеиновой и др.

В заключение этой главы необходимо отметить, что в последнее время в связи с получением низких температур довольно обстоятельно

изучены кристаллы многих веществ, находящихся в обычных условиях в газообразном состоянии. Пользуясь такими низкими температурами, можно теперь даже и при относительно невысоком давлении обратить сначала в жидкое, а затем и в твердое состояние многие газы до водорода и гелия включительно.

Легче всего удалось перевести в твердое состояние угольный ангидрид  $\text{CO}_2$ , который в твердом виде напоминает снега был известен вскоре после его сжижения. В 1911 г. снежинки углекислого газа были подробно исследованы американцем Бинкеном, который в особых лабораторных условиях, при особых условиях опыта получил не только снежинки, но и отдельные кристаллы этого вещества. Оказалось, что эти кристаллы принадлежат к кубической сингонии и в большинстве случаев образуют комбинации куба с октаэдром.

В относительно недавнее время кристаллы углекислоты были изучены рентгенометрически, при этом было установлено, что углекислота образует молекулярную решетку, в которой атомы углерода образуют гранецентрированный куб, а оба кислородных атома каждой молекулы (рис. 79) расположены на одной прямой с углеродным атомом на близком к нему расстоянии в направлениях диагоналей (кислородные атомы на рисунке не показаны).

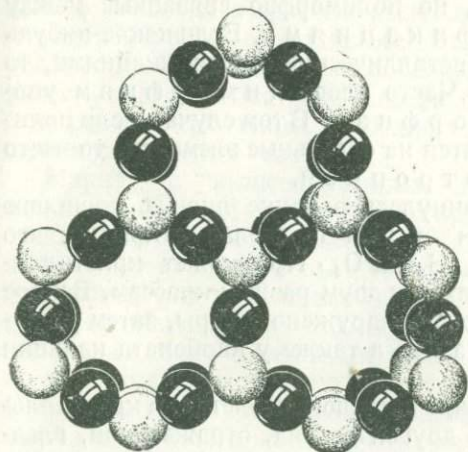


Рис. 80.

водорода, аргона и гелия. Условия изучения этих веществ весьма необычны, твердый водород имеет температуру минус  $257^\circ \text{C}$ , температура жидкого гелия минус  $268^\circ \text{C}$ . В 1926 г. Кезому в Лейдене удалось получить гелий в твердом состоянии, при этом была достигнута температура минус  $272,2^\circ \text{C}$ , т. е. на  $0,8$  выше абсолютного нуля.

В последние годы сделаны большие успехи в деле изучения воды, в частности твердых ее состояний. Еще в вводной главе этой книги были вкратце рассмотрены кристаллы льда и снега. В настоящее

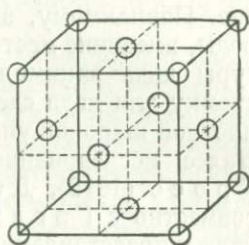


Рис. 79.

Углекислый газ легко превращается при  $20^\circ \text{C}$  и давлении в  $56,5 \text{ ат}$  в бесцветную, легко подвижную жидкость уд. веса  $0,766$ . Критическая температура  $31,3$ , критическое давление  $72,9 \text{ ат}$ , критическая плотность  $0,464$ . При обыкновенном давлении углекислота переходит в твердую фазу при минус  $78,5^\circ \text{C}$ . При давлении в  $5 \text{ ат}$  твердая двуокись углерода плавится при минус  $56,7^\circ \text{C}$ .

После углекислого газа были изучены также кристаллы азота, кислорода,

время от этой чисто внешней морфологической характеристики сделали значительные шаги вперед в сторону изучения внутренней структуры. Рентгенографический анализ льда указывает на большую сложность пространственного строения этого вещества и не всегда приводит к четким и определенным данным в отношении получаемых результатов. Повидимому, здесь большую роль играют различные аномалии воды, имеющие место от тех или иных ее состояний. Изучением структуры льда занимались различные ученые. Первую рентгеновскую съемку для льда сделал Р и н н е в 1917 г., решетка его отличалась плотной шаровой упаковкой, относящейся к гексагональной сингонии. Далее исследованием структуры воды занимались Д ж о н (1918), Г р о с с (1919), Д е н н и с о н (1921) и, наконец, Б р э г г (1922) совместно с Г э г д ж и н с о м; исследования последних ученых привели к представлениям о тетраэдрической модели строения этого вещества (рис. 80)<sup>1</sup>.

### ПОЛИМОРФИЗМ.

Среди разнообразных веществ, как природных, так и получаемых искусственно, нередко наблюдается способность при полном сохранении состава кристаллизоваться в различных решетках, что обычно приводит к разным сингониям, или классам. Такое явление носит название п о л и м о р ф и з м а, что значит м н о г о ф о р м н о с т ь: Тела одного и того же состава, но полиморфно связанные между собой, обычно называют м о д и ф и к а ц и я м и. Если какое-нибудь вещество представлено двумя кристаллическими модификациями, то говорят, что оно д и м о р ф н о. Часто слово д и м о р ф и з м употребляется так же, как п о л и м о р ф и з м. В том случае, если полиморфное состояние распространяется на отдельные элементы, то часто такое явление именуют а л л о т р о п и е й.

Учение о полиморфизме выдвинулось в науку лишь с прошлого столетия, когда М и т ч е р л и х в 1821 г. сделал открытие, что кислый фосфорнокислый натрий  $H_2NaPO_4 \cdot H_2O$  может кристаллизоваться в двух формах, относящихся к двум разным классам. Вскоре после этого явление это было также обнаружено у серы, затем у двусернистого железа (пирит и марказит), а также у карбоната кальция (кальцит и арагонит).

До этого времени, в самом начале прошлого столетия, в кристаллографии господствовал несколько другой взгляд, отражающий, главным образом, взгляды основателя ее Г а ю и, который выдвигал положение, что «каждому телу определенного химического состава принадлежит своя особенная форма». Наблюдения Митчерлиха поколебали такой взгляд. Утверждение Гаюи должно было уступить место более широкому представлению о геометрической форме кристаллов. Строго определенное «постоянство формы», присущее тому или иному веществу, приобрело несколько другой смысл. Геометрическая форма, определяющая внешнюю конфигурацию кристалла того или иного вещества, явилась следствием тех термодинамических условий, среди которых могло образоваться данное вещество. Таким образом с изме-

<sup>1</sup> Ф р и ц м а н, Природа воды, ОНТИ 1935.

нением внешних окружающих условий может измениться и форма кристалла, что в действительности и наблюдается для многих веществ. Явление полиморфизма неоднократно наблюдается среди минеральных тел. Можно привести большое количество разнообразных примеров из области как природных, так и искусственных соединений, четко иллюстрирующих это явление.

Особенно резкий и поучительный пример в этом направлении представляют минеральные видоизменения самородного углерода. Невозможно представить себе большего контраста в отношении всех внешних и внутренних особенностей, чем тот, какой мы находим между графитом и алмазом. Мягкий непрозрачный графит, черного цвета, кристаллизуется в чешуйчатых шестиугольных пластинках гексагональной сингонии, имеет малый удельный вес и является хорошим проводником электричества, тогда как алмаз, самый твердый из всех минералов, встречается в кристаллах кубической сингонии, в чистом виде является совершенно бесцветным, высокой степени прозрачности, имеет удельный вес 3,5 и обладает дурной электропроводностью. Все эти взаимоположенные особенности, наблюдаемые у одного и того же элемента, являются следствием двух разных структур. Внутренняя архитектурная группировка атомов углерода в графите резко отличается от таковой в алмазе, отсюда все последствия, распространяющиеся как на внешнюю геометрическую форму этих двух модификаций, так и на резко выраженные особенности в отношении физических свойств.

Наряду с вышеозначенным примером можно привести и ряд других, широко представленных на многих веществах. В этом отношении заслуживает большого внимания полиморфный ряд кремнезема  $\text{SiO}_2$ , описанный ниже в главе «Минералы группы кремния», стр. 130. В этом ряде представлены отдельные минеральные тела, обладающие одним и тем же химическим составом, но отличные друг от друга кристаллическим строением и формой. При этом поле устойчивости каждой модификации кремнезема в отношении своей кристаллической структуры определяется, как это показано на таблице, стр. 130 своим температурным интервалом, с изменением которого происходит переход в новые формы, отличающиеся от предыдущих новыми кристаллическими особенностями, а также и другими физическими свойствами.

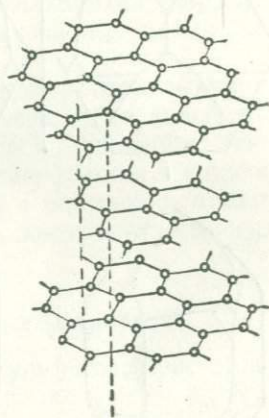


Рис. 81. Структура графита (структуру алмаза см. на рис. 72).

## ЭНАНТИОМОРФНЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МНОГОГРАННИКИ.

Среди некоторых веществ наблюдается способность кристаллизоваться в тождественных, подобных, формах, но несовместимых друг с другом. Эти многогранники являются попарно как бы зеркальным отражением друг друга и ни при каких условиях не могут быть совмещены в пространстве в строго параллельном положении.

Подобного рода явление наблюдается в симметрии правой и левой руки нашего тела. Обе конечности вполне схожи, но, как известно, никогда нельзя привести одну кисть руки в положение, параллельное другой, так чтобы обе кисти были совмещены. Они хотя подобны, но несовместимы.

Явление о несовместимости подобных кристаллических многогранников было замечено уже в начале XIX в., при изучении кристаллов кварца. Оказалось, что кристаллические формы этого минерала обладают двойным характером в отношении своей симметрии — один кристаллический индивид является зеркальным отражением другого, как это видно на рисунке 82. Но оба кристалла ни при каких перемещениях не могут быть совмещены. Впоследствии это явление на кварце было изучено более полно.

Оказалось, что и все свойства этих модификаций также зеркально противоположны. В этом отношении особенно крупную роль сыграли исследования, касающиеся оптических свойств; было совершенно точно установлено, что одни кварцы вращают плоскость поляризации вправо, а другие влево, причем кристаллы, право вращающие, представлены формами, которые являются зеркальным отражением форм лево вращающих кварцев. Вследствие этого установились понятия: правый и левый кварц. Теперь мы знаем, что суть всего этого дела кроется во внутреннем строении вещества, т. е. в соответствующем расположении атомов в пространственной решетке. Это явление было отмечено термином **энантиоморфизм** (от греческого «энантиос» — противоположный и «морфе» — форма, вид, образ) (Науманн, 1855), а тела, связанные с этим явлением, стали называть **энантиоморфными** и, или **энантиотропными**, т. е. противоположно-свойственными.

В связи с дальнейшими работами в этом направлении было изучено и много других веществ (многих органических соединений), связанных с энантиоморфизмом.

### ИЗОМОРФИЗМ.

Изоморфизм представляет собой явление, выраженное в способности некоторых веществ, близких по составу, кристаллизоваться в близких же формах.

Аналогия в химическом составе в изоморфных телах определяется тождественностью в общей сумме валентностей между соответствующими

щими компонентами. Учитывая это положение, изоморфизм нужно рассматривать как явление не только кристаллографическое, а и кристаллохимическое.

В настоящее время в связи с развитием этого учения различают:

1. **Изоморфизм совершенный** (изоморфизм в тесном смысле слова) — случай, когда изоморфные компоненты могут давать изоморфные однородные кристаллы переменного состава в каких угодно пропорциях друг с другом.

2. **Изоморфизм несовершенный** (изоморфизм в более широком смысле слова), когда таких промежуточных по составу кристаллов не наблюдается.

Явление изоморфизма было впервые выдвинуто в 1819 г. берлинским профессором **Митчеллом**, а впоследствии было широко развито рядом других ученых, в том числе голландским ученым **Вант-Гоффом**, в связи с его работами над так называемыми твердыми растворами. В соответствии с этим учением обосновалась теория смешанных кристаллов или изоморфных смесей.

В настоящее время в связи с учением об изоморфизме выдвинулись многие проблемы, касающиеся учета радиусов ионов, тождества знака заряда и относительно близких величин их поляризации. Этим положением покрываются все старые теории изоморфизма и все прежние наблюдения над этим явлением. Однако и в настоящий момент существуют еще не совсем ясные положения, касающиеся многих сторон изоморфности.

### Примеры некоторых групп изоморфных веществ.

I. Изоморфный ряд двойных солей водных сульфатов, кристаллизующихся в моноклинной сингонии:

1.  $(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{Mg}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{K}_2 \cdot \text{Mg}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
3.  $\text{K}_2 \cdot \text{Fe}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
4.  $\text{K}_2 \cdot \text{Ni}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
5.  $\text{K}_2 \cdot \text{Co}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6.  $\text{K}_2 \cdot \text{Cu}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
7.  $\text{K}_2 \cdot \text{Zn}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
8.  $\text{Mg}^{++} \cdot \text{Mg}^{++}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

II. Изоморфный ряд апатита:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Апатит $\text{Ca}_5^{++} \text{F}^-(\text{PO}_4)_3^{+++}$      | синг. гексагональная, класс $I^6\text{CP}$ |
| 2. Пироморфит $\text{Pb}_5^{++} \text{Cl}^-(\text{PO}_4)_3^{+++}$ | " " " "                                    |
| 3. Ванадинит $\text{Pb}_5^{++} \text{Cl}^-(\text{VO}_4)_3^{+++}$  | " " " "                                    |
| 4. Миметезит $\text{Pb}_5^{++} \text{Cl}^-(\text{AsO}_4)_3^{+++}$ | " " " "                                    |

III. Примером изоморфных веществ является ряд гексагональных карбонатов, однако причисляемый к разряду несовершенного изоморфизма, вследствие неполной способности отдельных компонентов давать кристаллы переменного состава:

	Угол ромбоэдра	74°55'	Радиус иона металла	1,06 Å
1. Кальцит $\text{Ca}^{++} \text{CO}_3$	"	73°58'	"	1,03 "
2. Отавит $\text{CdCO}_3$	"	73°24'	"	1,91 "
3. Родохрозит $\text{MnCO}_3$	"	73°0'	"	0,83 "
4. Силерит $\text{FeCO}_3$	"	72°31'	"	0,78 "
5. Магнезит $\text{MgCO}_3$	"	72°19'	"	0,83 "
6. Смитсонит $\text{ZnCO}_3$	"	72°19'	"	0,82 "
7. Сферокобальтин $\text{CoCO}_3$	"	"	"	"

Все эти вещества кристаллизуются в ромбоэдрическом виде симметрии ( $L^3 3L^2 C 3P$ ). Кристаллы этих веществ обладают совершенной спайностью по ромбоэдру, т. е. раскалываются по формам ромбоэдра. Таким образом относящиеся сюда вещества являются изосимметричными. Однако в отношении простых форм кристаллы многих из них чрезвычайно разнообразны; у одного кальцита их наблюдается свыше 175 — этот минерал из всех известных обладает исключительным богатством различных форм.

В то же время эта группа веществ является группой изовалентной, т. е. все относящиеся сюда представители имеют общие валентности.

По отношению к образованию смешанных кристаллов в этой группе не наблюдается всех тех переходов, которые известны в случае совершенного изоморфизма.

Согласно имеющимся наблюдениям кальцит и магнезит дают только одно промежуточное вещество состава:  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , или  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , — доломит; это двойная соль, где всегда на 54,35%  $\text{CaCO}_3$  приходится 45,65%  $\text{MgCO}_3$ .

С другой стороны, между магнезитом и сидеритом наблюдается непрерывный ряд смесей:  $m \text{MgCO}_3 \cdot n \text{FeCO}_3$  или  $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{CO}_3$ , при этом может быть:  $m > n$  или  $m < n$ .

### Общие сведения об изоморфных смесях.

Изоморфные смеси, наблюдаемые среди различных веществ, отличаются от всякого рода других состояний тел тем, что в этих смесях могут происходить изоморфные замещения среди отдельных атомов, ионов или их групп взаимно друг с другом. Такие замещения происходят в пространственной решетке на основании сходства соответственных свойств и кристаллохимических черт изоморфных элементов, близости объемов и размеров радиусов атомов, ионов и других еди-

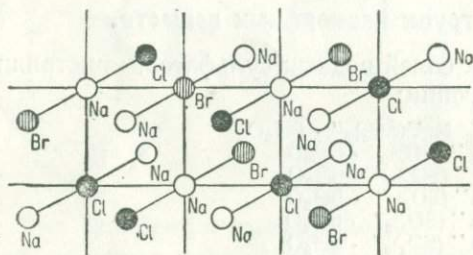
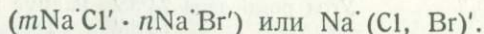


Рис. 83.

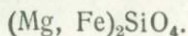
ниц, составляющих кристалл. Замещение одних единиц другими в решетке может быть полным или только в определенных пределах смесимости (совершенный и несовершенный изоморфизм).

На рисунке 83 приведена схема кристаллического строения  $\text{NaCl}$  с изоморфной примесью  $\text{NaBr}$ . Изоморфная примесь бромистого натрия объясняется тем, что внутри решетки  $\text{Na—Cl}$  всякое количество ионов  $\text{Cl}$  замещается ионами  $\text{Br}$ .

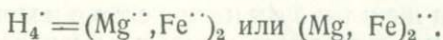
Для обозначения такой смеси обычно пользуются следующим выражением:



Точно так же, если в ортосиликате магния и железа (оливин) один металл изоморфно замещается другим, формулу данного соединения обозначают:



Это соединение есть производное ортокремневой кислоты, имеющей состав  $H_4SiO_4$ ; в изоморфной смеси все четыре валентности водорода целиком замещаются на четыре же валентности магния и железа (одновременно), т. е.



Вопросы, связанные с изоморфными смесями, чрезвычайно важны для решения многих минералогических и геохимических задач. В настоящее время этим явлениям оказывают большое внимание. К изоморфизму примыкают еще явления твердых растворов, на основании которых в последнее время ставятся вопросы окрашивания кристаллов тех или иных веществ.

Более исчерпывающие сведения об изоморфизме можно иметь в книгах:

Гольдшмидт В. М. (1911—1930), Основные идеи геохимии, Работы по геохимии и кристаллохимии, вып. I, стр. 141—166, Госхимтехиздат 1933.

Ферсман А. Е., Геохимия, т. I, стр. 106—127, 1933.

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ.

Некоторые общие замечания, касающиеся физических свойств кристаллов и связи этих свойств с внутренней структурой кристаллического вещества, с его анизотропностью, были сделаны в самом начале, в главе «Кристаллическое состояние».

В этом параграфе мы остановимся на описании лишь главнейших свойств кристаллов, характерных, главным образом, в отношении минеральных тел.

**Твердость.** Физические константы твердости описаны в главе о физических свойствах минералов. Здесь лишь необходимо отметить, что эта особенность кристаллического вещества также всецело связана с внутренней структурой и зависит от тех или иных направлений в кристалле.

Многочисленные исследования в этом направлении, особенно исследования Фридриха в 1926 г. и Гольдшмидта в 1927 г., привели к заключению, что между твердостью кристаллов и некоторыми основными свойствами решетки наблюдается некоторая количественная связь.

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ( $A$ ) И ТВЕРДОСТЬ ( $Tв$ ) В СЛУЧАЕ АНАЛОГИЧНЫХ РЕШЕТОК И ОДИНАКОВОЙ ВАЛЕНТНОСТИ.

Магний		Кальций		Стронций		Барий	
$A$	$Tв$	$A$	$Tв$	$A$	$Tв$	$A$	$Tв$
2,10	6,5	2,80	4,5	2,57	3,5	2,77	3,3
2,59	5,0	2,84	4,0	3,00	3,0	3,18	3,0
2,74	3,5	2,96	3,2	3,12	2,9	3,31	2,7
		3,17	2,9	3,32	2,8	3,49	2,6

Кроме этого, были при исследованиях обнаружены еще связи твердости в зависимости от валентностей при сходных расстояниях между частицами.

Прежде всего эта связь была подмечена в соответствии с расстояниями между частицами пространственной решетки. Оказывается для многих веществ наблюдается следующая зависимость:

При одном и том же типе решетки и одинаковой валентности составных частей ее твердость тем выше, чем меньше расстояние между частицами.

**Спайность.** Под кристаллической спайностью понимают способность кристаллов при ударе раскалываться по строго определенным плоскостям. Эти прямые направления раскола обычно именуются плоскостями спайности и целиком зависят от внутренней структуры кристаллического вещества.

В этой связи с внутренней структурой исключительную роль играют величины сил сцепления между частицами пространственной решетки. С изменением этих сил меняется и характер спайности кристаллов, т. е. степень прямого излома. Разрыв пространственной решетки произойдет скорее и легче в том направлении, перпендикулярно которому силы сцепления между частицами будут наименьшие — в этом направлении кристалл легче будет раскалываться. Само собой разумеется, что величины сил сцепления всегда будут находиться в обратной пропорциональной зависимости с величинами расстояний между частицами пространственной решетки, т. е. чем больше будет расстояния между частицами, тем меньше в этом месте сила сцепления между ними и тем, следовательно, легче в перпендикулярном к этому направлению произойдет прямой излом на кристалле. На рисунке 84 показан общий случай спайного раскола в соответствии с величинами расстояний между атомами.

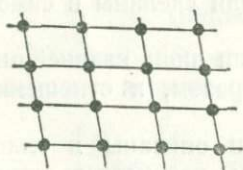


Рис. 84.

Явление кристаллической спайности весьма широко распространено среди многих минеральных тел. Этот признак иногда является настолько характерным для некоторых минералов, что по этой особенности эти минералы легко можно внешне (макроскопически) определять. Классическим примером в этом направлении является слюда, представляющая минерал из группы сложных силикатов. Слюда часто легко узнают по ее замечательной особенности расщепляться на отдельные пластинки и листочки вследствие весьма совершенной спайности по одному направлению.

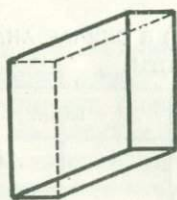


Рис. 85.

Этим же объясняется также расщепление и растирание на листочки, пластинки и отдельные чешуйки многих других минералов, например графита. Исследования показали, что в пространственной решетке графита углеродные атомы расположены по шестиугольным пластинкам с расстояниями в 1,45 Å. Группами таких пластинок образуются целые плоскости, составляющие горизонтальные направления в решетке. Что же касается направлений вертикальных, то они определяются расстояниями, несравненно большими, а именно в 6,79 Å. В результате этого связь атомов углерода по последнему направлению гораздо слабее, чем

по всем остальным направлениям. Внешне это выражается в легкой расщепляемости графита на отдельные тонкие слои — чешуйки, соответствующие плоскостям спайности кристалла.

Высоко показательным примером совершенной кристаллической спайности является еще кальцит, который во время разбивания всегда колется в форме хорошо выраженных ромбоэдров, включительно до совсем небольших кусочков (рис. 85).

Очень часто наряду с макроскопическим проявлением кристаллической спайности это явление можно наблюдать и под микроскопом. В последнем случае спайность выражается параллельными черточками, напоминающими искусственные штрихи. Для различных минералов наблюдается чаще только одна система параллельных линий, иногда две, реже три. Степень отчетливости этих линий указывает на степень совершенства спайности.

**Упругость.** Это свойство кристаллов связано с явлениями деформации и с так называемым упругим напряжением. Для расчета этих констант существуют специальные приемы, основанные на установленных в отношении этих явлений законах. В настоящее время изучение этих явлений основано на специальной теории — теории упругости, эта теория является основным базисом специальной дисциплины — физики упругих явлений.

**Электрические свойства кристаллов.** К ряду этих явлений относятся явления электризации кристаллов при трении, механической деформации — сжатии и растяжении и изменении температуры.

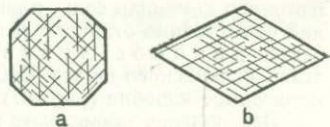


Рис. 86. Спайность под микроскопом:

а — у пироксена; б — у амфибола.

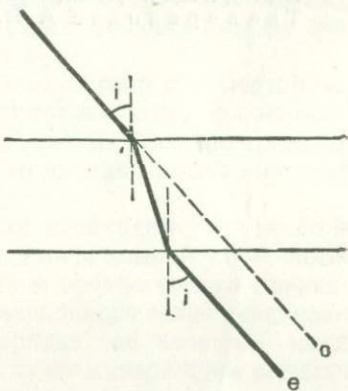


Рис. 88.

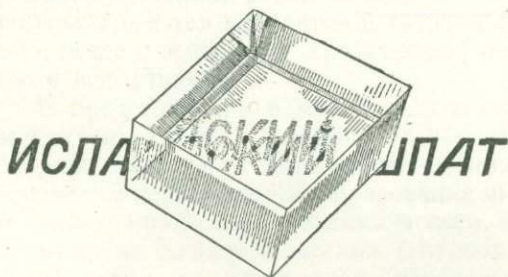


Рис. 87.

Электризация при сжатии и растяжении кристаллов называется пьезоэлектричеством (от греческого «пиезис» — давление). Это явление распространено на разные кристаллы, но особый интерес в этом отношении приобретает кварц, который вследствие своих пьезоэлектрических свойств имеет весьма высокий технический интерес. Пьезоэлектрическое значение кварца особенно ценным является в радиотехнике, где специально изготовленные пластинки его, именуемые пьезокварцевыми, используются в качестве стабилизаторов радиоволн, резонаторов и пр. По этому вопросу см. Шубников А. В., Руководство к изготовлению пьезокварцевых препаратов, Академия наук 1931.

#### Оптические свойства кристаллов.

Оптические свойства, наблюдаемые в кристаллах, представляют собой комплекс явлений, выделяемых в особую дисциплину — кристаллооптику. Обычно в общих

курсах кристаллографии на этих вопросах останавливаются очень кратко и, главным образом, только со стороны общих главнейших вопросов.

К числу оптических свойств кристаллов относятся следующие явления:

1. Поляризация.
2. Двупреломление в кристаллах.
3. Определение показателя преломления.
4. Окраска и плеохроизм и некоторые другие.

Со всеми этими явлениями можно познакомиться по специальной литературе, приводимой ниже.

**Двойное лучепреломление.** Законы распространения света в различных средах излагаются в элементарных учебниках физики. По отношению к кристаллам эти явления представляют весьма большой интерес. Есть группа кристаллов, ничем не отличающаяся по световым свойствам от аморфных некристаллических тел, например стекла. К этой группе принадлежат кристаллы кубической сингонии, например каменная соль, плавиковый шпат и пр. Кристаллы пяти других сингоний существенно отличаются от кристаллов кубической сингонии — в них наблюдается двойное лучепреломление. Если, например, положить кристалл исландского шпата ( $\text{CaCO}_3$ ) на печатные строки, то мы сквозь него увидим написанное вдвойне (рис. 87).

Это явление происходит вследствие того, что каждый из входящих в кусок исландского шпата лучей разлагается на два луча. Один из этих лучей зовется обыкновенным (рис. 88, *o*); этот луч, как видно, не испытывает отклонения и распространяется в кристалле с одинаковой скоростью по всем направлениям. Другой луч уклоняется внутри кристалла от направления обыкновенного луча и только по выходе из кристалла принимает прежнее направление (рис. 88, *e*). Этот луч распространяется в кристаллах с различной скоростью в зависимости от направления и называется необыкновенным. Явления двойного преломления впервые были изучены еще в XVII в. Христианом Гюйгенсом.

Некоторые из книг по кристаллооптике:

Белянкин Д. С., Кристаллооптика, 1931.

Твалчредзе А. В., Введение в оптику кристаллов, 1934.

### **МИНЕРАЛЬНЫЕ ТЕЛА, МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ.**

Земная кора сложена из разнообразных минеральных тел. К числу минеральных тел можно отнести все то, что является составной частью земной коры, независимо от физического состояния и способов происхождения. Минеральные тела в самом широком понимании могут быть твердыми, жидкими и газообразными. С этой точки зрения, например, такие вещества, как вода, нефть, являются минеральными телами. Точно так же и многие вещества, находящиеся среди литосферы в газообразном состоянии, представляют тела минеральные. К числу таких газов относятся, например, кислород, наблюдаемый иногда среди твердых минералов, угольный ангидрид, выходящий нередко из недр земли и иногда скапливающийся в виде больших масс, особенно в вулканических областях (например Собачья пещера близ Неаполя), разнообразные углеводороды и пр.

Конечно, нельзя не отметить, что в соответствии с термодинамическими условиями земли и ее поверхности подавляющее большинство минеральных тел находится в твердом состоянии. Весь минеральный мир, везде и всюду нас окружающий, почти нацело представлен твердыми веществами.

В представлении о минеральных телах необходимо также более широко подходить к вопросу их образования в земной коре. Минеральные тела могут быть неорганического и органического происхождения. В первом случае образование минерального вещества связано только с процессами геохимического порядка, во втором — имели место процессы биохимические. В первом случае минеральное вещество образовалось из материалов, непосредственно связанных с земной корой (расплавленные массы, водные растворы, пары и газы и пр.). Во втором случае это вещество явилось следствием процессов, обусловленных жизнедеятельностью организмов (растительных и животных).

Сам организм или какая-либо его часть еще не могут быть названы минеральными телами, но остатки организмов, сложенные в земной коре и претерпевшие те или иные видоизменения, уже могут повести к образованию минеральных тел.

Так, например, кусочек древесины или целый ствол дерева мы не можем причислить к разряду минеральных тел, тогда как образовавшийся из древесины каменный уголь уже представляет собой тело минеральное, имеющее связь с земной корой в своем залегании и участвующее в строении некоторых ее частей.

Точно так же, скелетные остатки различных животных организмов — раковины беспозвоночных, скелетные части кораллов, кости и пр. — могут обусловить образование ряда минеральных тел.

Минеральные тела органогенного происхождения обычно именуется биолитами (от «биос» — жизнь и «литос» — камень).

Необходимо также отметить, что к минеральным телам относятся еще тела космогенного происхождения, т. е. космические, или метеорные, вещества (так называемые метеориты). Эти вещества по своей природе чужды земле и вступили в сферу притяжения земли из неведомых далеких глубин межпланетного пространства.

В понятии о минеральных веществах обычно различают две группы тел: минералы и горные породы.

Принципиальное и основное отличие минерала от горной породы заключается в том, что минерал как в отношении химического состава, так и по своим физическим свойствам есть тело относительно однородное, тогда как горные породы представляют агрегаты минералов, состоящие из ряда минеральных компонентов.

Минерал на основании соответствующей однородности можно сопоставить с тем или иным химическим соединением; химический состав большинства минералов можно выразить формулой химической, горные же породы скорее рассматриваются как физические смеси, состоящие из тех или иных минералов.

Таким образом горная порода есть закономерный агрегат минералов, образующая какое-либо геологическое тело.

Если в составе горной породы принимает участие какой-нибудь один минеральный вид, то такую породу обычно называют мономинеральной. Примером в этом случае может служить мрамор, состоящий из большого числа кристаллических зерен кальцита  $\text{CaCO}_3$ . Если же порода составлена из нескольких видов минералов, ее называют полиминеральной, как, например, гранит, который в основном сложен из кварца, полевого шпата и слюды.

При характеристике минералов и горных пород в некоторых случаях еще принимаются во внимание элементы распространенности их в земной коре. Обычно горные породы занимают большие пространства, нежели отдельные минералы. Минералы в своем залегании подчинены горным породам и находятся среди них, входя в состав самих пород или образуя в них отдельные самостоятельные скопления.

Кроме того, следует отметить, что минералы нельзя смешивать с веществами, получаемыми искусственным путем. Минерал есть продукт естественных реакций, тогда как синтетически полученное вещество того же состава представляет собой искусственный продукт. Искусственно получаемые вещества могут быть получены в химически чистом состоянии, тогда как для минерала химически чистое состояние абсолютно невозможно за весьма редкими исключениями. Минерал можно рассматривать только как относительно однородное в химическом отношении вещество, но не как химически чистое тело. Минералы, несмотря на кажущуюся с внешней стороны чистоту, почти всегда содержат в себе те или иные примеси других веществ, или в виде изоморфных, или в виде тончайших механических примесей. Так, например, искусственно полученный хло-

ристый натрий NaCl, в виде поваренной соли, может быть химически чист — все зависит от соответствующей надобности и цели получения. Природная же поваренная соль всегда содержит, хотя бы в ничтожном количестве, примеси других веществ, например хлористого калия KCl, магниевых солей и пр. Этим природная каменная соль резко отличается от искусственной, которая представляет собой не минерал, а обычный химический препарат.

Слово «минерал» связано с выражением «*minera*», что значит «рудный штуф», «кусочек руды».

В настоящее время огромное большинство минеральных тел является полезными ископаемыми. Полезные ископаемые распределяются по различным группам в зависимости от их практического использования. Среди многообразных полезных ископаемых обычно в особую группу выделяют руды. В горном деле рудами принято называть все те минеральные вещества, из которых в экономически выгодном количестве и состоянии можно извлечь металлы или их соединения<sup>1</sup>.

В настоящее время с понятием «руда» связывают более широкое представление о полезных ископаемых. Рудой можно считать не только вещества, представляющие источники добычи металлов, но и те, из которых извлекают и неметаллические продукты. Такими «неметаллическими рудами» будут являться, например, руды серные, квасцовые, селитренные, фосфатовые и пр.<sup>2</sup>.

Руда может состоять из одного минерала или из целого агрегата минеральных тел.

При оценке руд большое и решающее значение имеют количественные и качественные соотношения того элемента (металла или металлоида), который входит в данное минеральное вещество, особенно в связи с ценностью самого элемента. Так, например, железный блеск — гематит  $Fe_2O_3$ , содержащий около 70% железа, представляет собой железную руду, тогда как минерал оливин  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ , в котором железа только 7—10%, не может считаться железной рудой. Точно так же минерал данит  $(Fe, Co)AsS$ , содержащий от 7 до 9% кобальта, есть кобальтовая руда, но не железная, ибо для такого дорогого и редкого элемента, как кобальт, предел процентности гораздо ниже, чем для железа.

Кроме того, ценность и хозяйственно-экономическое значение руд определяются еще состоянием техники в каждый данный момент. Каждый новый поступательный шаг в деле усовершенствования технической переработки руд ослабляет прежние условия требований по отношению к полезному ископаемому и переводит в разряд руд новые и новые залежи минеральных тел. Например, лет двадцать-двадцать пять назад медной рудой считалось лишь такое минеральное вещество, в котором общее содержание меди было не ниже 2,5%,

<sup>1</sup> Металлы известны с древнейших времен. В древние времена характерными признаками металлов считались: блеск, тягучесть и твердость. Название «металлы» связано с греческим «*metalla*», что значит «жила». По Плинию, такое название происходит от того, что эти тела никогда не встречаются в разрозненном виде, а только «жилами». В сочинениях Геродота слово «*metallon*» означает «рудник».

<sup>2</sup> Для полезных ископаемых, имеющих применение в сельском хозяйстве, в производстве минеральных удобрений, Самойловым Я. В., был введен термин «агрономические руды». См. Самойлов Я. В., Агрономические руды, Институт по удобрению, 11, 1921.

в настоящее же время при новых условиях производственных процессов с выгодой разрабатываются и такие вещества, где медь определяется количеством всего в 0,5%.

## МОРФОЛОГИЯ МИНЕРАЛОВ.

### Главнейшие формы образования минералов в природе.

Минералы находятся в земной коре в форме разнообразных скоплений, обуславливающих более или менее определенные черты того или иного минерального месторождения.

Отдельные минеральные тела, образующие многочисленные агрегаты, прежде всего представлены различными горными породами, которые по способу своего образования распределяются на следующие группы:

I. Магматические породы — глубинные интрузивные и излившиеся эффузивные.

II. Метаморфические породы — преимущественно кристаллические сланцы.

III. Осадочные породы — образующиеся в поверхностных горизонтах земной коры и являющиеся, главным образом, следствием процессов выветривания.

Таким образом сама горная порода уже является минеральным телом, отличающимся от других минеральных тел лишь большей распространенностью и большими размерами.

Формы образования горных пород и отдельных минеральных тел весьма многочисленны, наиболее известными и распространенными являются следующие:

1. **Батолиты** представляют собой очень большие неправильных очертаний массы глубинных пород, застывшие в результате процессов дифференциации магмы в глубинных частях земной коры. Батолиты обыкновенно уходят далеко в глубинную часть литосферы и обнажаются на поверхности лишь вследствие размыва вышележащих пород. Нижняя граница батолитов остается неизвестной. Образование батолитов связано с процессами заполнения магмой отдельных пустот, возникающих при горообразовательных процессах, или путем проплавления кровли интрузивными образованиями.

2. **Лакколиты** образуют плоско-выпуклые, караванобразные, с плоским основанием, формы залегания магматических пород. Возникновение их связано с поднятием магматических масс в пласты вышележащих пород и затвердеванием их в глубине, не выходя на земную поверхность. Образуются лакколиты обычно среди пластов осадочных пород или кристаллических сланцев. Внедрившаяся магматическая масса в полости этих пород обыкновенно приводит их к сводообразному изогнутому состоянию, вследствие чего вся залежь принимает характер выпуклой куполообразной формы. Лакколиты по размерам меньше батолитов, но иногда распространяются на большие пространства.

3. **Потоки и покровы** представляют собой застывшие массы вулканической породы, поднявшейся по трещинам из глубинных областей и спустившейся по склонам от места извержения. Многие из этих обра-

зований часто сохраняют на себе следы течения в каком-нибудь определенном направлении, что особенно резко проявлено на потоках. Покровы отличаются от отдельных потоков лишь большим распространением на более широкое пространство. Это как бы растекшиеся во все стороны массы расплавленных веществ и затвердевшие в форме горизонтальных образований, покрывающие собой нижележащие породы.

**4. Слои и пласты** являются характерной формой осадочных и кристаллически - слоистых пород. В первоначальном своем залегании обычно горизонтальны, но в силу целого ряда явлений, связанных с дислокациями, горизонтальное их напластование может быть нарушено.

В виде слоев и пластов встречаются также и отдельные минералы, например каменная соль, гипс и некоторые другие.

**5. Штоки, линзы и шпирсы** представляют собой обособленные группы многих минеральных месторождений среди различных магматических и метаморфических пород, явившиеся следствием глубинных магматических интрузий. Среди этих образований нередко наблюдаются скопления многих рудных тел, как, например, магнитного железняка, титанистого железняка, пирита и многих других.

**6. Жилы** представляют весьма важный тип месторождений многих минеральных тел. Процессы жилообразования всегда связаны с многочисленными трещинами,

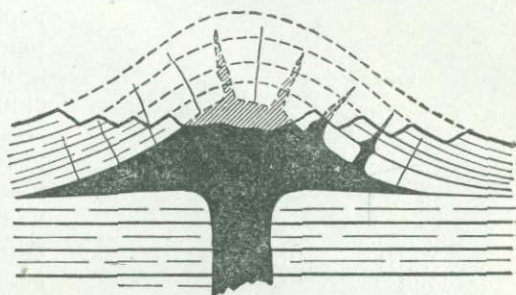


Рис. 89. Лакколит.

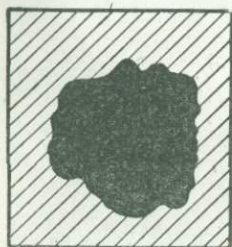


Рис. 90. Шток.

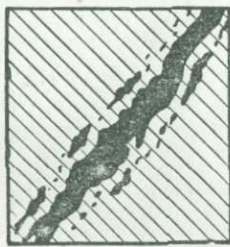


Рис. 91. Шпирсы.

образовавшимися в различных местах земной коры и впоследствии заполнившимися теми или иными минеральными веществами. Размеры жил весьма разнообразны, по мощности (ширине) колеблются от нескольких миллиметров (прожилки) до нескольких

десятков метров. По своему положению в отношении поверхности земли жилы редко когда имеют горизонтальное направление, они обычно уходят вглубь в виде огромных пластин, скрещивающихся часто на недоступной глубине. Жилы часто могут быть прослежены на большом расстоянии, простираение их иногда определяется десятками километров и более. Среди некоторых участков земной коры иногда наблюдаются так называемые «жилные поля», представляющие целую сеть отдельных жил, идущих по разным направлениям. Например, в Фрейберге на 25 км известно более 900 отдельных жил, пересекающих площадь в разных направлениях.

По своему происхождению и минералогическому составу жилы могут быть распределены на несколько типов. Так, в виде отдельных групп различают пегматитовые жилы, пневматолитические и гидротермальные. Каждая из этих групп может иметь еще отдельные подразделения на те или иные виды, отличающиеся друг от друга, главным образом, минералогическим составом и характером выполнения. Так, например, среди пневматолитических жил различают: оловянно-каменные пневматолиты, богатые касситеритом, или оловянным камнем  $\text{SnO}_2$  (рудой на олово), вольфрамовые пневматолиты, характеризующиеся наличием вольфрамовых соединений, молибденовые пневматолиты с молибденовыми соединениями и т. д. Пегматитовые и гидротермальные жилы также распределяются на отдельные категории, на рассмотрении которых мы сейчас здесь останавливаться не будем.

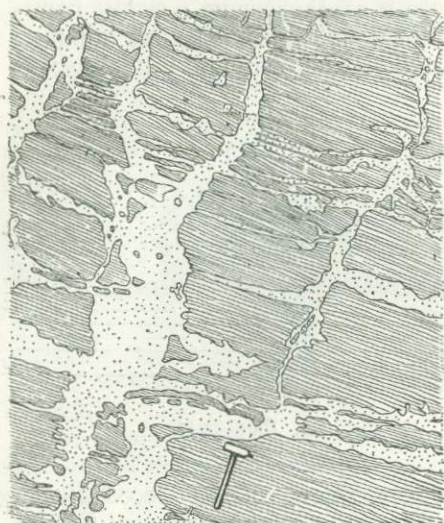


Рис. 92. Пегматитовая жила с разветвлениями.

**7. Конкреции, или стяжения,** представляют особого рода минеральные образования, выделившиеся большей частью среди осадочных пород и происшедшие из водных растворов. Рост конкреций происходит всегда от центра к периферии и связан часто с радиально-лучистой структурой. Нередко центром образования многих конкреций являются какие-нибудь посторонние предметы — раковины и пр., вокруг которых начинается реакция выделения минерального вещества. Размеры конкреций чрезвычайно разнообразны, начиная от совсем незначительных форм и до размеров, достигающих по диаметру многих метров. В этих случаях происходит постепенный переход от конкреций к отдельным гнездам.

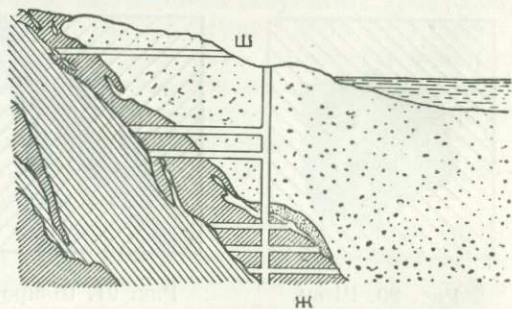
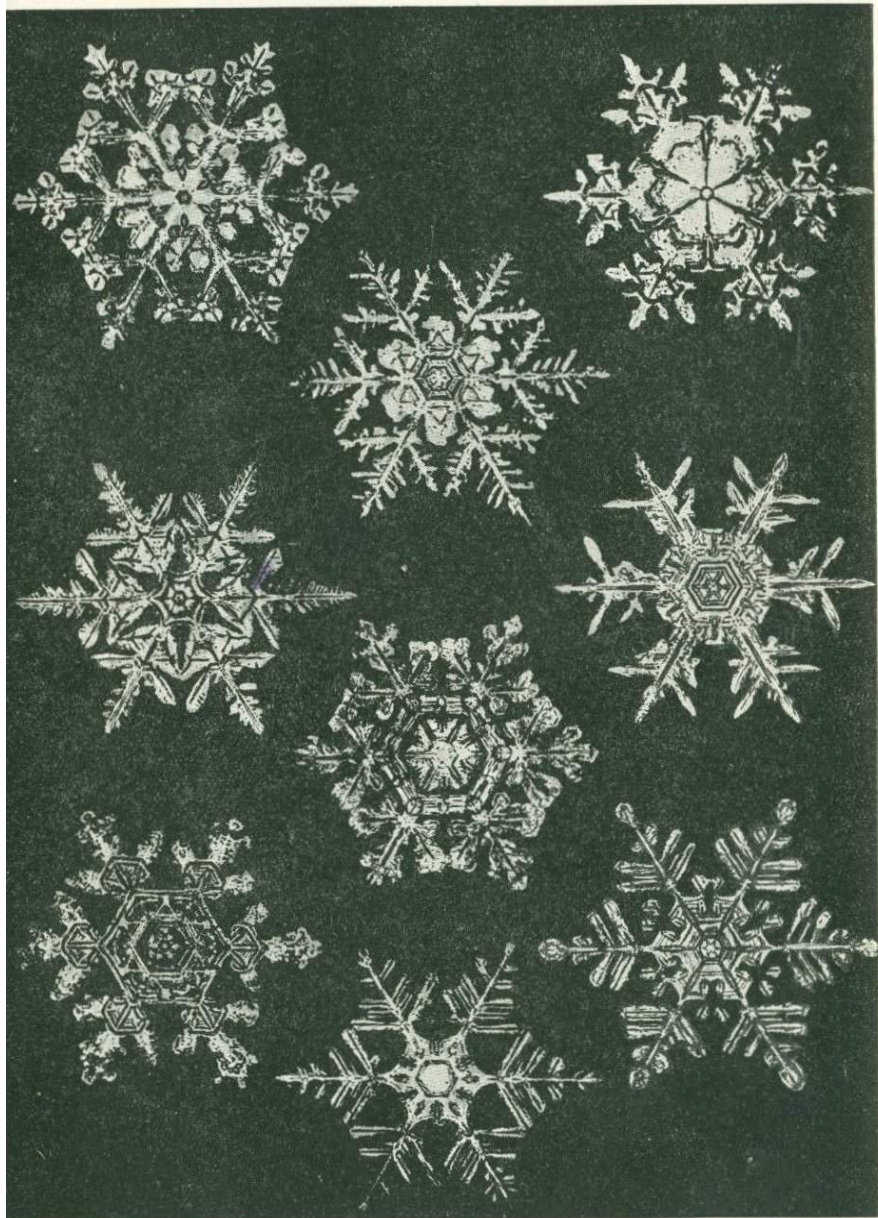


Рис. 93. Рудная жила и ее разработка штольнями:

ж — жила; ш — штольня.

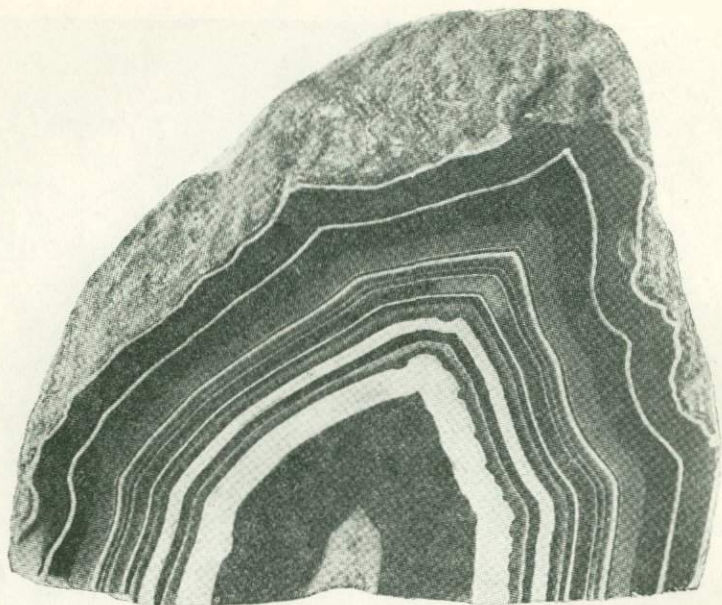
Очень часто в виде конкреций встречаются скопления фосфорита  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , двусернистого железа в виде марказита  $\text{FeS}_2$  и пр.

**8. Оолиты** представляют собой формы, близкие к конкрециям и отличаются от последних некоторыми особенностями в строении.

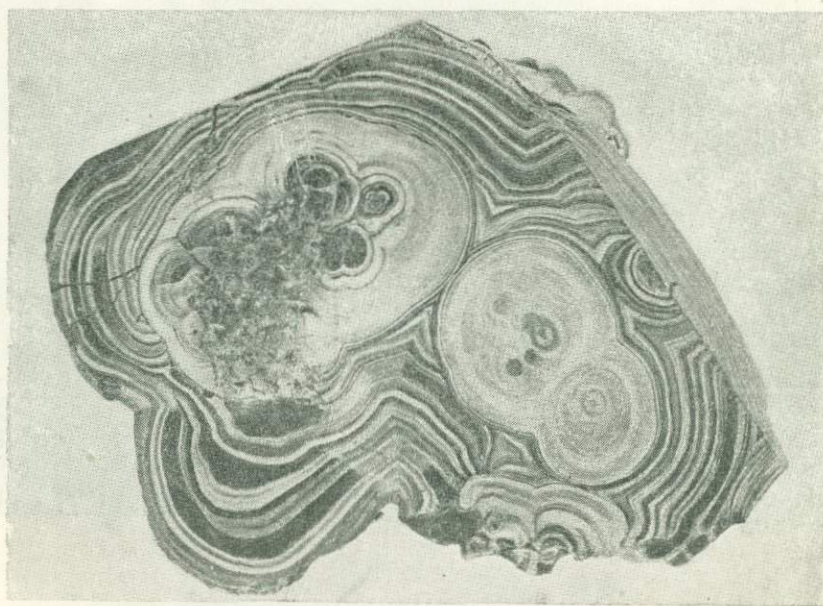


Снежинки.

Фотографические снимки Сигсона в Рыбинске.



1. Агат (на отшлифованной поверхности видна полосатая структура).  
Музей Сел. хоз. Академии им. Тимирязева.



2. Малахит (шлифованная поверхность).  
Музей Сел. хоз. Академии им. Тимирязева.

Они имеют обычно овальную или совсем круглую шарикообразную форму и часто сложены из концентрически-скорлуповатых оболочек в виде небольших зерен. Очень часто скопления оолитов образуют сплошные массы, так называемые пизолиты, или гороховидные камни, образующиеся во многих случаях из богатых известью источников. В форме оолитов встречается многие минеральные тела, например, арагонит  $\text{CaCO}_3$ , лимонит (болотная руда)  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , пиролюзит  $\text{MnO}_2$  и многие другие.

Близко к оолитам стоят еще так называемые «стеклянные головы», представляющие крупные образования округлой формы

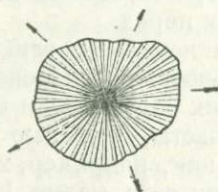


Рис. 94. Конкреция.



Рис. 95. Оолит,

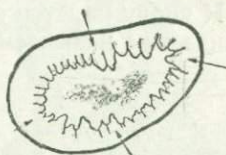


Рис. 96. Секреция.

многих минеральных тел, например гематита — «красная стеклянная голова» или лимонита «бурая стеклянная голова».

**9) Секреции, или жеоды,** представляют пустоты, выполненные теми или иными минеральными веществами. Выделение минеральных тел здесь происходит из водных растворов и связано с гидрохимическими процессами. От конкреций секреции отличаются лишь тем, что процесс осаждения минерального вещества направлен от внутренних стенок, т. е. от периферии полости к центру, вследствие чего в секрционных образованиях часто минеральное вещество выделяется в виде кристаллических друз, или щеток. Подобные формы выделений весьма обычны для таких минералов, как кварц  $\text{SiO}_2$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ , цеолиты и т. д.

Размеры жеод также весьма различны. Известны экземпляры их, достигающие всего лишь нескольких миллиметров в диаметре, но наряду с этими встречаются жеоды, переходящие в целые пещеры, где можно видеть порою кристаллы того или иного минерала, имеющие в длину метр и более.

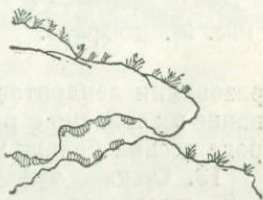


Рис. 97. Пещера.

**10) Сталактиты и сталагмиты.** Сюда относятся натечные формы минеральных тел в виде цилиндрических сосушкообразных масс, образующихся обычно во многих пещерах, пустотах и полостях горных пород. Образование этих форм связано с водными растворами, просачивающимися по трещинкам через толщи различных пород, преимущественно известковых, и оставляющими на потолке и дне таких пустот твердый минеральный осадок, в виде капельников. Массы, спускающиеся сверху вниз, называются сталактитами, а образующиеся на дне пещеры из капающей сверху минеральной воды и нарастающие снизу вверх, именуются сталагмитами. Краткое описание некоторых сталактитовых пещер приводится ниже в главе об известковых породах.

**11. Возгоны.** К этой группе минеральных форм относятся продукты, происшедшие непосредственно из газообразного состояния тех или иных веществ. Такое выделение минеральных веществ может произойти или путем сгущения первоначальных паров и газов, или в результате тех или иных химических реакций, идущих часто при вулканических извержениях. В виде возгонов нередко образуются кристаллы нашатыря  $\text{NH}_4\text{Cl}$  на затвердевших вулканических лавах, хлористых соединений калия  $\text{KCl}$  и натрия  $\text{NaCl}$ , сернистых соединений мышьяка и пр.

**12. Налеты, пластинки и дендриты.** К этой группе образований относятся разнообразные минеральные формы, образовавшиеся в пустотах, трещинах, а также на поверхности многих пород.

К числу налетов относятся всякие выделения минеральных веществ в виде так называемых «выцветов», часто образующихся на поверхности почв, на дне высохших болот, озер и других мест. Состоят эти выцветы, большей частью, из различных солей, как, например, хлористого натрия  $\text{NaCl}$ , хлористого калия  $\text{KCl}$ , сернокислых соединений железа  $\text{FeSO}_4$  или  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  и т. д.

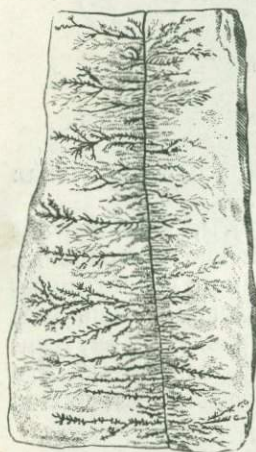


Рис. 98. Дендриты.

Пластинки представляют собой образования, связанные с отложениями в осадочных породах некоторых металлов в самородном состоянии, например самородной меди (так называемая цементная медь). Отложения эти обусловлены по большей части циркулирующими водными растворами, несущими в себе растворимые соли тех или иных металлов.

К дендритам относят разнообразные ветвистые формы минеральных тел, напоминающие собой с внешней стороны растения (отчего произошло и название «дендрит», от слова «дендрон» — ветвистый, древовидный). Процесс образования дендритов не вполне еще ясен, несомненно, что образование их связано с рядом капиллярных процессов, играющих в природе весьма большую роль.

**13. Стекла, туфы, пепел.** К этой группе относятся, главным образом, продукты вулканической деятельности. Стекла представляют собой плотные затвердевшие массы, быстро перешедшие из расплавленного состояния в твердое, например обсидиан.

К туфам относят обычно разнообразные пористые породы, затвердевшие при участии выделившихся паров и газов, — вулканический туф, пемза. Кроме того, туфы могут быть и чисто осадочного водного происхождения, например травертины, представляющие собой натечные скопления углекислого кальция  $\text{CaCO}_3$ , ноздреватого или пористого сложения, и образовавшиеся путем отложения из углекислых источников.

Вулканический пепел выделяется обычно в виде мелкой тонкой массы и часто бывает богат различными частицами минералов. В тех случаях, когда пепел переходит в плотное скрепленное состояние, может образоваться вулканический туф.

**14. Пески и россыпи.** Эта группа минеральных веществ образована рыхлыми обломочными скоплениями, преимущественно зерен кварца (обыкновенный песок). Нередко в песках можно встретить частицы других минералов, например, частицы полевых шпатов, слюды (особенно светлой — мусковита), роговой обманки и пр.

Пески по способу своего образования и по минералогическому составу распределяются на различные группы и виды, с чем можно обстоятельно познакомиться в курсах петрографии осадочных пород.

Кроме того, разные виды песков интересны также и в практическом отношении. В промышленности сейчас выделяют следующие группы песков:

1) **Стекольные пески**, содержащие выше 90%  $\text{SiO}_2$  в виде кварца, при размере зерен 0,05—0,50 мм.

2) **Литейные, или формовочные, пески**, отвечающие требованиям однородности зерен, размеры которых зависят от характера отливки.

3) **Шлифовальные пески**, употребляемые для песочного дутья и для очистки поверхностей металлических отливок. Весьма существенным свойством этих песков является присущая им остроугольность.

4) **Строительные пески** широко используются в строительном деле, участвуя в производстве разнообразных строительных материалов.

Россыпи представляют собой также рыхлые песчаные образования, но отличаются от обыкновенных песков тем, что содержат в себе какой-нибудь ценный в экономическом отношении минерал или металл, отличающийся относительно большим удельным весом и сравнительной устойчивостью.

Материалом для образования россыпей являются продукты выветривания различных горных пород и заключенных в них месторождений полезных ископаемых. К таковым относятся золото  $\text{Au}$ , платина  $\text{Pt}$ , оловянный камень  $\text{SnO}_2$ , вольфрамовые соединения — вольфрамит  $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{WO}_4$  и шеелит  $\text{CaWO}_4$ , магнетит  $\text{FeO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$ , корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , монацит — фосфорнокислый церий  $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Di})_3(\text{PO}_4)_2$  и т. д.

Все эти образования являются весьма ценными по добыче соответствующих соединений и в промышленном отношении представляют важные месторождения.

В геологическом отношении россыпи также делятся на несколько категорий, из которых можно отметить следующие:

1) **Элювиальные россыпи**, или неперемещенные, т. е. образовавшиеся на месте выхода рудного месторождения. Такие

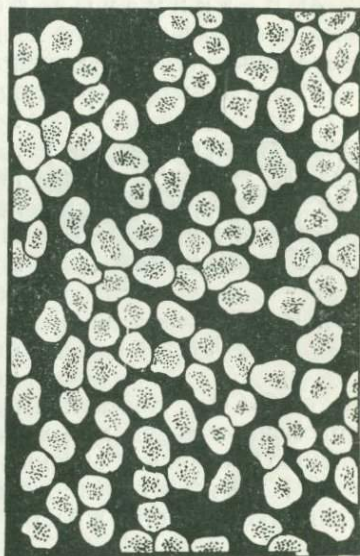


Рис. 99. Кварцевый песок.

Россыпи не отличаются большой протяженностью и в большинстве случаев лишены горизонтальной слоистости. Состоят из разнообразного минерального материала, не сортированного по величине зерен и их удельному весу.

2) Аллювиальные россыпи, перемещенные на большее или меньшее расстояние от того рудного месторождения, разрушение которого послужило для образования их. Сюда обычно относят речные, русловые и террасовые россыпи.

3) Морские и озерные россыпи, образовавшиеся в результате процессов, связанных с геологической деятельностью моря.

4) Ледниковые россыпи, обязанные своим происхождением истирающей работе ледников и перемытые впоследствии водами, тесно связанными с ледниками.

5) Эоловые россыпи, образовавшиеся в результате геологической деятельности атмосферы.

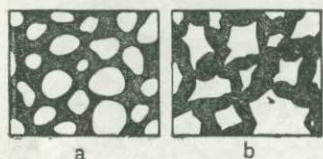


Рис. 100: а — конгломерат; б — брекчия.

Из всех приведенных групп россыпей наибольшим экономическим значением пользуются россыпи речные, дающие часто при разработке ценнейший материал в отношении тех или иных полезных ископаемых.

15. Брекчии и конгломераты представляют собой сцементированные какими-нибудь минеральными веществами (кальцитом  $\text{CaCO}_3$ , глинистым веществом, или кремнеземом  $\text{SiO}_2$ ) куски обломочных пород, или минералов. Если порода представляет собой сцементированные обломки щебня (угловатые куски), образуется брекчия, в случае же скрепления округлых масс (гальки или гравия) получается конгломерат.

### Псевдоморфозы.

Среди разнообразных тел, находимых в природе, нередко можно встретить своеобразные образования, именуемые псевдоморфозами (ложные формы). Под псевдоморфозами обычно понимают такие минеральные образования, форма которых не соответствует веществу, составляющему это образование. Объектами псевдоморфоз могут быть кристаллы и тела некристаллические, а также разнообразные организмы, остатки которых встречаются во многих осадочных породах. В псевдоморфозах форма не является выражением свойств вещества — форма чужда этому веществу. В образовании псевдоморфоз участвуют два минеральных вида: один веществом, другой своей формой.

Псевдоморфозы давно обращали на себя внимание исследователей. Еще Вернер (1749—1817) — основатель Фрейбергской горной школы — своим пытливым взором обратил внимание на существование так называемых ложных форм и предлагал отличать «настоящие кристаллы» от «ложных», понимая под первыми такие кристаллы, которые образовались «правильным, отвечающим определенным законам притяжения, наложением составляющих частиц». Напротив, «ложные

кристаллы обязаны своей формой не кристаллизационной силе, а ранее существовавшему кристаллу, форму которого они приняли».

История изучения псевдоморфоз занимает большой период времени; неослабеваемый интерес к ним проявляется как со стороны минералогов, так и со стороны кристаллографов. При этом целый ряд исследователей предлагает различные деления псевдоморфоз по группам и классам, в результате чего создается обилие разнообразных классификаций. В основном все эти классификации имеют генетический характер и предусматривают явление или со стороны превращения одного минерала в другой, или же вытеснения одного минерала другим. В связи с этим различают: псевдоморфозы превращения и псевдоморфозы вытеснения.

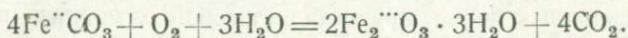
Кроме того, различают еще псевдоморфозы заполнения, образующиеся в том случае, если при растворении какою-нибудь тела основная масса вещества уходит в виде раствора, а остающаяся пустота со свойственной этому телу формой впоследствии замещается новым материалом. Если при всех подобных процессах замещения оба вещества остаются химически идентичными, то такой случай рассматривается как особый вид псевдоморфических образований и обозначается термином *параморфоз*. Здесь превращение относится только к строению, общий же валовой состав вещества сохраняется и отвечает ранее существовавшему минералу. Подобные образования широко распространены среди всевозможных полиморфных переходов веществ друг в друга, например кварца по тридимиту, пирита по марказиту, кальцита по арагониту и пр.

### Примеры некоторых псевдоморфоз минеральных тел.

**I. Псевдоморфозы превращения.** Наиболее частыми и наиболее интересными среди этой группы псевдоморфоз являются псевдоморфозы превращения путем взаимного обмена составных частей. К числу весьма распространенных псевдоморфоз этого типа могут быть отнесены псевдоморфозы, например, лимонита ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) по пириту ( $\text{FeS}_2$ ). Здесь сера пирита замещается кислородом, и происходит присоединение воды, в присутствии которой и идет весь процесс.

Превращение пирита начинается обыкновенно с поверхности и отсюда постепенно распространяется внутрь кристалла. Желтый блестящий кристалл пирита кубической формы покрывается бурой коркой, теряет свой прежний цвет и блеск, тогда как грани кристалла большей частью остаются гладкими и плоскими, углы и ребра сохраняют всю свою резкость, и даже обычная для кубических граней пирита штриховатость остается во всей своей неприкосновенности.

Нередко можно встретить также псевдоморфозы лимонита по сидериту — железному шпату  $\text{FeCO}_3$ . При образовании такой псевдоморфозы происходит одновременно с замещением углекислоты водой, также переход закисной формы соединения железа в окисную форму. Весь процесс псевдоморфизации выражается следующим уравнением:



**II. Псевдоморфозы вытеснения.** К этой группе псевдоморфоз относится также большое число представителей; все они произошли

механическим путем — путем замещения одного тела другим. Разнообразные примеры подобных псевдоморфоз встречаются в природе весьма часто. Так, например, нередко можно встретить псевдоморфозу кварца или халцедона по кристаллам кальцита  $\text{CaCO}_3$ , гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , флюорита  $\text{CaF}_2$  и пр. Вытеснение первоначального вещества происходит здесь под влиянием циркулирующих водных растворов, в которых это вещество постепенно растворяется, а его место начинает выполнять другое, приходящее с раствором и менее растворимое и, таким образом, осаждающееся на месте первого, не нарушая его первоначальной формы.

**III. Псевдоморфозы по некоторым остаткам организмов.** К числу псевдоморфоз вытеснения принадлежат также разнообразные и многочисленные случаи псевдоморфизации по остаткам организмов — растительных и животных. Многие из этих псевдоморфоз приобретают большой палеонтологический интерес и представляют собой один из способов сохранения остатков ископаемых.

Наиболее популярной и общеизвестной псевдоморфозой этого типа является так называемое окаменелое дерево. В большинстве случаев это псевдоморфоза опала или халцедона по дереву, нередко сохранившаяся с такой отчетливостью, что даже внутреннее строение, рассматриваемое под микроскопом при самых больших увеличениях, обнаруживает структуру со всеми мельчайшими подробностями. Случаи нахождения таких псевдоморфоз довольно многочисленны, в некоторых местностях находили даже «окаменелые леса», которые встречаются, например, в Аризоне (Северная Америка), близ Каира и в других местностях Африки. Среди каменных пустынь Египта не раз встречались окремневшие стволы лиственных деревьев — *Nicolia aegyptica*; известны случаи нахождения окремневших стволов папоротников из красного лежня г. Хемница, в Саксонии. Интересно также отметить, что среди древних палеозойских отложений Шотландии в связи с разведками на некоторые полезные ископаемые было обнаружено целое девонское болото с хорошо сохранившейся окремневшей флорой. Полагают, что процесс окремнения здесь древних растений был связан с циркулирующими водами гейзеров, содержащими растворимую кремнекислоту.

Наряду с различными остатками растительных организмов нередко встречаются псевдоморфозы и по животным формам, как то: раковинам моллюсков, скелетным частям многих беспозвоночных, костям позвоночных и пр. В некоторых случаях в виде псевдоморфоз сохраняются даже остатки целых организмов. Так, например, в олигоценовых отложениях в Керси, во Франции, среди фосфоритовых месторождений найдены остатки лягушек *Rana pictata*, исключительной сохранности. По большей части эти остатки представляют собой псевдоморфозы фосфоритов с отчетливо сохранившимися передними частями тела, головой и лапами, с сохранившимися складками на коже и даже в некоторых случаях с остатками глаз.

Большинство разнообразных окаменелостей, встречаемых в отложениях осадочных пород, представляет собой различные псевдоморфозы многих минеральных тел. Весьма часто образование таких псевдоморфоз связано с процессами восстановления растворимых солей металлов, например серноокислых солей железа, меди и других,

углеродом тех органических веществ, которые часто в огромном количестве концентрируются в породах совместно с остатками самих организмов. Так, например, не раз наблюдались в превосходной сохранности раковины головоногих и других организмов, превращенные полностью в серный колчедан  $\text{FeS}_2$ , медный колчедан  $\text{CuFeS}_2$ , цинковую обманку  $\text{ZnS}$  и пр. В некоторых же странах, как, например, в штате Миссури (США), находили кости мамонта и слона, инкрустированные и частично замещенные свинцовым блеском  $\text{PbS}$ .

Необходимо также обратить внимание на нахождение иногда весьма оригинальных псевдоморфоз по случайным искусственным предметам. Например, в старых рудниках нередко деревянные крепи оказываются превращенными в  $\text{FeS}_2$  и в другие сульфиды. В музее Геологоразведочного института хранится веревка, почти нацело превращенная в  $\text{FeS}_2$ . По наблюдениям некоторых исследователей известны случаи нахождения даже трупов людей, превращенных в псевдоморфозы. Само собой разумеется, что подобные образования представляют собой редчайшие и исключительнейшие случаи.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ.

**Общие замечания.** При изучении минералов большое значение имеет определение физических свойств. Физические свойства минералов определяются в значительной степени кристаллическими особенностями, частью не связанными с кристаллическим строением минерального вещества. Разнообразные физические свойства имеют неодинаковое значение при определении минералов, некоторые из свойств определяются лишь в том случае, когда дается полная характеристика исследуемого вещества. Для общего же описания минерала, не преследующего специальных целей, многие из этих свойств не имеют существенного значения.

Из числа различных свойств, характеризующих минеральные вещества, большое значение имеют следующие:

1. Излом и характер спайности
2. Твердость
3. Блеск
4. Цвет
5. Цвет черты
6. Степень прозрачности
7. Плавкость
8. Магнитность
9. Удельный вес
10. Явления люминисценции, например, флюо- и фосфоресценция и пр.
11. Некоторые оптические свойства, например двойное лучепреломление, плеохроизм и пр.
12. Различные другие особенности, свойственные отдельным минералам, например ковкость, некоторые термические и электрические свойства и пр.

В настоящем описании мы не будем касаться рассмотрения всех вышеназванных свойств, остановимся лишь на некоторых, наиболее употребительных в деле определения минералов.

## Твердость.

Весьма важным свойством минерала является твердость (сокращенно тв.). Для того чтобы судить о твердости того или другого минерала, принята особая сравнительная шкала, состоящая из десяти минералов и предложенная немецким минералогом Моосом еще в прошлом веке (Фридрих Моос, 1773—1839). Минералы для этой цели им были подобраны, начиная с очень мягкого — талька — и кончая самым твердым — алмазом. Вот эта шкала:

Название минерала	Его твердость
Тальк . . . . .	1
Гипс . . . . .	2
Кальцит—изв. шпат . . . . .	3
Флюорит—плав. шпат . . . . .	4
Апатит . . . . .	5
Ортоклаз — полев. шпат . . . . .	6
Кварц . . . . .	7
Топаз . . . . .	8
Корунд . . . . .	9
Алмаз . . . . .	10

Каждый следующий минерал в этой шкале тверже стоящего перед ним. Это значит, что, например, кварц легко царапает все стоящие перед ним шесть минералов, тогда как его могут поцарапать только топаз, корунд и алмаз.

Употребляя эту шкалу, следует иметь в виду, что оценка твердости вошедших в нее минералов сделана совершенно условно. Числа твердости, по Моосу, указывают на относительную твердость или мягкость испытуемого вещества, а самый метод преследует цель лишь ориентировочного определения, что является весьма существенным при работах с минералами. Для того чтобы найти действительный коэффициент твердости того или иного вещества, необходимы специальные приборы, испытания и вычисления, в результате чего твердость всех этих минералов окажется в совершенно других соотношениях. Так, например, самый твердый из минералов — алмаз — будет тверже самого мягкого — талька — не в 10 раз, как это иногда кажется начинающим, а в 5 миллионов раз. Равным образом и соотношение между всеми остальными членами шкалы окажется весьма невыдержанным. Твердость алмаза превышает, например, твердость рядом стоящего с ним корунда в 140 раз, тогда как корунд тверже своего другого соседа — топаза — в 6,6 раза.

Для вычисления сравнительных твердостей минералов шкалы потребовались особые приемы и методы, при этом за исходную единицу взяли корунд, условно приняв твердость его за 1000. Исходя из этой цифры, можно было вычислить твердость и остальных членов шкалы:

Тальк . . . . .	0,03	Ортоклаз . . . . .	25
Гипс . . . . .	0,04	Кварц . . . . .	40
Кальцит . . . . .	0,26	Топаз . . . . .	152
Флюорит . . . . .	0,75	Корунд . . . . .	1000
Апатит . . . . .	1,23	Алмаз . . . . .	140 000

Шкала твердости Мооса в настоящее время вошла во всеобщее употребление и составляет непременную принадлежность каждой минералогической лаборатории. Определение твердости того или иного мине-

рала не представляет никакой трудности. Необходимо лишь только возможно точнее определить, какой из последних минералов шкалы чертится испытуемым и чертится ли он взаимно этим минералом из шкалы. Единственная предосторожность, которую следует иметь при этом в виду, это необходимость точно убедиться, что черта, оставшаяся на минерале после испытания, есть действительно борозда-царапина, оставленная более твердым телом, а не порошкообразный след более хрупкого минерала, получившийся после нажима на его поверхность. Во избежание подобных недоразумений поцарапанная поверхность минерала после каждого испытания должна быть обтерта.

В том случае, если нет шкалы твердости, пользуются более грубыми и простыми способами, однако весьма широко применяемыми в полевой обстановке. Такими предметами, заменяющими шкалу Мооса, могут служить:

Мягкий карандаш	твердость	около	1
Ноготь	"	"	2—2,5
Медная монета	"	"	3—4
Кусочек стекла	"	"	5
Перочинный нож	"	"	6
Напильник	"	"	7

Заслуживает внимания твердость некоторых металлов; оказывается, что металлы, так же как и минералы, очень резко различаются по своей твердости. Известны очень мягкие металлы, например свинец,— его твердость по шкале Мооса соответствует 1,5, т. е. он тверже талька, но мягче гипса. Но есть такие, которые занимают высокое место в шкале Мооса и в несколько тысяч раз тверже свинца. К таким, например, металлам принадлежит хром; он занимает девятое место в шкале и в 2857 раз тверже свинца.

#### Твердость некоторых металлов по шкале Мооса:

Свинец . . . . . 1,5	Алюминий . . . . . 2,9	Марганец . . . . . 6
Олово . . . . . 1,8	Медь . . . . . 3	Инструм. сталь 6—7
Золото . . . . . 2,5	Железо . . . . . 4	Вольфрам . . . . . 6,5—7,5
Цинк . . . . . 2,5	Платина . . . . . 4,3	Тантал . . . . . 7
Серебро . . . . . 2,7	Никель . . . . . 5	Хром . . . . . 9
		Бор . . . . . 9,5

Минералы, имеющие твердость выше 6, в свою очередь дают резко выраженную черту на ноже. Вместе с тем более твердые минералы, чем с коэффициентом 7, обычно редко встречаются в природе и не являются столь распространенными.

#### Удельный вес.

Для определения удельного веса различных веществ существует несколько весьма совершенных способов, отличающихся большой точностью. Удельный вес указывает, во сколько раз то или иное вещество тяжелее или легче воды, и чтобы судить об удельном весе данного минерала, нужно узнать как вес взятого образца его, так и вес воды, взятой в том же объеме. При определении удельного веса минералов пользуются обычно одним из трех следующих приемов:

**1. Гидростатические весы.** Метод основан на взвешивании кусочка минерала сначала в воздухе, а затем в воде. Перед взвешиванием в воде необходимо убедиться в абсолютном отсутствии пузырьков воздуха, приставших к минералу. В случае растворимости минерального веществ-

ва в воде употребляют какую-нибудь другую жидкость (бензин, керосин) с известным удельным весом. Вычисление удельного веса испытуемого минерала производится обычными арифметическими способами.

**2. Тяжелые жидкости.** Принцип метода основан на применении различных химических веществ в жидком состоянии с определенным удельным весом. Если погруженный в такую жидкость осколок минерала будет во взвешенном безразличном состоянии, то удельный вес его соответствует удельному весу жидкости.

Этот прием является также в высшей степени ценным при минералогическом анализе горных пород.

Наиболее употребительными жидкостями являются: бромформ, удельный вес 2,8—2,9; жидкость Туле, представляющая насыщенный раствор двойной соли  $HgI_2$  и  $KI$ , удельный вес 3,17; иодистый метилен, удельный вес 3,3 и некоторые другие.

**3. Вязкие жидкости.** Этот метод основан на свободном падении определенного размера кусочков минералов какой-нибудь вязкой жидкости (оливковом масле). При этом вместе с испытуемым веществом помещают кусочки таких же размеров стандартных минералов с известными удельными весами. Учитывая время падения и высоту столба жидкости, подходят к вычислению удельного веса исследуемого вещества. Однако метод этот является не точным и дает лишь ориентировочные, приблизительные результаты.

ТАБЛИЦА НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕЛ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ВОСХОДЯЩИЙ РЯД УДЕЛЬНЫХ ВЕСОВ.

I.	0,6 до	1,0	Нефть, озокерит, вода
II.	1,0 "	1,5	Смоли, каменный уголь, самородная сода, самородная глауберова соль
III.	1,5 "	2,0	Квасцы, бура, селитра, нашатырь, железный купорос
IV.	2,0 "	2,5	Гипс, лейцит, цеолиты, графит, сера
V.	2,5 "	2,8	Кварц, полевые шпаты, нефелин, изумруд
VI.	2,8 "	3,0	Арагонит, доломит, ангидрит, слюда
VII.	3,0 "	3,5	Флюорит, апатит, роговая обманка, авгит, эпидот, турмалин, топаз, алмаз
VIII.	3,5 "	4,0	Сидерит, малахит, азурит, корунд
IX.	4,0 "	4,5	Барит, рутил, хромит, халькопирит, сфалерит
X.	4,5 "	5,5	Пирит, марказит, антимонит, блестящая медная руда
XI.	5,5 "	6,5	Магнитный железняк, куприт, арзенопирит, халькозин, пираргирит
XII.	6,5 "	8,0	Церуссит, оловянный камень, галенит, аргентит
XIII.	8,5 "	10,0	Киноварь, медь, висмут
XIV.	10,0 "	14,0	Серебро, свинец, ртуть
XV.	15,0 "	23,0	Золото, платина
XVI.	21,0 "	23,0	Иридий, палладий

### Магнитность.

Некоторые минералы обладают магнитными свойствами, как, например, магнитный железняк или магнитный колчедан. Ряд других тел приобретает это свойство только при прокаливании в восстановительном пламени паяльной трубки; к таким телам обычно относятся минералы, содержащие в своем составе железо, кобальт или никель.

Свойство это обнаруживается либо по притягивающему действию на них магнита, либо, что еще лучше, по притягивающему действию их самих на подвешенную на тонком острие магнитную стрелку.

### Плавкость.

Определение плавкости минерала связано с испытанием его по отношению к высокой температуре. Для этой цели сначала готовят небольшой и острый кусочек испытуемого вещества размерами, не превышающими 1 мм по толщине и 4 — 5 мм по длине, что равняется приблизительно концу очиненного карандаша. При отбивании такого осколка необходимо иметь в виду, чтобы испытуемый образец был свободен от всяких посторонних примесей, которые могут изменить результаты испытаний. После этого кусочек захватывают за один из концов пинцетом и быстро вносят острым краем в точку наивысшей температуры паяльного конуса и подвергают продолжительному накаливанию.

При этом некоторые из веществ, не оставляя никакого следа, улетучиваются — это так называемые легко улетучивающиеся или сгорающие минералы (сера, реальгар, аурипигмент, нашатырь и пр.). Другие обнаруживают полную устойчивость и не претерпевают решительно никаких изменений (кварц, слюды и многие другие). Большинство минералов, подвергшись интенсивному жару паяльного конуса, начинает плавиться, превращаясь при этом иногда в пузыристое, а иногда в плотное стекло. Некоторые из минералов при таких испытаниях проявляют столь резко выраженную легкоплавкость, что начинают закруглять свои контуры уже при легком нагревании на свечке, тогда как для других это сопряжено с некоторыми трудностями, вследствие чего приходится брать иногда осколки не толще острия иглы и, подвергнув их сильному накаливанию, потом рассматривать в лупу. Только после этого можно убедиться в плавкости или в абсолютной неплавкости при температуре паяльного конуса исследуемого минерала.

При испытании на плавкость случается иногда, что взятый минерал или имеет землистое строение, или крошится, или же иногда начинает растрескиваться на огне на мелкие разлетающиеся кусочки. Плавкость таких веществ определяется в этом случае в порошке на угле; если при нагревании вещество спекается в одну цельную массу, то значит оно обладает плавкостью.

При определении минералов испытание на плавкость составляет одну из важных операций, вследствие чего уже давно во многих руководствах для определения стали приниматься во внимание различные степени плавкости, что повело к составлению особых шкал этого свойства минералов.

### Излом.

Характер излома минерала находится в тесной связи с внутренней структурой последнего. От внутреннего строения зависит способность его колотиться или ломаться с большей или меньшей легкостью при ударе; при этом поверхность излома принимает нередко характерную форму.

Многие из минералов кристаллического сложения обладают свойством раскалываться по совершенно ровным прямым плоскостям. Как

было уже раньше отмечено, это свойство представляет собой так называемую спайность и находится в тесной связи с силами сцепления между частицами пространственной решетки кристаллов.

Откальываясь по определенным плоскостям, минерал иногда легко выбивается в какой-нибудь свойственный ему геометрический многогранник, что служит весьма важным признаком для его определения. Так, например, галенит часто при ударе легко распадается на отдельные кубы, кальцит — на ромбоэдры, флюорит обнаруживает обычно октаэдрический или тетраэдрический облик и пр.

В том случае, если минерал не обладает кристаллической спайностью, излом получается неровным. По свойству получаемых поверхностей различают следующие виды излома:

1. **Раковистый**, образующий кругловатые поверхности, напоминающие внутренние поверхности раковины. Его разделяют еще на мелко- и крупнораковистый, на глубоко- и плоскораковистый, на совершенно и несовершенно раковистый. Примерами минералов с этим изломом могут служить кварц, опал и многие другие.

2. **Занозистый**, характеризующийся наличием острых оконечностей на поверхности излома — роговая обманка, некоторые разновидности лимонита и пр.

3. **Крючковатый** очень часто образуется на поверхности многих минералов в виде неправильных зазубрин.

4. **Землистый** встречается только в землистых формах минералов: каолин, боксит и многие другие. Характеризуется обычно шероховатой поверхностью, крошащейся на мелкие землистые частицы.

### **Блеск.**

Блеск минералов представляет собой явление, обусловленное отражением света от поверхности минерального вещества. Характер блеска зависит от свойств самих поверхностей минерала и является настолько существенным признаком, что положен в основу большинства имеющихся в настоящее время определителей. Цвет минерала при этом не принимается во внимание. Ввиду некоторого постоянства этого признака оказалось возможным все известные в настоящее время минералы распределить на следующие группы:

**1. Минералы с металлическим блеском.** Эта группа минералов на своих свежих поверхностях обнаруживает блеск того или иного металла. Принадлежащие сюда минералы обычно лишены прозрачности даже в тончайших осколках, а порошок их (черта на фарфоровой пластинке), несмотря на светлую иногда окраску, обладает темным или совершенно черным цветом. К этой группе относится весьма большое число представителей, которые существующими определителями выделяются в особую группу (пирит, галенит, магнетит, антимонит, графит и многие другие).

К этой же группе относятся еще минералы с так называемым **полуметаллическим блеском**. Это те минералы, которые не имеют настоящего металлического блеска и в порошке оказываются в значительной степени светлее или обладают цветными оттенками, как, например, хромит, лимонит, гематит и пр.

**II. Минералы, не обладающие металлическим блеском.** К этой группе относится большинство известных минералов. Все они более или менее светлые в порошкообразном состоянии, цвет черты их белый или цветной. Для этой группы различают обыкновенно шесть следующих видов блеска:

1. **А л м а з н ы й**, особенно сильный и почти искрящийся блеск, какой можно наблюдать, например, у алмаза, сфалерита, церуссита и многих других.

2. **С т е к л я н н ы й**, менее сильный и похож на блеск стекла — кварц, топаз, берилл, полевые шпаты и пр.

3. **С м о л и с т ы й**, напоминающий блеск смолы или асфальта, например янтарь.

4. **Ж и р н ы й**, поверхность минерала кажется маслянистой, например у нефелина или на поверхности самородной серы.

5. **Ж е м ч у ж н ы й**, отливающий легкими радужными цветами и переходящий часто в перламутровый, напоминающий поверхности многих раковин, некоторые разновидности гипса, кальцита, опала и пр.

6. **Ш е л к о в и с т ы й**, напоминающий блеск шелка; наблюдается большей частью на минералах, обладающих волокнистым сложением, — асбест, волокнистый гипс, некоторые виды лимонита и т. д.

Все эти приведенные виды блеска распознаются исключительно на глаз и требуют поэтому известного навыка, для приобретения которого необходимо просмотреть и изучить соответствующий минеральный материал непосредственно в коллекциях.

## Цвет.

Цвет минералов бывает весьма различен и является одним из самых подвижных признаков их, вследствие чего играет несколько второстепенную роль при определении. Наблюдать цвет нужно только на свежих изломах, так как обнаженная поверхность многих минералов, особенно из числа металлоидных, легко подвергается воздействию воздуха и воды и принимает поэтому совершенно иной внешний вид. В связи с такой окисляющейся поверхностью некоторых минералов, покрывающихся тончайшей окислительной пленкой, стоит понятие о так называемой **п о б е ж а л о с т и**.

При определении цвета минералов почти всегда приходится связывать его с разнообразнейшими оттенками, которые во многих случаях представлены весьма сложными сочетаниями, не поддающимися простым определениям и простой обычной формулировке. Вследствие этого часто прибегают лишь к сравнительной оценке с другими предметами, в результате чего получается весьма сложный и подчас необычный комплекс отдельных наименований.

Первая классификация цветов для минералов была разработана **А в р а а м о м Г о т л и б о м В е р н е р о м** в 1774 г. и была изложена им в небольшом сочинении «О наружных признаках ископаемых» (Вернер род. в 1750 г. в Верау, в Оберлаузице, и умер в 1817 г.). Автор с логической последовательностью подходит к разбору различных свойств минералов и отмечает, что «цвет является первым для нашего чувства». Впоследствии Вернер прославился как большой авторитет и учитель минералогии и горного искусства в Фрейбергской горной академии, где он в течение 44 лет преподавал эти дисциплины.

Согласно классификации Вернера различают восемь главных цветов для минералов:

- I. Белый (снежнобелый) — каррарский мрамор.
- II. Желтый (лимонножелтый) — аурипигмент.
- III. Красный (коричневокрасный) — рубин, шпинель.
- IV. Зеленый (изумруднозеленый) — изумруд, малахит.
- V. Синий (берлиновосиний) — сапфир.
- VI. Серый (пепельносерый) — халцедон, коизит.
- VII. Бурый (каштановобурый) — яшма.
- VIII. Черный (бархатночерный) — обсидиан.

Кроме того, в пределах каждого цвета имеется еще ряд отдельных разновидностей, как, например: молочнобелый, оловяннобелый, соломенножелтый, латуножелтый, кошенильнокрасный, алый, изумруднозеленый, оливковый, индигосиний, свинцовосерый, железночерный и т. д.

В приведенных названиях еще далеко не исчерпываются все те комбинации и сочетания в цветах и оттенках, какие наблюдаются на минералах. В некоторых случаях поверхность минерала оказывается настолько сложной, что не всегда легко поддается простому и четкому определению. Так, например, минерал аргентит (серебряный блеск)  $Ag_2S$  по цвету определяется как «черноватосвинцовосерый, с черной или бурой побежалостью», или минерал кебальтин (кобальтовый блеск),  $CoAsS$  характеризуется «красноватосеребрянобелым» цветом с «серой побежалостью». Во многих случаях при характеристике цвета того или иного минерала указывается на возможность разнообразных переходов в отдельных оттенках. Так, например, киноварь  $HgS$  очень часто настолько изменчива в отношении своего цвета, что при определении этого свойства обычно пользуются следующей формулировкой: «Кошенильнокрасный, переходящий в алый и свинцовосерый».

Само собой разумеется, что все эти формулировки и выражения являются часто условными и отнюдь не представляют абсолютных обозначений. Представления об этих своеобразных цветах можно получить лишь в непосредственной связи с изучаемым объектом того или иного минерала. Вне данного минерального вещества подобные цвета и оттенки вообразить и представить во многих случаях весьма затруднительно. Кстати сказать, вопрос о цвете минералов до настоящего времени еще далеко не разработан, здесь много еще имеется неясных и неопределенных вопросов. Несмотря на многочисленные попытки в этом направлении, мы все же до сих пор не имеем строго выработанной шкалы для обозначения цветов исследуемых минералов<sup>1</sup>.

**Цвет черты или просто «черта».** Помощью этого свойства определяют цвет минерала в порошке. Оказывается, что многие минералы в куске и в порошкообразном состоянии обладают различными цветами. Цвет порошка для данного минерала является часто настолько постоянным, что при определении его эта особенность имеет весьма большое и решающее значение.

Для получения порошка в отношении испытуемого минерала пользуются весьма простым и несложным приемом проведения им черты на каком-нибудь белом шероховатом и более твердом предмете, чем сам минерал; для этой цели обычно употребляют неглазурованную фарфоровую пластинку или простой фарфоровый черепок с неглазурованной поверхностью. След в виде мельчайшего порошка, оставленный минералом на фарфоровой пластинке, и представляет собой так называемую черту.

Многие минералы в черте не изменяются, другие же или дают черту совершенно другого цвета или получают цвета более светлых оттенков,

<sup>1</sup> По этому вопросу в самое последнее время в издании Академии Наук вышла интересная книжка Ферсмана А. Е. «Цвета минералов», 1937.

В качестве примеров некоторых минеральных тел можно привести следующие:

1. П и р и т  $\text{FeS}_2$  — по цвету шпейсовожелтый; черта черная.
2. Г е м а т и т  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — по цвету черный, стальносерый, буровато-красный; черта вишневокрасная.
3. Л и м о н и т  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  — по цвету бурый или желто-бурый; черта охряножелтая.
4. М а л а х и т  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  — по цвету от изумрудно- до ярь-медянковозеленого; черта ярьмедянково- до яблочнозеленой и пр.

## МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ.

**Общие замечания.** При исследовании минералов в отношении химического состава можно поступить двояким путем: или их подвергают действию каких-либо жидких реактивов — это а н а л и з м о к р ы м п у т е м, или же их подвергают сильному нагреванию — а н а л и з с у х и м п у т е м. В пределах обоих путей имеют место определения как качественного, так и количественного порядка.

В настоящее время при химическом исследовании минералов пользуются следующими методами:

1. Качественное и количественное определение минералов методами анализа, выработанными в аналитической химии.
2. Методы микрохимического определения.
3. С п е к т р а л ь н ы й а н а л и з, широко применяемый в минералогии и петрографии, особенно при открытии так называемых рассеянных элементов.
4. Методы т е р м и ч е с к о г о а н а л и з а, основанные на разложении минеральных тел путем воздействия высокой температуры.
5. Определение минералов помощью паяльной трубки — п и р о х и м и ч е с к и й а н а л и з.

Само собой понятно, что все эти методы не всегда применяются в одинаковой степени, многие из них являются настолько специальными, что имеют значение лишь при строго научно-исследовательских работах. Для ориентировочного же общего определения минералов пользуются обычно методом паяльной трубки, который для этого достаточно разработан и хорошо испытан на многих минеральных группах. В настоящем курсе мы в кратком виде остановимся на некоторых чисто принципиальных сторонах этой методики и познакомимся с основными положениями п и р о х и м и ч е с к о г о а н а л и з а.

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНЕРАЛОВ ПОМОЩЬЮ ПАЯЛЬНОЙ ТРУБКИ.

### Строение и состав пламени.

В основе пирохимического метода определения минералов лежит использование п л а м е н и какого-нибудь источника: светильного газа, спиртовой лампы или свечи. Во всех случаях пламя употребляется не только как физический фактор, обуславливающий наличие той или иной высокой температуры, столь необходимой для производства большинства химических реакций, но является вместе с тем необходимым.

как некоторый химический реактив, помощью которого химический процесс может идти в ту или другую сторону (в связи с использованием окислительной или восстановительной части его).

При рассматривании пламени обыкновенной стеариновой свечи прежде всего обращает на себя внимание нижний конус (*a*), примыкающий непосредственно к фитилю (рис. 101). Этот конус обычно является окрашенным в темный цвет и образован газообразными и совершенно еще не разложившимися углеводородами. Углеводороды эти возникли вследствие постепенного разложения твердых органических кислот (стеариновой и пальмитиновой), составляющих свечу и образовавшихся от действия высокой температуры горящей свечи. В этой темной внутренней части пламени еще нет горения в полном смысле слова, вследствие чего температура этого конуса относительно невысокая.

Второй конус (*b*), облегающий сверху темную область, представляет собой пламя, чрезвычайно богатое восстанавливающими веществами, каковыми являются свободный водород и особенно окись углерода. Эта самая заметная часть пламени, окрашенная в яркий желтый цвет взвешенными в ней еще несгоревшими частицами углерода, которые легко осаживаются на внесенные в него холодные предметы в виде копоти и сажи. Это так называемый восстановительный конус, образовавшийся в результате неполного сгорания газообразных углеводородов, по причине еще недостаточного притока кислорода из окружающего воздушного пространства.

Третий конус (*o*), наблюдаемый поверх второго светящегося, представляет собой почти незаметную для глаза область, содержащую в себе совершенно

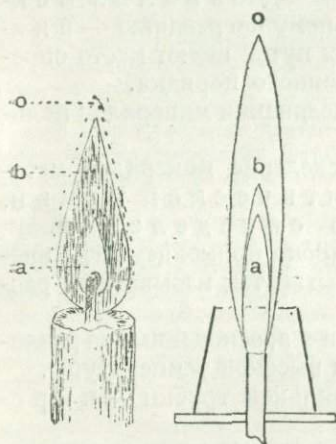


Рис. 101. Пламя свечи и светильного газа.

инертные продукты горения, каковы — вода и углекислый газ и большое количество поступившего из воздуха и не пошедшего на горение кислорода. Кислород этот в нагретой атмосфере свечи проявляет усиленно свои деятельные химические свойства, вследствие чего вся внешняя часть пламени получила название окислительного конуса. Весьма многие вещества, внесенные в эту часть пламени, разлагаются на свои составные части и вступают в соединение с кислородом — происходит, таким образом, процесс окисления первоначального вещества.

### Паяльная трубка.

Использование обычного пламени свечи и даже пламени светильного газа при определении минералов весьма ограничено, по причине еще недостаточной температуры. Пламя свечи, например, обладает температурой, достигающей едва лишь начальных степеней красного каления, приблизительно  $600^{\circ}\text{C}$ , когда только-только начинает

плавиться магний — один из наиболее легкоплавких металлов. Для производства всех реакций, необходимых при исследовании минералов, нужно более энергичное средство, каковым и является паяльная трубка.

Основное назначение паяльной трубки — это повысить температуру пламени свечи или газовой горелки настолько, чтобы она была достаточна для производства химических реакций. Достигается это путем вдувания воздуха во внутренний темный конус пламени через трубку. Такой несложный прибор дает минералогу, химику и металлургу полную возможность производить весьма просто, с малыми количествами вещества и в самое короткое время, характерные реакции, определяющие вещество.

Устройство паяльной трубки легко понять из приводимых чертежей. Само же пламя претерпевает резкое изменение и превращается в вытянутый конус наподобие длинной растянутой иглы, сложенной из восстановительной и окислительной областей, где все малейшие частицы свободного углерода сгорают в углекислый газ, и столь характерный для горящей свечи желтый блеск пламени вместе с копотью совершенно исчезает. При том повышенном потоке кислорода, какой имеет место при действии паяльной трубки, и при том энергичном окислении углеводородов температура пламени возрастает до  $1000^{\circ}\text{C}$  и более, достигая тех степеней, когда начинает плавиться уже медь и другие столь же тугоплавкие металлы. Самым горячим пунктом оказывается при этом точка, лежащая впереди острия восстановительного конуса, куда и вносятся испытуемые вещества всякий раз, когда нужно воспользоваться высокой температурой.

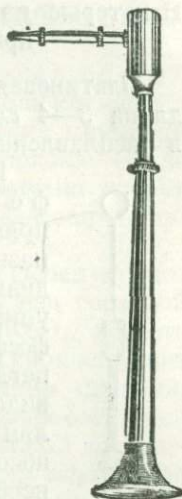


Рис. 102. Паяльная трубка.

Паяльная трубка известна с 1660 г., в это время в Италии она применялась в стекольном производстве. Вместе с тем о паяльной трубке упоминается в сочинении Э р а з м а Б а р т о л и н а об исландском шпате (1670). Несколько позже паяльную трубку стали употреблять для восстановления на угле окислов металлов, что повело к широкому ее использованию в металлургических производствах. С 1738 г. паяльная трубка вошла в минералогический обиход и стала применяться при минералогических исследованиях.

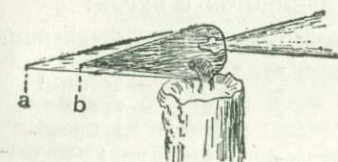


Рис. 103. Конус паяльной трубки.

г е с т р е м, разработали целую методику анализа минералов, применив для этой цели такие реактивы, как бору, соду и фосфорную соль.

В течение целого века (1745—1848) методика определения минералов помощью паяльной трубки разрабатывается и усовершенствуется в разных направлениях. С этим длительным периодом времени связаны такие имена ученых, как Б е р г м а н, Г а н, Б е р ц е л и у с и многие другие. Берцелиус, много работавший совместно с другими учеными, изложил результаты своих многочисленных исследований в сочинении «О применении паяльной трубки в химии и минералогии», вышедшем в 1820 г. Заслуживает также большого внимания применение паяльной трубки к количественному анализу, преимущественно по определению некоторых

металлов. Эта методика была особенно развита Гаркортон, который в 1827 г. опубликовал свои исследования в сочинении «Пробирное искусство при посредстве паяльной трубки». Ученик Гаркорта Платнер, продолжавший с большим успехом работу своего учителя, нашел новые количественные пробы для золота, меди, свинца, висмута, олова, никеля и кобальта и указал на пользу, какую представляет сочетание пробы помощью паяльной трубки с испытаниями мокрым путем.

### Некоторые из наиболее характерных и употребительных реакций, применяемых в работах с паяльной трубкой.

**Платиновая проволока.** Лучшая толщина проволоки 0,4 мм, длина 3—4 см. Закрепляют ее или в особый зажим, или впаивают в расплавленный конец стеклянной палочки.



Реакции с бурой  $\text{Na}_2\text{V}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  или фосфорной солью  $\text{HNa}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Из чистой выпрямленной проволоки предварительно изготовляют так называемое «ушко», загибая свободный конец ее в петлю диаметром 2—2,5 мм, лучше всего на острие карандаша, упирая конец проволоки в проволоку. Реактив (бурю или фосфорную соль) необходимо захватывать раскаленной петлей в избыточном количестве и готовить «перл» не в виде шарика или пленки, а лучше в форме чечевицы, удаляя при этом все пузырьки газов и добываясь получения абсолютно чистой прозрачной массы. Самое нагревание необходимо производить в окислительном конусе паяльной трубки. Испытуемое вещество всегда надо брать в распыленном виде горячим перлом в весьма незначительных количествах и добываясь полного растворения в плавне. Многие из металлов при этом легко распознаются по перлу, окрашенному в тот или иной цвет, характерный для данного элемента. При переходе от одной реакции к другой рекомендуется предварительную пробу не выдавливать пальцами, а всегда стряхивать, предварительно раскалив ее и доведя до жидкого состояния.

Рис. 104. Платиновая проволока с ушком для перла.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С БУРОЙ:

- |                  |                |                   |                |                                  |   |   |                     |
|------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------------------|---|---|---------------------|
| 1. Марганец — Mn | в окисл. пл. — | краснофиолетовый; | в восст. пл. — | бесцветный                       |   |   |                     |
| 2. Кобальт — Co  | »              | »                 | »              | — синий                          |   |   |                     |
| 3. Хром — Cr     | »              | »                 | »              | — зеленый                        |   |   |                     |
| 4. Медь — Cu     | »              | »                 | »              | — голубой;                       |   |   |                     |
|                  |                |                   |                | »                                | » | » | — красный непрозр.  |
| 5. Железо — Fe   | »              | »                 | »              | — желтый;                        |   |   | — бутылочно-зеленый |
| 6. Никель — Ni   | »              | »                 | »              | — краснобурый;                   |   |   | — серый непрозр.    |
| 7. Титан — Ti    | »              | »                 | »              | — бесцветный или непрозр.-белый; |   |   | — бурофиолетовый    |
| 8. Вольфрам — W  | »              | »                 | »              | — бесцветный или непрозр.-белый; |   |   | — желтый            |
| 9. Молибден — Mo | »              | »                 | »              | — бесцветный или непрозр.-белый; |   |   | — бурый             |
| 10. Ванадий — V  | »              | »                 | »              | — желтоватозеленый;              |   |   | — зеленый           |

Реакции с содой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  на марганец и хром. Испытание ведется так же, как с бурой. В окислительном пламени

непрозрачный шарик соды окрашивается от марганца в зеленый цвет (от образовавшегося  $\text{Na}_2\text{MnO}_4$ ). В случае хрома получается желтое окрашивание (от  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ).

Реакция Берцелиуса на хлор. Маленький шарик фосфорной соли насыщают до непрозрачности окисью меди, после чего берут на него очень немного испытуемого вещества и вносят в окислительную часть паяльного конуса. От образовавшейся  $\text{CuCl}_2$  пламя окрашивается в красивый голубой цвет.

Реакция на кремнезем  $\text{SiO}_2$ , так называемый скелет кремнезема. Некоторые силикаты (соли кремневых кислот) обнаруживают кремнезем  $\text{SiO}_2$  после сплавления крупинки минерала с фосфорной солью в ушке платиновой проволоки. После продолжительного накаливания в окислительном пламени вокруг плотной еще середины зерна минерала образуется белесая полупрозрачная оболочка из  $\text{SiO}_2$ .

Реакции на окрашивание пламени. Перед испытанием необходимо конец платиновой проволоки омыть над горелкой каплей сплавленного кислого сернокислого калия  $\text{HKSO}_4$ , нагреть в пламени паяльной трубки, промыть в воде и обжечь в горячей точке окислительного пламени до прекращения окрашивания пламени. Исследуемое вещество необходимо иметь в порошкообразном состоянии и перед испытанием смочить раствором соляной кислоты  $\text{HCl}$  до кашеобразной консистенции. Путем обмакивания в эту массу платиновой проволоки и внесения затем ее в бесцветное окислительное пламя можно по окрашиванию последнего констатировать следующие элементы:

1. Натрий  $\text{Na}$  дает стойкое и яркое желтое окрашивание.
2. Калий  $\text{K}$  — бледное голубоватофиолетовое окрашивание, но в присутствии натрия наблюдение необходимо вести через тройное кобальтовое стекло или особую стеклянную призму, наполненную кобальтовым раствором. Тогда калиевое пламя, рассматриваемое через кобальтовый фильтр, обнаруживает пурпуровокрасное окрашивание.
3. Литий  $\text{Li}$  и стронций  $\text{Sr}$  дают карминовокрасный цвет; в присутствии натрия литий первым вспыхивает и последним исчезает в окислительном пламени.

4. Кальций  $\text{Ca}$  — кирпичнокрасный.

5. Барий  $\text{Ba}$  — зеленое, обычно желтоватозеленое окрашивание.

Аналогичное окрашивание получается для молибдена, бора и фосфора. В случае бора пробу необходимо предварительно смешать с тройным объемом смеси из  $\text{HKSO}_4$  (3 объема) и  $\text{CaF}_2$  (1 объем).

Для фосфора надо вести реакцию в присутствии концентрированной серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Во всех случаях пробу вносить сразу в горячую точку пламени.

6. Медь  $\text{Cu}$ : в виде  $\text{CuO}$  — изумруднозеленое окрашивание, в виде  $\text{CuCl}_2$  — голубое.

**Угольная пластинка** или просто уголь древесный и по возможности плотный. Испытание на угле производится в особом углублении, имеющем форму ямки, которое получается при сверлении небольшим сверлышком. Ямка должна быть неглубокая и находиться около самого края угля. При процессах окисления испытуемое вещество должно быть взято в виде кусочка, при восстановительных реакциях — непременно в форме порошка. При нагревании уголь держать наклонно,

пламя же настойчиво направлять на пробу, стараясь по возможности избегать обгорания передней части угольной пластинки (рис. 105).

Реакции с образованием налетов на угле.

1. Сурьма Sb. При нагревании соединений сурьмы в окислительном пламени образуется окись  $Sb_2O_3$ , которая в виде густого белого мучнистого налета откладывается рядом с местом нагрева, в дальнейших частях угольной пластинки образуется синеватая кайма.

2. Мышьяк As дает сероватобелый налет окиси  $As_2S_3$ , залегающий далеко от пробы, между налетом и пробой остается свободное угольное пространство в виде черного эллипса. Кроме того, горячий дым As издает запах чеснока, видимо образующийся от водородистых его соединений.

3. Свинец Pb образует темножелтый налет окиси свинца PbO. При смешивании пробы с двойным количеством смеси серы и иодистого калия получается желтозеленая окраска налета от образовавшегося двуиодистого свинца  $PbI_2$ :

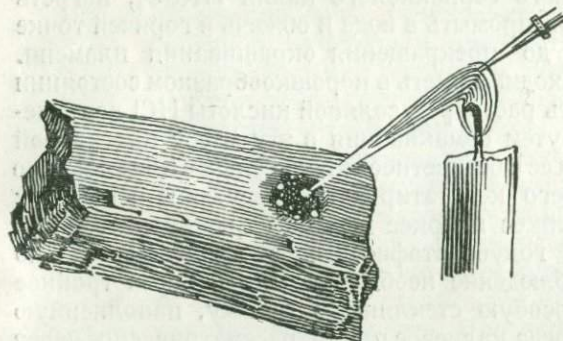
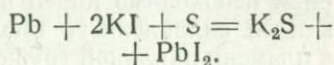
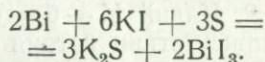


Рис. 105. Нагревание пробы на угле.

4. Висмут Bi в аналогичной реакции со свинцом дает оранжевокрасный налет, вследствие образовавшегося трииодистого висмута  $BiI_3$ :



Реакции с азотнокислым кобальтом  $Co(NO_3)_2$ . Реакции с азотнокислым кобальтом

являются характерными, главным образом, на цинк и алюминий.

1. Цинк Zn в виде окиси  $ZnO$  светложелтого цвета, белеющий при остывании. Смоченный по остывании каплей  $Co(NO_3)_2$  и снова прокаленный в окислительном пламени принимает зеленую окраску — «ринманову зелень», представляющую соединение  $ZnO \cdot Co_2O_3$ , или  $ZnCo_2O_4$ . Весь химический процесс образования этой соли можно выразить следующими уравнениями:

1)  $Zn + O = ZnO$  — в окислительном пламени;

2)  $Co(NO_3)_2 = 2NO_2 + O + CoO$  — разложение азотнокислого кобальта от действия высокой температуры с образованием закиси кобальта  $CoO$ ;

3)  $2CoO + O = Co_2O_3$  — в окислительном пламени.

4)  $ZnO + Co_2O_3 = ZnCo_2O_4$  — образование ринмановой зелени.

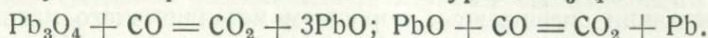
2. Алюминий Al выявляется аналогично реакции на цинк. Алюминиевая проба с азотнокислым кобальтом дает синее окрашивание — «тенарова синь» —  $Al_2O_3 \cdot CoO$  или  $Al_2CoO_4$ .

Выделение металлов в чистом виде — образование так называемых «корольков» метал-

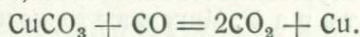
лов. Процессы, связанные с выделением металлов, основаны на реакциях восстановления. В качестве восстановителей являются само пламя в восстановительной части и уголь. Образовавшиеся корольки металлов, после того как весь процесс окончен, необходимо очистить от приставшего шлака, а затем подвергнуть физическому испытанию на наковальне (ковкость, хрупкость и пр.).

В качестве примеров можно рекомендовать следующие опыты:

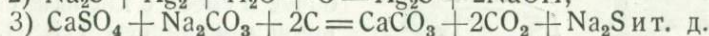
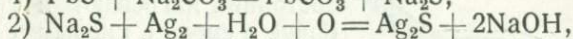
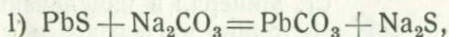
1. Получение королька свинца Pb из сурика  $Pb_3O_4$ :



2. Получение королька меди Cu из углекислой меди  $CuCO_3$  (лучше даже для этой цели взять минерал малахит  $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ , предварительно измельчив его):



**Определение серы в виде серной печени  $Na_2S$ .** Испытуемое вещество, взятое в растертом состоянии, смешивают с двумя объемами соды  $Na_2CO_3$  и немного еще прибавляют порошка угля (сульфаты!), после чего смесь сплавляют на угле до спокойного состояния концом голубого конуса. После охлаждения переносят все на серебряную монету в небольшую капельку воды. В случае присутствия серы на монете появляется желтобурое или черное пятнышко от образовавшегося сернистого серебра  $Ag_2S$ :



**Закрытая стеклянная трубка.** При определении минералов методом паяльной трубки немалое значение имеет стеклянная трубка, запаянная с одного конца. Для этой цели лучше всего брать отрезки трубок длиной 7—8 см с просветом около 5 мм. Один конец такой трубочки равномерно сплавляется на паяльном пламени и выдувается в небольшой шарик. Такая тугоплавкая колбочка оказывается весьма удобной для производства ряда реакций.

**Определение воды.** Для определения в минерале воды последний лучше брать в порошке или некрупными осколками. Шарик трубки наполняется испытуемой пробой примерно до половины. Нагревание шарика производится в самой горячей точке паяльного конуса, захватив при этом трубку пальцами за верхний конец и повернув ее устьем в сторону от руки и лица. Если на стенках трубки оседает муть — «воды нет», если происходит запотевание в виде тонкой ряби — «воды мало», в случае образования капли — «воды много». Примером могут служить гипс  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  или лимонит  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ .

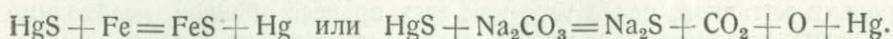
**Возгон мышьяка As.** При нагревании веществ, содержащих мышьяк As, на холодных стенках трубочки образуется возгон его в виде черного с металлическим блеском налета, так называемое «мышьяковое зеркало».

**Возгон ртути Hg.** Пробу на ртуть, взятую в измельченном состоянии, предварительно смешать с порошкообразным железом



Рис. 106. Закрытая стеклянная трубка — колбочка.

или содой; нагревание вести также в горячей точке, после чего на стенках трубки появляется серый возгон мелких капелек ртути, которые затем можно собрать в одну общую большую:



Возгон серы S получается в виде белого налета с желтой рябью и иногда с бурой каплей, бледнеющей при остывании.

**Открытие фосфора Р.** Испытуемое вещество в измельченном состоянии смешивают с порошком металлического магния Mg (поровну) и нагревают в шарике трубочки до черноты. После этого шарик трубки вместе с сплавом разбивают на наковальне и смачивают водой. Появляющийся характерный запах трехводородистого фосфора  $\text{PH}_3$  указывает на присутствие этого элемента.

**Открытие фтора F.** Минерал в тонко измельченном состоянии смешивается с двойным количеством кислого сернокислого калия  $\text{HKSO}_4$  и нагревается в трубочке над пламенем. В случае присутствия в испытуемом веществе фтора наблюдается разъедание стекла от выделяющегося HF. Эта разъеденная поверхность после промывки обозначается белым матовым кольцом:

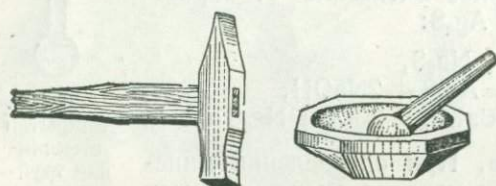
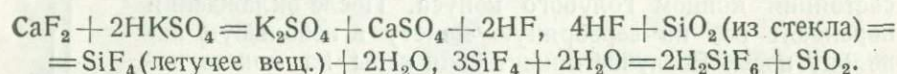
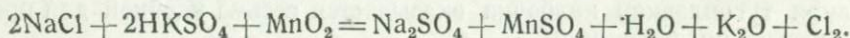


Рис. 107: 1 — молоток и 2 — агатовая ступка для измельчения минералов.

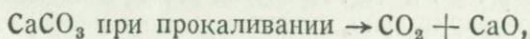
**Открытие хлора Cl.** Минерал в измельченном состоянии нагревают в трубочке в смеси с кислым сернокислым калием  $\text{HKSO}_4$  и небольшим количеством перекиси марганца  $\text{MnO}_2$ .

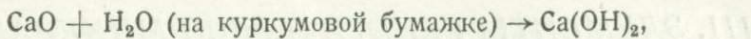
Если в исследуемом веществе находился хлор, то при нагревании ощущается резкий запах, вследствие выделения его в свободном состоянии:



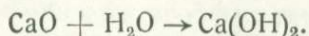
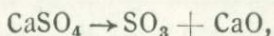
При работах с паяльной трубкой для некоторых групп минералов, как то: карбонатов, сульфатов и галоидопроизводных щелочных и щелочноземельных металлов, весьма большое значение имеет реакция на щелочность. Для того чтобы определить минерал в отношении щелочности, пользуются так называемой куркумовой пробой, или, как говорят, просто куркумой. Прокаленный предварительно в окислительном пламени минерал и положенный затем в каплю воды на куркумовую бумажку через некоторое время оставляет на ней краснобурое пятнышко — показатель щелочности. Минералы, реагирующие на щелочность, обычно сгруппировываются в самостоятельном отделе определителей, что способствует более легкому определению их.

В основном характер реакции сводится к следующему:





или



(Куркума употребляется как реактив на щелочь, от которой ее желтый цвет переходит в коричневый, по этой причине куркума является хорошим индикатором. Сама куркума есть корневище растений *Curcuma tinctoria* и *Curcuma longa*, растущих в диком состоянии в Восточной Азии, в Ост- и Вест-Индии, в Китае и в Японии. В корневищах этих растений содержится желтый пигмент, называемый куркумином.)

На остальных реактивах, употребляемых при определении минералов, мы здесь останавливаться не будем.

#### ГЛАВНЕЙШИЕ ПОСОБИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНЕРАЛОВ:

Вейсбах, Таблицы для определения минералов по внешним признакам. Старое, но очень хорошее руководство, 1888.

Иванов, Определитель минералов по внешним признакам, 1930.

Коббелъ, Таблицы для определения минералов. Старое, но хорошее руководство, 1911.

Разумовский, Определение минералов по наружному виду и при помощи паяльной трубки, 1933.

Зильберманц, Руководство и таблицы для определения минералов помощью паяльной трубки, 1936.

#### **СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ.**

##### **Различные взгляды относительно внутреннего состояния земли.**

Вопрос о строении земли еще далеко не разрешен полностью и во всех деталях. Несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, а также на большую давность постановки относящихся сюда проблем, многие вопросы, касающиеся внутреннего состояния земли, до сих пор остаются слабо освещенными. Правда, за последние десятилетия в связи с успехами в развитии геофизических методов изучения земли (особенно в области изучения сейсмических явлений) наши представления о строении земли подверглись коренным изменениям. Не надо забывать, что условия, при которых находятся вещества внутри земли — температура, давление и пр., — резко отличны от условий, имеющих место на земной поверхности. Следовательно, и самые вещества, находящиеся в таких условиях, должны обладать совершенно иными свойствами и особенностями, резко отличными от всякого поверхностного состояния. Ввиду того что мы пока не имеем возможности создать подобные условия даже в лабораторной обстановке, то очевидно, что все наши представления о состоянии вещества на больших глубинах приобретают в значительной мере гипотетический характер.

Все многочисленные и разнообразные взгляды на внутреннее строение земли можно распределить на следующие группы:

I. Земля построена из областей, представляющих постепенный переход от твердой коры через ряд промежуточных зон к газообразному ядру, — теория «закритического газа».

II. Земля представляет жидкое, расплавленное тело, покрытое твердой корой, толщина которой у разных исследователей принималась различной.

III. Земля представляет твердое тело во всей своей толще, являясь совершенно остывшей массой.

IV. Земной шар является твердым, но в различных местах его вкраплены обособленные бассейны расплавленных жидких масс.

V. Земля состоит из твердого упругого ядра и твердой земной коры. Между этими областями заключена магматическая масса в виде промежуточного пояса.

Многие из приведенных взглядов для настоящего времени являются безусловно устаревшими и неприемлемыми, некоторые из них не вполне согласуются со многими наблюдениями, произведен-

ными в последнее время, а потому на рассмотрении всех этих взглядов мы останавливаться не будем.

Здесь лишь необходимо отметить, что установившейся точкой зрения в настоящее время является проблема твердого, упругого состояния земного ядра. К этому взгляду сейчас склоняется большинство геологов, геофизиков, геохимиков, а также астрономов.

Твердость и сжатость вещества внутри земли обуславливается теми колоссальными давлениями, величины которых совершенно несоизмеримы с нашими обычными представлениями. Вследствие этого общепринятые термины — «твердое, жидкое и газообразное», вообще говоря, не могут быть применяемы в пределах тех исключительно своеобразных условий, какие имеют место во внутренних областях земли, и скорее могут иметь чисто условный характер. С большей долей вероятности мы можем допустить, что вещество внутри земли может находиться в состоянии, еще неизвестном на земной поверхности.

### Современные данные о строении земли.

На основании целого ряда данных, основанных на изучении сейсмических явлений, явлений связанных с приливо-отливными движениями земной коры, а также и других, например изменения высоты полюса и пр., весь земной шар может быть распределен на три части:

1. Внешнюю наружную область земли, простирающуюся до глубины 1200 км.

2. Средний промежуточный пояс, состоящий из кислородно-сульфидной области тяжелых металлов и простирающийся до глубины 2900 км.

3. Ядро земли — барисфера (тяжелая сфера), состоящая из наиболее тяжелых веществ, преимущественно железа и никеля. Средний радиус этой области в среднем определяется в 3500 км<sup>1</sup>.

При этом земной корой — литосферой, в собственном смысле слова, является самый наружный слой толщиной около 50 км, и переход ее к промежуточному слою происходит плавно и последовательно в порядке растянутого интервала. Переход же этой последней области к ядру является резким скачком (точка 2900 км).

Необходимо также отметить, что периферические части земли отличаются от внутреннего ядра не только физически, но и химически, и на основании ряда работ здесь также выделены концентрические области, характеризующиеся преобладанием тех или иных химических элементов.

В связи с этим самую верхнюю часть земной коры, состоящую в главнейшем из кремния Si и алюминия Al, обозначают символом «Sial». Более глубинные части именуются «Sima», где преобладающую роль играет магний Mg. Для промежуточной зоны введены обозначения: «Crofesima» — для верхней части (хром — железо — кремний — магний) и «Nifesima» — для нижней области (никель — же-

<sup>1</sup> Полагают, что давление в этих областях определяется числом порядка 3 000 000 ат. В отношении температуры вопрос остается открытым.

лезо — кремний — магний). Ядро земли обозначают символом «Nife» (никель — железо), как состоящее преимущественно из этих металлов.

В качестве объединяющей схемы, иллюстрирующей все сказанное о строении земли, приводим таблицу З и б е р г а <sup>1</sup>, принятую большинством ученых, и являющуюся основой современных представлений.

ТАБЛИЦА ОБЛАСТЕЙ И ЗОН ЗЕМНОГО ШАРА ПО ЗИБЕРГУ.

Название областей и зон земли		Глубина в км	Состояние агрег.	Средняя плотность	Характеристика
Л и т о с ф е р а	Земная кора	50—60	Анизотропное — кристаллическое	2,6	Кристаллические породы, содержащие преимущественно кремний и алюминий. Граниты, гнейсы и пр. Вблизи нижней границы породы переходят в открыто-пластичное состояние. Имеются гнезда мертвой и действующей магмы
	Текучая зона	120		3,0	
	Зона тяжелых магматических пород	1200	Аморфное — стекловидное	3,4	Тяжелые магматические породы симатического характера, не встречающиеся на земной поверхности. В верхних слоях могут еще находиться в состоянии скрытой пластичности. Нет ни гнезд, ни слоев активной магмы
Промежуточный пояс	Кислородно-сульфидная область тяжелых металлов	2,900	И з о т р о п н о е	5,5—6,0	Металлическое железо с силикатами в неправильном напластовании концентрическими слоями с различными физическими свойствами. Практически состояние «твердое»
Бари-сфера	Железное ядро	6,370		9,1	

<sup>1</sup> Sieberg A., Erdbebenkunde, Iena 1923.

- Никифоров П., О внутреннем строении земли, «Природа» № 1—6, 1924.  
 Ферсман А. Е., Строение и состав земли как космического тела, «Научное слово» № 6—7, 1928.  
 Тверской П. Н., Курс геофизики, ч. I, 1932.  
 Морэн Ш., Физика земли, 1933.  
 Ферсман А. Е., Геохимия, т. I, 1933.  
 Гуттенберг, Строение земли, 1935.

## ПОНЯТИЕ О ГЕНЕЗИСЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕЛ.

Происхождение или образование минеральных тел в земной коре называется **г е н е з и с о м**. В зависимости от той или иной группы минеральных веществ различают: **м и н е р а л о г е н е з и с** — происхождение минералов и **п е т р о г е н е з и с** — происхождение горных пород.

Условия генезиса весьма разнообразны; в зависимости от этих условий минералы и горные породы распределяют по разным генетическим группам. В классификации минералов и горных пород часто большую роль играют генетические принципы.

В связи с генезисом минеральных тел устанавливают и соответствующие типы месторождений их. Классификация минеральных месторождений также часто основана на генетических соотношениях.

### Парагенезис.

Этим термином обозначают совместное нахождение минералов в горной породе или в отдельных месторождениях. При этом такое минеральное сообщество является не случайным, а выражает закономерные соотношения минералов, в частности связанные с последовательностью их кристаллизации и пр.

На основе подобных парагенетических ассоциаций часто воспроизводятся разведки на те или иные полезные ископаемые.

В дальнейшем при описании отдельных месторождений мы будем отмечать наиболее характерные стороны, связанные с явлениями парагенезиса.

## ЗЕМНАЯ КОРА.

**Распространение химических элементов в земной коре.** По вопросу о распространении элементов в земной коре сейчас имеется весьма обширная литература, явившаяся следствием многочисленных исследований в этом направлении. Этот вопрос интересовал многих ученых, из среды которых особенно выделяются американские исследователи **К л а р к** и **В а ш и н г т о н**, геохимики **В е р н а д с к и й**, **Ф е р с м а н**, **Г о л ь д ш м и д т** и некоторые другие.

Основным путем в этих исследованиях является определение среднего состава магматических пород, весовое количество которых в земной коре составляет 95%. При этом необходимо иметь в виду, что при определении химического состава земной коры принимается во внимание лишь только верхняя ее часть, распространяющаяся

на глубину в среднем около 16 км (10 миль). Эта условная пленка земли включает в себя воздушную оболочку — атмосферу (в части тропосферы), все океанические и материковые массы воды, или так называемую гидросферу, и твердую кору горных пород — литосферу (до глубины 16 км).

Непосредственное исследование глубин земли возможно лишь только в связи с шахтными разработками тех или иных полезных ископаемых, что представляет, конечно, незначительную часть радиуса земного шара. Наиболее глубокие шахты достигают лишь около 2000 м с небольшим (шахта John del Ray, Minos Geraes в Бразилии имеет

ТАБЛИЦА ВЕСОВЫХ КЛАРКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (1932) В ИСТОРИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (ВКЛЮЧАЯ АТМО-, ГИДРО- И ЛИТОСФЕРУ ДО ГЛУБИНЫ 16 км).

1. Водород H	1,00	47. Серебро Ag	1·10 <sup>-5</sup>
2. Гелий He	1·10 <sup>-6</sup>	48. Кадмий Cd	5·10 <sup>-4</sup>
3. Литий Li	0,005	49. Индий In	1·10 <sup>-5</sup>
4. Бериллий Be	0,003	50. Олово Sn	6·10 <sup>-4</sup>
5. Бор B	0,01	51. Сурьма Sb	5·10 <sup>-6</sup>
6. Углерод C	0,35	52. Теллур Te	1·10 <sup>-6</sup>
7. Азот N	0,04	53. Иод I	1·10 <sup>-4</sup>
8. Кислород O	49,13	54. Ксенон X	3·10 <sup>-9</sup>
9. Фтор F	0,08	55. Цезий Cs	5·10 <sup>-4</sup>
10. Неон Ne	5·10 <sup>-7</sup>	56. Барий Ba	0,05
11. Натрий Na	2,40	57. Лантан La	6,5·10 <sup>-4</sup>
12. Магний Mg	2,35	58. Церий Ce	2,9·10 <sup>-3</sup>
13. Алюминий Al	7,45	59. Празеодимий Pr	4,5·10 <sup>-4</sup>
14. Кремний Si	26,00	60. Неодимий Nd	1,75·10 <sup>-3</sup>
15. Фосфор P	0,12	61. Иллиний II	?
16. Сера S	0,10	62. Самарий Sa	7·10 <sup>-4</sup>
17. Хлор Cl	0,20	63. Европий Eu	2·10 <sup>-5</sup>
18. Аргон Ar	4·10 <sup>-4</sup>	64. Гадолиний Gd	7,5·10 <sup>-4</sup>
19. Калий K	2,35	65. Тербий Tb	1·10 <sup>-4</sup>
20. Кальций Ca	3,25	66. Диспрозий Dy	7,5·10 <sup>-4</sup>
21. Скандий Sc	6·10 <sup>-4</sup>	67. Хольмий Ho	1·10 <sup>-4</sup>
22. Титан Ti	0,61	68. Эрбий Er	6,5·10 <sup>-4</sup>
23. Ванадий V	0,02	69. Тулий Tu	1·10 <sup>-4</sup>
24. Хром Cr	0,03	70. Иттербий Yb	8·10 <sup>-4</sup>
25. Марганец Mn	0,10	71. Кассиопий Cp	1,75·10 <sup>-4</sup>
26. Железо Fe	4,20	72. Гафний Hf	0,0004
27. Кобальт Co	0,002	73. Тантал Ta	2,4·10 <sup>-5</sup>
28. Никель Ni	0,02	74. Вольфрам W	9·10 <sup>-4</sup>
29. Медь Cu	0,01	75. Рений Re	1·10 <sup>-7</sup>
30. Цинк Zn	0,02	76. Осмий Os	5·10 <sup>-6</sup>
31. Галлий Ga	1·10 <sup>-3</sup>	77. Иридий Ir	1·10 <sup>-6</sup>
32. Германий Ge	1·10 <sup>-4</sup>	78. Платина Pt	5·10 <sup>-6</sup>
33. Мышьяк As	5·10 <sup>-4</sup>	79. Золото Au	5·10 <sup>-6</sup>
34. Селен Se	8·10 <sup>-5</sup>	80. Руть Hg	1·10 <sup>-4</sup>
35. Бром Br	0,001	81. Таллий Tl	1·10 <sup>-5</sup>
36. Криpton Kr	2·10 <sup>-8</sup>	82. Свинец Pb	1,6·10 <sup>-3</sup>
37. Рубидий Rb	0,008	83. Висмут Bi	1·10 <sup>-5</sup>
38. Стронций Sr	0,035	84. Полоний Po	5·10 <sup>-6</sup>
39. Иттрий Y	0,005	85. Алабамий Ab	—
40. Цирконий Zr	0,025	86. Эманий Em	—
41. Ниобий Nb	3,2·10 <sup>-5</sup>	87. Виргиний Vi	—
42. Молибден Mo	1·10 <sup>-3</sup>	88. Радий Ra	2·10 <sup>-10</sup>
43. Мазурий Ma	1·10 <sup>-7</sup>	89. Актиний Ac	—
44. Рутений Ru	5·10 <sup>-6</sup>	90. Торий Th	1·10 <sup>-3</sup>
45. Родий Rh	1·10 <sup>-6</sup>	91. Протоактиний Pa	7·10 <sup>-11</sup>
46. Палладий Pd	5·10 <sup>-6</sup>	92. Уран U	4·10 <sup>-4</sup>

глубину 2262 м). Самые глубокие буровые скважины имеют сейчас не более 2500 м глубины. Все это соответствует только третьей части одной тысячной доли экваториального радиуса.

Представление же о среднем составе земной коры до глубины 16 км основано на ряде геохимических и геофизических данных, помощью которых обозначились главные линии для разрешения относящихся сюда задач.

Числа, выражающие весовое содержание какого-либо химического элемента в земной коре, получили название *кларковских чисел* или просто кларки (в честь американского минералога и химика *Кларка*, 1847—1931, который первый попытался выразить состав земли в точных числах). Этот термин был введен *Ферсманом* взамен прежнего русского термина «частота», или «распространенность».

Сведения о химическом составе земли можно получить в следующих работах:

Ферсман А. Е., Геохимия, т. I, 1933.

Берг Г., Геохимия месторождений полезных ископаемых, 1933.

## ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

Генезис минералов в основном можно свести к следующим процессам:

**Минералообразование, связанное с процессами остывания магмы.**  
К этой группе относятся:

1. **Процессы интрузивные**, происходящие в глубине земной коры. Застывание магмы происходит при условиях высокого давления и высокой температуры. Минеральные вещества — минералы и горные породы, образующиеся при этих процессах, обычно именуется также **интрузивными**, или **глубинными**, иначе **плутоническими**. Вследствие медленности охлаждения минералы горных пород этого типа все обладают кристаллическим характером и имеют в большинстве случаев равномерно-зернистый вид.

2. **Процессы эффузивные** связаны с излиянием магматических масс в поверхностные части земли, где процессы застывания идут при относительно низкой температуре и обыкновенном атмосферном давлении. Минералы и горные породы этих процессов именуется **эффузивными**, или **излившимися**. Вследствие того что эти процессы часто сопровождаются вулканическими извержениями, эффузивные породы нередко называют еще **вулканическими**. Характер структуры минеральных веществ при этом весьма разнообразен, большей частью эффузивные породы обладают или тонкокристаллическим сложением, или имеют вид аморфной стекловатой массы.

Остывание магмы происходит при наличии весьма сложных физико-химических процессов, изучение которых связано со специальными курсами петрологии и геохимии. Вся совокупность относящихся сюда процессов объединяется общим выражением **процессов дифференциации магмы**, когда идет распад, или расщепление, ее на различные части. Дифференциацию магмы можно представить в виде отдельных фаз, которые протекают в форме сложнейших физико-

химических превращений по мере понижения температуры магмы и изменения давления внутри магматических масс.

В этой книжке мы не будем затрагивать всех относящихся сюда вопросов. Коснемся и рассмотрим кратко лишь основные положения, связанные с генезисом минеральных тел.

## ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О МАГМЕ И ПРОЦЕССЫ ЕЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ.

Магмой называется расплавленная масса, находящаяся во внутренних частях земной коры. Слово «магма» происходит от греческого «*magma*», что значит «мешать», следовательно, выражение **магма** обозначает собой **замешанная масса**.

По целому ряду соображений считают весьма вероятным, что магма



распространена во внутренних частях литосферы в виде сплошного пояса (магматический пояс) в пределах сиалической области. Точно так же считают, что в этой зоне магма образует еще отдельные бассейны, включительно до так называемых периферических очагов, дающих начало вулканическим извержениям.

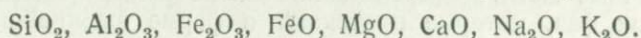
Магматические бассейны могут быть связаны с общим магматическим поясом, частью же могут представлять замкнутые отдельные бассейны.

Рис. 108. Схема геохимических зон земной коры (по данным Лукашевича, van Nise и др.).

Физическое состояние магмы, по всей вероятности, довольно разнообразно и изменчиво в силу тех многообразных условий, при которых она находится. Возможно, что на больших глубинах вследствие высокого давления магма может иметь консистенцию стекла, переход же ее в жидкую массу обуславливается понижением давления.

Температура магмы, по видимому, также не всегда постоянна и варьирует в различных пределах в зависимости от состояния магматического бассейна. Полагают, что высокая температура магмы в значительной части связана с процессами радиоактивного распада.

В отношении химического состава магму рассматривают как сложную силикатовую массу (так называемый твердый силикатовый раствор). В состав ее входят, главным образом, следующие окислы:



Кроме отмеченных, в магме находятся и все остальные известные элементы, но в меньших количествах.

Химические элементы, входящие в состав магмы, находятся в ней в состоянии каких-то соединений, причем одни из них как бы растворены в других. Некоторые из этих соединений образованы газами и летучими веществами, среди которых наиболее обычными являются следующие:

$H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $C_mH_n$  (углеводороды),  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $HCl$ ,  $HF$  и многие другие.

Многие из этих летучих соединений играют весьма большую роль в минералообразовательных процессах, вследствие чего часто именуются минерализаторами.

В зависимости от процентного содержания кремнезема  $SiO_2$  в магме может произойти распределение на основные и кислые части. В минералогическом отношении характер основных и кислых пород различен, что резко отражается и на характере самих минеральных месторождений. Нижеследующая таблица обозначает характер основных и кислых магм:

Порядок	Характер магмы	Породы
1	Ультраосновная магма, сильно недосыщенная кремнекислотой	Ультраосновные породы — темные породы, содержание $SiO_2$ менее 45%, бедные или совершенно лишенные полевого шпата, но отличающиеся содержанием некоторых темных минералов — оливина, пироксенов, амфиболов и пр. К числу этих пород относятся разнообразные перидотиты и пироксениты
2	Основная магма, также недосыщенная кремнекислотой	Основные породы характеризуются содержанием $SiO_2$ менее 60%, иногда не более 50—55%. Эти породы лишены свободной $SiO_2$ К числу их принадлежат, главным образом, габбро, базальт и пр.
3	Средняя магма, промежуточная между основной и кислой	Средние, или нейтральные, породы с содержанием $SiO_2$ около 60% (55—60%) Составные части этих пород являются наиболее насыщенными силикатами. Свободная кремнекислота по большей части отсутствует. К числу этих пород обычно относят диориты и сиениты
4	Кислая магма, пересыщенная кремнекислотой	Кислые породы, содержащие избыток $SiO_2$ в свободном состоянии, в интрузивных породах в виде кварца, в эффузивных часто в форме аморфной массы. Сюда принадлежат граниты, кварцевые диориты, кварцевые порфиры, липариты и многие другие. Все эти породы большей частью светлые

При некоторых специальных условиях застывания и кристаллизации магмы образуются породы, выделяемые в специальную группу щелочных. Эти породы характеризуются большим содержанием  $Na_2O$

и  $K_2O$  при сравнительно малом содержании  $SiO_2$ , как, например нефелиновые сиениты.

Необходимо при этом отметить, что границы распределения пород на основные, средние и кислые различны у разных авторов.

В качестве сравнительной характеристики приводим таблицу среднего химического состава наиболее известных и распространенных магматических пород.

ТАБЛИЦА СРЕДНЕГО СОСТАВА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД.

Составные части	Перидотит	Габбро	Базальт	Андезит	Диорит	Сиенит средний	Сиенит нефелиновый	Гранит
$SiO_2$ . . . . .	41,1	48,2	48,8	60,8	56,8	58,6	54,6	72,0
$Al_2O_3$ . . . . .	4,8	17,9	15,8	17,3	16,7	16,4	19,9	13,1
$Fe_2O_3$ . . . . .	4,0	3,2	5,4	2,9	3,2	3,6	3,4	1,5
$FeO$ . . . . .	7,1	6,0	6,3	2,5	4,4	3,1	2,2	1,8
$MgO$ . . . . .	32,2	7,5	6,0	2,5	4,2	3,1	0,9	0,6
$CaO$ . . . . .	4,4	11,0	8,9	5,5	6,7	4,5	2,5	1,5
$Na_2O$ . . . . .	0,5	2,5	3,2	4,0	3,4	3,5	8,3	3,5
$K_2O$ . . . . .	1,0	0,9	1,6	2,4	2,1	4,8	5,5	4,8
$H_2O$ . . . . .	3,5	1,4	1,8	1,2	1,4	1,1	1,8	0,7
$TiO_2$ . . . . .	1,2	1,0	1,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,3
$MnO$ . . . . .	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1
$P_2O_5$ . . . . .	0,1	0,3	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
Сумма . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Удельный вес . . . . .	3,18	2,94	2,91	2,88	2,85	2,78	2,70	2,64

При остывании магматических масс наступает процесс кристаллизации расплава — фаза кристаллизационной дифференциации. В зависимости от общего состава магмы, а также в связи с характером самого бассейна кристаллизация сопровождается рядом разнообразных химических превращений, в результате чего возникает комплекс тех или иных минеральных тел, в дальнейшем обуславливающий тот или иной тип минеральных месторождений.

Не вдаваясь в рассмотрение различных соотношений кристаллизационного процесса (подчас весьма сложного и запутанного), отметим, что выделение отдельных минералов из магматического расплава связано с известной последовательностью. Последовательность кристаллизации минералов прежде всего обуславливается наличием в магматической системе так называемой э в т е к т и к и, т. е. такой физической смеси, где выделение минеральных компонентов определяется не температурами плавления их, а избыточным содержанием против своего эвтектического состояния.

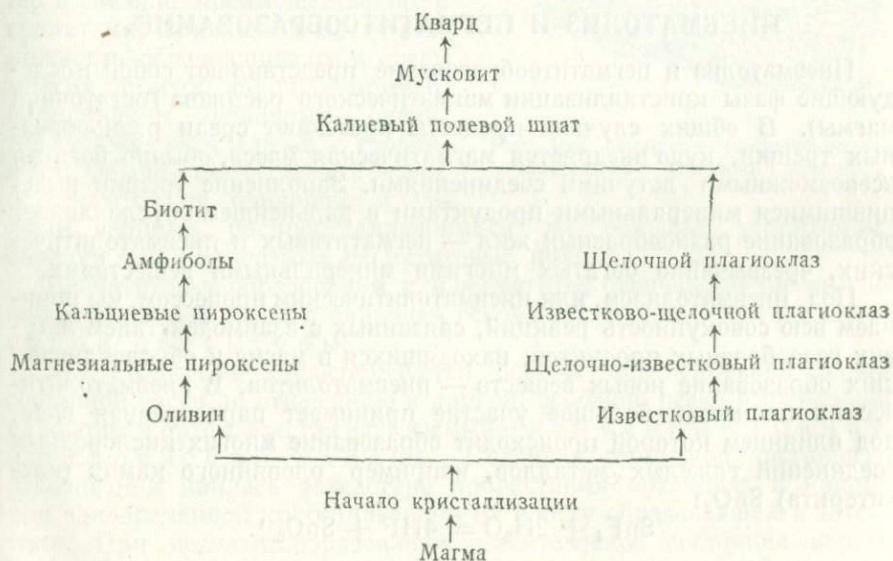
Так, например, эвтектическая смесь для кварца и ортоклаза определяется следующими соотношениями: кварца 26% и ортоклаза 74%. Если в силикатовой магме кварца находится 40%, а полевошпатовая часть представлена 60%, то первым будет выделяться кварц до своего

эвтектического состояния с ортоклазом, т. е. до 26%. После этого, вследствие понижения температуры до эвтектической точки, наступает одновременный процесс кристаллизации, и магма затвердевает в одно целое образование (случай образования так называемой пегматитовой структуры). Эвтектические смеси всегда являются наиболее легкоплавкими, а эвтектическая точка представляет наиболее низкую точку плавления (а, следовательно, и кристаллизации) смеси, которая всегда ниже точек плавления отдельных компонентов. Вследствие того, что в этой точке расплав является насыщенным обоими компонентами, они и кристаллизуются одновременно, образуя своеобразную эвтектическую структуру породы.

Эвтектические смеси в магмах чрезвычайно разнообразны, в процессах минералообразования эти смеси играют весьма существенную роль.

Наряду с выделением минералов по принципу эвтектики в процессе дифференциации магмы имеет место еще так называемый реакционный принцип, выдвинутый впервые Боуэном<sup>1</sup> для сложных поликомпонентных магм.

Основная сущность этого процесса заключается в том, что кристаллизующийся минерал находится в постоянном взаимодействии с тем расплавом, т. е. с той магматической жидкостью, из которой он выкристаллизовался, вследствие чего его состав все время меняется, переходя все в новые и новые соединения. Таким образом получается реакционная серия превращений, в результате чего образуется непрерывный кристаллизационный ряд, протягивающийся от начальной (базальтовой) магмы до конечных образований, которыми являются минералы кислых пород. Основные моменты этого процесса в двух самостоятельных ветвях, сходящихся в одну общую серию превращений, могут быть представлены в виде следующей схемы:



<sup>1</sup> Боуэн Н. Л., Эволюция изверженных пород, ОНТИ 1934.

## Главнейшие минералы основной магмы.

К числу главнейших минералов основной магмы (а также отчасти ультраосновной) относятся:

**Оливин** — магнезиально-железистый ортосиликат  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ ; ромбическая сингония.

**Ромбические пироксены** — магнезиально-железистые метасиликаты  $(Mg, Fe)SiO_3$ , ромбическая с.; к числу их относятся: гиперстен (с  $FeO = 15 - 30\%$ ), бронзит (с  $FeO = 5 - 15\%$ ) и энстатит (с  $FeO$  до  $5\%$ ).

**Основные плагиоклазы** — известковые и натрово-известковые полевые шпаты, кристаллизующиеся в триклинной с.; к числу их относятся: анортит  $CaAl_2Si_2O_8$ , битовнит и лабрадор:



**Хромит** — хромистый железняк,  $FeO \cdot Cr_2O_3$ , кубическая с.

**Ильменит** — титанистый железняк,  $FeO \cdot TiO_2$ , гексагональная с.

## Главнейшие минералы кислой магмы.

1. **Слюды светлые и темные**; моноклинная сингония. Из группы светлых — мусковит  $KH_2Al_3(SiO_4)_3$ ; из темных — биотит  $(K, H)_2(Mg, Fe)_2(Fe, Al)_2(SiO_4)_3$ .

2. **Амфиболы** (отчасти), преимущественно роговые обманки:  $m(Mg, Fe)SiO_3 \cdot n CaSiO_3 \cdot p(Al, Fe)_2O_3 \cdot qH_2O$ ; моноклинная с.

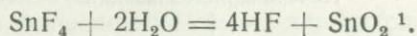
3. **Калийно-натровые полевые шпаты**: ортоклаз  $K_2Al_2Si_6O_{16}$ ; моноклинная с. и микроклин:  $(K, Na)_2Al_2Si_6O_{16}$ ; триклинная с.

4. **Кварц**  $SiO_2$ ; гексагональная с.

## ПНЕВМАТОЛИЗ И ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИЕ.

Пневматолитиз и пегматитообразование представляют собой последующие фазы кристаллизации магматического расплава (остаточной магмы). В общих случаях процессы протекают среди разнообразных трещин, куда внедряется магматическая масса, обычно богатая всевозможными летучими соединениями. Заполнение трещин выделившимися минеральными продуктами в дальнейшем обуславливает образование разнообразных жил — пегматитовых и пневматолитических, чрезвычайно богатых многими минеральными веществами.

Под пневматолитизом, или пневматолитическим процессом, мы понимаем всю совокупность реакций, связанных с взаимодействием летучих газообразных продуктов, находящихся в магме и обуславливающих образование новых веществ — пневматолитов. В пневматолитических процессах большое участие принимает парообразная вода, под влиянием которой происходит образование многих кислородных соединений тяжелых металлов, например оловянного камня (каситерита)  $SnO_2$ :



<sup>1</sup> Точка кипения  $SnF_4$  равняется  $705^\circ$ .

Само выражение пневматолит происходит от греческого «пневма», что значит «дух» или «газ».

Температурные условия образования пневматолитов чрезвычайно разнообразны, вследствие чего и минералогический состав их связан с различными образованиями.

На основании ряда данных по этому вопросу выделяют следующие главнейшие типы — собственно пневматолитов:

1. **Молибденовый тип**, характеризующийся образованием молибденовых соединений, главным образом, молибденового блеска  $MoS_2$ .

2. **Оловянный тип**, характерный присутствием касситерита  $SnO_2$ .

3. **Вольфрамовый тип**, отличающийся наличием вольфрамовых соединений, преимущественно вольфрамита  $(Fe, Mn)WO_4$ .

Само собой разумеется, что этим перечислением не ограничиваются все относящиеся сюда образования, особенно принимая во внимание еще разнообразные переходные фазы. Природа и порядок образования пневматолитических месторождений еще не полностью известны и требуют дальнейшего всестороннего изучения.

Наряду с процессами пневматолита идет и пегматитообразование. Часто оба процесса протекают совместно. Пегматитообразование носит чисто жильный характер и связано преимущественно с гранитами, но не исключается возможность образования их и среди многих других пород, например, нефелиновых щелочных сиенитов, также, хотя и реже, с габбро и пр. Обычно пегматитовые жилы встречаются не одиночно, а целыми сериями, распространяющимися на большие территории, образуя так называемые пегматитовые поля.

Пегматитовые образования, или пегматиты, отличаются чрезвычайной крупностью зерна и наличием особой структуры — пегматитовой структуры.

Эта структура характеризуется особой ориентировкой одной составной части по отношению к другой, особенно резко выраженной на кварце и ортоклазе, так называемый п и с ь м е н н ы й г р а н и т, или е в р е й с к и й к а м е н ь. Подобная структура настоящего образования явилась вследствие прорастания ортоклаза и кварца при одновременной кристаллизации их в силу образовавшейся эвтектики. При пегматитообразовании эвтектическое состояние играет весьма большую роль, по этому поводу некоторые сведения были даны в предыдущем параграфе.

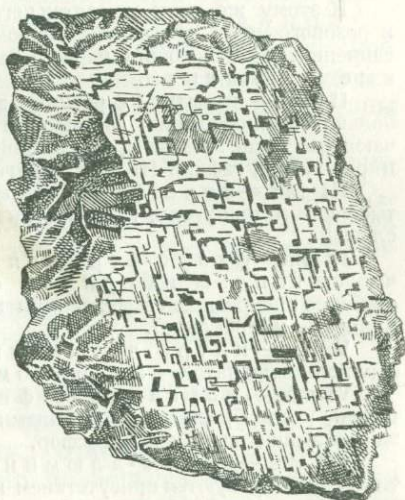


Рис. 109. Пегматит кварцево-полевошпатовый — еврейский камень.

По минералогическому и химическому составу пегматитовые жилы представляют большое разнообразие. Здесь наблюдаются минералы в самых разнообразных взаимоотношениях. Часто встречаются вещества, заключающие в себе так называемые редкие земли. Все это для целей практических представляет исключительный интерес, в силу чего месторождения пегматитов тщательно и всесторонне изучаются<sup>1</sup>.

В связи с различными наблюдениями, особенно на основании исследований акад. Ферсмана А. Е., устанавливаются следующие основные типы чистой линии гранитных пегматитов в последовательной группировке, в порядке понижения температуры (от 800° и ниже).

**I тип** — пегматиты наиболее ранней стадии кристаллизации; к этому типу относятся разнообразные пегматиты, начиная от обычного пегматита, или пегматита в узком смысле слова. Такой род пегматитов характеризуется особенно крупнозернистой структурой и отличается большими скоплениями кварца и полевого шпата, достигающими иногда весьма значительных размеров.

К этому же типу относятся пегматиты, включающие гранаты красного и розового цвета, обогащенные алюминием и марганцем, а также различные соединения, заключающие церий, например монацитовые и ортитовые пегматиты.

**II тип** — пегматиты с редкими элементами, характеризующиеся чрезвычайно большим разнообразием состава; пегматиты этого типа богаты минералами, включающими такие элементы, как иттрий I, ниобий Nb, тантал Ta, уран U, торий Th, цирконий Zr, гафний Hf и ряд других.

**III тип** — боро-фтористый; шерлово-мусковитовые пегматиты, богатые черным, как уголь, турмалином (шерл) и мусковитом — светлой слюдой.

**IV тип** — фторо-бериллиевый; топазо-берилловые пегматиты, заключающие топазы и бериллы совместно с рядом других минеральных тел, особенно прекрасными выделениями амазонского камня (зеленая разновидность микролина).

**V тип** — натро-литиевый; пегматиты этого типа обогащены натровым полевым шпатом — альбитом — и литиевой слюдой — лепидолитом.

**VI тип** — марганцево-фосфатный; пегматиты, характеризующиеся разнообразными минералами, среди которых наблюдаются минералы, заключающие марганец и фосфор.

**VII тип** — фторо-алюминиевый, криолитовый; эти пегматиты характеризуются присутствием криолита — фторида натрия и алюминия.

**VIII тип** — флюокарбонатный — пегматиты этого типа не являются типичными; руководящими минералами являются кальцит и флюорит.

**IX тип** — сульфидный, также пегматиты этого типа не являются широко распространенными; характеризуются наличием некоторых рудных веществ сернистых соединений тяжелых металлов — пирита, халькопирита, халькозина, борнита и пр.

**X тип** — цеолитный, точно так же не имеющий самостоятельного значения; пегматиты этого типа иногда наблюдаются среди нефелиновых сиенитов и являются обогащенными некоторыми цеолитами.

В отношении различных вопросов, касающихся пегматитов, необходимо еще отметить, что исключительное разнообразие их по минералогическому составу определяется не только вышеперечисленными типами, но также и многообразными группировками в смысле так называемого скрещения с другими образованиями. Вследствие этого образуется новая линия, определяющая целый цикл много-

<sup>1</sup> По этому вопросу имеется огромная литература: Ферсман А. Е., Пегматиты, т. I, 1932; его же, Геохимия, т. II, 1934; Левинсон-Лессинг Ф., Петрография, 1931.

образных процессов, в результате которых появляются новые минеральные виды, новые минеральные группировки.

Высокое многообразие минералов в пегматитовых месторождениях создает крупную промышленную и техническую базу по линии ценнейших полезных ископаемых.

### **ГИДРОТЕРМАЛЬНОЕ ЖИЛООБРАЗОВАНИЕ.**

Процессы, относящиеся к этой фазе, связаны с горячими водными растворами, циркулирующими в глубинных областях земной коры и образующимися в результате конечных проявлений магматической дифференциации.

Вследствие того, что эти воды имеют совершенно особый характер и являются водами магматического происхождения, известный геолог Зюсс с чрезвычайно удачно и образно назвал их ювенильными, от латинского слова «juvenis», что значит *девственность*. Эти воды, представляя собой одно из проявлений магматической деятельности и выходя из недр земли, только впервые вступают в вышележащие горизонты земной коры и обуславливают новые типы минеральных месторождений.

Ювенильные воды в значительной своей части являются ионизированными, насыщенными некоторыми газами, например  $\text{CO}_2$ , вследствие чего являются растворителями различных минеральных веществ, которые потом, при соответствующих новых условиях, могут отложиться в твердом виде.

Ввиду этого гидротермальные жилы в большинстве случаев являются носительницами различных полезных ископаемых, преимущественно рудного характера.

Минералогический состав гидротермальных жил по преимуществу определяется наличием сульфидов — сернистых соединений различных металлов в связи с некоторыми самородными элементами. Основным телом гидротермальных жил по большей части является кварц, обычно плотный и скрытокристаллический. Наряду с кварцем наблюдаются и другие минералы, как, например, кальцит, доломит, барит, флюорит и пр.

В зависимости от тех условий, при которых идет образование гидротермальных жил (температура, давление), а также от места самого образования их, устанавливается распределение их на глубинные жилы, жилы средней глубины и поверхностные жилы, глубина залегания которых приблизительно исчисляется от 100 до 400 м от поверхности.

Каждая из этих категорий характеризуется своим минеральным составом и обуславливает строго определенный тип минеральных месторождений.

#### **Главнейшие минералы гидротермальных жил.**

1. Глубинные жилы, иначе именуемые гипотермальными, характеризуются минералами, образующимися при высоких температуре и давлении. Из самородных элементов эти жилы содержат часто золото Au, очень редко металлы платиновой группы, из окисленных руд —

магнетит  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , железный блеск  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , редко касситерит  $\text{SnO}_2$ , из сульфидов — пирит  $\text{FeS}_2$ , пирротин  $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ , арсенопирит  $\text{AsFeS}$ , реже галенит  $\text{PbS}$ , сфалерит  $\text{ZnS}$ . Для некоторых месторождений характерно присутствие теллуристых соединений золота и серебра.

II. Жилы средней глубины — мезотермальные, образованные при менее высоких температурах и давлении. Эти жилы характеризуются большим содержанием золота, серебра, меди; главными рудами являются сульфиды: пирит, халькопирит, геленит, сфалерит, арсенопирит, блеклые руды и другие.

III. Поверхностные жилы — эпитермальные, образовавшиеся на небольшой глубине при давлении, близком к атмосферному, но при достаточно высокой температуре. Среди рудных минералов главную роль играют золото и серебро, из сульфидов преимущественно киноварь  $\text{HgS}$  и антимонит (сурьмяный блеск)  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .

Образованием гидротермолитов завершается цикл интрузивных магматических процессов.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.

Извержения вулканов представляют одно из проявлений эффузивной магматической деятельности и являются весьма разнообразными в отношении образующихся минеральных продуктов.

О вулканах и вулканической деятельности имеется много различных описаний, так что интересующиеся этим вопросом могут довольно обстоятельно с ним познакомиться из нижеприведенных книг<sup>1</sup>.

В настоящем параграфе мы в весьма краткой и сжатой форме, лишь ради некоторой полноты сведений о магматических процессах, остановимся на характеристике некоторых минеральных образований, являющихся следствием вулканической деятельности.

К числу весьма распространенных и типичных вулканических пород принадлежат:

**1. Базальт** — порода в большинстве случаев мелкозернистого строения, только в некоторых разновидностях средне- и даже крупнозернистая, обычно темного и черного цветов, состоящая в основной своей массе из основных плагиоклазов, авгита и стекла. Кроме того, в состав базальтов входят и другие минералы, как, например, оливин, магнетит, титанистый железняк, ромбические пироксены и некоторые другие. Среди некоторых базальтовых скоплений иногда наблюдаются включения самородного никелистого железа, в некоторых местах, например в районе о. Диска в Гренландии, базальт содержит крупные массы самородного железа.

По разновидностям базальты довольно разнообразны в зависимости от вхождения в них тех или иных минералов, так, например, различают: базальты лейцитовые, нефелиновые, нозеановые и т. д.

По своему химическому характеру базальты, как уже отмечалось, являются породами основными и представляют аналоги породам из группы г а б б р о.

<sup>1</sup> Павлов С., Вулканы и землетрясения, 1903.

Тиррель Г. В., Вулканы, 1934.

При своем излиянии в поверхностные части земли базальтовые лавы являются легкоподвижными, вследствие чего они часто образуют потоки и покровы, распространяющиеся нередко на большие пространства. Вместе с тем для многих базальтов весьма характерной особенностью является своеобразная столбчатость с резко выраженным шестиугольным поперечным сечением. Особенно хорошо и наглядно столбчатые отделности базальта представлены в Шотландии на о. Стаффа — Фингалова пещера — и в некоторых других местностях.

Из всех вулканических пород базальт является породой наиболее распространенной. Излияния базальта, например, известны во многих местах Сибири, на Кавказе, в Армении (около оз. Гокча), на склонах потухшего вулкана Алагез и во многих других местностях. Кроме того, базальт в виде жил известен на Украине (Мариупольский район) и т. д. Точно так же базальта много и в других странах, например, издавна известны грандиозные древние излияния базальта в Индии, в Северной Америке, в Гренландии и т. д.

Из современных вулканов изливают базальтовые лавы вулканы Камчатки, Этна на о. Сицилия, вулканы Гавайских островов, Гекла в Исландии и пр. В практическом отношении базальт является породой весьма ценной, главным образом, как строительный материал. Особенно ценными качествами базальта являются цепкость его гладких поверхностей и отсутствие скользящей поверхности, что ставит базальт в ряд ценнейших материалов в отношении транспорта для постройки дорог. Кроме того, в последнее время базальт используется еще как хороший кислотоупорный материал.

**2. Андезит** — эффузивная порода типа средней, представляет собой бескварцевую породу, богатую известково-натровым полевым шпатом из группы средних плагиоклазов. Кроме того, содержит иногда амфиболы, некоторые пироксены и пр. Название этих пород андезитами



Рис. 110. Изогнутые базальтовые столбы на о. Согласия (из работ д-ра Картгауза).

произошло от Анд в Южной Америке; распространение их довольно широкое.

**3. Трахиты** — породы весьма близкие к андезитам, отличаются от них присутствием калиевого полевого шпата. По структуре трахиты часто бывают пористыми и стекловатыми.

**4. Липариты** — новейшие эффузивные породы, состоящие из щелочных полевых шпатов, нередко вулканического стекла и некоторых других минералов — слюд, амфиболов и пр. Имеют много разновидностей. Стекловатые разновидности липарита представляют: *обсидиан, пемза, смоляной камень* и пр.

**5. Обсидианы** — представляют собой группы вулканических пород, типа кислых, состоящих в главной части из кремнезема  $\text{SiO}_2$ . Обсидиан имеет стекловатый вид, вследствие чего часто именуется вулканическим стеклом. В зависимости от сложения и состава обсидианы различают: трахитовые, липаритовые и т. д. Нередко образование обсидиана сопряжено с выделением его в виде вулканических бомб и ляпилей.

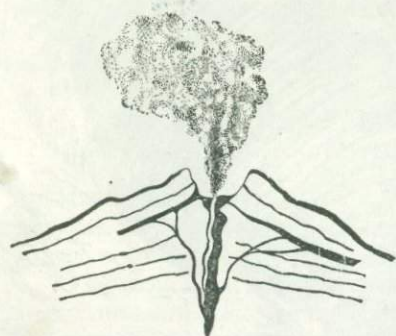


Рис. 111. Схема строения вулкана.

разнообразным путем из рыхлых вулканических продуктов: пеплов, песка, ляпилей, бомб и грязевых потоков.

**6. Пемза** — группа пенистых разновидностей лав, представляет собой легкую, белую, чрезвычайно пористую массу. По строению пемза или пенная, крупнопузыристая, или длиноволокнистая, волосоподобная. По составу является кислой породой.

**7. Вулканические туфы** — разнообразны породы, образованные гидро-

### Главнейшие минералы вулканов.

Минералы, образующиеся при вулканических извержениях, довольно разнообразны своими видами. Различным фазам вулканического процесса отвечают свои группы, или ассоциации, минеральных веществ.

Вследствие того, что магматическая масса вулканов содержит значительное количество кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), она при отвердевании образует много кремнистых веществ, как силикатов, так и свободного кремнезема, в виде *квартца*. При некоторых извержениях, например вулкана Килауэа на Сандвичевых островах, благодаря очень жидкому состоянию лавы, выброшенные капельки ее часто вытягиваются в длинные нити стекла, образуя так называемые «волосы Пеле».

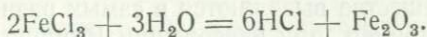
Кроме того, при участии воды, которая является довольно обычным веществом при извержениях, нередко идет отложение кремнезема в виде *халцедона* и *агатов* (см. в дальнейшем описании *энгидрос*) и очень часто в форме разнообразных *опалов* (водного кремнезема). Например, нередко можно встретить среди

базальтов водянопрозрачные сферолитовые выделения гиалита, а на трахитовых лавах отдельными прожилками, налетами, а иногда и гнездами (миндалинами) группируются благородные опалы с цветным отливом, молочные и огненные оранжево-красного цвета, находимые большею частью в Цимапане, в Мексике и на Камчатке.

Из группы силикатов весьма обычными являются: оливин, авгиты, роговая обманка (базальтическая роговая обманка), полевые шпаты—санидин, анортит и другие, некоторые виды слюд, например биотит, встречающиеся в изобилии в некоторых новейших трахитах, нефелин, разнообразные цеолиты, лейцит и многие другие.

Лейцит при многих извержениях Везувия выделяется в огромнейшем количестве, образуя порой в виде белых или пепельносерых кристаллических зерен целые скопления на лавах. Кристаллы лейцита иногда достигают довольно крупных размеров и являются весьма хорошо окристаллизованными. Не раз также наблюдали выделение лейцита вместе с пеплом в виде мельчайших микроскопических зерен, покрывающих нередко большие пространства.

Кроме силикатов, среди минералов, выделяющихся при вулканических извержениях, известны еще кислородные соединения многих металлов, особенно железа. Например, часто на многих лавах можно видеть обильное количество гематита, или железного блеска  $Fe_2O_3$ , в виде мелких блестящих кристаллообразующихся из парообразных частиц хлорного железа  $FeCl_3$  в связи с парами воды:



При некоторых извержениях наблюдали выделение железа в виде магнетита  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , особенно интересными образованиями являются выделения его в форме пепла. Например, в 1877 г. при извержении вулкана в Гуайякиле в Эквадоре четыре дня шел дождь черного вулканического пепла. По исследованиям оказалось, что он состоял из частиц полевого шпата и магнитного железняка. В течение всего времени выпадения дождя над Кордильерами стояли густые тучи дыма. Точно так же пепел магнитного железняка иногда наблюдался при извержениях Этны.

Вулканические извержения доставляют еще на земную поверхность большое количество серы, которая образуется здесь различными процессами. Выделение серы происходит часто в виде разно-



Рис. 112. Схема, иллюстрирующая одно из проявлений эффузивных процессов (Weinschenk. E.).

образных сернистых соединений, например двуокиси серы  $\text{SO}_2$ , сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ , селенистой серы  $\text{S}(\text{Se})$  в связи с селеном  $\text{Se}$  и пр.

Обычно те газовые выделения, которые сопровождаются преимущественно образованиями серы и сернистых соединений, именуют **с о л ь ф а т а р а м и**. Образования эти происходят при не особенно высокой температуре  $100\text{--}200^\circ$ .

Наибольшей известностью издавна пользуется поццуольский сольфатар близ Везувия в так называемых Флегрейских полях. Сольфатар этот занимает внутренность хорошо выраженного кратера, имеющего около 1000 м в поперечнике. Водяной пар, выделяющийся из этого кратера, смешан с сероводородом, при окислении которого образуется очень много серы. Эта сера в изобилии откладывается на стенках многочисленных трещин и особенно в пустотах, расположенных в различных местах сольфатара.

Весьма интересной фазой вулканического процесса, кроме сольфатара, являются еще **ф у м а р о л ы**. Фумаролы обычно обильны водяными парами и различными газами — хлороводородом, аммиаком и многими другими. Еще **Б у н з е н** в газах фумарол Исландии констатировал присутствие водорода. Водород был также обнаружен в газах Везувия и некоторых других вулканов. Некоторые исследователи, как **Гей-Люссак**, **Гумбольдт** и другие, указывают на то, что им приходилось при выделении фумарол наблюдать над поверхностью вулкана пламя голубоватого цвета. Надо полагать, что это пламя может быть обусловлено горением водорода или некоторых углеводородов. Иногда при извержениях фумарол чувствуется запах нефти и других битумов.

Своеобразное явление представляют так называемые **с у х и е ф у м а р о л ы**. Температура образования этих фумарол чрезвычайно разнообразна — от  $100$  до  $500^\circ$ , в соответствии с этим их распределяют: на кислотные (варьирующие в пределах  $300\text{--}400^\circ$ ), щелочные и чисто водные (около  $100^\circ$ ).

При образовании фумарол идут разнообразные процессы возгонки, или так называемой сублимации, в результате чего образуются разнообразные минеральные продукты. К разряду продуктов возгона, или сублиматов, относятся: сера, хлористые соединения натрия, калия, магния, железа, меди, аммиака, различные соединения мышьяка, как, например, **р е а л ь г а р**, борнокислые соединения, фтористые и т. д. Все эти вещества выделяются в самых разнообразных соотношениях. Так, например, при извержении Везувия в 1861 г. выдвинулось такое обилие **х л о р и с т о г о н а т р и я**  $\text{NaCl}$ , что вся вершина оказалась покрытой белым, как снег, налетом, и жители окрестных местностей находили выгодным собирать и утилизировать вулканическую поваренную соль. Точно так же рассказывают, что исландцы почти после каждого извержения Геклы собирают с ее вершины огромное количество поваренной соли.

Заслуживает также большого внимания стадия **м о ф ф е т**, характеризующаяся выделениями окиси углерода  $\text{CO}$  и особенно **у г л е к и с л о г о г а з а**  $\text{CO}_2$ . Эти газы при извержениях часто выделяются в весьма большом количестве. Иногда в разнообразных пустотах и особых уединенных пространствах вулканических областей газы эти скопляются в заметных количествах, так что почти пол-

ностью заполняют эти пространства. К числу таких мест относится, например, «Собачья Пещера», близ Неаполя, а также «Долина Смерти» на о. Ява. Это глубокая темная долина, представляющая кратер давно потухшего вулкана. Дно ее и все глубокие части заполнены углекислым газом, еще и до сих пор выделяющимся струйками из глубинных очагов. Говорят, что на дне этого ущелья можно видеть множество скелетов различных животных и даже людей, которые, случайно спустившись туда, погибли от удушья. Даже птицы и насекомые, залетающие туда, погибают, как в ловушке.

### Поствулканические процессы.

К этой категории процессов относятся гейзеры, которые представляют собой зрелище изумительной красоты. По поводу гейзеров



Рис. 113. Террасы кремнистого туфа, образованные источником Тетарата в Новой Зеландии (по Гохштеттеру).

существует много различных описаний, главным образом, в тех же сочинениях, которые были указаны по вулканам.

В минералогическом отношении гейзеры интересны, главным образом, отложениями водного кремнезема — опала, в виде так называемого гейзерита. Существует много разновидностей этого вещества: кремневый туф, кремневая накипь, жемчужная накипь и т. д. На прилагаемых рисунках 113 и 114 показаны отложения этого минерала. Гейзеры известны в Исландии, Северной Америке (Йеллоустонский парк) и в Новой Зеландии.

## ОБРАЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗОНЕ КАТАМОРФИЗМА.

**Общие замечания.** Под зоной катаморфизма понимают ту часть земной коры, в которой происходят процессы разрушения глубинного минерального материала. Эта часть земной коры представляет поверхностную область, где протекают процессы выветривания, как физические, так и химические.

За счет разрушения одних минеральных веществ образуются новые минеральные виды, так что к катаморфической зоне будет относиться и пояс цементации, т. е. область скрепления рыхлого обломочного минерального материала в сплошную осадочную горную породу.

Само выражение катаморфизм обычно и понимается как область разрушения материнских минеральных веществ, совершающегося под влиянием агентов физического и химического выветривания.

Физическое, или механическое, разрушение, связано с раздроблением материнской породы

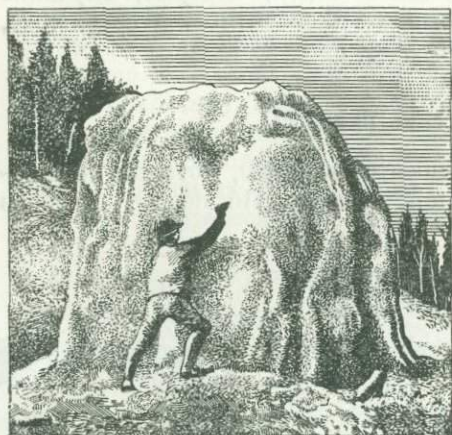


Рис. 114. Трехметровый конус кремневого туфа гейзера «Одинокая звезда» (Иеллоустонский национальный парк США).

и представляет явление дезинтеграции. При химическом разрушении происходит распад, или разложение первоначального минерального вещества, вследствие чего образуются продукты, отличающиеся от минералогического состава материнской породы. Обычно оба эти процесса в природе идут совместно.

**Физическое выветривание.** В явлениях дезинтеграции, т. е. физического выветривания, большую роль играет инсоляция, т. е. фактор, связанный с колебанием температуры, в силу чего минералы, имеющие неодинаковые коэффициенты расширения, подвергаются постепенному распаду. Точно так же огромную роль в серии этих процессов имеют механическая деятельность воды (во всех своих состояниях, включительно до ледников), механическая деятельность атмосферы и механическая деятельность организмов, как растительных, так и животных.

Раздробление и растирание первоначального минерального материала приводят к разнообразным вторичным образованиям, скапливающимся в огромнейших количествах в поверхностных горизонтах земли.

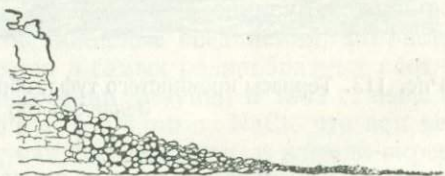


Рис. 115. Образование продуктов физического выветривания.

На основании целого ряда геологических и петрографических данных, руководствуясь, главным образом, средними размерами зерен, принята в следующих соотношениях классификация обломочных минеральных продуктов:

Порядок	Подразделения	Предел размеров обломков в мм	Порядок	Главные группы
1	Валуны . . . . .	Больше 200	I	Рудиты
2	Булыжники . . . . .	Между 200—50		
3	Гальки . . . . .	50—10		
4	Гравий . . . . .	10—2	II	Гравий
5	Очень грубозернистый песок	2—1		
6	Грубозернистый песок . . . . .	1—0,50	III	Песок
7	Среднезернистый " . . . . .	0,50—0,25		
8	Мелкозернистый " . . . . .	0,25—0,10	IV	Мелкозем
9	Мелкозем . . . . .	0,10—0,01		
10	Пыль, грязь, глина . . . . .	Меньше 0,01	V	Глина

Обломки же горных пород, представленные плоскими, остроугольными и вообще неправильными формами, идут под общим наименованием щебня.

Определение разнообразных фракций по размерам частиц воспроизводится помощью механического анализа, где основными приемами являются просеивание, отмучивание и отстаивание осадков.

В зоне цементации, которая определяется по отношению к различным местам земли разными глубинами, происходит скрепление обломков в одну общую сплошную массу. Этому превращению в общую скрепленную массу способствует некоторое давление, оказываемое со стороны вышележащих слоев, а также, что особенно имеет большое значение, влияние циркулирующих водных растворов, заключающих в себе разнообразные соли. При посредстве этих солей, осаждающихся между отдельными обломками и частицами, и происходит процесс цементации рыхлого минерального материала. К числу цементующих веществ относятся такие как кремнезем, глинисто-известковые массы — мергель — и пр. В результате этого образуется группа скрепленных осадочных пород, играющих весьма большую роль в строении поверхностных частей литосферы.

Основные виды этих пород будут:

- I. **Брекчии** — скрепленный щебень.
- II. **Конгломерат** — скрепленные гальки и гравий.

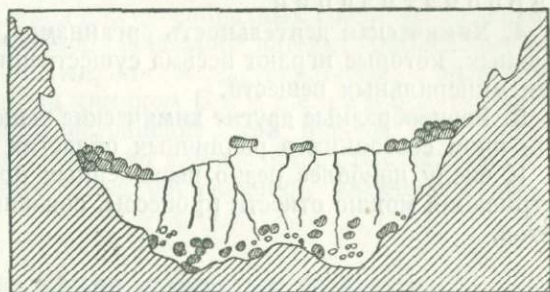


Рис. 116. Поперечный разрез через глетчер; образование обломочных пород при посредстве ледника.

III. **Песчаники** — цементированные пески.

IV. **Алевриты** — промежуточные между песчаными породами и глинистыми (от *alevtron* — мука).

V. **Сланцы** — скрепленные частицы мелкоземлистых и глинистых образований.

Все эти породы широко распространены и играют весьма большую роль в народном хозяйстве.

### Краткие сведения о химических процессах выветривания.

При химических процессах выветривания происходит химическое изменение первоначального материала, вследствие чего образуются новые минеральные вещества с другим химическим составом против первоначального и другими физическими свойствами.

Основными факторами, или агентами химических процессов выветривания, являются:

1. **Кислород O**, везде и всюду воспроизводящий процессы окисления.

2. **Вода H<sub>2</sub>O**, представляющая сложную систему растворов солей и различных газов, — воспроизводит процессы гидратации.

3. **Углекислота CO<sub>2</sub>**, находящаяся в некотором количестве в воде и в атмосфере. Под влиянием этого деятеля протекают процессы карбонатизации.

4. **Химическая деятельность организмов**, преимущественно растительных, которые играют весьма существенную роль в деле разрушения минеральных веществ.

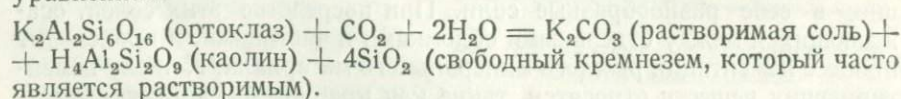
5. **Разнообразные другие химические вещества**, находящиеся в том или ином состоянии в различных областях литосферы.

К числу наиболее резко выраженных процессов химического выветривания можно отнести процессы, связанные с разрушением силикатов.

### Разрушение силикатов кислых и средних пород — алюмосиликатов.

Очень показательным примером в этом отношении является процесс каолинизации, весьма широко распространенный в природе. Этот процесс связан с химическим разрушением различных алюмосиликатов, преимущественно полевых шпатов, которые в поверхностных частях земли под влиянием воды и углекислоты, переходят в каолин  $H_4Al_2Si_2O_9$  — в глинистую массу.

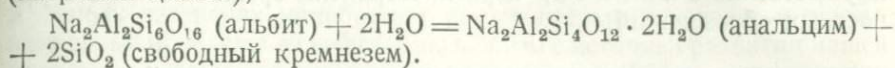
Схему этого процесса можно выразить следующим химическим уравнением:



Массы образующегося каолина на поверхности земли переходят в глину, т. е. в сложную коллоидную систему, связанную с разнообразными веществами.

Многие силикаты при надлежащих условиях переходят, кроме каолина, еще и в другие вещества, например, некоторые натровые сили-

каты — альбит  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$  или нефелин  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  часто превращаются в различные водные алюмосиликаты, в так называемые цеолиты. Таким образом идет процесс цеолитизации, например, альбит (натровый полевой шпат) под влиянием воды, при некоторых условиях, может перейти в анальцим (натровый цеолит);



На образование цеолитов в осадочных породах было обращено внимание многих исследователей: так, например, согласно указаниям Лакруа<sup>1</sup> цеолиты могут получаться при разложении гранита и других пород, при условиях низкой температуры. Имеются также сведения относительно образования некоторых цеолитов в почвах<sup>2</sup>.

Среди многообразных минеральных продуктов, образующихся при процессах химического выветривания, наблюдаются еще образования водных соединений глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , чаще всего боксита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и некоторых других.

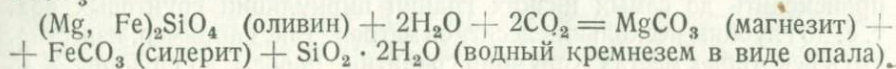
Близко к бокситу примыкает еще одна порода, именуемая латеритом. Латерит представляет собой также водное соединение глинозема в смеси с окисью железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , вследствие чего эта порода имеет весьма характерный кирпично-красный цвет. Образование латерита связано с условиями тропического климата и осуществляется не везде. Эта порода характерна для своеобразных тропических и субтропических почв — красноземов. Название латерит происходит от латинского «Later», что значит кирпич (вследствие цвета), и было введено в науку еще сто лет назад химиком Бьюкененом, который констатировал большое распространение этой породы в Южной Индии. Теперь этот термин применяют в более широком смысле и распространяют на многие почвенные образования, имеющие красноземный характер.

### Разрушение магнезиально-железистых силикатов.

При разрушении магнезиально-железистых силикатов, характерных преимущественно для пород основных, также образуется весьма большое количество веществ, представляющих собой вторичные минеральные образования.

При разрушении таких минералов, как оливин, пироксены, амфиболы, при некоторых условиях протекает процесс серпентинизации, в результате чего образуется водный магнезиальный силикат — серпентин  $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ .

Чаще же процесс разрушения этих силикатов, например оливина, идет в сторону образования более простых продуктов, преимущественно карбонатов: магнезита  $\text{MgCO}_3$  и сидерита  $\text{FeCO}_3$ :



<sup>1</sup> Lacroix A., Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, vol. 123, 1896.

<sup>2</sup> Burgess P. A. a. Mc. George W. P., Zeolite formation in soils, Science, vol. 64, 1926.

Нередко при процессах разрушения магнезиальных силикатов образуется особое слюдообразное вещество зеленого цвета, представляющее собой водный силикат магния, так называемый хлорит. Процессы хлоритизации очень часто идут в связи с разрушением темных магнезиально-железистых слюд, преимущественно биотита, и распространены среди многих поверхностных образований.

### Продукты выветривания железистых соединений.

Различные железистые минералы на поверхности земли под влиянием кислорода и воды переходят в окислы — гематит  $Fe_2O_3$  или в гидраты окисей, обычно в лимонит  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ . Процессы лимонитизации особенно широко развиты на земной поверхности.

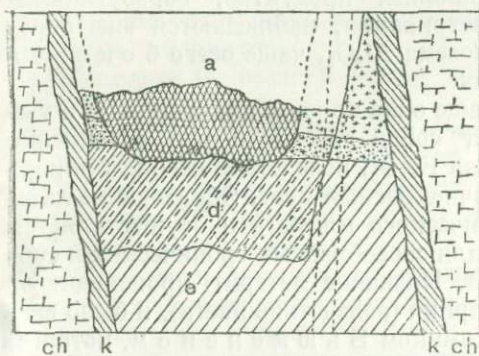


Рис. 117. Разрез месторождения Тисовой горы на Урале:

*a* — бурый железняк (лимонит) — железная шляпа; *d* — серный колчедан (выработанная часть); *e* — серный колчедан; *k* — кварц в форме заль-банд-жилы; *ch* — хлоритовый сланец.

Это месторождение в настоящее время уже почти совершенно выработано.

Интенсивнее всего образование лимонита протекает при разрушении двусернистого железа — серного колчедана  $FeS_2$  (пирита или марказита). При этом процессе образуются также еще сульфаты железа в виде растворимых железных купоросов [ $FeSO_4$  и  $Fe_2(SO_4)_3$ ]. Реакцию этого процесса можно представить в виде следующих уравнений:

1-я фаза:  $FeS_2$  (серный колчедан) +  $7O$  +  $H_2O$  =  $FeSO_4$  +  $H_2SO_4$ .  
 2-я фаза:  $12FeSO_4$  +  $6O$  +  $3H_2O$  =  $4Fe_2(SO_4)_3$  +  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  (лимонит).

Образующийся при этом лимонит нередко скапливается в весьма больших количествах, образуя особые месторождения, именуемые железными шляпами.

В некоторых случаях в зоне коры выветривания железо выделяется в форме сидерита  $FeCO_3$ , но эта форма, вследствие того что здесь железо двухвалентно, относительно мало устойчива в поверхностных частях земли и под влиянием кислорода с течением времени переходит в окись, превращаясь также в большинстве случаев в  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  (лимонит).

Области распространения процессов выветривания в глубину для разных районов довольно разнообразны. Разложение пород может происходить до самых низких границ циркуляции грунтовых вод, т. е. до глубины нескольких десятков метров. Так, например, известно, что в некоторых местах Колумбии гранитные породы, до глубины 24 м, уже достаточно были разрушены и разложены, а в Бразилии в некоторых местах сланцевые глины были уже значительно изменены на глубине 120 м от поверхности.

При характеристике природных вод, имеющих колоссальное значение в минералообразовательных процессах, необходимо прежде всего обратить внимание на состояние этого вопроса в настоящее время. На основании целого ряда исследований в этой области вопрос о воде и водных растворах приобретает исключительный интерес и открывает новые проблемы на ее историю в связи с историей развития нашей планеты. Совершенно неожиданные открытия в 1933 г. американцами Уэри и Льюисом тяжелого водорода с атомным весом почти вдвое большим, чем вес обычного водорода, в корне изменяют наши представления о воде и ее значении на нашей планете.

Кроме того, благодаря работам акад. Вернадского В. И., в отношении воды и водных растворов в настоящее время определена совершенно иная геолого-минералогическая установка их. Вернадский впервые в истории науки выдвинул принцип классификации природных вод — как минеральных тел, руководствуясь происхождением и химическим составом их в различных областях земли. На основании этого сейчас в классификационной схеме Вернадского известно 485 видов воды и водных растворов, отвечающих различным областям земной коры.

Несомненно, такой широкий охват природных водных растворов должен в дальнейшем более широко развернуть наши представления о генезисе многих минеральных тел, еще далеко не полностью изученных в настоящее время<sup>1</sup>.

В настоящей книге мы не можем останавливаться на рассмотрении всех вопросов, касающихся минералогии и геологии воды, отметим лишь те основные положения, которые могут быть интересны с генетической стороны.

### Вода как растворитель.

Едва ли какое другое вещество можно сопоставить с водой как растворителем; ее действие в этом отношении так своеобразно и очевидно, что о воде как растворителе весьма наглядно свидетельствуют и разнообразные геологические данные.

Движущаяся вода в виде дождя, тех или иных потоков, грунтовых вод или механически действующих волн способствует разрыхлению, растворению и перенесению минерального материала из одних областей в другие. В отношении растворимых веществ это приводит к тому метеорологическому круговороту, которым определяется дальнейшая концентрация их, включительно до потребления многих из этих веществ организмами.

Наибольшей растворимостью в воде обладают такие элементы и вещества, как калий K, натрий Na, литий Li, кальций Ca, магний Mg, марганец Mn, железо Fe, алюминий Al, кремний Si, углерод в виде углекислоты CO<sub>2</sub>, фосфор P, азот в виде азотной кислоты HNO<sub>3</sub>, сера в виде серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, хлор Cl, аммиак NH<sub>3</sub> и некоторые другие.

<sup>1</sup> См. по этому вопросу: Вернадский В. И., История минералов земной коры, том II, ч. 1, вып. 1 и 2 (История природных вод), 1933—1934.

По вычислениям Меррея, все потоки земли ежегодно уносят с суши в океаны около  $10\,500\text{ км}^3$  различных веществ, из которых около  $5\,000\,000\,000\,000\text{ кг}$  приходится на растворенные минеральные вещества. Таким образом, по данным того же исследователя, содержание только одной поваренной соли  $\text{NaCl}$  во всех океанах в настоящее время составляет:

$35\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\text{ кг}$ . 4-5 35 · 10<sup>18</sup>

Кроме того, в морской воде констатируется присутствие: мышьяка As, цезия Cs, золота Au, рубидия Rb, бария Ba, свинца Pb, бора B, фтора F, иода I, брома Br, кобальта Co, меди Cu, никеля Ni, цинка Zn, стронция Sr и ванадия V.

Не подлежит никакому сомнению, что многие из этих веществ не только существенную роль играют в минералообразовательных процессах, но также являются весьма важными и в биохимических превращениях, участвуя в процессах жизнедеятельности растительных и животных организмов.

Многие из этих веществ адсорбируются на своем пути от камня к океану или в самом океане его флорой и фауной.

Пребывая в теле того или иного организма и участвуя в его сложных физиологических отправлениях, данный химический элемент превращается и аккумулируется в многообразные органические соединения, пока в цикле своих геохимических превращений снова не возвратится в лоно минеральной природы. Эта сторона геохимической истории элементов является особенно важной по отношению к растворимым веществам и к соответствующей роли воды в природе.

### Главнейшие типы водных растворов и отлагающиеся из них минеральные вещества.

Вода, циркулирующая в земной коре и поступающая на земную поверхность в виде осадков — дождей и снега, воспроизводит, как было отмечено, растворение разнообразных веществ, встречающихся на пути. Вследствие этого образуются различные растворы, концентрирующиеся или в виде отдельных источников, или собирающиеся в форме целых бассейнов, в которых и происходит отложение минеральных солей.

**Минеральные источники** представляют собой естественный выход подземной воды на поверхность. Изучение источников представляет одну из очень важных областей геологии (гидрогеологии), где изучение их проводится с разных сторон. По характеру минерализации источники бывают весьма разнообразны, некоторые из них являются очень важными в лечебном отношении (целебные источники). На основании химического состава воды можно выделить следующие группы минеральных источников:

1. **Щелочные источники**, отличающиеся повышенным содержанием щелочных металлов, преимущественно натрия; в виде двууглекислого  $\text{NaHCO}_3$ .

2. **Щелочноземельные** с содержанием щелочноземельных металлов, главным образом, кальция — бикарбоната кальция  $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$ .

3. Горькие, характеризующиеся содержанием магниевых солей.

4. Железистые, богатые солями железа.

5. Сульфатные, заключающие в себе растворимые сернокислые соединения.

6. Серные источники, характеризующиеся присутствием в них сероводорода и других сернистых соединений, и т. д.

Известно большое количество разнообразных источников и видов минеральных вод, из которых выделяются различные минеральные вещества.

**Речные воды.** Ручьи и реки по существу содержат в себе составные части источников, которыми они питаются, но вследствие более широкого распределения этих веществ в реках, воды последних значительно беднее растворенными веществами, чем источники. Кроме того, концентрация солей в реках сильно падает еще по той причине, что в последние обычно стекает масса дождевой воды. Обычно в реках всегда обнаруживается карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ , далее сульфат кальция  $\text{CaSO}_4$ , хлористый натрий  $\text{NaCl}$  и некоторые другие вещества.

Совершенно естественно, что в разных реках содержание солей определяется весьма разнообразными величинами.

На основании ряда исследований обнаружено, что среднее содержание солей в сухом остатке рек можно выразить следующими соотношениями:

Карбонатов — углекислых солей . . . . .	60,1%
Сульфатов — сернокислых солей . . . . .	9,9%
Хлоридов — хлористых соединений . . . . .	5,2%
Остальных групп — нитраты, фосфаты, соединения железа и алюминия, кремнезем, органические вещества и пр. . . . .	24,8%
Итого . . . . .	100,0%

**Воды морей и озер.** По этому вопросу имеется весьма много данных, с которыми можно обстоятельно ознакомиться по соответствующей литературе. Здесь мы остановимся только на главнейшем и вкратце коснемся характеристик осадков.

Большая часть протекающих по земной поверхности растворов в конечном итоге попадает в моря и океаны. Вследствие этого все то, что вода растворяет на материках, переходит в эти водоемы, которые в общей сложности, как известно, составляют 71% всей поверхности земного шара (т. е. поверхность суши занимает около 148 миллионов, а поверхность воды около 350 миллионов квадратных километров).

Ввиду того что среди окружающих нас веществ нет ни одного абсолютно нерастворимого в воде, можно предположить, что в воде океанов растворены частицы каждого элемента, конечно, в различных количественных соотношениях. Одни из этих элементов находятся в весьма ничтожных количествах, так что могут быть констатированы только очень чувствительными реакциями, другие же поступают в океан в колоссальных количествах, например, вычислено, что количество карбоната кальция, притокаемого ежегодно реками в океан, определяется приблизительно числом в 926 миллионов тонн.

Далеко не все количество углекислого кальция в дальнейшем остается в растворенном виде в океанах, как известно, это вещество

усиленно потребляется многими организмами, строящими из него свои твердые скелетные части.

Таким образом в жизни морей и океанов создаются условия, изменяющие солевой характер воды. В качестве сопоставления с речными водами соотношения групп солей представляются в следующем виде:

Карбонатов .....	0,21%
Сульфатов .....	10,34%
Хлоридов .....	89,45%
Итого .....	100,00%

По исследованиям оказалось, что на 1000 частей морской воды приходится в среднем около 35 частей минеральных солей, которые согласно проведенным анализам распределяются следующим образом <sup>1</sup>:

Минеральные соли	Число граммов на 1000 ч. воды
Хлористый натрий NaCl .....	27,213
Хлористый магний MgCl <sub>2</sub> .....	3,807
Сернистый магний MgSO <sub>4</sub> .....	1,658
Сернистый кальций CaSO <sub>4</sub> .....	1,260
Сернистый калий K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,863
Углекислый кальций CaCO <sub>3</sub> .....	0,123
Бромистый магний MgBr <sub>2</sub> .....	0,076
Итого .....	35,000

Следующая таблица показывает состав морских солей в ионах:

Состав морских солей		
Ионы	Число граммов на 1000 ч. воды	Проценты составных частей
Na <sup>+</sup>	10,722	30,64
Mg <sup>++</sup>	1,316	3,76
Ca <sup>++</sup>	0,420	1,20
K <sup>+</sup>	0,382	1,09
Cl <sup>-</sup>	19,324	55,21
SO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	2,696	7,70
CO <sub>3</sub> <sup>==</sup>	0,074	0,21
Br <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,066	0,19
Итого	35,000	100,00

### Минеральные отложения морского дна.

Среди мелководных и глубоководных отложений на дне океанов встречаются фосфоритовые конкреции, состоящие из фосфорнокислой извести и образующиеся от разложения органических

<sup>1</sup> Настоящая таблица, равно как и следующая, представляют результат хорошо известных анализов Дитмара, произведенных над 77 образцами морской воды, собранными экспедицией Челленджера из различных частей океана.

остатков, марганцовые конкреции, представляющие собой в большинстве случаев перекись марганца с некоторой примесью железа. Затем очень часто в разных местах морского дна находили глауконит — минерал зеленого цвета, обычно встречающийся в виде мельчайших зерен во внутренних камерах фораминифер и других известковых организмов. Этот минерал по составу представляет собой силикат калия и железа. Отложения его в некоторых местах бывают весьма обильны. Далее, во многих морских отложениях были встречены в очень небольших количествах особые и весьма своеобразные конкреции барита — сернокислого бария; иногда вместо конкреций барит образует небольшие шарообразные зернышки, как, например, у берегов Индии.

Наряду с этим в очень глубоководных отложениях, особенно в так называемой красной глине центральной части Тихого океана, находили еще кристаллы цеолитов — филлипсита, который представляет собой водный алюмосиликат кальция. Полагают, что эти образования имеют связь с вулканическими продуктами.

Высокий интерес приобретают случаи констатирования в глубоких отложениях морского дна радиоактивных веществ. По определениям Д. Жолли, радия в глубоководных отложениях содержится больше, чем в материковых горных породах, что представляет несомненный интерес в ряде геологических и геохимических вопросов<sup>1</sup>.

### Отложения соляных озер.

Минеральные отложения соляных озер весьма разнообразны и многочисленны. Отложения этих озер характеризуются в отличие от морских солевыми осадками, из которых наиболее распространенными являются: галит, или поваренная соль  $\text{NaCl}$ , мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , трона  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , сильвин  $\text{KCl}$ , карналлит  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , каинит  $\text{KClMgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , астраханит  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , кизерит  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , полигалит  $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; из борных соединений известны: бора, или тинкал  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , отлагающаяся в большом количестве на берегах борных озер в Тибете, Калифорнии и некоторых других местах; борацит  $2\text{Mg}_3\text{B}_8\text{O}_{15} \cdot \text{MgCl}_2$ , гидроборацит  $\text{B}_6\text{O}_{11}\text{CaMg} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в Индерском озере и многие другие.

В связи с наличием тех или иных солей различают несколько типов озер; так, например, в отдельные группы выделяют натровые озера, борные озера и пр.

Порядок выделения солей в озерах обуславливается известной последовательностью и связан с определенными физико-химическими соотношениями. Изучение всех этих процессов было начато еще в 1897 г. известным физико-химиком Вант-Гоффом и его сотрудниками. Теперь этими вопросами занимаются многие ученые, среди которых большой интерес представляют работы акад. Курнакова и его школы.

<sup>1</sup> Об отложениях моря см. Меррей Дж., Океан, 1923; Шокальский Ю. М., Физическая океанография, 1933; Харвей Х. В., Биохимия и физика моря, 1933.

В СССР известно большое количество отдельных соляных бассейнов, откладывающих весьма ценные минеральные вещества. Исключительный интерес в этом отношении представляет залив Кара-Богаз-Гол в восточной части Каспийского моря, осаждающий, главным образом, мирабилит.

Большой областью распространения озер является Волго-Каспийский район, где сосредоточены такие соляные бассейны, как оз. Баскунчак, расположенное в 246 км к северу от Астрахани, оз. Эльтон, находящееся в области железнодорожной линии, соединяющей Астрахань с Саратовом, в 102 км от Баскунчака, и некоторые другие.

Кроме того, большой интерес представляет Индерское озеро, а также некоторые крымские озера, например, Сакское озеро, интересное отложениями некоторых бромистых соединений.

### Биолиты.

К этой группе минеральных веществ относятся тела органогенного происхождения. Организмы, как растительные, так и животные, в процессе жизнедеятельности выполняют геологически и минералогически не только разрушительную роль, но также большое значение имеют и в осидании различных минеральных материалов, участвуя, таким образом, в построении земной коры.

Биолиты могут быть распределены по происхождению на группы растительные и животные. В образовании первых принимают участие растительные организмы, образование же вторых идет за счет жизнедеятельности животных организмов.

К группе биолитов растительного происхождения относятся:

1. Торф.
2. Каменные угли.
3. Некоторые виды нефти.
4. Диатомит.

5. Мел и некоторые виды известняков, а также и другие вещества, не имеющие первостепенного значения.

К группе биолитов животного происхождения принадлежат:

1. Нефть.
2. Радиоларит, иначе трепел (инфузорная земля).
3. Мел и известняки.
4. Фосфориты и некоторые другие вещества.

В современной классификации из числа биолитов выделяют в отдельную группу еще так называемые каустоболиты, к которым относят горючие ископаемые органического происхождения, как торф, угли, сапропелиты, нефть.

В этой главе мы не будем останавливаться на описании отдельных биолитов, так как значительная часть их охарактеризована в специальной описательной части настоящего курса.

Остановимся лишь на краткой характеристике известковых пород — мела и известняков, в основном состоящих из углекислого кальция.

#### Краткая характеристика известковых пород.

В образовании мела и известняков принимают участие различные организмы. Под мелом, представителем которого является обыкновенный пишущий мел,

обычно понимают тонкую микрозернистую породу белого или желтоватого цвета, на вид совершенно однородную и лишенную каких бы то ни было остатков организмов. При более внимательном изучении, особенно под микроскопом, оказывается, что мел представляет собой породу сложную, состоящую как из остатков организмов, так и из минеральных кристаллических частиц карбоната кальция, превращенного в тонкозернистую массу (табл. III).

Органогенные частицы мела представлены отдельными известковыми раковинками фораминифер, а также большим количеством скелетных частей флагеллят, относящихся к растительным формам (кокколитофориды). Вследствие этого мел нередко характеризуют как флагеллятовые или смешанные флагеллятово-фораминиферовые известняки. Минеральная часть мела представлена, во-первых, различными нерастворимыми частицами, а также отдельными кристалликами и зернышками кальцита, который может быть как органогенного, так и чисто минерального происхождения.

Препарировать мел под микроскопом, с тем чтобы увидеть в нем остатки организмов, особенно раковины фораминифер, не всегда легко, для этой цели мел необходимо предварительно подвергнуть некоторой обработке<sup>1</sup>.

Организмы, складывающие известняки, более разнообразны, чем меловые.

Из известняков растительного образования можно отметить:

1. Литотамниевые известняки, в силу преобладания в них известковых остатков водорослей *Lithothamnium*; эти остатки можно легко узнать по особой волнистой поверхности.

2. Харовые известняки, так называемые озерные мергели, — рыхлые известковые породы с остатками стеблей *Chara*, в которых откладывается большое количество карбоната кальция.

К известнякам животного образования принадлежат следующие виды:

3. Гастроподовые известняки, или ракушники, — обычные известняки, состоящие нередко нацело из раковин.

4. Фораминиферовые известняки — глобигериновые, фузулиновые, нуммулитовые и др., очень широко распространенные и представляющие обычный тип породы.

5. Коралловые известняки, представляющие большое разнообразие в отношении остатков кораллов и встречающиеся обычно в виде прослоев среди других видов известняков.

6. Криноидные известняки, с остатками криноидей и других иглокожих.

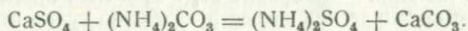
Кроме отмеченных, известны еще и другие виды известняков, имеющих часто очень широкое распространение.

### Несколько замечаний по поводу происхождения и процессов изменения известковых пород.

Среди многих способов отложения карбоната кальция на дне морском прежде всего обращает на себя внимание отложение его в виде известкового ила, называемого именем тех животных, из скорлупок которых он образовался. В результате процессов диагенеза карбонатный ил с течением времени переходит в ту или иную известковую породу.

В вопросе о происхождении известняков необходимо иметь в виду, что они не всегда являются только глубоководными. Очень часто известняки образуются в условиях мелководных участков моря, морских побережий и даже среди континентальных отложений.

По поводу усвоения углекислого кальция самими организмами было высказано много различных взглядов. Очень интересные соображения были высказаны М е р р е е м и И р в и н о м еще в 1890 г. Эти ученые полагают, что образование углекислого кальция в теле организмов происходит, главным образом, при последствие реакции сернокислого кальция  $\text{CaSO}_4$ , находящегося в растворе в морской воде и углекислого аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , выделяющегося в процессе жизнедеятельности самого организма:



<sup>1</sup> В а с и л ь е в с к и й М. М., Микрофауна и методы ее коллектирования, Геол. изд., Гл. геол.-разв. упр., 1930.

Несомненно эта реакция не просто химическая, а биохимическая и протекает внутри тела того или иного организма. Вместе с тем, в качестве растворимой кальциевой соли могут быть и другие соединения, равно как может быть организмами использован и сам же карбонат кальция, находящийся в небольшом количестве в растворенном виде.

При воздействии различных агентов внешней среды известняки подвергаются различным изменениям.

Так, например, при воздействии на известковые породы тех или иных соединений магния, последние подвергаются процессам доломитизации — образуются доломитизированные известняки  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , распространенные среди многих известковых месторождений.

Во многих месторождениях известняки подвергаются процессам оруднения — сидеритизации и лимонитизации. Эти процессы протекают под влиянием циркулирующих железистых растворов, в результате чего

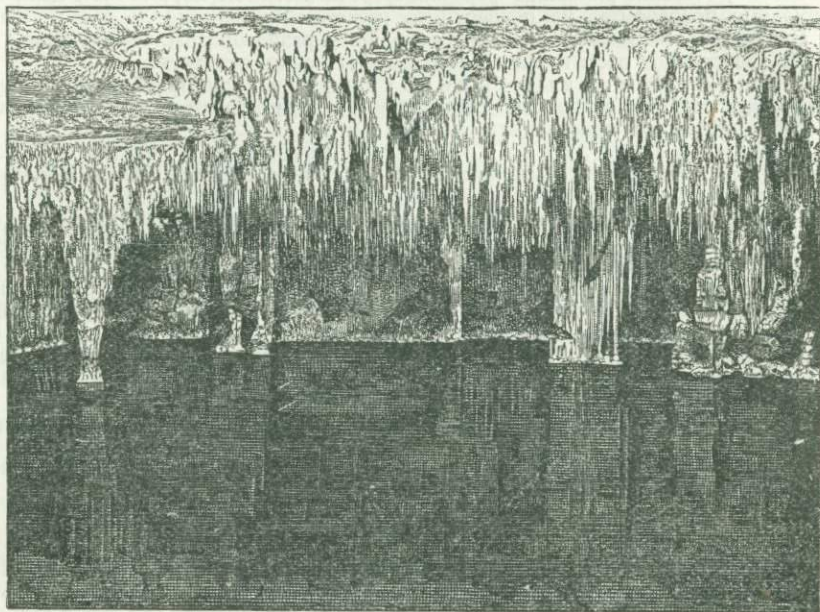
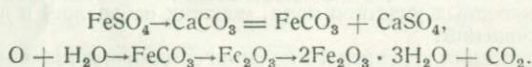


Рис. 118. Сталактиты в неогеновых известняках близ Манакор (Майорка).

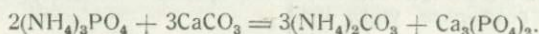
сначала образуется сидерит  $\text{FeCO}_3$  (железный шпат), который в силу процессов окисления и гидротации переходит в лимонит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (бурый железняк).

Данные процессы можно выразить следующей схемой:



Многие залежи лимонита, имеющие большое промышленное значение, образовались подобным путем (процесс замещения, или метасоматоз).

Наряду с вышеотмеченными процессами нередко имеет место еще фосфоритизация. Известняки под влиянием растворимых солей фосфора переходят в фосфорнокислый кальций — фосфорит  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Этот процесс почти всегда идет в связи с наличием органических веществ, особенно гуано птиц, при разложении которого обычно образуется фосфорнокислый аммоний  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ , который и производит соответствующее действие на карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  известняков:



Образовавшийся при этом фосфорит часто имеет большое промышленное значение как удобрительное вещество.

Очень часто известняки подвергаются еще процессам окремнения. Под влиянием водных растворов, несущих в себе растворимый кремнезем, нередко целые пропластки известняков превращаются в кремь и кварц  $\text{SiO}_2$ . Последний очень часто можно обнаружить здесь в виде многочисленных конкреций с хорошо выраженными кристаллами. В других случаях кремнезем выделяется в виде халцедона скрытокристаллическими натечными массами или в виде аморфных скоплений — опалов.

Помимо действия всяких веществ, часто сама вода воспроизводит в известняках значительные изменения. Известковые породы отличаются той особенностью, что вымывание углекислой извести в них идет на значительную глубину, вода действует здесь не только как физический фактор, но и как химический реактив, ибо эта вода всегда заключает в себе в растворенном виде углекислоту, которая переводит известь на кислую углекальциевую соль  $\text{H}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ , относительно более легко растворимую, чем обычный карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ .

Направляясь по различным трещинам, образовавшимся в этих породах вследствие разнообразных геологических причин, вода вытаскивает в известняках пещеры и галереи, в которых иногда внезапно исчезают целые реки, с тем, чтобы потом снова выступить на поверхность в виде ручейка или мощного потока. Такими пещерами особенно богаты девонские известняки Моравии, область французской Юры, австрийский карст и известковое плато Южной Франции. Эти пещеры обыкновенно бывают снабжены особыми украшениями из известковых корок, которые оставляет стекающая каплями вода. Ввиду содержания в воде углекислоты она легко растворяет известняк, из которого состоит верхний свод пещеры. Придя же в соприкосновение с воздухом этого пространства, вода снова выделяет растворенную в ней известь, в результате чего образуются сначала незначительные сосульки, которые потом, по мере стекания по ним воды, удлиняются в целые стержни и, в конце концов, превращаются в гигантские сталактиты, заполняющие целые пространства таких подземелий. Навстречу сталактитам, свисающим со сводов и стен пещеры, от земли растут другие сталагмиты, образующиеся также из воды, падающей каплями на землю. Вначале сталагмиты похожи на небольшие колонки, стоящие на толстой подставке, но потом они становятся толще и выше и нередко сростаются со сталактитами.

Разнообразия окраски и формы этих образований так велики, что каждый вновь открытый грот несомненно представляет большой интерес.

Известно много различных сталактитовых пещер, среди которых немало весьма красивых. В некоторых странах есть такие пещеры, где в сталактитовом лесу можно наблюдать колонны углекислого кальция, достигающие высоты 30 м.

Большой интерес представляет в этом отношении Адельсбергский грот на Балканском полуострове, в окрестностях Триеста, там, где проходит южная граница Юлийских Альп. Здесь у впадения р. Идрии в Изонцо возвышается юрская известняковая поверхность, покрытая Тирновским лесом; это классическая страна подземных рек и систем гротов, долин и разнообразных возвышенностей, усеянных камнями. Все эти места являются весьма интересными и ценными в геологиче-

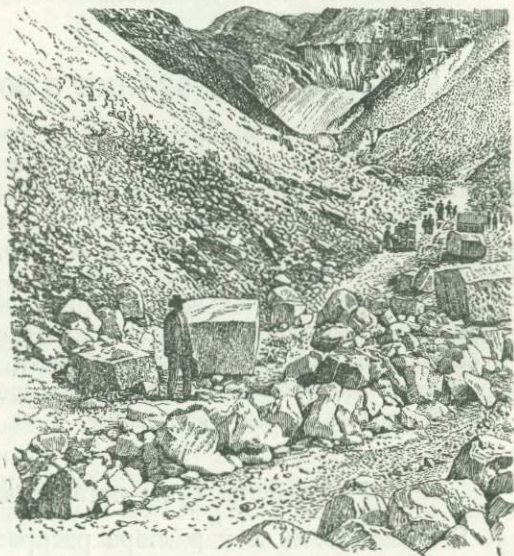


Рис. 119. Ломка мрамора в Карраре (Италия).

ском отношении. Находящаяся в этих пещерах глина содержит часто богатейшие остатки костей животных и человека, а также различных предметов искусства первобытного человека.

Большое количество животных остатков было найдено еще в пещерах Швейцарии. Здесь в обильном количестве находили кости пещерного медведя, пещерного льва, гиены, мамонта и многих других вымерших животных.

В заключение необходимо отметить, что известняки, кроме всех вышеуказанных изменений, еще подвергаются процессам метаморфизации (перерождению в некотором физическом отношении), переходя под влияние высокого давления в кристаллический мрамор. Во многих случаях процессам образования мрамора способствует не только давление, но также и действие циркулирующих горячих подземных водных растворов, вследствие чего происходит перекристаллизация карбоната кальция. К таким типам месторождений мрамора, повидимому, относятся знаменитые Каррарские месторождения его в Италии, в области Апуанских Альп. Складчатые хребты, образующие эту местность, относятся к древним геологическим периодам и чрезвычайно богаты белым мрамором. Этот мрамор издавна используется как высокохудожественный камень, для добычи которого сооружены грандиозные каменоломни.

## МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ЗОНЕ МЕТАМОРФИЗМА.

**Общие замечания.** Под зоной метаморфизма понимают ту часть земной коры, где под влиянием высоких давления и температуры, а также воздействия некоторых химических агентов происходит глубинное изменение как осадочных, так и отчасти изверженных магматических пород. В зависимости от того, как происходит такое изменение и под влиянием каких деятелей, процессы метаморфизма разделяют на ряд отдельных категорий. Образующиеся при этом горные породы и минералы именуется метаморфическими<sup>1</sup>. Общее положение и состояние метаморфической области в земной коре определяются промежуточной зоной между поверхностными осадочными породами и глубинными магматическими.

### Главнейшие типы метаморфических процессов.

В зависимости от характера распространения различают метаморфизм региональный, или общий, охватывающий большие площади пространства, и метаморфизм контактовый, или местный, распространяющийся лишь на отдельные участки в земной коре. Региональный метаморфизм обычно связан с геосинклиналями и вызван общим повсеместным давлением со стороны вышележащих пород, или орогеническими движениями земной коры, в результате чего происходит образование так называемых кристаллических сланцев, например гнейсов и ряда других пород.

Контактный метаморфизм, или просто контактометаморфизм, в принципе представляет явление, связанное с изменениями тех или иных горных пород, вызванных вторжением магматических масс. В промежуточной области между двумя этими группами пород, в силу происходящих при этом физико-химических процессов, возникает новое третье вещество, которое и рассматривается как продукт контактометаморфических процессов.

<sup>1</sup> Метаморфизм означает изменение, или перерождение, первоначального материала в новые формы, происходящее в глубинной части земной коры.

При контактовом метаморфизме поверхность изменения двух соприкасающихся пород может определяться часто целыми широкими зонами по обе стороны в отношении первоначального материала, вследствие чего в результате этих процессов могут возникать отдельные крупные минеральные месторождения, имеющие то или иное промышленное значение.

На основании хода процессов, совершающихся при этих явлениях, контактный метаморфизм подразделяют еще на ряд отдельных групп, среди которых наиболее характерными являются:

**1. Обыкновенный, так называемый термический, контактный метаморфизм,** при котором происходят изменения минеральных веществ без участия привходящих материалов извне. Во всяком случае, если эти вещества и поступают, то они не влияют на химический состав перекристаллизуемой массы.

**2. Пневматолитический и гидротермальный контактовый метаморфизм с привнесением соответствующих веществ извне,** под влиянием которых происходит коренное изменение химического состава первоначального материала. При этих явлениях на окружающую породу могут действовать как пары, так и горячие водные растворы. Среди этих процессов различают большое количество разнообразных реакций, обуславливающих происхождение многих минеральных тел.

**3. Инъекционный метаморфизм и метаморфизм вплавления.** Здесь явления сопровождаются непосредственным действием магматических масс, в силу чего в окружающей породе происходят многообразные превращения с выделением многих минеральных тел.

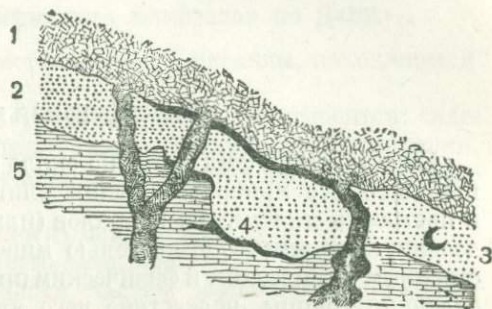


Рис. 120. Контактное образование между магматической породой (диоритом) и древнейшими известняками:

1—диорит; 2—контактовая зона; 3—гранатовый скарн; 4—рудные скопления; 5—палеозойский известняк.

### Классификация минералов.

В настоящее время известно около 3000 минеральных тел. Издавна пытались все минералы распределить по тем или иным группам и построить для мира минералов (или «минерального царства») определенную систему. С этой целью минералы объединялись по тождественным химическим и физическим признакам в более или менее определенные группы, вследствие чего можно было подразделить их на классы, ряды, роды и виды.

Однако необходимо иметь в виду, что само понятие «система минералов» не соответствует понятию системы организмов (растений и животных). В связи с этим выражение «минеральный класс», или «минеральный вид», приобретает совершенно иное значение, чем понятие «вид» в биологии. Биологический вид есть результат непрерывного трансформизма. Возникнув где-то на земле, в тот или другой период ее истории, биологический вид проявляется в последовательном ряде поколений. Часть видов совершенно вымирает, другая часть в процессе трансформации превращается в другие новые виды. Повториться вид никогда не может, точно так же, как мы не можем его себе представить и на другом небесном теле.

Минеральный вид в наших представлениях может существовать всюду на всех планетах. Он возникал во все времена геологической истории нашей планеты и всегда вновь может возникнуть, если подходящей для этого является сама обстановка, т. е. наличие для образования данного вида необходимых химических элементов и физико-химический характер условий окружающей среды.

Таким образом несоответствие «вида» биологического и «вида» минерального приводит к еще большим затруднениям в отношении установления более крупных градаций в систематике минералов — рода, семейства и пр. Род в биологии объединяет виды общего происхождения. В минералогии нельзя применить этого признака, так как во многих случаях различные минеральные виды могут быть одного и того же происхождения, точно так же, как и для одного какого-нибудь вида минерала мы знаем разные пути образования.

На основании всего вышеизложенного следует отметить, что распределение минералов по тем или иным группам может преследовать разные цели. Наиболее общепринятой классификацией минералов, исторически выработанной и вошедшей в круг изучения самих минеральных тел, является классификация химическая. В основу такой классификации положено основное свойство минера-

лов — их химический состав. Этим свойством в значительной мере обуславливаются и многие другие свойства минералов, имеющих большое практическое значение при их изучении.

Не вдаваясь в рассмотрение различных исторических данных, укажем, что наиболее распространенными классификациями минералов этого типа являются системы немецкого минералога Г р о т а и американца Д а н а<sup>1</sup>.

### Схема химической классификации минералов по Дану.

**I. Самородные элементы** — металлоиды и металлы, находящиеся в свободном состоянии.

**II. Сульфиды** — сернистые соединения (сюда же относятся: селениды — селенистые соединения, теллуриды — теллуристые соединения, арсениды — мышьяковистые соединения и антимониды — сурьмянистые соединения).

1. Сульфиды (и их аналоги) металлоидов.

2. Сульфиды (и их аналоги) металлов.

**III. Сульфосоли** — соли большей частью мышьяковых, сурьмянистых, оловянных кислот, где весь кислород заменен серой.

**IV. Галоидные:** хлориды, бромиды, иодиды, флюориды.

**V. Окислы** металлоидов и окислы металлов (безводные и водные).

**VI. Соли кислородных кислот.**

1. Карбонаты — соли угольной кислоты.

2. Силикаты — соли кремневых кислот (сюда же относятся титанаты титановой кислоты).

3. Ниобаты — соединения ниобия и танталаты — соединения тантала.

4. Фосфаты — соли фосфорной кислоты (сюда же относятся: арсенаты — мышьяковые соединения и нитраты — азотно-кислые соединения).

5. Бораты — борнокислые соединения и уранаты — соединения урана.

6. Сульфаты — соли серной кислоты (сюда же относятся: хроматы — хромовокислые соединения и теллуранаты — теллуристые).

7. Вольфраматы — вольфрамовокислые соединения и молибдаты — молибденовокислые соединения.

**VII. Соли органических кислот.**

**VIII. Углевороды.**

В настоящее время существуют попытки распределения минералов по группам на основе структурных соотношений, обусловленных методом рентгеновского анализа.

### Другие возможные типы классификаций минералов.

**Генетическая классификация** основана на расположении минералов в связи с их происхождением в природе. При такой системе распо-

<sup>1</sup> Некоторый исторический интерес имеют системы Вернера и Брейтгаупта, а также Вейса, Берцелиуса, Наумана, Густава Розе, Мооса, Германа и некоторых других.

Более употребительной в настоящее время является система Дана.

ложения часто один и тот же минеральный вид может быть представлен в разных генетических группах, вследствие того, что образование его связано с различными путями, определяющимися разными генетическими процессами.

Само собой разумеется, что такой подход к классификации требует некоторого избытка самого минерального материала и может быть осуществлен лишь только в больших музеях, располагающих широким и многообразным комплектом соответствующих материалов.

Основными группами минеральных тел, при расположении их по генетическому принципу, могут быть:

1. Минералы зоны магмы: основной, средней и кислой.
2. Минералы пегматитов и пневматолитических процессов.
3. Минералы гидротермальных жил — гипо-, мезо- и эпипермальных.
4. Минералы вулканов и поствулканических процессов.
5. Минералы зоны метаморфизма.
6. Минералы зоны процессов выветривания, как физического, так и химического.
7. Минералы поверхностных вод — морских, озерных и пр.
8. Минералы органогенного происхождения, так называемые биолиты.
9. Минералы почв.
10. Минералы космического происхождения — космогенные — и некоторые другие.

В пределах каждой из отмеченных групп можно выделить еще ряд отдельных подгрупп, отражающих ту или иную сторону в геологии минералов. Так, например, при характеристике вулканических процессов весьма целесообразно представить минералообразование в связи с отдельными фазами — эффузивной, фазой сольфатар, фумарол и пр.

Точно так же соответствующим подбором минерального материала можно превосходно иллюстрировать минералогию пустынь или минералогию дна морского и т. д.

**Геохимическая классификация.** В основу распределения минеральных тел по геохимическому принципу должно быть положено пространственное распределение химических элементов в земной коре. Геохимия, как наука о закономерностях химического состава земной коры, занимается изучением истории отдельных атомов, составляющих земной шар, вследствие чего минеральные тела являются лишь временными концентраторами, в которых аккумулируется тот или иной элемент.

В связи с этим может быть поставлен вопрос о возможности представлений на минеральных объектах отдельных геохимических полей и геохимических провинций, отражающих геохимически однородные области, связанные с большим накоплением какой-либо группы элементов или целых ассоциаций их в той или иной части земной коры.

Кроме того, в последнее время выдвигается еще вопрос о так называемых геохимических эпохах, представляющих собой отдельные моменты времени и в геологической истории нашей земли, для которых характерно особое накопление некоторых химических элементов или их сочетаний.

**Географическая классификация** — «география минералов», распределение минералов по их географическому распространению в связи с теми или иными месторождениями их. Такая группировка минеральных тел отчасти находится еще в связи с так называемыми элементогенетическими провинциями, представляющими собой отдельные области земной коры с приблизительно одинаковыми и находящимися в зависимости друг от друга химическими и физическими явлениями.

Понятие элементогенетических провинций охватывает также петрографические и металлогенические провинции<sup>1</sup>.

### **Классификация минералов по их практическому использованию.**

Распределение минералов по различным отраслям промышленности представляет высокий интерес ввиду того, что в настоящее время все природные минеральные тела являются почти без исключения полезными ископаемыми. Сейчас даже трудно представить, какое из природных минеральных веществ абсолютно не находило бы себе того или иного применения. Почти все эти вещества (за редчайшими исключениями) в разной степени используются в практической жизни и деятельности человека, вследствие чего значение минералогии как прикладной дисциплины в настоящее время особенно резко и четко обрисовывается<sup>2</sup>.

Можно указать следующие отрасли промышленности, связанные с экономикой минералов как полезных ископаемых:

I. **Употребление минеральных веществ в качестве естественных горючих материалов.** Сюда относятся так называемые каустобиолиты, вещества органического происхождения (торф, угли, сапропелиты, нефть и пр.).

II. **Металлургическая промышленность.** В пределах этой отрасли промышленности можно выделить следующие отделы по использованию минеральных тел:

1. Минералы, употребляемые как руды для получения металлов и производства разнообразных сплавов.

2. Минералы, употребляемые как плавни, или флюсы, при плавке руд (например кварц, доломит, флюорит, полевшпаты и пр.).

3. Минералы, употребляемые как материалы при устройстве металлургических печей, плавильных сосудов, тиглей, а также огнеупорные вещества (слюды, графит, магнезит, глины и пр.).

4. Минералы, применяемые при электрометаллургических процессах (поваренная соль, графит).

III. **Металлообработывающая промышленность.** Сюда относятся такие вещества, как алмаз, графит, корунд, наждак, трепел, гранат, магнезит и пр.

<sup>1</sup> По поводу петрографических и металлогенетических провинций существует большая литература. На русском языке сведения по этим вопросам можно найти в книге Обручева «Рудные месторождения».

<sup>2</sup> По этому поводу на русском языке уже имеется литература, знакомящая с минералогией как практической дисциплиной. См., например, Залкинд, Основы технологии нерудных ископаемых, 1935.

IV. Строительное дело, охватывающее область применения минеральных веществ в качестве строительных материалов (кварцевые породы, известковые, глины, трепел, асфальт и пр.), а также включающее те вещества, которые участвуют в производстве цемента (магнезит, доломит, гипс).

V. Минералы, употребляемые в электротехнической промышленности (например платина, графит, слюда, тальк, озокерит и некоторые другие).

VI. Стекольная, керамическая и гончарная промышленность (кварц, полевшпаты, каолин, глины, селитры, флюорит, магнезит, барит и пр.).

VII. Химическая промышленность. Здесь можно выделить следующие группы производств:

1. Минералы, употребляемые в производстве красок (например кобальтовые соединения, различные охры, малахит и многие другие).

2. Минералы, являющиеся материалами в производстве кислот и щелочей (например пирит, сера, плавиковый шпат и другие).

3. Минералы, употребляемые в производстве различных химических реактивов и препаратов.

VIII. Минералы, употребляемые в сельском хозяйстве в качестве различных удобрений, так называемые «агрономические руды» (апатит, фосфориты, селитры, сильвин, карналлит и пр.).

IX. Минералы, употребляемые в фармацевтической промышленности (например сера, магнезит, тальк, киноварь, мышьяковые соединения и пр.).

X. Резиновая промышленность (барит, тальк, сернистые соединения, соединения сурьмы и пр.).

XI. Писчебумажное производство (каолин, трепел, селитры, сера, пирит).

XII. Сахарное производство (стронцианит, известковый шпат, цеолиты и некоторые другие).

XIII. Минералы, употребляемые в радиотелеграфном деле (например кварц, цинкит, галенит и многие другие).

XIV. Минералы, применяемые в ряде других производств и в обыденной жизни (например, асбест, янтарь, слюда, гипс, поваренная соль и пр.).

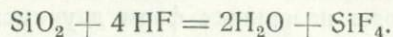
XV. Драгоценные и поделочные камни. Сюда относится большое количество разнообразных минеральных тел, применяемых в качестве художественных материалов.

## МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ КРЕМНИЯ.

**Общие замечания.** Кремний, или силиций Si, после кислорода является самым распространенным элементом. По данным Clarke F. W. и Washington H. S. кремния в земной коре содержится 27,69%. В свободном состоянии кремний в природе не встречается, он всегда находится в виде соединений и почти исключительно в виде таких, которые можно считать производными двуокиси кремния  $\text{SiO}_2$  — кремнезема.

Двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , или кремнезем, представлена в земной коре как в свободном состоянии в виде ряда минеральных тел, так и в связанной форме с другими элементами, образуя весьма большую группу соединений, именуемых с и л и к а т а м и.

Кремнезем в химическом отношении представляет собой тело весьма устойчивое. Разложение его происходит при воздействии фтористоводородной кислоты  $\text{HF}$ , при этом кремний переходит в летучее соединение  $\text{SiF}_4$ :



В качестве сопоставления интересно отметить, что кремний во многих своих соединениях (не типа природных) аналогичен углероду. Так, например, наряду с многочисленными углеводородами известны также соединения типа кремневодородов, именуемые «силанами». Сейчас известны многие представители этой своеобразной группы, преимущественно ряда  $\text{R}_n\text{H}_{2n+2}$  основного для п а р а ф и н о в:

П а р а ф и н ы	С и л а н ы
$\text{CH}_4$ — метан	$\text{SiH}_4$ — моносилан
$\text{C}_2\text{H}_6$ — этан	$\text{Si}_2\text{H}_6$ — дисилан
$\text{C}_3\text{H}_8$ — пропан	$\text{Si}_3\text{H}_8$ — трисилан
$\text{C}_4\text{H}_{10}$ — бутан	$\text{Si}_4\text{H}_{10}$ — тетрасилан
$\text{C}_5\text{H}_{12}$ — пентан	$\text{Si}_5\text{H}_{12}$ — пентасилан
$\text{C}_6\text{H}_{14}$ — гексан	$\text{Si}_6\text{H}_{14}$ — гексасилан

Различными попытками и опытами кремний удалось ввести в качестве заместителя углерода в различные соединения, встречающиеся в организмах, или же добываемые из них. Например, удалось получить кремнемуравьиную кислоту, различные кремнеалкоголи, кремнехлороформ и пр. В связи с этим не раз ставился вопрос о возможности замещения углерода органических соединений другими элементами, среди которых ближайшим конкурентом является кремний. Наряду с этим не раз также выдвигалась проблема о возможности существования второго мира жизни — «кремневого мироздания».

### Минералы группы свободного кремнезема.

Под свободным кремнеземом мы будем понимать природную двуокись кремния  $\text{SiO}_2$ , не входящую в состав силикатов, а представленную в земной коре самостоятельными минеральными видами.

Относящиеся к этой группе минеральные тела образуют между собой полиморфный ряд с характерными для каждого вида особенностями структуры и термических полей устойчивости.

Полиморфные формы двуокиси кремния неодинаково распространены в земной коре и нахождение их в различных горизонтах земной коры определяется, главным образом, термическими условиями.

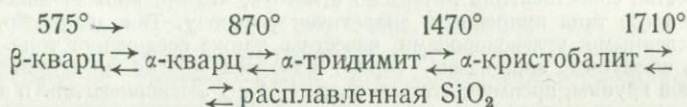
В качестве основных представителей полиморфного ряда  $\text{SiO}_2$  можно отметить следующие <sup>1</sup>:

<sup>1</sup> В связи с вопросом, поднятым о полиморфных модификациях кремнезема, необходимо отметить, что обозначения  $\alpha$  и  $\beta$  не совсем твердо установлены. Во многих случаях, особенно в курсах петрографии, высокие температуры кварц обозначают как  $\alpha$ -кварц, тогда как  $\beta$ -кварц считается за низкотемпературный. В большинстве учебников по минералогии  $\alpha$ -кварц считается низкотемпературным, а  $\beta$ -кварц — высокотемпературным. Из двух имеющихся положений мы держимся первого, т. е.  $\beta$ -кварц рассматривается как низкотемпературный.

Вместе с тем необходимо отметить, что наряду с модификациями  $\alpha$ -тридимит и  $\alpha$ -кристобалит существуют и  $\beta$ -модификации обоих представителей, на которых, однако, мы здесь останавливаться не можем.

0— 575°	β-кварц	Гексагональная сингония с тригональной подсингонией
575— 870°	α-кварц	Гексагональная сингония
870—1470°	α-тридимит	Гексагональная сингония
1470—1710°	α-кристобалит	Кубическая сингония
> 1710°	Жидкое кремневое стекло	Аморфное

Взаимные переходы названных форм двуокиси кремния, таким образом, должны определяться следующими точками превращения:



**Кварц.** Химический состав  $\text{SiO}_2$  (теоретический состав: 46,67% Si, 53,33% O). Некоторые разновидности кварца являются почти химически чистыми, во многих случаях в нем обнаруживается ряд примесей и отдельных включений. Включения могут быть в твердом, жидком и даже газообразном состояниях. От этих примесей и включений зависят многие физические свойства кварца, как, например, цвет и некоторые другие. В связи с окраской и другими особенностями, кварц распадается на ряд разновидностей, некоторые из них будут описаны ниже.

Происхождение названия «кварц» в точности неизвестно; полагают, что это название связано с древнеславянским словом «twardy», т. е. «твердый». Таким образом слово «твардц» должно обозначать «твердый камень», перешедшее впоследствии в «кварц».

**Ст р у к т у р а.** Как уже было отмечено, кварц в зависимости от той или иной модификации обнаруживает две полиморфные разновидности:

1. β-кварц — низкотемпературный (0—575°) крист. в классе  $\{L^33L^2\}$  триг.-гекс. сингонии.
2. α-кварц — высокотемпературный (575—870°) крист. в классе  $\{L^66L^2\}$  гекс. сингонии.

Формы кристаллов обеих модификаций чрезвычайно разнообразны, наиболее обычны комбинации призмы и двух ромбоэдров, часто различных по величине. Грани призмы обычно несут на поверхностях горизонтальную штриховатость и являются особенно удлиненными у β-кварца (рис. 121), тогда как на α-кварце они имеют относительно слабое развитие, а в некоторых случаях даже совсем отсутствуют (рис. 122). Грани ромбоэдров нередко одинаково развиты и представляют вид как бы гексагональной дипирамиды. Однако при внимательном исследовании всегда обнаруживается различие между ними, проявляющееся, например, в блеске одних и в более тусклой и матовой поверхности других.

Кроме того, кристаллы кварца, независимо от их гексагональной внешности, имеют целую серию дополнительных граней, принадлежащих ко вторичным формам, связанным, однако, всегда с главными основными формами кристалла.

Возможные и многообразные комбинации простых форм на кристаллах кварца во многих случаях отражают на себе те или иные типы его месторождений. Вследствие этого по многим его формам нередко можно определить те геохимические условия, при которых шло образование этого минерала. Этот факт замечен был уже давно. Давно было обращено внимание на то, что кристаллы кварца из различных месторождений нередко имеют весьма различный вид, тогда как кристаллы какого-нибудь одного месторождения очень похожи друг на друга, вследствие того, что образование их протекало при относительно одинаковых условиях.

**Правый и левый кварц.** Этими названиями обозначают отдельные кристаллы кварца, обладающие противоположным характером в своем развитии. Все особенности одного кристалла как бы симметрично отражены в особенностях другого.

На эту особенность было обращено внимание, главным образом, с точки зрения оптических свойств — левый кварц вращает плоскость поляризации влево, тогда как правый обладает вращением своей плоскости поляризации вправо (рис. 123) (см. главу об энантиоморфизме).

**Двойники.** Весьма интересной и постоянной особенностью кристаллов кварца являются двойниковые образования. Двойники на кварце наблюдаются гораздо чаще, чем единичные кристаллы, при этом индивидами двойников являются правые и левые кварцы.

Различают несколько типов таких двойников.

1. *Дофинейские двойники* (от Dauphinée во Франции). Эти двойники характеризуются глубоким прорастанием левого и правого кварца и в такой совершенной форме, что грани призмы обоих кристаллов полностью сливаются. Вся форма с внешней стороны

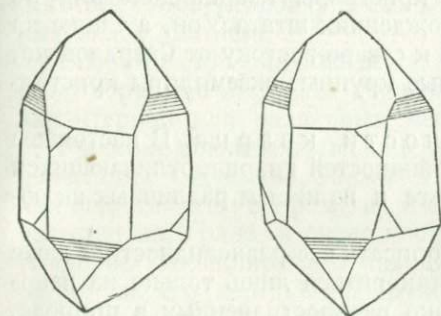


Рис. 123.

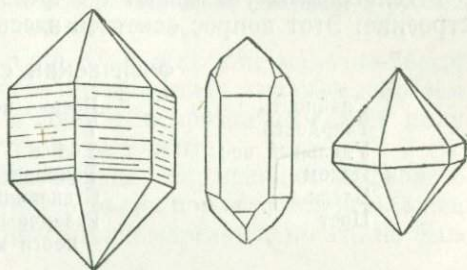


Рис. 121.

Рис. 122.

кажется единичной, похожей на простой кристалл.

Грани ромбоэдров совпадают поочередно, а именно, грани первого ромбоэдра одного кристалла сливаются с гранями второго ромбоэдра у другого, и обратно. Так называемые трапецеэдрические грани в этих двойниках находятся в удвоенном количестве и определяются по общему своему положению поворотом не на  $120^\circ$ , как у единичных кристаллов, а на  $60^\circ$ , но принадлежат при этом то одному, то другому кристаллу.

2. *Бразильские двойники.* Чаще всего наблюдаются в аметистах.

\*

Прорастание кристаллов такое же, как и в первом случае. Полное слияние наблюдается не только у призм, но и граней ромбоэдров. Грани трапецоэдра находятся в удвоенном числе, но по своему положению являются зеркально отраженными.

Известны еще другие виды двойников срастания кварца, на которых мы здесь останавливаться не будем.

**Рентгенометрия.** В последнее время кристаллы кварца были исследованы рентгеновскими методами. Полученные при этом рентгенограммы указывают на чрезвычайно сложное внутреннее его строение. Этот вопрос осветить здесь не представляется возможным.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Весьма несовершенная
Твердость	7
Удельный вес	2,65
Излом	Раковистый, неровный
Блеск	Стекланный (иногда жирный)
Цвет	Различный, см. отдельные разновидности кварца

**Формы образования кварца в земной коре.** Морфологические виды агрегатов кварца весьма разнообразны. В природе он представлен многообразными скоплениями кристаллов и их отдельными сочетаниями. Кроме единичных и весьма хорошо образованных кристаллов, кварц встречается часто в форме друз и конкреций, или жеод. Часто кварц образован сплошными скрытокристаллическими массами, а иногда в форме оолитовых и волокнистых разновидностей.

**Размеры и вес кристаллов** также весьма разнообразны, начиная от микроскопических форм и до кристаллов грандиозных размеров. Известны случаи, когда отдельные кристаллы кварца доходили по весу до 130 кг, например, в месторождениях штата Ури, а также на Урале близ дер. Мурзинки в 118 км к северо-востоку от Свердловска. На Алтае также находили отдельные крупные экземпляры кристаллов кварца.

**Главнейшие разновидности кварца.** В настоящее время известно большое число разновидностей кварца, отличающихся друг от друга разнообразием в цвете и наличием различных включений.

Здесь нет никакой возможности описать все разновидности и даже большинство из них. Мы можем остановиться лишь только на некоторых, наиболее известных и широко распространенных в природе.

**1. Горный хрусталь** представляет собой большей частью прозрачную или водянопрозрачную и бесцветную разновидность. Встречается часто в виде превосходных кристаллов, которые обычно целыми друзами образуются в конкрециях и особых пустотах, именуемых кристаллическими погребями. Такие кварцевые пустоты (пещеры) известны во многих горных местностях: в Швейцарии, во Французских Альпах, в СССР на Кавказе, в окрестностях Казбека, на Урале близ дер. Мурзинки и пр.

Не безинтересно отметить происхождение слова «хрусталь». Оказывается, что это слово связано с древнегреческим выражением «crystallos», что значит «лед». Древние греки прозрачный и бесцветный кварц принимали за лед. Это

видно, например, из того, что в одном месте сочинения Сенеки (III, 25) говорится, что «кристаллы образуются из льда» в тот момент, «когда небесная вода, не содержащая никаких землистых частей, твердеет и по выделении всего воздуха превращается в камень».

Оригинальное описание горного хрусталя мы находим еще у Плиния (Caii Plinii Secundi, Naturalis Historiae Lib. XXXVII, IX, 19), жившего в I в. нашей эры и погибшего в 79 г. во время извержения Везувия. Плиний в своем сочинении описывает кварц как лед — «Glaciemque esse certum est», который как бы «сжат — скован» холодом высоких гор.

Древнегреческое слово «Cristallos» вплоть до настоящего времени сохранилось как термин «кристалл», в отношении же кварца это слово потерпело в русском языке искажение и перешло в выражение «хрусталь».

2. Обыкновенный кварц, белый или молочно-белый, окрашен часто в желтоватые цвета от примесей, главным образом, железистых. Большею частью является непрозрачным или полупрозрачным. В природе встречается весьма часто.

3. Аметист. Разновидность кварца, окрашенная в фиолетовый цвет. Причина окраски аметистов до сих пор остается невыясненной, нередко ее приписывали присутствию марганца, но это не было доказано.

Аметист был известен еще в доисторические времена, особенно в Китае, где из него выделывали различные мелкие художественные предметы, этим камнем всегда интересовались как художественным и драгоценным материалом.

В связи с вопросами о причине окраски аметисты не раз подвергались микроскопическому изучению, в результате чего оказалось, что красящее вещество распределено в массе камня неравномерно; кристалл построен попеременно из пластинок бесцветного кварца и кварца, окрашенного в фиолетовый цвет. При этом оказывается, что пластинки окрашенной и неокрашенной части кристалла имеют некоторую ориентировку в своем расположении, разную для различных видов аметиста.

Впервые строение аметистов было изучено Гайдингером, им же было обращено внимание и на различные тона фиолетовой окраски, характерной для различных месторождений этого камня.

Густоокрашенные и высокоценные сорта аметистов известны в месторождениях о. Цейлона, Бирмы и в Индии; богатейшие месторождения еще известны в Бразилии и особенно в Уругвае. В СССР аметист известен на Урале, в окрестностях дер. Липовой, около Мурзинки. Хорошие экземпляры его находят еще на Камчатке и на Онежском озере, где его нередко обнаруживают в валунах. Аметист известен также совместно с горным хрусталем в Забайкалье — месторождения Адун-Чолонг.

4. Дымчатый кварц, или «раухтопаз», «дымчатый топаз». Последнее название употребляется здесь лишь по аналогии в окраске, на самом же деле эта разновидность кварца ничего общего с топазом не имеет.

Окраску дымчатого кварца часто связывают с присутствием органических веществ; данные к такому предположению основаны, главным образом, на обесцвечивании этой разновидности при прокаливании. Кроме того, было замечено, что при нагревании дымчатого кварца нередко ощущается запах гари, связанный, как полагают, с углеродистыми веществами. Но, несмотря на многочисленные опыты

и испытания в этом направлении, все же наличие углеродистых битуминозных веществ здесь еще не может считаться окончательно установленным.

Весьма интересные сведения имеются по поводу этой разновидности в связи с исследованием влияния радиоактивных излучений. Если подвергнуть прозрачные и бесцветные пластинки кварца действию лучей радия, то через некоторое время кварц становится желтобурым и приобретает окраску, совершенно аналогичную дымчатому кварцу. Точно так же под влиянием радия принимают прежнюю окраску обесцвеченные при нагревании кристаллы дымчатого кварца. Все эти наблюдения указывают, насколько все же сложно обстоит дело с такими явлениями, как цвет, который так резко и отчетливо проявляется на многих разновидностях этого минерала.

Хорошие экземпляры дымчатого кварца известны на Урале, в районе дер. Мурзинки и Шайтанки, где он встречается в жилах совместно с аметистом. Из этих месторождений известны многие превосходные друзы, хранящиеся в различных минералогических музеях СССР.

5. **Черный кварц**, или **морион**, большею частью является непрозрачным, окрашен в интенсивно черный цвет. Причина окраски также еще не выяснена. В месторождениях обычно встречается совместно с дымчатым.

6. **Розовый кварц**. Эта разновидность характеризуется обычно сплошным мелкокристаллическим сложением и окрашена в нежнорозовый цвет. Окраска зависит от твердых микроскопических включений некоторых окислов металлов — железа и марганца.

Лучшие месторождения его находятся на Алтае, где он был известен еще с конца XVIII в. Здесь розовый кварц приурочен к пегматитовым жилам и распространен на большие пространства.

Розовый кварц на Алтае представлен большим разнообразием оттенков и издавна используется в производстве многих художественных изделий.

В большом количестве густоокрашенный розовый кварц известен в месторождениях Бразилии, Северной Америки, а также на Мадагаскаре.

7. **Авантюрин** и **искряк**. Авантюрин представляет разновидность плотного мелкозернистого кварцита, с обильными включениями листочков слюды или микроскопических чешуек гидратов окиси железа. В результате этого отполированная поверхность авантюрина всегда золотисто блестит и искрится красноватым цветом. Авантюрин издавна является излюбленным камнем для украшений, что впоследствии дало повод к искусственному воспроизведению различных имитаций<sup>1</sup>.

Главнейшими месторождениями авантюрина в СССР являются месторождения близ дер. Косулиной в Среднем Урале и на горе Таганай в Южном Урале. Кроме того, интересными месторождениями его являются Индийские и месторождения Калифорнии.

<sup>1</sup> Среди венецианских стекол известны сорта, называемые **авантюринами**; эти стекла характеризуются присутствием мелких кристалликов меди, неравномерно распределенных между собой. В некоторых случаях вместо меди обнаруживали железо. Производство таких стекол долгое время оставалось в секрете, а для страны составляло большую отрасль художественной промышленности.

Кроме указанных разновидностей, кварц встречается еще во множестве других, идущих под самыми разнообразными названиями, как, например:

8. Железистые кварцы, обладающие различными желтыми, бурными, зеленоватобурыми, красными и другими оттенками от многих примесей железа. Среди них особого внимания заслуживает разновидность, именуемая компостельским рубином — красный кварц из месторождений Испании в Сан-Яго-ди-Компостелло.

9. Хризопраз — кварц, окрашенный в зеленый цвет от соединений никеля. Месторождения этой разновидности весьма немногочисленны, существуют указания на нахождения их среди некоторых никелевых кремнистых руд на Урале.

10. Сагениит, или волосатик, — кварц с многочисленными тонкими, как волос, включениями рутила  $TiO_2$  (двуокись титана).

11. Кошачий глаз — кварц с включением волокон асбеста и имеющий жилковатую структуру, окрашен в различные цвета — зеленоватые, серые, бурые и оранжевожелтые с шелковистым отливом.

12. Тигровый глаз — такая же разновидность с характерным золотистым, желтым, цветом.

13. Соколиный глаз — волокнистый, синеватого цвета, с включениями крокидолита.

Последние разновидности в природе встречаются в весьма ограниченных количествах и являются интересными, главным образом, с точки зрения поделочных камней.

Происхождение и распространенность. В земной коре кварц распространен весьма широко и встречается среди различных ее областей. Как существенная составная часть кварц находится в весьма многих горных породах, в большом количестве входит в состав глубинных магматических пород. Особенно велико содержание его в так называемых кислых породах, например в гранитах.

Когда эти породы в поверхностных горизонтах земной коры подвергаются разрушению — выветриванию, содержание кварца в них обычно увеличивается, ибо выветривание многих силикатов сопровождается выделением его в свободном состоянии — вторичный кварц.

В большинстве случаев с такими процессами выветривания связано образование кварца среди многих осадочных пород, где этот

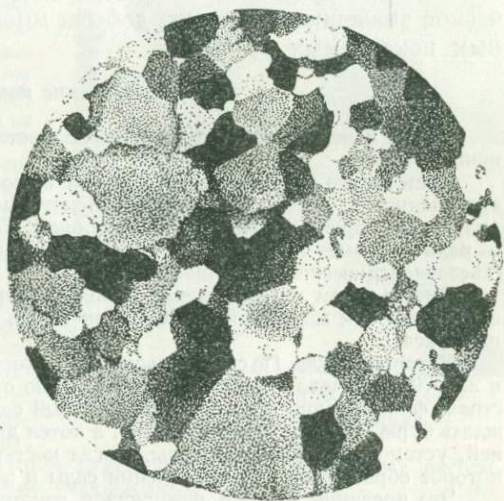


Рис. 124. Кварцит под микроскопом (из Weinschenk E.).

минерал концентрируется в виде песков и песчаников. Кроме того, кварц входит в состав многих метаморфических пород, например гнейсов, а также часто образуется в виде мощных скоплений кварцитов.

Огромную роль кварц играет в строении многих минеральных жил, например пегматитовых, где он совместно с полевым шпатом составляет главную массу жильного тела, а также специально кварцевых жил, полость которых сплошь заполнена им.

Кварцевые жилы в природе весьма многочисленны, они часто целой сетью прорезывают толщи разнообразных пород, имея при этом различную мощность и глубину.

Кварц в этих жилах большей частью плотный, скрытокристаллический, но нередко встречается и в виде превосходно образованных кристаллов.

По поводу жильных месторождений кварца существует богатейшая литература, ибо эти месторождения имеют большое практическое значение, как места добычи многих ценных минералов и рудных ископаемых.

### Применение кварца.

Кварц почти во всех своих разновидностях находит весьма широкое применение.

Цветные его разновидности, как уже было отмечено, используются в качестве драгоценных и поделочных камней. Некоторые сорта его идут как материал для физических приборов (в точной механике). Очень большую роль играет кварц в радиотехнике в качестве стабилизаторов радиоволн, резонаторов и пр. (пьезоэлектрические пластинки).

Вместе с тем кварц издавна используется в стекольно-керамической промышленности как материал, идущий для варки стекла, а также выделки фарфора и фаянса.

**История стекла.** По свидетельству римского натуралиста Плиния (жившего в 23—79 гг. начала нашей эры), стекло было открыто при следующих обстоятельствах: финикийский корабль, нагруженный содой, пристал к берегу, чтобы переждать бурю. Моряки развели костер, а котел для варки пищи, за отсутствием камней, установили на кусках соды. Когда костер потух, в песке оказалось стекло, которое образовалось от сплавления соды и золы с песком.

Это предание все же возбуждает некоторые сомнения, вызываемые, главным образом, тем обстоятельством, что простой костер не в состоянии сплавить песок с содой, тут необходимы условия, связанные с более высокой температурой.

Однако несомненно, что стекло принадлежит к объектам глубокой древности и могло быть открыто совершенно случайно. Оно было известно еще египтянам за 3300 лет до начала нашей эры. Образцы этого стекла хранятся в разных европейских музеях. В Египте стеклоделие было сосредоточено сначала в Фивах, а позднее в Александрии. Центром стекольной промышленности в Азии являлись финикийские города Тир и Сидон. Для приготовления обыкновенного стекла, кроме песка, необходима еще сода, которая древними стеклоделами в большом количестве извлекалась и отчасти сейчас извлекается из содовых озер, находящихся в Египте между Нилом и Ливийской пустыней. Египтяне и финикийцы не только умели изготавливать стекло, но и воспроизводить окрашивание его в разные цвета.

В V в. стекольное искусство из Египта и Финикии проникло в Грецию и в Рим. С падением Рима оно перешло в Византию, где надолго утвердилось. В средние века искусство приготовления стекла широко развилось в Венецианской республике.

Затем это искусство начало распространяться по Западной Европе. Производство стекла развивалось в Богемии, в Баварии и в Англии. Сначала стекло было дорогим и редким, в жилых домах (в окнах) оно впервые появилось в Англии лишь к концу XII в., а в России только в XVI в. До этого же времени обычно пользовались промасленной бумагой, бычьим пузырем или слюдой — «слюдяная оконница».

В России производство стекла было основано в 1635 г. при Алексее Михайловиче шведом Козьмом, «рудознатного и пушечного дела мастером». В 1812 г. в России уже числилось 146 стекольных заводов.

В настоящее время большое практическое значение имеет приготовление специального кварцевого стекла. Для этой цели кварц подвергают плавлению в пламени гремучего газа или в электрической печи при температуре около 1710°. Плавят кварц в особых тиглях из двуокиси циркония или тория, температура плавления которых около 3000°.

Из плавленого кварца готовят разнообразную посуду для специальных химических целей, как, например, колбы, чашки, тигли, цилиндры, трубки, змеевики и пр. Кварцевое стекло имеет необыкновенные преимущества перед обыкновенным. Прежде всего оно очень стойко по отношению ко многим химическим реагентам, обладает в чрезвычайной мере низким коэффициентом расширения, вследствие чего, например, нагретый до-красна тигель из кварцевого стекла можно без опаски опустить в холодную воду. С обыкновенным стеклом, как известно, этого сделать нельзя, так как оно при этом растрескивается и разлетается на мелкие кусочки.

Кроме всего этого, кварцевое стекло очень тугоплавко и твердо (твердость его по шкале Мооса равняется 7). В связи с этим стоит высокая сопротивляемость его к излому (у кварцевого стекла 12 кг на 1 мм<sup>2</sup>, тогда как у обыкновенного стекла от 1 до 4 кг).

Наконец, весьма ценной особенностью кварцевого стекла является способность его пропускать ультрафиолетовые лучи, что очень важно для некоторых приборов, например ртутных ламп.

Ртутно-кварцевая лампа завоевала себе в настоящее время очень важное и видное положение. Так, например, освещение светом ртутно-кварцевой лампы больных туберкулезом приводит к радикальному изменению этой болезни в лучшую сторону, вследствие чего как средство лечения ртутно-кварцевая лампа имеет распространение почти во всех медицинских учреждениях.

Кроме того, в настоящее время, ртутно-кварцевые лампы еще используются при палеонтологических исследованиях. Многие ископаемые ярко светятся под действием ультрафиолетовых лучей, вследствие чего обнаруживают такие детали предмета, которые обычно не улавливаются нашим глазом. Подобные препараты сейчас известны в отношении многих объектов. Этот метод является весьма чувствительным, так что можно с успехом изучить всю внутреннюю структуру организма. На фотографических снимках нередко выступают тончайшие детали отпечатков ископаемого. На некоторых снимках даже становится видимым тончайший слой пыли или отпечатки пальцев, незаметные глазу.

Необходимо также отметить, что в связи с высокой твердостью, присущей кварцу, он еще идет как абразивный материал, а также находит широкое применение в изготовлении огнеупорных кирпичей — «динасов».

**Халцедон.** Этот минерал, обладающий тонкой скрытокристаллической структурой представляет совершенно особую разновидность кварца. Кристаллическое строение халцедона не вполне еще выяснено.

В земной коре халцедон образован большей частью так называемыми натечными формами, имеющими вид отдельных желваков, конкреций, сталактитов и пр. В некоторых случаях наблюдается в форме прожилок или пропластков среди разнообразных горных пород.

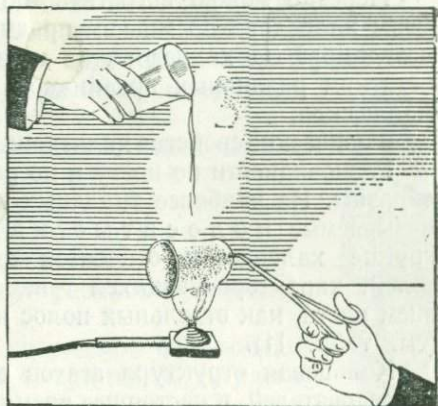


Рис. 125. Иллюстрация термической стойкости кварцевого стекла.

Распространен в природе довольно широко. Наиболее постоянными спутниками халцедона являются такие минералы, как кварц, опалы, некоторые силикаты и пр.

Происхождение халцедона в земной коре почти всегда связано с водными растворами, как глубинными горячими, так и поверхностными холодными. Во многих случаях халцедон образуется в поверхностных горизонтах земной коры при химических процессах разрушения (выветривания) силикатов, где он скапливается иногда в виде небольших корочек или тончайших пленок на поверхности осадочных пород. В некоторых случаях наблюдали халцедон отложившимся во внутренних органах растений, например, в стеблях хвощей и многих злаков, куда он попадает из почвенных растворов и обуславливает механическую стойкость и крепость данной части растения.

Нередко можно встретить в природе разнообразные псевдоморфозы халцедона по многим предметам как минеральным, например, псевдоморфоза халцедона по кальциту, флюориту и др., так и по остаткам различных организмов, особенно по дереву и раковинам моллюсков.

Физические свойства халцедона близки к кварцу: твердость около 7.

Разновидности по цвету и по рисунку камня также весьма разнообразны. Из наиболее типичных и интересных можно выделить так называемые **п о л о с а т ы е х а л ц е д о н ы**, или **а г а т ы**. К этой группе халцедонов относятся довольно большое число представителей, характеризующихся тонкослоистым сложением и разнообразием цвета как отдельных полос или колец, так и всей массы камня (см. табл. II).

Кольцевая структура агатов еще издавна привлекала внимание исследователей, в настоящее время имеется большой ряд специальных работ, посвященных рассмотрению этого вопроса.

Полностью вопрос об образовании агата еще не разрешен, но в основном полосатая структура их связана с разнообразными пигментами (преимущественно железистыми), осаждающимися периодически в студнеобразной массе кремнезема и поступающими извне с циркулирующими водными растворами.

Крупных месторождений агата в СССР не наблюдается, небольшие скопления его известны в Среднем Урале, близ дер. Шайтанки.

Месторождения агатов вне СССР известны в разных местах; одно из наиболее крупных месторождений находится в Шварцвальде, на Оберштейне, где добыча и теска их для украшений составляет целую промышленность.

Среди многообразных разновидностей халцедона известна еще одна, называемая **э н г и д р о с** (гидролит), от греческого слова «энидрос», что значит «в воде живущий», «полный воды», «обильно снабженный водой». Подобные образования встречаются весьма редко и большей частью приурочены к излившимся вулканическим породам (например в Уругвае). Эти образования представляют собой небольшие жемчужины халцедона яйцевидной формы с водой во внутренней полости.

Применение халцедона довольно разнообразно. Цветные разновидности и агаты идут как полудрагоценные и поделочные камни для различных ювелирных изделий, для выделки многообразных

художественных вещей и как декоративный камень для некоторых крупных сооружений — памятники, облицовка помещений, мебель и пр.

Обыкновенный халцедон является хорошим абразивным веществом и в размолотом состоянии идет как полировочный материал.

Кроме того, халцедон широко используется в производстве многих научных приборов и мелкой аппаратуры для лабораторий. Довольно популярны и общеизвестны в этом отношении так называемые агатовые ступки, употребляемые часто в химических лабораториях.

**Неоднородные кремневые вещества.** К р е м е н ь. Кремь представляет собой очень твердую и плотную массу, состоящую из тонкой смеси аморфной и кристаллической  $\text{SiO}_2$  с характерным чешуйчатым или раковистым изломом и при раскалывании образующим острые режущие края. Вследствие этой последней особенности кремь в к а м е н н о м в е к е употреблялся древним человеком в качестве оружия и инструмента для разнообразных целей (рис. 126). Кроме того, кремь в древнее время явился одним из материалов для добычи огня<sup>1</sup>.

Цвет кремня весьма разнообразный, большей частью серый, желтый, черный от различных примесей.

Образуется среди осадочных пород в виде желваков, конкреций, а также входит в состав многих пород, играя при этом роль цементирующего материала.

Из таких пород наиболее широко распространенными являются:

1. Кремнистая брекчия, т. е. кварцевая обломочная порода, состоящая из обломков кварцита и твердого кремнистого цемента.

2. Кремнистый конгломерат — гальки кремня, сцементированные роговиковым веществом.

3. Кремнистый известняк — плотные разновидности известняка с многочисленными включениями прожилок и желвачков кремня и пр.

Я ш м а. Под этим названием подразумевают весьма большую и разнообразную группу минеральных тел, представляющих собой тонкие физические смеси кристаллического и аморфного кремнезема с примесями других веществ — глинозема, извести и разнообразных соединений металлов, особенно железа. Вследствие такого разнообразного состава яшмы обладают различными цветами и нередко пестрым и многообразным рисунком.

<sup>1</sup> Не надо, однако, при этом думать, что с кремнем связано получение первого огня. Кремь стал применяться в добыче огня только после того, когда стали известны некоторые металлы и руды. Особенно в этом направлении большую роль сыграло сернистое железо — серный колчедан, который в природе находили в большом количестве. При посредстве серного колчедана и кремня высекали искры, которыми и зажигали какое-нибудь быстро воспламеняющееся вещество — трут. В связи с этим к серному колчедану впоследствии применено было название «пирит» от слова «пюр» — «огонь», т. е. огнедышащий камень.

В древних могилах Западной Европы, начиная еще с неолитического века, нередко находили в земле среди предметов, положенных вместе с умершими, куски кремня и серного колчедана, но широкое распространение этот способ получения огня имел значительно позже. См. по этому вопросу: А н у ч и н Д. Н., Открытие огня и способы его добывания, М. 1923.



Рис. 126.

В связи с этим различают:

I. **Сплошные яшмы**, имеющие определенный цвет — красный, розовый, фиолетовый, зеленый, серый, белый, черный и др. Сюда относится, например, калканская яшма в Южном Урале и так называемый «нильский голыш», представляющий бурые и шоколадного цвета шары яшмы, вымытые из эоценовых пород и широко распространенные по каменистой пустыне, окружающей Нильскую долину.

II. **Полосатые яшмы** характеризуются различными цветами с чередованием полос различных оттенков. К этой группе относится множество отдельных видов, среди которых особенно красочными являются так называемые **ленточные яшмы**.

III. **Порфировые яшмы** — пятнистые, характеризующиеся наличием различных включений минеральных тел.

IV. **Пестроцветные** — **ситцевые**, весьма многообразная группа, обладающая пестрым и сложным рисунком по сочетанию отдельных цветов.

V. **Яшмовые брекчии и конгломераты**. К этой группе относятся, например, некоторые яшмы с Алтая.

VI. **Сфероидальные и агатовые яшмы**, к которым также относятся некоторые виды слоистых и полосатых яшм<sup>1</sup>.

Происхождение яшм весьма разнообразно, на это указывают те многочисленные исследования, которые были проведены над этой группой минеральных тел.

В связи с вопросом о генезисе яшм имеется не мало данных, говорящих нередко за биолитное происхождение многих яшмовых месторождений. Так, например, во многих яшмах Южного Урала под микроскопом в шлифах наблюдаются часто остатки панцирей радиоларий, которые иногда присутствуют здесь в огромном количестве.

Месторождения яшм в СССР сосредоточены, главным образом, в Южном Урале, у дер. Мулдакай — Калканское месторождение, Орск и на Алтае — это второй после Урала богатейший в мире район пестрых и разнообразных яшм. Здесь известно свыше 200 отдельных месторождений.

Применение — как поделочный камень.

**Водные соединения кремнезема — опалы.** Эта группа веществ представляет большое разнообразие. Химический состав обычно выражают общей формулой  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

Различные исследования опалов показывают, что эта группа является весьма сложной и непостоянной. Химическое строение их осложняется наличием воды, которая имеет здесь различный характер. Полагают, что в опалах можно различить три разных вида воды: 1) **к о н с т и т у ц и о н н у ю**, представляющую гидратный остаток (ОН), водород ее способен замещаться металлами (при этом образуются так называемые косоликаты, вещества весьма схожие по внешнему виду с опалами); 2) **к р и с т а л л и з а ц и о н н у ю**, водород которой не способен замещаться металлом, часть этой воды при на-

<sup>1</sup> Приведенная классификация яшм предложена и разработана акад. Ферсманом А. Е. Подробное описание этой группы см. Ферсман А. Е., Драгоценные и цветные камни России, т. I, 1922, а также его же, Самоцветы России, 1921.

гревании выделяется скачками и, наконец, 3) ц е о л и т н у ю воду, которая имеет совершенно своеобразный характер и, повидимому, обуславливает многие интересные особенности этих минеральных тел.

Однако, несмотря на многочисленные испытания этих тел, все же вопрос о химическом строении опалов еще до настоящего времени не разрешен в окончательной форме. Здесь много еще остается неясного и неопределенного, вследствие чего химическая природа опалов во многом остается загадочной.

Ст р у к т у р а опалов аморфная — некристаллическая, многие из них являются типичными коллоидами. Некоторые разновидности обладают скрытокристаллическим сложением. Рентгенометрическими исследованиями Ш е р е р а было констатировано присутствие мельчайших кристаллических частиц в гелях кремнезема.

Ф и з и ч е с к и е с в о й с т в а опалов в зависимости от структуры и строения изменчивы.

**Главнейшие разновидности опалов.** 1. **Благородный опал.** Так называются разновидности, редко встречающиеся в природе и представляющие драгоценные камни. Эта разновидность обладает красивой игрой цветов, преимущественно голубых, зеленых и фиолетовых.

В связи с этой особенностью игры произошло название «опал», от греческого «opalios», что значит «поражающий глаз» или «чарующий зрение».

Это своеобразное явление (игра) связано с интерференцией света, являющейся одной из свойств дифракции в широком смысле этого слова, т. е. распространения волн в неоднородной среде.

В этом камне наблюдаются мельчайшие трещинки в виде микроскопических линий, пронизывающих по всем направлениям всю полость камня. Вследствие этого лучи света дают радужные оттенки чистых и блестящих цветов.

Подобные явления весьма распространены в природе: нежные краски перламутра, изменчивые радужные окраски мыльного пузыря, многие цвета чешуек крыльев бабочек, цвета некоторых перьев птиц — все это результат явлений, происходящих вследствие интерференции.

К числу благородных опалов относятся еще редкие черные разновидности, испускающие яркочерный рубиновый свет, который в сопоставлении с черным цветом самого камня представляет редкое явление.

Наиболее известными месторождениями благородного опала являются месторождения в Венгрии, близ Червеницы, в Австралии, в Новом Южном Уэльсе и в Мексике, а также в некоторых других местностях.

Во всех этих месторождениях опал приурочен к излившимся породам, преимущественно к трахитам, в некоторых случаях он заключен в буром песчанике, являясь продуктом распада многих силикатов. Нередко благородный опал является окаменяющим веществом многих органических остатков и образует прекрасные псевдоморфозы.

В СССР хороших и ценных опалов не наблюдается. Экземпляры второстепенного достоинства встречаются в Житомирской и Киевской областях, а также в немногих местах Нерчинского района в Сибири.

2. М о л о ч н ы й о п а л имеет молочнобелый цвет и полупрозрачен. Фарфоровидная разновидность его именуется к а х о л о н г о м, мутные разности имеют название г и д р о ф а н.

Все эти опалы имеют рыхлое и пористое сложение. Благодаря такой губчатой структуре в них находится много чрезвычайно тонких пустых пространств, заполненных воздухом, а иногда и другими веществами, вследствие чего вся масса камня обнаруживает явление опалесценции.

3. О г н е н н ы й о п а л обладает гиацинтовокрасным, винно-желтым или янтарно- и медовожелтым цветом. Часто является прозрачным или просвечивает. Причина окраски связана с присутствием гидроокиси железа —  $Fe(OH)_3$ , гомогенно распределенной в геле кремнезема. Эта разновидность известна, главным образом, в трахитах Цимапана в Мексике. Некоторые разновидности его были встречены на Камчатке.

4. П р а з о п а л окрашенный соединениями никеля, преимущественно  $Ni(OH)_2$ , в яблочнозеленый цвет.

5. Г и а л и т представляет собой водянопрозрачную разновидность, напоминающую стекло, название происходит от греческого «galos» — стекло.

Эта разновидность обладает скрытокристаллическим строением и нередко представлена сферолитовыми или сталактитовыми образованиями. Отдельные прекрасно образованные сферолиты, в виде шариков с радиально-лучистой структурой, известны в месторождениях Японии, где он мог выделиться из горячих источников. Кроме того, весьма часто гиалит встречается в виде гроздевидных скоплений на базальте и других породах вулканического происхождения. Известны случаи нахождения его среди многих растительных организмов, например мхов и лишайников, где он в виде нежных корочек облепляет многие части этих растений или находится в виде стекловатых образований в стеблях многих злаков, в твердых узловатостях хвощей, бамбука и других.

6. О б ы к н о в е н н ы й я ш м о в ы й о п а л, или полуопал. Сюда относятся разновидности, загрязненные многообразными примесями: глинистыми, известковыми, железистыми и пр. Благодаря этому эти опалы имеют различные окраски и являются обыкновенно непрозрачными. Образуются они обычно при процессах разрушения силикатов, например при каолинизации, бокситизации, хлоритизации и пр. В огромном количестве известны на Алтае. Полуопалы образуют постепенные переходы в обыкновенные безводные кремнистые породы.

7. Д р е в е с н ы й о п а л, так называемое «окаменелое дерево», представляет собой псевдоморфозу опала по дереву. Вследствие коагуляции кремнекислоты в растворе происходит замещение древесины опалом. Опаловые окаменелости, повидимому, с течением времени переходят в халцедоновые. Самый же процесс окаменения, как полагают, начинается и может иметь место в деревьях еще при жизни организма.

8. Г е й з е р и т — кремнистый туф, кремнистая накипь, фиорит, или жемчужная накипь. Эта группа опалов представляет собой продукт выделения кремнекислоты из горячих источников и большей

частью связана с новейшими отложениями гейзеров (рис. 113 и 114).

Такие выделения известны среди гейзеров Северной Америки, Йеллоустонский парк, на склонах Большого гейзера в Исландии, среди новозеландских гейзеров, например, в окрестностях оз. Ротомохана.

9. Группа опалов органогенного происхождения: диатомит, трепел — инфузорная земля, или кизельгур.

Все эти образования представляют собой рыхлые или даже землистые массы белого, желтого, серого, а в некоторых случаях от присутствия битуминозных углистых веществ коричневого и даже черного цветов. Происхождение их связано с жизнедеятельностью низших организмов — диатомей и радиолярий, микроскопические панцири которых состоят из водного кремнезема. Массовые отложения этих частиц на дне морей и океанов приводят к крупным скоплениям их в виде целых пластов, занимающих нередко большие площади пространства. Подобными осадками представлены многие древние породы, обязанные своим происхождением этим организмам<sup>1</sup>.

Сравнительно небольшое значение в этих образованиях имеют еще кремнистые спикулы губок — *Silicospongia*, остатки которых иногда обнаруживаются среди осадочных пород.

К подобному типу образований относятся еще так называемые опокки, представляющие собой более плотные камневидные массы. Микроскопическое обследование их часто указывает на теснейшую связь с вышеназванными организмами.

Все эти виды пород имеют в настоящее время огромное промышленное значение.

Диатомит и трепел находят широкое применение в производстве многих строительных материалов, в цементном деле, а также и других отраслях промышленности.

В заключение необходимо отметить, что все виды опаловых тел свойственны поверхностным горизонтам земной коры, но в течение длительных промежутков времени они переходят в безводный кристаллический кварц, как форму наиболее устойчивую в условиях термодинамического поля земной поверхности.

Схема подобного геохимического процесса может быть выражена следующими отдельными фазами превращений:

опал → кахолонг → халцедон → кварц.

### Силикаты

**Общие замечания.** Из всех известных минеральных тел, находящихся в земной коре, и исчисляемых примерно числом около 3000 видов, силикаты являются самыми распространенными и самыми много-

<sup>1</sup> Приведенные рисунки диатомей и радиолярий принадлежат к современным родам и взяты из Эрнста Геккеля (рис. 127, 128 и табл. IV).

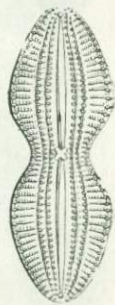
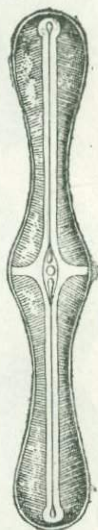


Рис. 127. Диатомей.

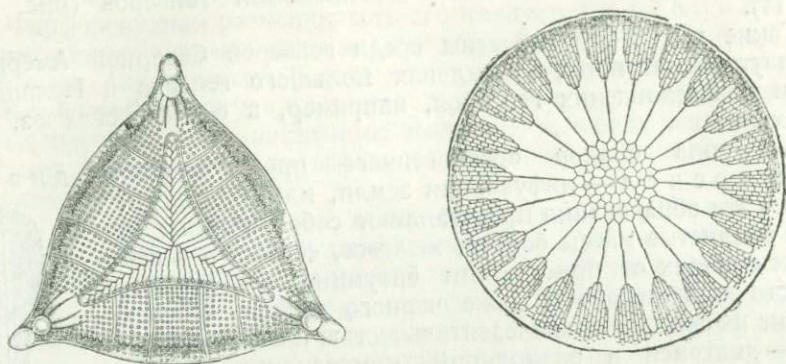


Рис. 127а. Диатомей.

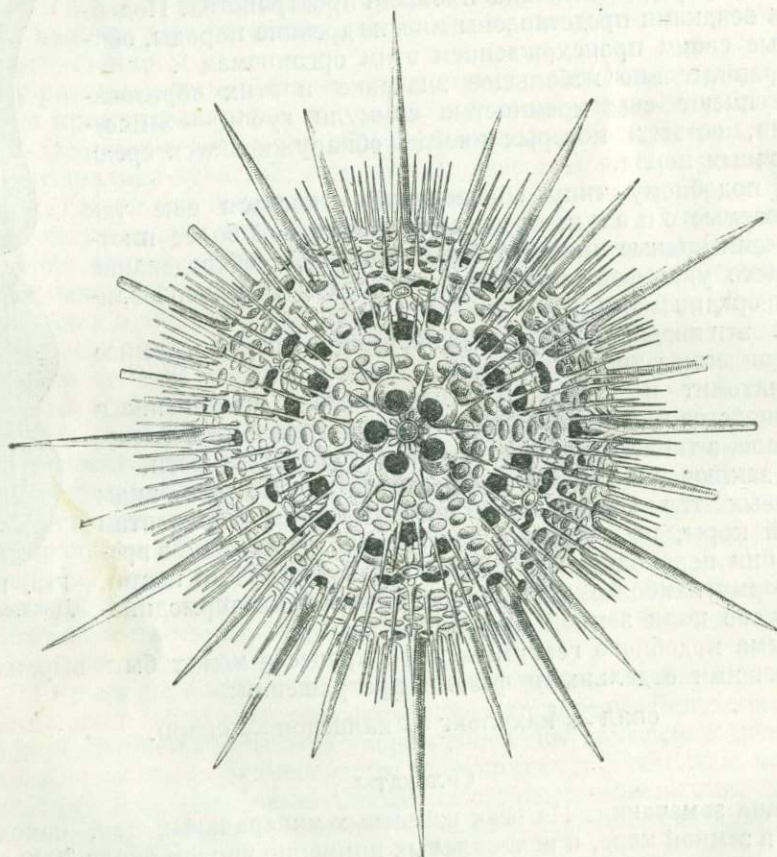
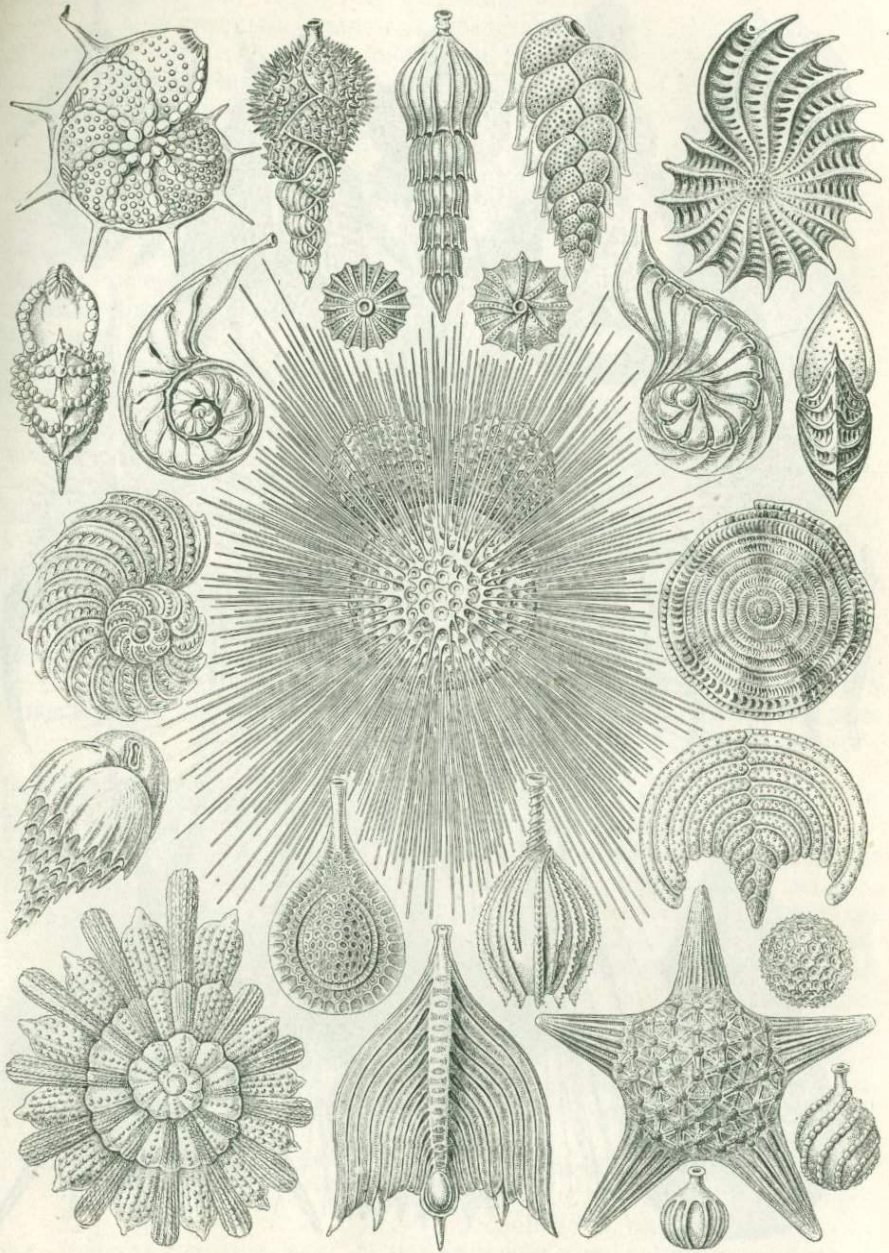
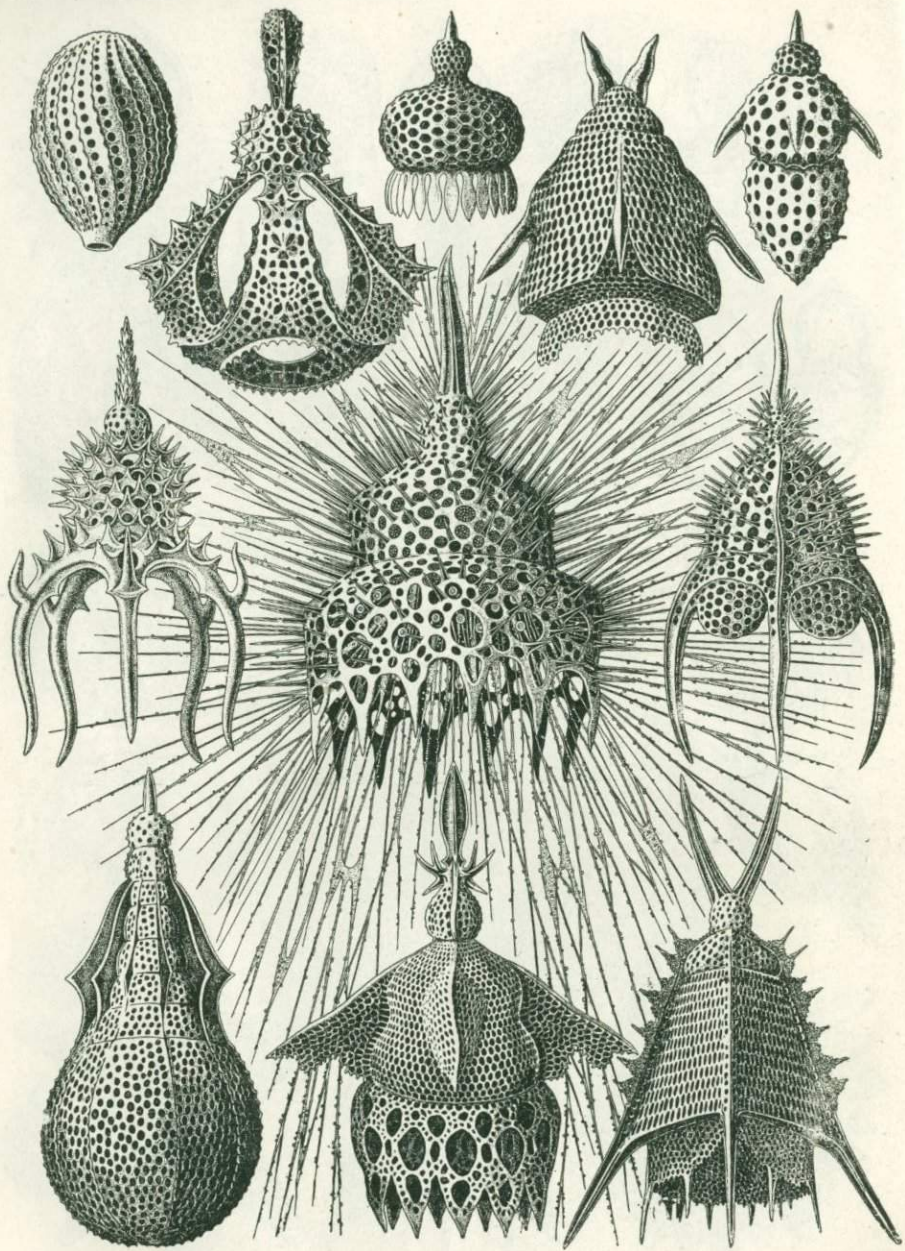


Рис. 128. Радиолария.



Фораминиферы (простейшие с известковой раковинкой).

Из Э. Геккеля.



Группа радиолярий (простейшие с кремневым скелетом).

Из Э. Геккеля.

образными по числу своих представителей. Из общего числа (3000) минеральных видов на силикаты приходится около одной трети, т. е. слишком 900 отдельных разновидностей.

Формы, в которых силикаты представлены в земной коре, в чрезвычайной мере разнообразны. Прежде всего силикаты входят в состав

почти всех горных пород, особенно магматических и метаморфических, образуя при этом многообразные агрегаты. Кроме того, в различных областях земной коры, например, среди многих жильных выделений, силикаты образуют самостоятельные скопления типа отдельных минеральных месторождений. Огромное большинство таких месторождений является весьма важным и ценным в

практическом отношении, ибо значительное большинство силикатов представляет собой полезные ископаемые, используемые в самых разнообразных отраслях промышленности.

Ввиду такого большого и исключительного значения, какое приобретают силикаты при изучении земной коры, мы рассмотрим эту группу вначале, как это было сделано и в отношении свободного кремнезема.

При этом нам придется остановиться на описании лишь только некоторых представителей — главнейших и наиболее широко распространенных в природе.

**Химический состав силикатов.** Силикаты представляют собой соли различных кремневых кислот, как простых, из которых общепризнанными являются: ортокремневая  $H_4SiO_4$  или  $Si^{IV}(OH)_4$  и метакремневая  $H_2SiO_3$  или  $Si^{IV}O''(OH)_2$ , так и комплексных, например алюмокремневых, где в качестве входящего дополнительного компонента является еще алюминий. В связи с этим обра-

образными по числу своих представителей. Из общего числа (3000) минеральных видов на силикаты приходится около одной трети, т. е. слишком 900 отдельных разновидностей.

Формы, в которых силикаты представлены в земной коре, в чрезвычайной мере разнообразны. Прежде всего силикаты входят в состав почти всех горных пород, особенно магматических и метаморфических, образуя при этом многообразные агрегаты. Кроме того, в различных областях земной коры, например, среди многих жильных выделений, силикаты образуют самостоятельные скопления типа отдельных минеральных месторождений. Огромное большинство таких месторождений является весьма важным и ценным в практическом отношении, ибо значительное большинство силикатов представляет собой полезные ископаемые, используемые в самых разнообразных отраслях промышленности.

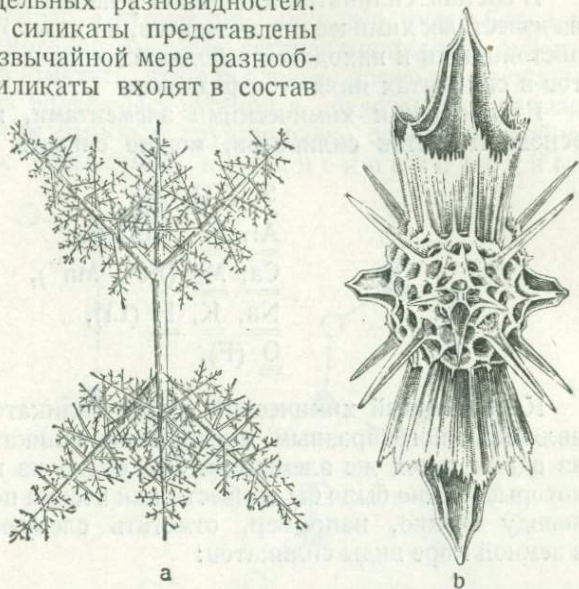


Рис. 128. a — Polycyttaria, b — Acanthophracta.

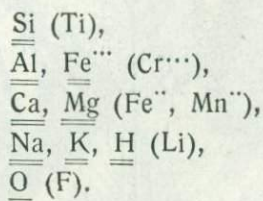


Рис. 129. Опока, переполненная спикулами губок (микрофотография).

зуется многочисленная группа с разнообразными представителями — а л ю м о с и л и к а т о в.

В составе силикатов принимает участие значительное большинство из известных химических элементов, но далеко не все из них являются постоянными и находятся в больших количествах. Многие из элементов в силикатах являются редкими.

Главнейшими химическими элементами, которыми определяется основной состав силикатов, можно считать следующие:



Качественный химический состав силикатов, таким образом, не является многообразным, многие виды силикатов качественно состоят из одних и тех же элементов. Это видно из целого ряда примеров, которые можно было бы привести как весьма показательные. По этому поводу можно, например, отметить следующие распространенные в земной коре виды силикатов:

Нефелин $(\text{Na}, \text{K})_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	и микроклин $(\text{K}, \text{Na})_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$
Оливин $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	и бронзит $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$
Серпентин $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$	и тальк $\text{H}_2\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$
Лейцит $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$	и ортоклаз $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$
Гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	и анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Анальцим $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	и натролит $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

В связи с приведенными примерами необходимо отметить, что, несмотря на такое ограничение химических элементов, входящих в состав силикатов, все же эта группа минералов превосходит по своему разнообразию все остальные группы в минеральном мире.

Объясняется это двумя причинами:

1. Наличием разнообразных количественных группировок тех, относительно немногих, элементов, которыми определяется основной состав силикатов.

2. Разнообразием структуры и строения, на основании которых резко отличается один вид соединения от другого.

В этом отношении в смысле сопоставления интересно вспомнить соответствующее разнообразие соединений в группе углерода. Как известно, углерод и кремний стоят в одном ряду периодической системы. В соединениях углерода, так же как и в соединениях кремния, при весьма ограниченном количестве входящих элементов, наблюдается также колоссальное разнообразие комбинаций в образовании отдельных соединений. Для углерода это издавна повело к выделению их в особую отрасль знания — органическую химию.

**Структура силикатов.** Вопрос о структуре и строении силикатов всегда был и в настоящее время остается вопросом весьма сложным и далеко еще не полностью разрешен во многих деталях.

В связи с тем или иным состоянием науки взгляды различных

ученых на конституцию силикатов имели различный характер и подвергались неоднократным изменениям.

Вследствие этого вопрос о структуре силикатов имеет большую историю, на развитии которой мы здесь останавливаться не будем<sup>1</sup>. Здесь необходимо лишь отметить, что в последнее время на основании рентгеновского анализа более обоснованной и убедительной явилась теория пространственных атомных группировок, основной ячейкой которых является так называемый кремне-кислородный

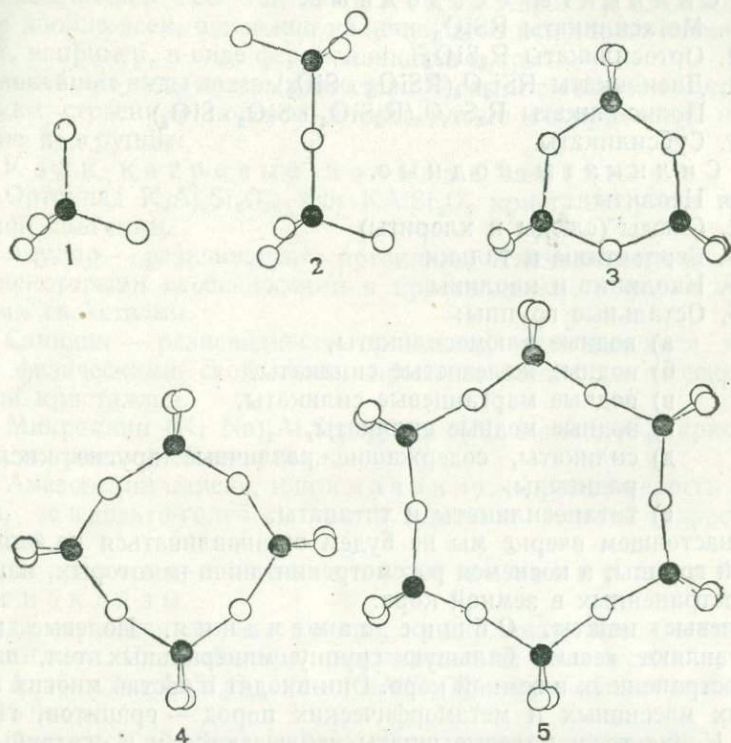


Рис. 130. Кремне-кислородные группы, обуславливающие строение силикатов.

Черные кружочки — Si, светлые — O.

тетраэдр. Многообразные группировки таких тетраэдров приводят к разнообразным видам отдельных структур силикатов. Подойти непосредственно к разрешению целого ряда относящихся сюда вопросов явилось возможным лишь после того, когда более четко и определенно было обосновано количественное измерение интенсивностей отраженных рентгеновских лучей. На рисунке 130 представлены кремне-кислородные группы, обуславливающие строение силикатов<sup>2</sup>.

**Классификация силикатов.** Ввиду недостаточности сведений и отсутствия еще многих данных, касающихся структурных особенно-

<sup>1</sup> Интересующиеся этим вопросом могут некоторые сведения почерпнуть из «Рабочей книги по минералогии», под редакцией проф. Болдырева, т. II.

<sup>2</sup> См. по этому поводу: Брэгг В. Л., Структура силикатов, перевод под редакцией проф. Падурова, 1934.

стей силикатов, классификация их на основе структурного анализа пока еще весьма затруднительна, хотя некоторые приближения к этому уже имеются.

При рассмотрении и описании силикатов обычно пользуются химической классификацией Дана, которая в основных чертах была рассмотрена в общей части.

Ниже приводится согласно этой классификации схема распределения силикатов по главнейшим группам.

I. Силикаты безводные.

1. Метасиликаты  $R\text{SiO}_3$
2. Оргосиликаты  $R_2\text{SiO}_4$
3. Дисиликаты  $R\text{Si}_2\text{O}_5(R\text{SiO}_3 \cdot \text{SiO}_2)$   
Полисиликаты  $R_2\text{Si}_3\text{O}_8(R_2\text{SiO}_4 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{SiO}_2)$
4. Субсиликаты

II. Силикаты водные.

1. Цеолиты
2. Слюды (слюды и хлориты)
3. Серпентины и тальки
4. Каолинит и каолины
5. Остальные группы:
  - а) водные алюмосиликаты,
  - б) водные железистые силикаты,
  - в) водные марганцевые силикаты,
  - г) водные медные силикаты,
  - д) силикаты, содержащие различные другие кислотные радикалы,
  - е) титаносиликаты и титанаты.

В настоящем очерке мы не будем останавливаться на описании каждой группы, а коснемся рассмотрения лишь некоторых, наиболее распространенных в земной коре.

**Полевые шпаты.** Общие замечания. Полевые шпаты представляют весьма большую группу минеральных тел, широко распространенных в земной коре. Они входят в состав многих изверженных массивных и метаморфических пород — гранитов, гнейсов и пр. Кроме того, полевые шпаты наблюдаются и в осадочных породах, правда, в весьма ограниченных количествах, так как в поверхностных частях земной коры полевые шпаты претерпевают различные изменения, связанные, главным образом, с процессами выветривания.

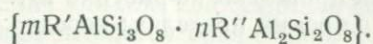
Согласно указаниям Клерка полевые шпаты составляют:

- 59,50% изверженных глубинных пород,
- 30,00% метаморфических пород,
- 11,50% осадочных пород.

В химическом отношении полевые шпаты представляют алюмосиликаты типа:

1.  $R'_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$  или  $R'\text{AlSi}_3\text{O}_8$ , где  $R'$  соответствует металлам К, Na, иногда Li, Rb, Cs в весьма небольших количествах.
2.  $R''\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , где  $R''$  является, главным образом, Ca, реже Ba и Sr.

Кроме того, среди полевых шпатов известны изоморфные смеси, состоящие из молекул первого и второго типа. Состав их может быть выражен следующей общей формулой:



Многочисленные анализы полевых шпатов указывают еще на вхождение в состав их небольших количеств Mg и Fe, последний как в виде закиси FeO так и окиси Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Характер этих примесей еще не вполне ясен, возможно наличие здесь некоторых изоморфных смесей, например, в виде феррисиликатов и пр.

**Главнейшие виды полевых шпатов.** В связи с составом и кристаллическим строением полевые шпаты можно распределить на следующие подгруппы:

**I. Кали-натровые полевые шпаты.**

1. Ортоклаз K<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub> или KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> кристаллизуется в моноклинной сингонии.

2. Адуляр — разновидность ортоклаза, отличающаяся от последнего некоторыми особенностями в кристаллической форме и физическими свойствами.

3. Санидин — разновидность ортоклаза, отличающаяся некоторыми физическими свойствами, преимущественно оптическими, и формой кристаллов.

4. Микроклин (K, Na)<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub> или (K, Na)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> кристаллизуется в триклинной сингонии.

5. Амазонский камень, или амазонит, — разновидность микроклина, зеленовато-голубого цвета (причина зеленой окраски неизвестна).

**II. Натрово-известковые полевые шпаты, или плагиоклазы.**

Сюда относятся полевые шпаты, кристаллизующиеся в триклинной сингонии. Главнейшими представителями являются:

1. Альбит Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub> или NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, иначе обозначаемый знаком Ab и

2. Анортит CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, иначе обозначаемый знаком An.

Вместе с тем сюда относятся разновидности, представляющие изоморфные смеси между альбитом и анортитом и играющие в строении земной коры весьма важную роль.

В связи с количественными соотношениями входящих сюда изоморфных компонентов (альбита и анортита) обычно выделяют следующие разновидности этой группы:

Альбит . . . . .	1 — 10%	An
Олигоклаз . . . . .	11 — 30%	An
Андезин . . . . .	31 — 50%	An
Лабрадор . . . . .	51 — 70%	An
Битовнит . . . . .	71 — 90%	An
Анортит . . . . .	91 — 100%	An

**Структура и строение полевых шпатов** в отношении пространственного расположения атомов в кристаллической решетке весьма сложны, особенно среди изоморфных представителей. В последнее время на основании рентгеновских исследований в этом на-

правлении многое сделано и для некоторых разновидностей — определены структуры с большой точностью и полнотой<sup>1</sup>.

Внешний вид кристаллов полевых шпатов чрезвычайно разнообразен, некоторые из них приведены на рисунке 131. Размеры кристаллов также варьируют в широких пределах; нередко в целом ряде месторождений можно встретить весьма крупные отдельные кристаллы в превосходно выраженных формах.

Очень часто среди полевых шпатов наблюдаются сростки, представляющие собой физические смеси с закономерным прорастанием ряда отдельных неделимых. Нередко такие смеси доходят до тончайших агрегатов, образуя при этом самостоятельные структуры. В качестве общеизвестных примеров подобных образований можно отметить:

1. Еврейский камень, или письменный гранит, характеризующийся закономерным прорастанием ортоклаза

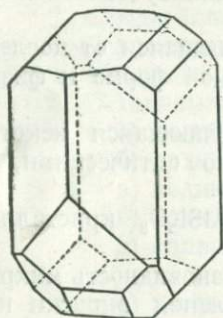


Рис. 131.

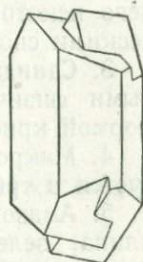
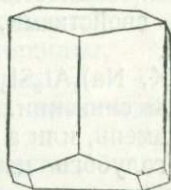
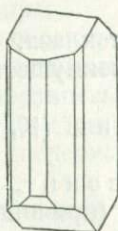


Рис. 132.

или микроклина и кварца, так называемое пегматитовое сростание.

2. Пертит представляет собой ортоклаз, закономерно проросший альбитом или олигоклазом.

3. Антипертит — альбит, закономерно проросший ортоклазом или микроклином и т. д.

Двойники. Весьма характерной особенностью полевых шпатов являются двойниковые образования. Двойниковые сростки для этой группы минералов настолько характерны и типичны, что многие полевые шпаты можно легко определять по ним как макроскопически, так и особенно под микроскопом. Двойники между кристаллами полевых шпатов точно так же представляют строго закономерные формы и являются чрезвычайно разнообразными по характеру срастания отдельных неделимых. Наблюдаемые особенности и закономерность подобных сростков дали возможность сгруппировать их в определенные типы двойниковых форм, характер же самого срастания связать с так называемым двойниковым законом.

<sup>1</sup> См. по этому вопросу статью Шибольда Е. «Об изоморфии полевых шпатов», помещенную в цитированной книге Брэгга «Структура силикатов», 1934.

Среди этих двойниковых законов наиболее важными являются следующие:

1. **Альбитовый закон** характерен для триклинных полевых шпатов, особенно для плагиоклазов. Двойниковая ось  $\perp$  (010). Плоскостью срастания являются грани с индексом (010).

2. **Периклиновый закон** также характерен для триклинных полевых шпатов. Плоскостью срастания является плоскость, близкая к (001). Двойниковая ось  $y$  (010).

3. **Карлсбадский закон** характерен, главным образом, для моноклинных полевых шпатов, а также и плагиоклазов. Двойниковая ось  $z$  (001), плоскость срастания (010). На рисунке 132 показано прорастание двух кристаллов ортоклаза по Карлсбадскому закону. Название «Карлсбадский» этот закон и двойники получили от г. Карлсбада в Германии, где впервые эти двойники были изучены на ортоклазах гранитов.

Есть еще и другие законы, но менее распространенные.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Совершенная в двух направлениях
Твердость	6—6,5
Удельный вес	В зависимости от разновидностей различен— от 2,54 до 2,76
Блеск	Стеклообразный (иногда перламутровый)
Цвет	Весьма разнообразный, в зависимости от разновидностей; большей частью обладают светлыми оттенками, некоторые плагиоклазы, например, лабрадор, обладают темным цветом. Причина окраски связана с различными условиями.
Температура плавления	В зависимости от разновидностей колеблется в пределах от 1100 до 1550°.

**Происхождение названий.** Общее групповое название минералов полевые шпаты связано с двумя особенностями: «полевой» — как широко распространенный в природе и «шпат» — от греческого «спате», что значит «предмет пластинчатой формы» — выражение, связанное с способностью раскалываться в двух направлениях по плоскостям спайности.

Название **ортоклаз** происходит от греческого «orthos» — «прямоугольный» и «klasio» — «раскалываться», что в целом означает «прямо раскалывающийся». Слово «альбит» связано с латинским выражением «albus», что значит «белый», в чистых разновидностях действительно альбит белого цвета.

**Микроклин** обозначает «незначительно наклоненный»; это выражение имеет связь с весьма малым уклонением от прямого угла при расколе. Название одного из плагиоклазов «лабрадор» имеет связь с географическим местонахождением этого минерала на берегах полуострова Лабрадора в Северной Америке, где

эта разновидность была впервые обнаружена. Точно так же слово «амазонит» или выражение «амазонский камень» происходит от р. Амазонки, где этот минерал впервые был встречен, и т. п.

**Распространенность и происхождение.** Как было уже отмечено, полевые шпаты весьма широко распространены в земной коре и являются одной из самых важных групп минералов. Они представляют главную составную часть многих изверженных магматических и метаморфических пород. Вместе с тем полевые шпаты играют весьма большую роль в образовании пегматитовых жил. Образование некоторых полевых шпатов наблюдалось также среди эффузивных вулканических пород, например в базальтах и других. Кроме того, полевые шпаты нередко образуются среди контактовых месторождений, связанных с воздействием расплавленных масс на глинистые и другие породы. Химизм этих процессов является весьма сложным, и многие вопросы остаются здесь еще невыясненными.

Наконец, известны случаи образования полевых шпатов и из водных растворов, но эти процессы генезиса еще весьма мало изучены.

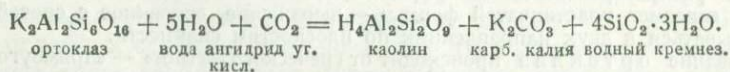
**Процессы изменения полевых шпатов.** Полевые шпаты подвергаются в земной коре разнообразным процессам изменения. Особенно широко и интенсивно эти процессы протекают в поверхностных горизонтах земной коры, где полевые шпаты являются неустойчивыми вследствие процессов выветривания. Эти процессы связаны с воздействием на полевые шпаты кислорода, воды, угольного ангидрида и некоторых организмов, преимущественно растительных.

Кроме того, полевые шпаты могут изменяться и в глубинных частях земной коры в зоне процессов метаморфизма. Процессы эти идут под влиянием различных газообразных и летучих веществ, выделяющихся из магм в периоды ее дифференциации. Точно так же при процессах метаморфизации на полевые шпаты сильное действие оказывают циркулирующие горячие водные растворы, под влиянием которых происходит превращение полевых шпатов в другие минеральные образования.

Для некоторой ориентировки можно отметить следующие главнейшие изменения полевых шпатов, протекающие в земной коре.

1. **Каолинизация.** Весьма широко распространенный процесс в земной коре. С процессом каолинизации связаны, главным образом, калийные и натриевые полевые шпаты, гораздо реже этот процесс наблюдается для плагиоклазов. Каолинизация протекает как в поверхностных горизонтах земной коры, так и в глубинных частях земли, в зоне метаморфизации.

Химизм этого процесса можно выразить следующим уравнением:



2. **Цеолитизация.** Переход полевых шпатов в цеолиты представляет также довольно обычный процесс, протекающий как в поверхностных, так и в глубинных частях земной коры. В связи с этим процессом связано, между прочим, частичное образование цеолитов в почвах.



той популярностью, какая присуща ему в настоящий момент. Объясняется это тем обстоятельством, что в настоящее время с нефелином связаны многие отрасли промышленности, включительно до использования его в деле удобрения почв — нефелинирование почв для многих культур растений; особенно, как показали опыты, эти процессы нефелинирования оказались применительны к культурам льна.

Вместе с тем общеизвестность нефелина и широкое использование его в промышленности явилось следствием открытия его на Кольском полуострове, в районе Хибинского массива, где на берегу оз. Имандра были обнаружены в 1923 г. значительные скопления нефелиновых песков. Во всей полноте проблема использования нефелина стала после того, когда в этом же районе были открыты грандиозные запасы апатитовой руды, теснейшим образом связанной с нефелином.

**Химический состав.** Химический состав нефелина обозначают обычно формулой:

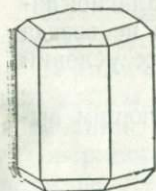
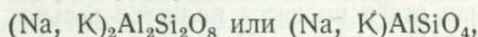


Рис. 133.



где содержание  $\text{K}_2\text{O}$ , на основании многих химических анализов, определяется от 4,34 до 6,68% (в среднем 5,52%). Кроме того, в нефелине наблюдается обычно несколько повышенное содержание  $\text{SiO}_2$ .

Однако, несмотря на многочисленные исследования этого минерала, все же химическое строение его до сих пор в точности не установлено<sup>1</sup>.

**Происхождение названия.** Слово «нефелин» происходит от греческого «perhele», что значит «облако». Это название дано ему вследствие того, что при обработке кислотой становится мутным и студенистым.

В природе, кроме собственно нефелина, известна еще разновидность, именуемая «элеолитом», название связано с греческими словами «élaion» — «масло» и «lithos» — «камень». Эта разновидность отличается от нефелина маслянистым, жирным блеском и некоторыми другими физическими свойствами (степенью плавкости). В химическом отношении обе разновидности тождественны.

**Структура.** Кристаллизуется в гексагональной сингонии (рис. 133). Крупные кристаллы весьма редки, большей частью встречаются в сплошных скрытокристаллических массах. С 1927 г. нефелин неоднократно подвергался рентгеноскопическому изучению.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	5—6
Удельный вес	2,6
Излом	Раковистый, неровный
Блеск	Стеклянный или жирный (у элеолита)
Цвет	Бесцветный или различных светлых оттенков от примесей
Температура плавления	Колесблется от 1060 до 1200° в зависимости от изоморфных примесей

**Происхождение и главные типы месторождений.** Генезис нефелина связан с магматическими процес-

<sup>1</sup> По этому поводу см. статью Бонштедта Э. М. и Щербина В. В. «Нефелин», Минералогия Союза, изд. Академии наук, серия А, вып. I, 1933, а также Гитов А. Г., Опыт минералогии Ильменских гор, вып. I, изд. Златоуст.-об-ва краеведов, 1928.

сами. Большое количество нефелина сосредоточено среди глубинных пород, объединяемых под общим названием и е ф е л и н о в ы х, или э л е о л и т о в ы х, с и е н и т о в, для которых весьма характерно отсутствие кварца. Помимо нефелина эти породы содержат в своем составе полевой шпат — ортоклаз, альбит и некоторые другие, и темные слюды. В состав некоторых разновидностей нефелиновых сиенитов входят щелочные роговые обманки и пироксены, например эгирин, эгирин-авгит и др.

В зависимости от разнообразия минералогического состава и некоторых структурных особенностей нефелиновые сиениты описываются под разными названиями, например м и а с к и т (из Миасса в Южном Урале), х и б и н и т, м а р и у п о л и т и п р.

В крупных самостоятельных формах нефелин известен среди некоторых жильных образований, относящихся большей частью к пегматитовым жилам. Здесь нефелин образован или отдельными выделениями, или входит в состав жильной породы. Многочисленные месторождения этого типа известны среди Хибинских и Ловозерских тундр, вне СССР — среди месторождений Норвегии, Мадагаскара и др. Нефелин в этих жилах сопровождается целым рядом других минеральных тел, являющихся весьма характерными в парагенетическом отношении. Среди этих минералов наиболее характерными являются:

К а н к р и н и т —  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ , с о д а л и т —  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{NaCl}$ , ц и р к о н —  $\text{ZrSiO}_4$ , а п а т и т —  $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$ , и л ь м е н и т —  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ , темные слюды и др.

Кроме того, нефелин является существенной составной частью многих излившихся вулканических пород. Среди этих пород он известен весьма давно, первые экземпляры его были найдены и описаны на породах Везувия еще в 1773 году.

Процессы изменения нефелина близки к процессам, описанным при полевых шпатах. В качестве вторичных продуктов, образующихся при выветривании нефелина, наблюдаются разнообразные вещества, скапливающиеся в значительных количествах на поверхности земли.

**П р и м е н е н и е.** Как было уже отмечено, нефелин в настоящее время имеет весьма широкое применение в различных отраслях промышленности. Помимо использования его в сельскохозяйственном деле, нефелин применяется в ряде производств основной химической промышленности — по преимуществу получения окиси алюминия и соды (по способу В л о д а в ц а — щелочной метод), видное применение имеет также в стекольном деле, где заменяет соду или сульфат натрия, вводимые в стекольную массу.

Некоторое количество его идет в фарфоровой и эмалевой промышленности, а также цементной и абразивной, в последнем случае полученная из нефелина окись алюминия идет для получения из нее искусственного корунда. Кроме того, нефелин применяется и для различных других целей.

**Лейцит.** Х и м и ч е с к и й с о с т а в:  $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$  или  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ . В незначительных количествах в нем встречаются  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  и отчасти  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Ст р у к т у р а** кристаллическая, является диморфным. Сингония кубическо-ромбическая. Кристаллы нередко очень хорошо образованы и имеют тетрагонтриоктаэдрический вид. Наиболее обычная форма кристалла лейцита представлена на рисунке 134.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	5—6
Удельный вес	2,5
Излом	Раковистый
Блеск	Стеклоанный
Цвет	Белый, сероватый, пепельносерый, в некоторых случаях бесцветный

**Происхождение.** Является типичным минералом вулканических процессов. В большом количестве образуется при затвердевании богатых щелочами лав, а также выделяется в вулканических пеплах. Известен во множестве на лавах Везувия и среди других эффузивных выделений. В СССР не наблюдался.

Крупного практического значения не имеет, при большом содержании лейцита в породе последняя может быть использована для добычи солей калия и алюминия.

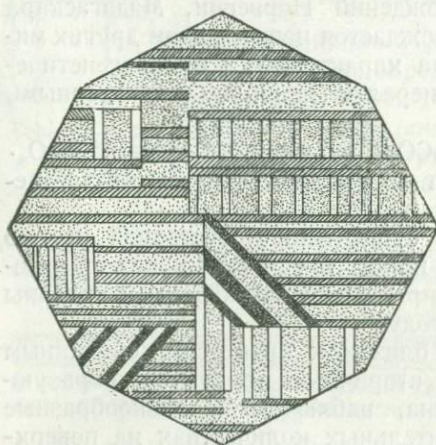


Рис. 134.

**Пироксены и амфиболы.** К пироксенам и амфиболам относится большое число минеральных тел, характеризующихся различным химическим составом, кристаллографическим строением и физическими свойствами. Все эти тела играют весьма большую роль в строении земной коры и входят в состав многих изверженных магматических и метаморфических пород. В поверхностных горизонтах земной коры эти тела претерпевают разнообразные процессы изменения и превращаются во вторичные минеральные вещества, играющие также немаловажную роль в образовании многих поверхностных пород.

На основании кристаллического строения и ряда других особенностей пироксены и амфиболы можно распределить на следующие группы с главнейшими представителями.

**Пироксены.** I. Ромбические пироксены: 1) Энстатит  $MgSiO_3$ . 2) Бронзит  $(Mg, Fe)SiO_3$ . 3) Гиперстен  $(Fe, Mg)SiO_3$ .

Все эти минералы представляют изоморфный ряд. Обладают металловидным блеском и являются породообразующими минералами глубинных магматических пород — основных, бедных кремнеземом.

II. Моноклинные пироксены (без алюминия): 4) Волластонит  $CaSiO_3$ . 5) Диопсид  $CaSiO_3 \cdot MgSiO_3$ .

Эти минералы являются главнейшими в отношении контактовых месторождений.

III. Моноклинные пироксены (с алюминием): 6) Авгит  $(CaSiO_3 \cdot MgSiO_3) \cdot (Mg, Fe) (Al, Fe)_2SiO_6$  часто содержит щелочные металлы. Цвет темнозеленый до черного. Является главной составной

частью изверженных магматических пород, а также образуется на контактах. 7) Эгирин — метасиликат натрия и окисного железа  $\text{NaFe}^{III}(\text{SiO}_3)_2$ . Образуется часто в связи с нефелиновыми сиенитами.

IV. Триклинные пироксены: 8) Родонит, иначе называемый орлец —  $\text{MnSiO}_3$ . Очень красивый минерал розового цвета. Известен в большом количестве на Урале, близ дер. Седельникова, около Свердловска. Употребляется в качестве поделочного камня.

**Амфиболы.** Амфиболы, так же как и пироксены, представлены несколькими группами, отличающимися друг от друга как составом, так и строением. Особенно большое значение по распространенности в земной коре имеют моноклинные амфиболы, распределяющиеся также на амфиболы, не содержащие алюминия и содержащие его.

В последнее время многие из амфиболов исследованы рентгенометрически, вследствие чего для многих из них известны структуры кристаллических решеток.

К первой группе без алюминия относятся тремолит —  $\text{CaSiO}_3 \cdot 3\text{MgSiO}_3$  (в составе тремолита наблюдается еще вода) — белого цвета или серый и актинолит —  $\text{CaSiO}_3 \cdot 3(\text{Mg, Fe})\text{SiO}_3$  — зеленого цвета с кристаллами большей частью игольчатой формы.

В качестве разновидностей тремолита и актинолита к этой же группе принадлежит еще асбест (тремолитовый и актинолитовый) и нефрит — плотный минерал, зеленоватого цвета, употребляющийся как поделочный камень.

Ко второй группе амфиболов с содержанием алюминия относятся роговые обманки, весьма широко распространенные в природе и играющие большую роль как породообразующие минералы.

**Роговые обманки.** В химическом отношении роговые обманки представляют магнезиально-железистые силикаты с содержанием кальция и алюминия.

Состав роговых обманок не всегда является постоянным, количественные соотношения входящих туда элементов подвержены некоторым колебаниям. Часть алюминия почти всегда замещена окисью железа; кроме того, в роговых обманках часто присутствуют щелочи — натрий и калий, а также небольшое количество воды. В некоторых случаях присутствует фтор и двуокись титана. В зависимости от состава и содержания тех или иных примесей роговые обманки распределяются на отдельные виды, имеющие свои наименования. Так, например, различают: обыкновенную рогообманку, базальтическую, паргасит, уралит и пр.

Общая химическая формула рогообманок может быть представлена в следующем виде:

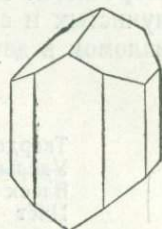
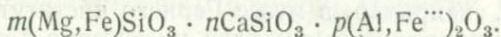


Рис. 135. Кристалл авгита.

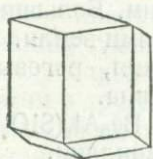


Рис. 136. Кристалл амфибола.

Название этих минералов обманками связано с их обманчивым внешним видом. Эта особенность была издавна еще замечена рудокопами, которые нередко принимали роговую обманку за руду вследствие характерного полуметаллического блеска на ее свежих поверхностях раскола.

**Сложение и физические свойства.** Моноклинные кристаллы роговой обманки нередко являются хорошо образованными с весьма совершенным развитием граней. Очень часто роговая обманка встречается в виде сплошных плотных масс в форме параллельно-лучистых и спутано-волоконистых агрегатов, с характерным прямым изломом в двух направлениях.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	5,5—6
Удельный вес	3,1—3,3
Блеск	Полуметаллический
Цвет	Зеленый, бурый или черный, вороночерный или смоляночерный

**Распространенность и процессы изменения.** Роговая обманка весьма широко распространена в земной коре, являясь типичным породообразующим минералом гранитов, сиенитов, диоритов, андезитов, порфиритов и пр., а также многих других пород типа метаморфических, например, амфиболитовых гнейсов и др. Вместе с тем роговая обманка встречается также и в самостоятельных скоплениях, преимущественно среди контактов совместно с полевыми шпатами, биотитом, кварцем и пр.

Роговые обманки в земной коре относительно легко подвергаются различным процессам изменения, как, например, биотизации, хлоритизации, серпентинизации, асбестизации и многим другим. Большинство этих процессов связано с метаморфическими областями земли. В поверхностных горизонтах, при процессах выветривания, роговые обманки дают обычные минеральные тела вторичного типа.

**Берилл.** Химический состав берилла  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$  или  $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  представляет собой силикат бериллия.

Нередко наблюдаются примеси щелочных металлов — натрия и калия, отчасти лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ). Кроме того, в бериллах иногда присутствует железо, преимущественно в виде  $\text{FeO}$ . Густоокрашенные бериллы всегда содержат в незначительном количестве  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , зеленый цвет бериллов объясняется именно присутствием хрома.

Название связано с элементом бериллием Be. Само слово «берилл», «бериллий» происходит от греческого «сладкий» вследствие того, что многие соли бериллия имеют сладкий вкус. Выражение «beryllus» встречается еще у Плиния.

**Структура.** Кристаллизуется в гексагональной сингонии обычно в превосходно выраженных кристаллах. Кристаллы образованы хорошо развитыми призмами с отчетливо выраженной вертикальной штриховатостью. Часто на гранях призм наблюдается разъеденность плоскостей, происходящая от химического воздействия фтористых паров, в атмосфере которых нередко образуется берилл.

Отдельные кристаллы берилла достигают иногда очень крупных размеров, так, например, в музее Горного института в Ленинграде хранится экземпляр одного кристалла, имеющего в длину по основной

оси около 24,5 см. Этот кристалл имеет желтозеленый цвет и весит около 2,5 кг. Найден этот берилл был на Урале, в районе Мурзинки, в так называемой Старцевской яме. Но были случаи нахождения и больших кристаллов, до 1,5 м в длину, например из Тигирецких белков на Алтае.

В настоящее время берилл исследован рентгеноскопически, имеются прекрасные рентгенограммы этого минерала (см. рис. 68).

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Несовершенная
Твердость	7,5—8
Удельный вес	2,67—2,72
Излом	Неровный
Блеск	Стеклоанный
Цвет	Большой частью выражен зелеными оттенками

В связи с цветом и степенью прозрачности берилл имеет следующие разновидности.

1. Обыкновенный берилл — желтый или желтоватозеленый, обычно непрозрачен.

2. Аквамарин — зеленоватоголубой, от «aqua marina», что значит «морская вода», имеет цвет морской воды.

3. Изумруд обладает густым зеленым цветом.

Кроме того, известны разновидности бериллов голубоватосиние, темножелтые, розовые и почти бесцветные.

Происхождение и главные месторождения. Генезис берилла связан преимущественно с процессами пневматолита. Берилл является весьма типичным минералом пегматитовых жил — кварцево-полевошпатовых, образованных процессами дифференциации, главным образом, кислых магм. В пегматитовых жилах берилл сопровождается кварцем, преимущественно дымчатым, амazoнитом и другими полевыми шпатами, слюдами, топазом (топазо-берилловые пегматиты), цирконом, турмалином, апатитом, различными титановыми соединениями и пр. Кроме того, берилл встречается еще среди кристаллических сланцев, главным образом, слюдистых и некоторых других.

Распространение в земной коре имеет редкое, вследствие чего наиболее чистые и прозрачные его разновидности представляют драгоценные камни.

В СССР наибольшей известностью пользуются так называемые изумрудные копи на Урале, близ Свердловска. Здесь изумруд приурочен к слюдистым сланцам и сопровождается рядом других минеральных тел.

Кроме того, крупное месторождение берилла известно в Забайкальском крае на Шерловой горе, приуроченное к жильным образованиям. Среди гранитных массивов в пегматитовых жилах берилл наблюдается еще на Алтае, где, как уже отмечалось, были найдены отдельные кристаллы гигантских размеров.

Вне СССР наиболее крупные месторождения берилла сосредоточены в США, в Южной Америке (Колумбия), Норвегии, на о. Мадагаскар и др.

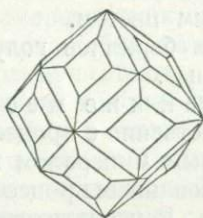
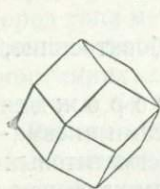
**Практическое использование.** Густоокрашенные и прозрачные разновидности берилла, как изумруд и аквамарин, представляют собой драгоценные камни и используются в ювелирном деле. Обыкновенный берилл употребляется обычно в качестве абразивного материала или является сырьем для получения различных бериллиевых препаратов. В настоящее время на берилл обращено особое внимание, так как в этом веществе сконцентрирован почти весь бериллий, находящийся в земной коре. В настоящее время путем целого ряда сложных операций из берилла извлекают весьма ценный и важный элемент — бериллий, вследствие чего минерал является рудой на этот элемент.

Бериллий был открыт еще Вокеленом в 1797—1798 гг., представляет собой весьма хрупкий и легкий металл с удельным весом 1,84. Обладает серебристо-белым цветом, не тускнеющим на воздухе, имеет довольно высокую твердость, по Моосу 6—7, и сравнительно большую тугоплавкость, температура плавления 1285° С. Металл этот обладает исключительным постоянством в отношении окружающих условий, является весьма противостойким по отношению к воздействию ряда химических агентов — антикоррозиен.

Бериллий является еще весьма ценным элементом по характеру своих сплавов с различными металлами. Главное применение он имеет и будет иметь в дальнейшем как металл, именно в сплавах, по этой причине бериллий справедливо называется металлом будущего. Сплавы его отличаются необычайной легкостью и прочностью и в первую очередь могут быть использованы в авиации и автотранспорте.

Весьма интересными являются его сплавы с алюминием, магнием, медью (медно-бериллиевые бронзы) и другими металлами.

**Группа граната.** Весьма обширная группа минеральных тел, представляющая собой соли типа:  $R_3''R_2'''(SiO_4)_3$ .



К этой группе относится большое число отдельных видов, многие из которых в настоящее время хорошо изучены.

К числу главнейших и наиболее распространенных в природе гранатов относятся следующие виды:

1. **А л ь м а н д и н**  $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$  — железистый алюмогранат, темнокрасный, буроватокрасный или черный.
2. **П и р о п**  $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$  — магниезиальный алюмогранат, красный.
3. **Г р о с с у л ь р**  $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$  — кальциевый алюмогранат, желтоватозеленый.
4. **С п е с с а р т и т**  $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$  — марганцевый алюмогранат, от желтоватокрасного до краснобурого цвета.
5. **У в а р о в и т**  $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$  — кальциевый хромгранат, изумруднозеленый.

Все гранаты кристаллизуются в кубической сингонии, в гексоктаэдрическом виде симметрии, часто в прекрасно образованных кристаллах, которые нередко доходят до крупных размеров.

Гранаты представляют собой отчетливо выраженный пример изоморфизма. К этому ряду во множестве относятся еще отдельные виды, представляющие многообразные изоморфные смеси; в настоящее время известно около 32 отдельных представителей гранатов, образующих большой изоморфный ряд. Однако в изоморфизме гранатов наблюдаются явные отклонения.

Название «гранат» не рациональное, оно связано по аналогии с зернами плодов гранатового дерева.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА — ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕЙ ГРУППЫ:

Спайность	Несовершенная
Твердость	6,5—7,5
Удельный вес	3,1—4,3
Излом	Раковистый, неровный
Блеск	Жирный или стеклянный
Цвет	Различный — в зависимости от разновидностей, см. выше

**Местонахождение и распространенность.** Распространены в природе очень широко, обычно входят в состав метаморфических пород. Большое скопление их наблюдается среди плотных глинистых, слюдяных, тальковых, хлоритовых и амфиболитовых сланцев.

Генетически связаны большей частью с зонами контактового метаморфизма.

В СССР большое количество гранатов находят в различных областях Урала.

**Применение.** Большого практического значения не имеют. Гранаты, обладающие более высокой твердостью, используются в качестве абразивного — шлифовочного материала. Некоторые разновидности, наиболее чистые и прозрачные, идут как драгоценные камни.

**Оливин.** К группе оливина относятся следующие минеральные виды ортосиликатов: 1. Форстерит  $Mg_2SiO_4$ . 2. Фаялит  $Fe_2SiO_4$ . 3. Оливин  $(Mg, Fe)_2SiO_4$ .

Оливин представляет собой изоморфную смесь форстерита и фаялита и является весьма типичным породообразующим минералом. В качестве примесей наблюдаются NiO.

Прозрачные чистые разновидности оливина именуются хризолитом и вследствие относительно редкого нахождения в природе являются драгоценными камнями.

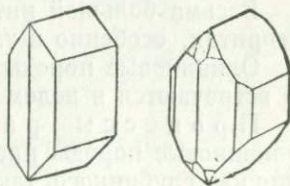


Рис. 138.

**Название «оливин»** имеет связь с зеленым оливковым цветом, который для этого минерала является весьма типичным. Выражение «хризолит» происходит от двух греческих слов: «хриозос» — «золото» и «литос» — «камень», что значит «золотистый камень». Лучшие месторождения хризолитов сосредоточены в Египте, Бразилии и во многих восточных странах.

**Структура.** Все три минерала группы оливина кристаллизуются в ромбической сингонии (рис. 138). Кристаллы оливина обычно имеют таблитчатый и призматический вид, но весьма часто он встречается также в сплошных зернистых массах.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Несовершенная
Твердость	7
Удельный вес	3,12—3,33
Блеск	Стеклянный
Цвет	Оливковозеленый, но бывает желтым и бурым

Температура плавления  $1890^{\circ}C$

**Происхождение и главные типы месторождений.** Оливин является типичным минералом магматических

процессов, образуется одним из первых при процессах дифференциации магм. Входит в состав многих глубинных и излившихся основных пород, обедненных кремнеземом. Обычно является составной частью таких пород, как дуниты — оливиновые породы с хромитом (представляют характерные породы для самородной платины), перидотиты — разнообразные оливиновые породы, заключающие часто пироксены, — габбро, диабаз, базальт и пр.

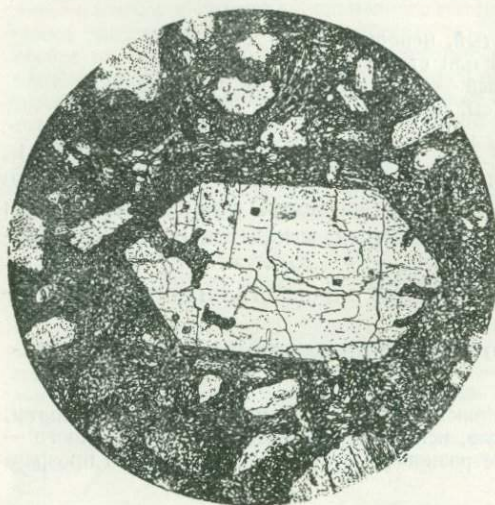


Рис. 139. Оливиновая порода под микроскопом.

Весьма большой интерес заслуживает нахождение оливина в метеоритах, особенно в так называемом палласовом железе.

Оливиновые породы распространены в земной коре очень широко и встречаются в целом ряде месторождений.

Процессы разрушения. Оливин и оливиновые породы претерпевают различные изменения как глубинного, так и поверхностного характера.

Под влиянием горячих глубинных водных растворов оливин подвергается процессам серпентинизации; целые массы его, таким образом, переходят в серпентин — водный магнезиальный силикат. При контактовом метаморфизме оливин иногда переходит в тальк. При процессах выветривания оливин разрушается и переходит во вторичные минеральные тела, среди которых во множестве скапливаются гидраты окиси железа.

Практического применения оливин не имеет, кроме своих чистых и прозрачных разновидностей.

**Циркон.** Химический состав  $ZrSiO_4$  — ортосиликат циркония (Zr 49,5%). В качестве примесей в цирконах наблюдаются: окись железа  $Fe_2O_3$ , вода  $H_2O$ , двуокись тория  $ThO_2$ , двуокись урана  $UO_2$  и, что особенно важно, двуокись гафния  $HfO_2$ , которая колеблется от 0,4 до 5%, а в некоторых случаях доходит даже до 17%.

Элемент гафний Hf был открыт в 1922 г. Костер и Гевеши (Coster и Hevesy) при исследовании ими цирконов с помощью рентгеноскопического метода. Им удалось обнаружить спектр нового

Кроме того, оливин нередко образуется среди контактовых месторождений, где он сопровождается такими минералами, как гранат, доломит, некоторые виды темных слюд и др.



Рис. 140. Процесс разрушения кристалла оливина, начало серпентинизации и преобразование его в хризотил — петельчатая (сетчатая) структура.

элемента с порядковым номером 72, которому было дано название гафний (по месту открытия Hafnia — Копенгаген).

Еще до этого открытия Б о р о м была предсказана возможность существования элемента, непосредственно следующего за группой редких земель (57—71), при этом было отмечено, что данный элемент должен быть четырехвалентным и приближаться по свойствам своим к цирконию Zr и торию Th.

Гафний удалось сконцентрировать в виде двойной фтористой соли. Атомный вес гафния оказался равным 178,6.

В настоящее время техническое значение гафния весьма велико. Вследствие своей высокой электроноиспускательной способности он находит широкое применение в рентгентехнике и электротехнике. Из металлического гафния выделывают антикатоды в рентгеновских трубках.

Температура плавления металлического гафния около  $2325^{\circ}$ . Двоуокись гафния  $HfO_2$  имеет температуру плавления около  $2800^{\circ}$ .

Название «циркон» — «цирконий» в точности не выяснено.

Ст р у к т у р а. Кристаллизуется в тетрагональной с. Весьма характерной особенностью циркона является отчетливая выражен

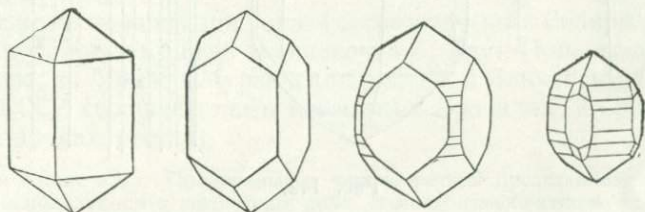


Рис. 141. Некоторые виды кристаллов циркона из Ильменских гор в Южном Урале.

ность его кристаллов. Кристаллические многогранники его часто превосходно образованы, что дает возможность быстро и легко подойти к макроскопическому определению его. Кристаллическая структура циркона сейчас хорошо изучена рентгеноскопически (см. рис. 76).

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	7—7,5
Удельный вес	4,58—4,70
Блеск	Стекланный, часто алмазовидный и жирный
Цвет	Большой частью гиацинтовогокрасный, переходящий в бурокрасный, темнобурый и желтый

Прозрачные разновидности циркона, имеющие красный или краснобурый цвет, именуются гиацинтами. Кроме того, циркон имеет еще и другие разновидности, отличающиеся друг от друга различными физическими особенностями.

Происхождение и распространенность. Циркон является типичным минералом многих пегматитовых жил, где он мог выделиться в результате пневматолитических процессов. В этих жилах он сопровождается рядом других минеральных тел, характерных для этого типа месторождений. Помимо жильных образований,

циркон часто еще наблюдается среди глубинных магматических пород — гранитов, сиенитов и пр., особенно среди нефелиновых сиенитов.

Месторождения циркона в СССР известны в большом количестве на Урале — Ильменские и Вишневые горы. Эти месторождения издавна привлекали внимание и считались главными в России.

В настоящее время большие количества циркона открыты на Кольском полуострове, в Хибинских тундрах. В обоих этих месторождениях циркон приурочен, главным образом, к нефелиновым сиенитам.

Вне СССР этот минерал известен на о. Цейлон, в Бразилии, в США и в других местах.

**Применение.** Чистые и прозрачные цветные разновидности циркона используются как драгоценные камни. Обыкновенный циркон употребляется в химической промышленности, преимущественно для получения  $ZrO_2$ . Некоторые

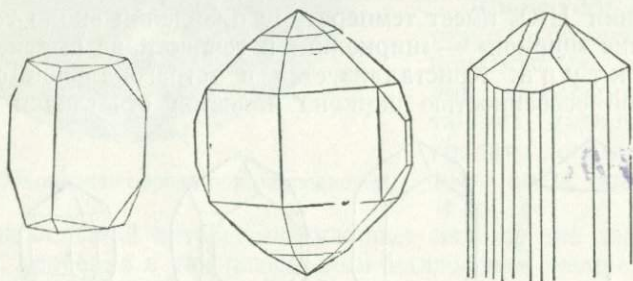


Рис. 142.

разновидности циркона идут как огнеупорные материалы. Кроме того, циркон является материалом при производстве глазурей и эмалей, а также некоторых красок.

**Топаз.** Химический состав  $Al_2SiO_4(F,OH)_2$  — алюмо-фторосиликат.

Название «топаз» теряется в глубокой древности. Топаз как драгоценный камень известен был еще во времена первобытной человеческой культуры. Греческий историк-географ Агафаренд, живший во II в. до начала нашей эры, описывает «Змеинный остров» в Красном море, где древние люди искали камень — «topasion». Вместе с тем древнее наречие «topazin» означает «искать». Римский натуралист Плиний под топазом понимает камень, который был найден в Красном море на о. Топазос.

**Структура.** Кристаллы топаза относятся к ромбической сингонии и нередко бывают весьма хорошо образованы (рис. 142). Плоскости призм обычно покрыты вертикальной штриховкой. Величина отдельных кристаллов довольно разнообразна. Известны случаи нахождения кристаллов топаза, достигающих больших размеров. Так, например, на Урале, в копи Мокруша, близ Мурзинки, в 1911 г. из большого гнезда одной пегматитовой жилы был извлечен кристалл топаза весом около 30 кг. Этот кристалл, правда, не блистал теми внешними качествами, которые обычно свойственны этому минералу, он был нечист и непрозрачен и при добыче случайно раскололся на несколько частей.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Совершенная в одном направлении
Твердость	8
Удельный вес	3,5
Излом	Раковистый
Блеск	Стеклообразный, на плоскостях спайности перламутровый
Цвет	Многие разновидности являются совершенно бесцветными, прозрачными. Некоторые окрашены в различные цвета: желтые, голубоватые, зеленые, дымчатые и пр.

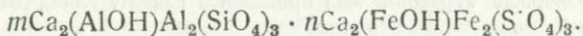
Происхождение и главные месторождения. Топаз, так же как и ряд других уже описанных минералов, является весьма типичным представителем пегматитовых жил, где он со многими другими фтор- и борсодержащими минералами образуется в результате процессов пневматолита. Главными сопутствующими минералами являются: кварц, полевые шпаты, особенно амазонит, слюды, берилл, турмалин, флюорит; в некоторых рудных пневматолитах — оловянный камень  $\text{SnO}_2$ , вольфрамит  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ , шеелит  $\text{CaWO}_4$  и др.

Лучшие месторождения топаза сосредоточены в Сибири — Нерчинский округ, среди кражей Борщовочного, Адун-Чолонгского в Шерловой горе, на Урале в Мурзинском районе, в Ильменских горах и др.

Вне СССР хорошие топазы известны в Бразилии, в Саксонии, Мексике и других местах.

Применение. Прозрачные и чистые топазы представляют драгоценные камни и используются в ювелирном деле. В мелкоизмельченном состоянии идет как абразивный материал и применяется в качестве шлифовального порошка.

**Эпидот.** Химический состав эпидота сложен, в основной своей части это алюмосиликат кальция и железа. Общая химическая формула эпидота может быть выражена так:



Кристаллизуется в моноклинной сингонии, кристаллы обычно вытянуты в одном направлении и имеют большей частью пластинчатый вид.

Цвет эпидота фисташковозеленый и до темнозеленого, почти черного. Встречаясь часто в большом количестве в горных породах, придает им также зеленый цвет.

Название минерала происходит от слова «epidotos», что значит «приращение». Это выражение дано ему по причине внешнего вида кристаллов.

Происхождение в земной коре связано с различными процессами. Обычно встречается или среди контактово-метаморфических месторождений, или образуется как вторичный минерал при процессах разрушения известково-железистых силикатов, например амфиболов, пироксенов, некоторых темных слюд, плагиоклазов и пр.

Применяется изредка как ювелирный камень.

**Турмалин.** Химический состав турмалина весьма сложен и непостоянен, в основном представляет собой алюмо-боросиликат. Одной химической формулой состав турмалина выразить нельзя, ибо

в зависимости от разновидностей соотношения входящих элементов весьма изменчивы.

Различными химическими анализами установлено наличие следующих химических компонентов, входящих в состав турмалинов:

SiO <sub>2</sub> (кремнезем) . . . . .	34—41%
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (борный ангидрид) . . . . .	8—13%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (окись алюминия) . . . . .	25—44%
MgO (окись магния) . . . . .	0—14%
FeO (закись железа) . . . . .	0—17%
Na <sub>2</sub> O (окись натрия) . . . . .	1—3,5%
K <sub>2</sub> O (окись калия) . . . . .	0—2,5%
Li <sub>2</sub> O (окись лития) . . . . .	0—1,25%
H <sub>2</sub> O (вода) . . . . .	1—4,5%

В некоторых случаях	{	F (фтор) . . . . .	0—1,2%
		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (окись хрома) . . . . .	0—1%
		MnO (закись марганца) . . . . .	0—3,5%
		CaO (окись кальция) . . . . .	0—5%

В связи с преобладанием в составе турмалинов того или иного элемента последние распадаются на ряд отдельных разновидностей.

Так, например, различают:

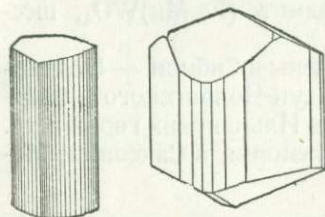


Рис. 143.

1. Щелочные турмалины, в которых часть Na замещена Li. Эта разновидность имеет розовый цвет и называется рубеллитом, иначе малиновый шерл.

2. Щелочно-железистые турмалины, заключающие Fe'', так называемый черный шерл.

3. Хром-турмалины, содержащие в своем составе Cr и имеющие зеленую или зеленоватобурую окраску, и пр.

Происхождение названия в точности не установлено, полагают, что слово «турмалин» связано с древним сингалезским выражением «турмали», так по крайней мере именовались первоначально образцы его, привозимые с о. Цейлон. Первые турмалин был привезен в Европу голландцами из Индии в конце XVII в.

Структура кристаллическая, кристаллизуется в гексагональной сингонии с осью симметрии третьего порядка. Кристаллы обладают весьма большим разнообразием форм, имеют в большинстве случаев столбчатый или игольчатый вид. Грани призм на поверхности имеют продольную штриховатость и очень часто выпукло искривлены, вследствие чего на поперечном разрезе проекция кристалла имеет трехугольно-сфероидальный вид. На рисунке 143 показаны некоторые формы кристаллов турмалина.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Несовершенная
Твердость	7—7,5
Удельный вес	2,9—3,2
Излом	Раковистый
Блеск	Стеклянный
Цвет	Различный в зависимости от разновидностей

Кроме того, турмалин обладает весьма интересными оптическими особенностями, с чем связано его использование в производстве неко-

торых поляризационных приборов (так называемые турмалиновые щипцы), а также является весьма интересным вследствие своих электрических свойств — при трении, давлении и нагревании кристаллы турмалина электризуются. С этим между прочим связано его применение в радиотехнике.

Происхождение и главные месторождения. Большей частью образуется в результате магматических и пневматолитических процессов — пегматитовые жилы. Кроме того, наблюдается на контактах с изверженными породами, богатыми кремнеземом  $\text{SiO}_2$ , и среди различных метаморфических пород — слюдистые, хлоритовые сланцы.

Месторождения турмалина в СССР довольно разнообразны, главные — на Урале, в районе Мурзинки, Шайтанки и других местах, а также в Забайкалье — Борщовочный край.

Применение турмалина в оптике для поляризационных приборов (щипцы) основано на полном поглощении обыкновенного луча, в результате чего луч, вышедший из его пластинки, соответствует одному не обыкновенному лучу и полностью поляризован.

Кроме того, некоторые разновидности его используются в ювелирном деле в качестве самоцветов.

### Отдел водных силикатов.

**Группа цеолитов.** Общие замечания. Цеолиты представляют собой многообразную группу минералов, заключающую в себе большое число отдельных минеральных соединений.

В химическом отношении цеолиты являются алюмосиликатами и щелочных и отчасти щелочноземельных металлов, преимущественно натрия и кальция, при почти полном отсутствии калия и магния.

Весьма характерной особенностью для цеолитов является наличие особой, так называемой цеолитной воды. Эта вода весьма тесно связана с молекулой самого соединения и оказывает заметное влияние на многие физические свойства его, особенно оптические.

При осторожном нагревании цеолита можно вызвать постепенное удаление воды, причем во время этого процесса не происходит разрушения конституции вещества, наблюдается лишь изменение некоторых оптических констант (показателя преломления и др.). Обезвоженный цеолит в дальнейшем снова воспринимает воду до своего нормального состояния, вместе с этим возвращаются и все его первоначальные свойства.

На такую своеобразную подвижность воды было еще давно обращено внимание, по этой причине ей и было присвоено специальное название «воды цеолитной» — количество воды в данном случае явилось переменной величиной.

Другой замечательной особенностью цеолитов является присущая им способность при обезвоживании поглощать многие посторонние тела, как, например, аммиак, сернистый углерод и пр. При этом и здесь процесс поглощения протекает без нарушения общей конституции вещества.

На данную особенность цеолитов также было обращено внимание исследователей и повело к использованию их в качестве адсорбцион-

ных веществ (поглотителей и очистителей) при многих технических процессах.

Главнейшие виды цеолитов, их химический состав и кристаллографическое строение.

1. Натролит  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Сингония ромбическая или моноклинная (рис. 144).

2. Анальцит  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Сингония кубическая (рис. 145).

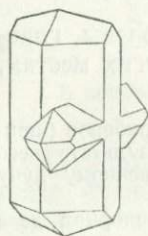


Рис. 144.



Рис. 145.



Рис. 146.



Рис. 147.

3. Шабазит  $[p(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} + p'(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Сингония псевдогексагональная.

4. Десмин  $(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Сингония моноклинная (рис. 146).

5. Гейландит  $(\text{Ca}, \text{Sr})\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Сингония моноклинная (рис. 147).

6. Сколецит  $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Сингония моноклинная.

7. Филлипсит  $[p(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} + p'(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Сингония моноклинная (рис. 148).

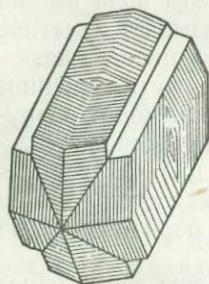


Рис. 148.

Название всей группы «цеолитами» происходит от греческого «Zeo» — «вскипать» и «lithos» — «камень», что значит «вскипающие камни». Это название укоренилось за ними вследствие вспучивания при нагревании в пламени паяльной трубки.

Физические свойства цеолитов неодинаковы в зависимости от разновидностей. Коэффициент твердости и удельный вес близки почти в отношении всех представителей. Твердость 4,5,—5,5; удельный вес 2,1—2,5.

Происхождение. Главнейшими путями образования цеолитов являются водные растворы — как глубинные горячие, так и поверхностные холодные. В связи с водными растворами цеолиты в большом количестве образуются при вулканических извержениях, выделяясь при этом в пустотах лав и различных вулканических породах (миндалины вулканических пород).

Другим типом генезиса цеолитов является образование их в процессах химического выветривания различных силикатов, например по-

левых шпатов, нефелина и других. При этих процессах нередко выделяется большое количество анальцима и других.

Поверхностное образование цеолитов очень часто связывают с почвами, вследствие чего процессы цеолитизации имеют важное значение в почвообразовании.

Применение в качестве адсорбционных материалов имеют только искусственно получаемые цеолиты.

**Слюды.** Общие замечания. Слюды образуют большую группу минеральных тел, весьма широко распространенную в земной коре. Они являются обычными породообразующими минералами и известны человеку со времен глубокой древности.

В древней Руси слюду знали хорошо и употребляли в виде «слюдяной оконницы» вместо стекол. Между тем как в древней литературе у римлян и греков, так и в литературе до конца XVII в. сведений о слюде не имеется.

Многие исследователи полагают, что Западная Европа получила первые сведения о слюде лишь около XVII в. от путешественников, побывавших в России, где этот минерал добывался во множестве, преимущественно в Карелии.

В те времена слюду именовали «русским стеклом», это название было весьма распространено и держалось до XVIII в. Французы называли слюду «verre de Moscovie de Russie», англичане — «moscovy glas», немцы — «russisches sibirisches Glas», в ученых трактатах писались: «Vitrum moscoviticum, rhutenicum, rossicum, sibiricum». В связи с этим, как полагают, произошло общеизвестное название одной из разновидностей слюды «мусковит» — от «Musca» — «Москва».

Слюды являются весьма характерными по многим своим физическим свойствам. Внешний вид слюд резко отличен от ряда других минеральных тел. Всем слюдам присуща весьма совершенная спайность, слюду можно легко делить на тонкие, гибкие и упругие пластинки.

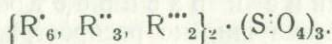
Химический состав слюд весьма сложен и не всегда постоянен. На основании ряда анализов химический состав слюд в главной части можно представить из следующих окислов:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	28—55%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5—37%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO . . . . .	0—38%
MgO . . . . .	0—30%
(K,Na) <sub>2</sub> O . . . . .	0—19%
H <sub>2</sub> O . . . . .	0—24%

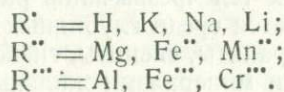
Вместе с тем в слюдах нередко присутствует фтор F, иногда марганец Mn и хром Cr. Всестороннее изучение слюд показало участие в составе некоторых из них еще следующих элементов:

- I. Li (литий), Rb (рубидий), Cs (цезий), Tl (таллий)
- II. Ba (барий), Sr (стронций), Ca (кальций)
- III. V (ванадий), B (бор), Ga (галлий)
- IV. Ti (титан), Zr (цирконий), Sn (олово)
- V. In (индий)
- VI. Cl (хлор)

На основании данных химического изучения слюд схему химического состава их можно представить в следующем виде:



При этом:



**Классификация и главные представители слюд.** В связи с химическим составом и на основании некоторых внешних признаков слюды делят на две большие группы:

I. Светлые слюды, представителями которых являются:

1. Мусковит, химический состав  $\text{KH}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3$ .

2. Парагонит, химический состав  $(\text{Na}, \text{K})\text{H}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3$ .

3. Лепидолит, литиевая слюда, содержащая фтор, красноватофиолетового цвета.

4. Цинвальдит, литиевая слюда, содержащая фтор и железо, сталь-носерого цвета.

II. Темные слюды.

1. Биотит, химический состав  $(\text{K}, \text{H})_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2(\text{SiO}_4)_3$ .

2. Флогопит, химический состав — магниевая слюда, содержащая фтор.

3. Лепидомелан, химический состав — железистая слюда, мелкочешуйчатого сложения.

**Структура и сложение.** Все слюды кристаллизуются в моноклинной сингонии. Отдельные кристаллы их достигают различных размеров и у различных представителей варьируют в широких пределах. Для мусковита, например, известны кристаллы, доходящие до 16 кг весом и больше. Флогопит также очень часто встречается в крупных кристаллах; знаменитые его месторождения сосредоточены в Прибайкалье, по реке Слюдянке, откуда добываются большие количества его.

Другие разновидности слюды почти никогда не встречаются в крупных обра-

зованиях, а представляют мелкочешуйчатые формы, например, лепидолит и др.

Кристаллы слюды, как было отмечено, обладают весьма совершенной спайностью в одном направлении, благодаря чему слюду всегда легко можно узнать.

Многие слюды были исследованы также и рентгеноскопически.

Физические свойства слюд неодинаковы у всех видов. Близкими и более или менее постоянными константами являются:

Твердость	2—3
Удельный вес	2,7—3,2
Блеск	Стекланный, в некоторых случаях матовый и металловидный
Температура плавления	От 1150 до 1400°

**Происхождение и распространенность.** Различные виды слюд весьма широко распространены в земной коре. Генезис этих минеральных тел чрезвычайно разнообразен. Большое количество слюды выделяется среди глубинных магматических и метаморфических пород — граниты, сиениты, гнейсы и пр. Многие виды слюд являются типичными минералами жильных образований, пре-

имущественно пегматитовых и пневматолитических, где они находятся в тесной связи с кварцем, полевыми шпатами, нефелином и многими другими минералами. Во всех этих месторождениях слюда образуется в результате процессов дифференциации магм при условиях высоких температур и давления.

Наряду с такими месторождениями много слюды, особенно мусковита, выделяется на контактах, а также в самых верхних участках земной коры. В огромных количествах, в виде тонких листочков, слюда наблюдается здесь в разнообразных осадочных породах: песках, песчаниках, опоках и пр. В этих породах слюда, особенно мусковит, остается в качестве неразрушившейся от магматических пород, или, может быть, образуется на месте путем выпадения из водных растворов. В земной коре существуют еще такие места, где слюда в качестве вторичной образуется в большом количестве в метаморфических областях. Выделение ее здесь происходит за счет изменения некоторых алюмосиликатов, главным образом, полевых шпатов и глин. Слюда образуется при этом в виде особой разновидности, называемой с е р и ц и т о м (по составу близок к мусковиту). Таким образом в природе образуются нередко мощные скопления серицитовых и других слюdistых сланцев.

Месторождения слюды в СССР известны во многих местностях. Большие количества ее сосредоточены в Карелии, Сибирском крае, например на южном берегу оз. Байкал, близ ст. Слюдянка, а также в области Мамских месторождений; на Урале (Ильменские горы), близ Миасса, в районе Мурзинки и Алабашки в Свердловском округе; на Алтае; в УССР и многих других местах.

**Изменения слюды.** На земной поверхности слюды претерпевают изменения. Некоторые слюды, например мусковит, являются относительно устойчивыми и сохраняются на земной поверхности в течение длительного времени. Другие виды слюд мало устойчивы и не противостоят процессам выветривания, переходят в разнообразные вторичные продукты.

Процессы изменения слюд в главных фазах можно представить в следующем виде:

Светлые слюды → гидрослюды → цеолиты → глины.

Темные слюды → гидрослюды → цеолиты → глины и хлориты.

**Применение.** Из всех видов слюды промышленное значение имеют мусковит и флогопит, которые применяются в виде листовой, шипаной и молотой. Наибольшее применение слюда находит в электротехнике в качестве превосходного изолятора. Кроме того, слюда используется широко еще в качестве огнестойкого и огнеупорного материала для разнообразных печей, осветительных и нагревательных приборов, а также в молотом виде — для производства различных огнеупорных изделий. В настоящее время слюда используется также в ряде других технических производств.

Литиевые слюды, например лепидолит, являются основными материалами для получения солей лития. Лепидолит представляет собой одну из руд на этот элемент. В виде солей литий находит сейчас большое применение в медицине и стекольной промышленности, в производстве, главным образом, белых и опаловых стекол, а также эмалей. Металлический литий в настоящее время находит широкое применение в изготовлении новых алюминиевых сплавов.

**Хлориты. Химический состав.** В основной своей части хлориты представляют водные алюмосиликаты магния, где часть магния изоморфно замещена закисным железом.

Название «хлорит» происходит от греческого слова «хлорос», что значит «зеленый», так как большая часть относящихся сюда соединений окрашена в зеленый цвет.

Хлориты образуются в земной коре, преимущественно в связи с процессами изменения магнезиально-железистых силикатов, как, например, темных слюд, роговых обманок, авгитов и пр.

Процессы хлоритизации широко протекают в земной коре и касаются многих метаморфических областей, в результате чего образуются разнообразные хлоритизированные породы — хлоритовые сланцы и пр., а также и другие минеральные тела.

Многие из этих минеральных тел представляют собой вещества весьма сложные и еще неизученные в достаточной мере.

**Группа серпентина.** Общ и е з а м е ч а н и я. Группа серпентина объединяет в себе ряд минеральных тел, разнообразных по своим морфологическим особенностям, а в химическом отношении представляющих водные магнезиальные силикаты. Минералы этой группы весьма широко распространены в земной коре и во многих местах на больших площадях.

Серпентин и его разновидности во многих участках земной коры образованы мощными скоплениями в форме отдельных агрегатов, так называемых серпентиновых или змеевиковых пород.

В качестве главнейших представителей минералов серпентиновой группы можно отметить.

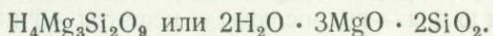
1. С е р п е н т и н (в собственном смысле слова), характеризующийся спутанно-волокнистым сложением и встречающийся большей частью в плотных сплошных массах.

2. Х р и з о т и л - а с б е с т, имеющий ясно выраженное волокнистое строение.

3. А н т и г о р и т, отличающийся пластинчатым, чешуйчатым развитием своих неделимых.

Наряду с отмеченными представителями существуют еще виды, представляющие разнообразные переходные формы. Многие из этих веществ не вполне изучены.

**Серпентин.** Химический состав:



Однако, на основании последних данных, химический состав серпентина не всегда отвечает вышеприведенной формуле. Часто наблюдается другое содержание воды; состав его подвержен некоторым колебаниям также и по отношению кремния с магнием.

Кроме того, в серпентинах присутствуют еще и другие элементы в качестве изоморфных примесей; так, например, на основании ряда исследований констатировано наличие в некоторых разновидностях FeO, MnO, ZnO, NiO, которые изоморфно замещают MgO. Точно так же иногда присутствует Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и даже Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, очевидно, образуя при этом переходную группу к хлоритам.

Ст р у к т у р а серпентина и его разновидностей также не постоянна. В настоящее время известны модификации, относящиеся к ромбической и моноклинной сингониям. Кроме того, известны случаи коллоидального строения. Рентгенометрически серпентин (а также

и одна из его модификаций — асбест) изучены Варреном и Брэггом.

Хорошо образованные кристаллы серпентина чрезвычайно редки, обыкновенно все эти соединения образуются в скрытокристаллическом состоянии.

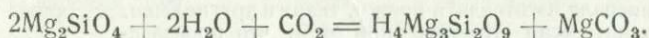
#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2,5—3
Удельный вес	2,3—2,7
Блеск	Большой частью жирный
Цвет	Зеленый с различными оттенками, зависящими, главным образом, от примесей

Название «серпентин» означает «змеиновидный», отсюда также название «змеевик» и «офит», так называемый «благородный серпентин», обладающий плотным сложением и имеющий оливковозеленый цвет. Греческое выражение «офит» значит «змея». Все эти выражения были применены к минералу лишь потому, что поверхности кусков его, особенно отполированных, по рисунку имеют некоторое сходство со змеиной кожей.

Происхождение в земной коре связано преимущественно с метаморфическими процессами, когда под влиянием горячих глубинных водных растворов, преимущественно углекислых, подвергаются процессам серпентинизации, главным образом, оливиновые породы. Частично подобный процесс имеет место и в поверхностных частях земли, где образование серпентина идет за счет химического выветривания оливина и других магнезиальных силикатов.

Схема процесса серпентинизации может быть выражена следующим уравнением:



Серпентин и змеевиковые породы в СССР сосредоточены в большом количестве на Урале (особенно восточный склон) около ст. Баженово.

Применение — как художественный поделочный камень. В некоторых случаях используется как огнеупорный материал.

Асбест. Как было уже отмечено, асбест представляет одну из модификаций серпентина. Однако, в более широком смысле слова, под асбестом понимают довольно большую группу минеральных тел, несколько отличающихся друг от друга и по химическому составу и по физическим свойствам, но объединяемых в одно семейство присущей всем им способностью принимать волокнистое сложение, то, что называют асбестовидным сложением.

В связи с этим различают: 1) хризотилы, являющиеся волокнистой разновидностью серпентина, и 2) роговообманковые, к которым относятся такие, как крокидолит, амазит, тремолит, антофиллит, актинолит и пр.

В промышленном отношении далеко не все вышеуказанные типы асбеста имеют одинаковое значение. Достоинство его определяется прежде всего физико-химическими свойствами волокна, как-то: прочностью, гибкостью, тонкостью и длиной волокна, степенью тепло- и электропроводности, кислотоупорностью, температурой плавления и пр.

На основании всех вышеуказанных качеств современная асбестовая промышленность ставит на первом месте хризотил-асбест как полезное ископаемое, удовлетворяющее всем хозяйственно-техническим требованиям. Второе место занимает крокидолит, а затем уже идут остальные виды, как имеющие относительно небольшое техническое значение.

Асбест как минеральное ископаемое известен со времен глубокой древности. Еще во времена Моисея, за 1300 лет до нашей эры, у иудейских левитов упоминается о некоем ископаемом, из которого древние цари и вельможи выделяли «неж-

ные каменные ткани» — «linum byssinum». В связи с этим ему впоследствии было присвоено название «горный лен». Само же название «асбест» произошло от двух

греческих слов: «а», обозначающее отрицание «не» и глагола «bennymi», «угасаю» или «изменяю», что означает «неугасимый», или «неизменяемый», (от огня) <sup>1</sup>.

Вместе с тем интересные сведения об асбесте мы находим еще у Плиния, жившего в I в. начала нашей эры. Наряду с описанием драгоценных камней и гемм Плиний упоминает о

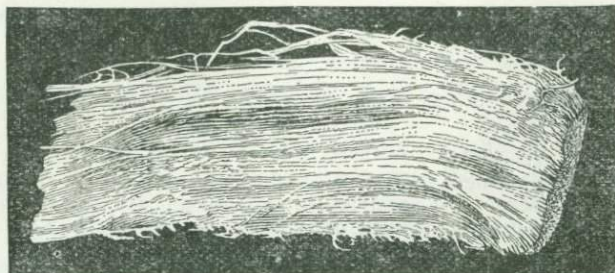


Рис. 150. Кусковой асбест.

камне «бострихитес», в переводе с греческого «bostrichites» или «завитой», вследствие сходства с женскими локонами.

Кроме того, в сочинении Плиния в одном месте, там, где он останавливается на описании тканей, говорится: «уже найдена ткань, которая не уничтожается огнем... зовут ее живой... у греков она называется также асбестовой и получается из произведений природы».

Наряду с изложенными данными можно было бы привести еще множество других исторических сведений, касающихся этого минерала. Между прочим, в истории асбеста остаются совершенно открытыми вопросы, освещающие искусство и технику производства тех или иных асбестовых изделий у древних. В настоящее время нам лишь известно, что древние располагали этими способами и умели из этого минерала изготовлять пряжу, ткани и другие вещи.

Весьма интересно отметить при этом, что производство асбестовых изделий по разным странам в дальнейшем пошло с большим успехом и приняло разнообразный характер.

Особое искусство в этом направлении в начале XIX в. было достигнуто итальянкой из города Комо Еленой Перпенти, которая из асбеста приготовила тончайшие кружева, а затем ряд других принадлежностей: ленты, пояса, шурки, салфетки, манжеты, кошельки и даже бумагу, которая оказалась годной для письма.

Заслуга Перпенти оказалась, таким образом, на большой высоте, она дала толчок к развитию асбестовой промышленности для всей Италии.

В настоящее время асбест играет колоссальную роль в различных отраслях промышленности и жизни. В таком коротком очерке не представляется возможным перечислить все те производства и пути, по которым идет использование этого вещества. Из главнейших сторон его применения можно остановиться на следующих:

1. Асбестовые текстильные изделия занимают особенно важное место в ряду других производств. Асбестовая пряжа, асбестовый шнур имеют большое значение в машиностроении и других отраслях техники. Асбестовая ткань идет в большом количестве на фабрикации паровых набивок и прокладок, широко используется в электротехнике, пожарном деле и пр.



Рис. 151. Асбестовая пряжа клубками.



Рис. 152. Асбестовая ткань чистая.

<sup>1</sup> Выражение «неугасимый» не следует понимать в буквальном смысле. В данном случае это слово имеет отношение к асбесту потому, что, кроме тканей, его в древние времена применяли еще в качестве светильней для так называемых «неугасимых лампад» храмов.

2. Асбестовые листовые материалы представляют обширнейший ряд технических фабрикатов, употребляющихся в машиностроении и в качестве материалов для обшивки стен помещений, кровли и других строительных надобностей.

3. Асбестовый войлок, главным образом, как термоизоляционный материал, а также материал для кровельных работ.

4. Асбестовые цементы представляют собой вещества, употребляемые в качестве вяжущих веществ разного состава и свойств.

5. Асбестовые краски как материалы стойкие против огня, едких паров и газов, атмосферных агентов находят широкое применение в различных сооружениях.

Кроме перечисленного, в настоящее время известно множество других разнообразных продуктов, изготовляемых из асбеста и находящихся самое разнообразное применение.

Месторождения асбеста в СССР известны в разных местах, многие из месторождений находятся еще в стадии разведки и предварительного изучения.

Видным и крупным месторождением хризотил-асбеста, открытым еще в 1886 г., является Баженовский район на Урале, расположенный в 85 км к северо-востоку от г. Свердловска, близ станции Баженово по Пермской железной дороге.

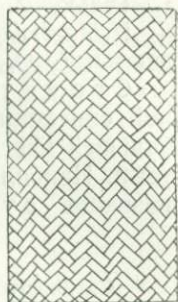


Рис. 153. Асбестовая диагональная тесьма.

Асбест приурочен здесь к серпентиновым змеевиковым породам и в главней-

ших своих скоплениях находится на участках: Пролетарском, Октябрьском, Ильинском и Трудовой отдых. В пределах этих четырех пунктов известно свыше 20 отдельных промышленно-ценных месторождений его.

За весь период разработки (с 1886 по 1933 г.) Баженовское месторождение дало около 510 тысяч тонн сортированного асбеста, а с 1928 по 1933 г., т. е. за 5 лет, 245 тысяч тонн.



Рис. 154. Асбестовые изоляционные шланги, применяемые для изоляции паровых труб.

Кроме Баженовского месторождения, асбест известен также и в других местах Урала, например Красноуральское месторождение, в 15 км от станции Анатольской Горнозаводской железной дороги, Алапаевское, в 25 км к юго-западу от г. Алапаевска, Режевское, в 8 км от г. Режевский завод и др.

Точно так же асбест известен на Северном Кавказе — Лабинское месторождение — и в верховьях



Рис. 155. Человек в асбестовом костюме.

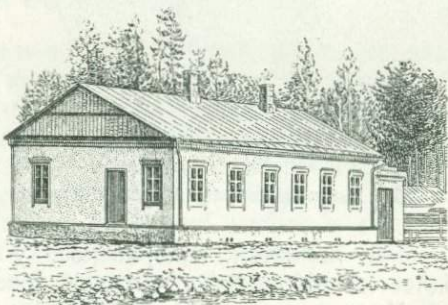


Рис. 156. Теплый дом на асбестовых уральских копиях, покрытый асбестовой штукатуркой.

р. Кубани — Карачаевское месторождение, в 90 км к югу от станции Ежово-Черкесск Ворошиловской железной дороги, и многих других местностях.

Из месторождений вне СССР крупнейшими являются месторождения Квебека в Канаде.

**Тальк.** Химический состав:

$H_2Mg_3Si_4O_{12}$  или  $H_2O \cdot 3MgO \cdot 4SiO_2$ . В качестве примесей наблюдаются  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $FeO$ , иногда  $NiO$ .

Структура кристаллическая, кристаллизуется в моноклинной сингонии. В отдельных кристаллах встречается весьма редко, большей частью представлен пластинчатыми и листоватыми агрегатами. Наиболее плотные и нелистоватые разновидности талька носят название стеатита, или жировика.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Весьма совершенная в одном направлении
Твердость	1
Удельный вес	2,6—2,8
Блеск	Жирный, перламутровый
Цвет	Белый или окрашен в зеленоватые цвета (от $NiO$ )
Температура плавления чистого талька около $1200^\circ C$	
Жирен на ощупь	
Является весьма плохим проводником тепла и электричества	

**Происхождение и распространенность.** Тальк является типичным минералом метаморфических процессов, месторождения его почти всегда

связаны с метаморфическими породами. Так, например, различают тальково-хлоритовые породы, характеризующиеся присутствием хлорита, тальково-карбонатные породы, заключающие карбонаты магния ( $MgCO_3$ ), карбонаты кальция ( $CaCO_3$ ) и железа ( $FeCO_3$ ), тальково-сланцевые породы и пр.

Распространенность талька и тальковых пород весьма широка. Главнейшими месторождениями в СССР являются многие области Урала. Наиболее крупным



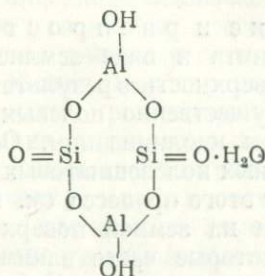
Рис. 157. Микрофотография каолинита.

и хорошо изученным месторождением является Шабровское, у дер. Шабры, в окрестностях Свердловска. Кроме того, тальк известен еще в Южном Урале, район Миасса и др. Ряд отдельных месторождений находится в Карелии и других местностях.

**Применение.** Использование талька в промышленности весьма разнообразно. Главное его применение в качестве огнеупорного и кислотоупорного материала. Кроме того, тальк в различных состояниях используется в бумажной промышленности, в красочной, толево-кровельной, резиновой, текстильной, косметической, фармацевтической, пищевой и многих других.

**Каолинит.** Химический состав:  $H_4Al_2Si_2O_9$  или  $2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ .

Химические испытания каолинита производились не раз многими исследователями. Акад. Вернадский В. И. предлагает рассматривать каолинит как алюмокремневую кислоту, характеризующуюся следующим строением:



При этом основное кольцо формулы:  $\text{Si} - \text{O} - \text{Al} - \text{O} - \text{Si} - \text{O} - \text{Al} - \text{O}$ . Вернадский называет каолиновым ядром и считает его весьма прочным и устойчивым в отношении различных химических реакций. Многие работы последнего времени действительно подтверждают взгляды Вернадского относительно трудной разрушимости каолинового ядра. Вопросы же, связанные со структурой и строением его, по крайней мере, на основании рентгенометрических исследований, не совсем согласуются с вышеприведенными данными. Все эти вопросы пока еще не полностью разрешены. Каолинит не всегда является чистым, многие разновидности его содержат примеси из числа различных химических веществ. В качестве главнейших из них можно указать на следующие:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  (двуокись титана) и др.<sup>1</sup>

Происхождение названия «каолинит», «каолин» связано с китайским выражением — «кау-линг», наименование одной горы в Китае, где добывался каолин («као» — «высокий» и «линг» — «холм»).

**Структура и сложение.** Чистый каолинит обладает ясно выраженной кристаллической структурой и относится к моноклинной сингонии. Кристаллы его обычно имеют пластинчатый вид с шестигранным ограничением — псевдогексагональный — и почти всегда чрезвычайно мелки. Очень часто каолинит встречается в природе в виде разнообразных агрегатов, имеющих землистое, рыхлое, чешуйчатое, тонкозернистое или плотное сложение и обычно обладающих скрытокристаллическим или аморфным — коллоидным — строением, как, например, каолин — белая фарфоровая глина, каменный мозг и некоторые другие.

<sup>1</sup> В связи с исследованием каолинита не раз обращалось внимание на характер воды, вследствие чего каолинит и разнообразные каолиновые глины подвергались многократным термическим испытаниям. В настоящее время имеется большое число кривых нагревания этих веществ, что можно почерпнуть из соответствующей литературы по этому вопросу.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Совершенная в одном направлении
Твердость	1 или иногда несколько выше
Удельный вес	2,4—2,6
Блеск	Матовый или для некоторых разновидностей перламутровый
Цвет	Белый или других оттенков — в зависимости от примесей

**Происхождение и распространенность.** Значительная часть каолинита в виде землистых масс — каолина — образуется на земной поверхности в результате процессов разрушения алюмосиликатов, преимущественно полевых шпатов. Эти процессы известны под названием каолинизации. Они протекают в связи с выветриванием различных полевошпатовых пород, гранитов, сиенитов, гнейсов и пр. Схему этого процесса см. на стр. 152.

Образование каолина на земной поверхности обычно приводит к образованию глин, которые часто занимают огромные площади пространства и представляют мощные скопления осадочных пород.

Наряду с поверхностными процессами каолин нередко образуется в земной коре также в глубинных областях. Процессы каолинизации в этих областях идут под влиянием горячих водных растворов, циркулирующих среди глубинных горизонтов земной коры. Эти растворы часто являются насыщенными угольной кислотой  $\text{CO}_2$  и разрушающе действуют на приходящие с ними в соприкосновение горные породы.

Месторождения каолина в СССР многочисленны. Лучшими являются Украинские — районы Киевский, Житомирский, Мариупольский; Уральские, например близ станции Чебаркуль Златоустовского района, а также ряд месторождений наблюдается в Сибири, близ Красноярска, Иркутска и в других районах.

Кроме каолина, в СССР известны также многочисленные месторождения глин. Глины в техническом отношении представляют весьма видные ископаемые и распределяются в этом отношении на разные виды и разновидности. Так, например, различают виды огнеупорных глин, имеющих огромное значение в различных отраслях промышленности <sup>1</sup>.

**Применение каолина.** Главным потребителем каолина является фарфоровая промышленность. Для приготовления фарфора и фаянса каолин должен обладать известными качествами, содержание в нем примесей допускается не более 1%, особенно вредной примесью для фарфора является  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Кроме фарфоро-фаянсовой промышленности, каолин используется еще как огнеупорный материал в химической промышленности, бумажно-текстильной и др.

О практическом значении глин см. в приведенной литературе.

#### ГРУППА СВОБОДНЫХ, ИЛИ САМОРОДНЫХ, ЭЛЕМЕНТОВ.

**Общие замечания.** В настоящее время в природе, среди различных областей земной коры, известно около 40 элементов, находящихся в свободном, или самородном, состоянии. Среди этих элементов известны как металлы, так и металлоиды. Некоторые из элементов находятся в почти чистом состоянии и являются химически

<sup>1</sup> По вопросам о глинах существует огромная литература, из наиболее крупных работ см. Райс Г., Глины, их залегание, свойства и применение, 1932; Землятченский П. А., Глины СССР, 1935.

однородными, многие же представляют собой смеси с другими элементами и в химическом отношении не являются однородными веществами. Такие смеси часто бывают сложными и некоторые из них не вполне еще изучены.

Самородные элементы, встречающиеся в природе, наблюдаются в различных физических состояниях. Большинство элементов, конечно, представлено в твердом виде, но не исключается возможность нахождения некоторых из них и в жидком состоянии (самородная ртуть), а также и в газообразном, например газы атмосферы.

Не все элементы из 40 широко распространены в природе, многие из них и даже большинство представлены весьма незначительными количествами. Нахождение некоторых в свободном виде еще даже не вполне установлено и вызывает ряд сомнений.

В отношении приуроченности самородных элементов к тем или иным областям земной коры наблюдается чрезвычайное разнообразие. В зависимости от разных термодинамических условий, в которых протекает образование того или иного вещества, самородные элементы могут дать различные сочетания и группировки в виде отдельных минеральных тел. Часто в пределах одного и того же элемента наблюдается несколько модификаций, представляющих отдельные виды минеральных тел.

В виде примеров можно указать на следующие группы:

### I. Ряд минеральных тел группы железа и никеля.

1.  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и  $\delta$ - феррит (Fe). Отдельные модификации чистого железа, отличающиеся друг от друга структурными особенностями пространственной решетки и некоторыми физическими свойствами.

2. Камасит (Fe, Ni) представляет собой сплав (твердый раствор) железа и никеля.

3. Октибегит (Ni, Fe) — твердый раствор никеля и железа.

4. Тэнит ( $p\text{Fe, Ni} + q\text{Ni, Fe}$ ) представляет собой ряд тонкой физической смеси камасита и октибегита.

5. Аварунит (NiFe) — еще плохо изученная разность железа, представляющая, как полагают, определенное металлическое соединение 67,6% Ni и 31,0% Fe.

### II. Ряд минеральных тел группы серы.

1.  $\beta$ -сера кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы желтого цвета, представляет собой наиболее устойчивую модификацию для поверхностных горизонтов земной коры.

2.  $\alpha$ -сера кристаллизуется в моноклинной сингонии, светло-желтого цвета, образуется большей частью при вулканических извержениях в виде мелких кристаллов. С течением времени переходит в  $\beta$ -модификацию.

3. Аморфная и коллоидная сера, известная в природе в твердом состоянии и выделяющаяся часто в форме оолитов из различных горячих растворов, связанных с вулканическими областями. На земной поверхности переходит в  $\beta$ -серу.

4. Жидкая сера наблюдается обычно в небольших скоплениях в виде капель и небольших потоках, образующихся при вулканических извержениях.

5. Газообразная сера представляет собой струи и испарения, выделяющиеся во время вулканических извержений. Полагают, что некоторое количество газообразной серы может находиться в атмосфере в состоянии атомного рассеяния.

6. Волканит (S, Se), селенистая сера и теллуристая сера (S, Te) представляют собой еще плохо изученные разновидности.

Этим перечнем далеко еще не исчерпывается список отдельных минеральных модификаций серы, в настоящее время известны и другие виды ее, среди которых можно встретить ряд новых полиморфных разновидностей.

### III. Ряд минеральных тел группы самородного углерода.

**Семейство алмаза.** 1. Алмаз, чистый кристаллический углерод, кубической сингонии, образуется в условиях высокой температуры и высокого давления.

2. Борт, окрашенные разновидности алмаза, представляет, может быть, твердые растворы.

3. Карбонадо, разновидность, заслуживающая более тщательного химического исследования, как полагают, представляет собой тонкую физическую смесь алмаза с другими разновидностями углерода.

**Семейство графита и шунгита.** 4. Графит, полиморфная разновидность углерода, кристаллизующаяся в гексагональной сингонии.

5. Графитит, разновидность графита, представляющая собой тонкую смесь с аморфными частицами углерода или некоторыми органическими соединениями.

6. Шунгит, разновидность углерода, близкая по сложению и общему характеру к антрацитам — «антропоид», встречается в так называемых гуронских сланцах.

**Семейство природных углей**<sup>1</sup>. 7. Сюда относятся различные виды углей — бурый уголь, каменный уголь, антрацит, графитовый уголь (полуантрацит), природный кокс и некоторые другие.

Все эти вещества представляют разнообразные смеси углерода и углеродистых соединений. Многие из них являются дисперсными системами.

Из этих примеров с полной отчетливостью видно, как могут быть разнообразны группировки и отдельные полиморфные модификации среди самородных элементов, которые, таким образом, превращаются в целую большую группу минеральных тел. В настоящее время известно более 100 отдельных минеральных видов, относящихся к этой группе.

В настоящем очерке мы остановимся на описании лишь некоторых представителей из самородных элементов, распределив их, согласно принятой классификации, на следующие группы:

<sup>1</sup> Вещества, относящиеся к этой группе, скорее можно отнести к породам.

I. Самородное железо (Fe) и железоникель (Fe, Ni).

II. Группа платины, состоящая из следующих представителей:

1. Платина (Pt).
2. Иридий-платина (Pt, Ir).
3. Палладий (Pd).
4. Аллопалладий (Pd).
5. Осмий-иридий (Os, Ir, Pt, Ru, Rh, Fe).

III. Группа меди, куда входят:

1. Медь (Cu).
2. Золото (Au).
3. Серебро (Ag).
4. Электрум (Au, Ag).

IV. Самородная сера (S).

V. Самородный углерод (C).

**Железо и никелистое железо.** Общие замечания. Самородное железо и железо-никель по своему происхождению имеют двойкий характер:

1. Теллурическое железо — железо земного происхождения.
2. Метеорное железо — железо космического происхождения.

Оба состояния железа являются относительно редкими и промышленного значения не имеют.

**Химический состав.** В химическом отношении самородное железо не является однородным и постоянным. Как было уже отмечено, к этой группе относится довольно большое количество отдельных минеральных тел, характеризующихся разным химическим составом. В настоящее время известно довольно большое количество элементов, входящих в состав минералов группы самородного железа. Из наиболее часто встречающихся можно указать на следующие: никель (Ni), кобальт (Co), марганец (Mn), медь (Cu), углерод (C), сера (S), фосфор (P), платина (Pt), мышьяк (As) и пр. Разнообразные сочетания этих элементов в виде отдельных соединений, или тонких смесей, включительно до изоморфных, приводят к образованию ряда минеральных тел, о которых частично было отмечено в предыдущем общем замечании.

**Структура.** Все известные до сих пор модификации железа и никелистого железа кристаллизуются в кубической сингонии. Внешний облик кристаллов не для всех разновидностей еще установлен, так как в естественных крупных кристаллах железо почти никогда не наблюдалось. Обычно самородное железо и никель встречаются в сплошных скрытокристаллических массах или образуются в природе в виде отдельных чешуек, пластинок, а также бесформенной пыли.

На основании работ Брегга и других для некоторых разновидностей железа сейчас известны рентгенограммы и с достаточной определенностью установлено пространственное расположение атомов в кристаллической решетке. Так, например, для  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\delta$ -железа атомная сетка отвечает центрированному кубу (рис. 71, b), тогда как для  $\gamma$ -железа — кубу с центрированными гранями (рис. 71, c). В связи с неодинаковыми структурными особенностями кристаллических решеток

физические свойства у различных модификаций железа также неодинаковы, например степень магнитности и др.

Конспект общих физических свойств самородного железа приводится в нижеследующей таблице:

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Совершенная
Твердость	4—5
Удельный вес	7—8
Излом	Крючковатый
Блеск	Металлический
Цвет	Железнодорожный до стальносерого
Особые признаки	Ковко. Сильно магнитно

Теллурическое железо. Одним из известных месторождений теллурического железа является О в и ф а к на о. Д и

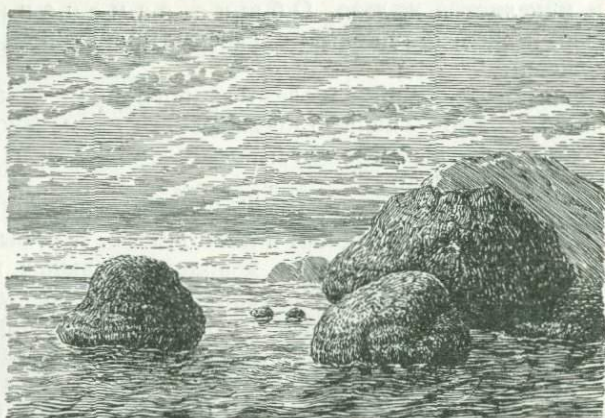


Рис. 158.

ско, в западной Гренландии. Место нахождения здесь железа было обнаружено шведским путешественником Н о р д е н ш е л ь д о м в 1870 г. В виде отдельных глыб оно включено в базальт и залегает на самом берегу острова (рис. 158). На большом пространстве вокруг, в самой породе, впоследствии был также найден обильный материал в виде блесков, зерен и отдельных железистых скоплений. Первоначально на возможность нахождения железа в Гренландии было указано еще в 1819 г. полярной экспедицией Р о с с а. Во время своего пребывания здесь членами экспедиции было обнаружено, что эскимосы Северной Гренландии готовят орудия и другие предметы из природного железа, но место залегания его до 1870 г. не было известно. Кроме того, раскопки древних гренландских могил также указали на употребление его эскимосами за длительное историческое время и, как полагают, это употребление удержалось вплоть до XIX в.

Кроме Гренландии, теллурическое железо встречено и в других местностях, но все эти месторождения весьма незначительны. В СССР

также не наблюдается крупных месторождений. У нас их немного и они незначительны.

Происхождение теллурического железа объясняют двумя путями: первое — вынос его магмой при эффузивном выделении базальта в непосредственно свободном состоянии;

второе — образование его в результате процессов восстановления углеродистыми битуминозными веществами при дифференциации магматического расплава.

Оба объяснения о происхождении теллурического железа вполне правдоподобны и возможно оба пути приводят к образованию его в земной коре.

**Метеорное железо — метеориты.** В химическом и минералогическом отношении метеориты представляют собой агрегаты различных соединений и отдельных минеральных тел, среди которых преобладающую роль играют вещества, состоящие из железа и никеля.

На основании состава и сложения метеориты обычно делят на железные, или железистые, и каменные, или хондриты.

К первой группе относятся такие, где главным минеральным веществом является никелистое железо с небольшой примесью кобальта (Co), марганца (Mn) и меди (Cu).

Полированная поверхность такого метеорита, подвергнутая вытравлению слабым раствором кислоты (например азотной), дает через некоторое время особые фигуры вытравления, называемые видманштеттовыми. Эти фигуры указывают на закономерное строение Fe (Ni), определяющееся правильным и ориентированным друг к другу расположением пластинок, неодинаково богатых никелем. Более разъеденные кислотой места состоят из так называемого камацита, содержащего 93% Fe и 7% Ni, менее растворившиеся от кислоты части и оставшиеся почти в неизменном состоянии представляют собой тэнит, с содержанием от 14 до 50% Ni.

Ко второй группе, к хондритам, относятся метеориты, весьма близкие по составу и строению ко многим изверженным горным породам земной коры, хотя во многих случаях и встречаются отдельные минеральные составные части, не наблюдаемые в земной обстановке. Эти минералы оказываются приуроченными специально к метеорным образованиям. Из них наиболее известными являются следующие:

**Шрейберзит** — фосфористые железо и никель с примесью кобальта.

**Ольдгамит** — сернистый кальций.

**Добрелит** — двойной сульфид железа и хрома.

**Муассанит** (карборунд) — углеродистый кремний.

**Когенит** — карбид железа и никеля и др.

Основной частью каменных метеоритов является также никелистое железо, которое здесь представлено не сплошной массой, а находится в тонком агрегатном смешении с другими минеральными веществами, среди которых обычны: оливин ( $(Mg, Fe)_2SiO_4$ ), пироксены ( $(Mg, Fe)SiO_3$ , плагиоклазы (известково-натровые полевые шпаты), хромит ( $FeO \cdot Cr_2O_3$ ), магнетит ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ ), пирротин и троилит (сернистое железо), тридимит ( $SiO_2$ ), графит и алмаз (в виде мельчайших зерен) и некоторые другие.

В пределах каждой из этих групп различают еще отдельные виды метеорных образований, в зависимости от сложения и структуры и от относительного содержания в них силикатных и несиликатных составных частей.

### Краткие исторические сведения о метеоритах.

В древние времена такие явления, как кометы, падающие звезды и метеоры, рассматривались как явления, свойственные нашей атмосфере, и объяснялись как воспламенение огненных паров; подобно этому объясняли и происхождение грозы.

Все эти явления и особенно падение метеоров приписывалось действию сверхъестественной божественной силы. Поэтому каждое появление метеора и падение небесных камней обычно окружалось почестями, а самые камни отправлялись в храмы и были предметом поклонения различных религиозных культов. По всей вероятности, к этой категории метеорных камней относится «Камень Сивиллы» у древних римлян и «Черный Камень» Каабы в Мекке. Только в Восточной Азии взгляды на эти явления имели более или менее научный характер. Здесь без всякого предубеждения велись постоянные наблюдения и записи над кометами и падающими звездами, что в дальнейшем дало ценный материал для последующих систематических наблюдений.



Рис. 159. Железный метеорит 25 000 кг весом, найденный в Гренландии (из работ Бруно Бюргель).

Однако в XVIII в. как в широких кругах, так и в науке стали критически относиться к мировоззрению древних. Основным поводом к этому явились новые течения естественно-исторического мышления и строго материалистического представления об окружающем мире. Вопрос о метеоритах и вообще об явлениях, связанных с падением «камней с неба», подвергся коренному пересмотру и жесткой критике, в результате чего укоренилось мнение о невозможности всех подобных явлений, послуживших источником целого ряда суеверий.

Отношение науки того времени к вопросу — падали ли когда-либо камни с неба и возможны ли вообще подобные явления — было крайне скептическое и даже пренебрежительное. Наиболее ярким противником существования метеоритов являлась Парижская Академия наук.

Но в конце XVIII в. начали раздаваться голоса о необходимости тщательного исследования этих явлений. Особенно в этом отношении большое значение имели взгляды физика Х л а д н и, который привел ряд соображений, доказывавших возможность появления метеоритов.

Неопределенность этого вопроса разрешилась неожиданным событием, которое произошло в самом начале XIX в. около Парижа, в небольшом местечке Л э г л ь.

Таким событием было чрезвычайно эффектное падение метеорита, сопровождавшееся сильным светом и громом, что заставило с этого момента Парижскую Академию наук — тогдашний центр скептицизма — изменить свое отношение к подобному вопросу.

С этого момента начинается период изучения метеоритов, и во всей полноте ставится ряд вопросов по исследованию этих космических тел.

Изучение метеоритов занимает в настоящее время видное место среди естественно-исторических дисциплин. Этими объектами начинают все больше и больше интересоваться, с каждым разом им начинают уделять все больше и больше внимания, чтобы разрешить ряд вопросов, связанных с изучением вселенной, а также с выяснением состава и строения глубинных частей нашей земли. Всестороннее изучение метеоритов раскрывает перед нами ряд интереснейших космических проблем и способствует выработке и укреплению строго научного мировоззрения.

Самым старым метеоритом, известным среди коллекционных собраний, считают метеорит, упавший при Энзигейме в Эльзасе 7 ноября 1492 г., в год открытия Америки. Существует мнение, что по распоряжению короля Максимилиана камень этот был замуравлен в стену одной церкви, и к этому же времени относится характерная надпись на нем:

«De hoc lapide multi multa, omnes oliquid, nemo satis»<sup>1</sup>.

Из русских метеоритов самым замечательным и крупным является так называемое Палласово железное. Этот метеорит был открыт акад. Палласом в 1749 г. на берегу р. Енисей, близ дер. Медведевой, недалеко от Красноярска, в Сибири. В 1775 г. перевезен в Академию наук, где хранится и в настоящее время. Вес этой метеоритной глыбы около 64 кг (около 4 пудов).

Падение метеоритов бывает не только в виде единичных, но случается, что они падают по несколько сразу и даже целыми массами (метеорный дождь).

Весьма эффективным астрономическим зрелищем такого массового метеорного потока было явление 9 февраля 1913 г., которое отмечено названием метеорная процессия. Во многих местах западного полушария в это время наблюдался поток движущихся метеоритов в виде огненных шаров.

Сперва этот поток был замечен в Западной Канаде, а затем и в других местах Америки. Поток этот двигался со скоростью около 16 км/сек по направлению к юго-востоку, почти параллельно земной поверхности, и наблюдался на протяжении более восьми тысяч километров. При приближении к экваториальным областям Атлантического океана, между Бразилией и Африкой, поток этот исчез из поля зрения наблюдателя. Полагают, что в этом месте произошло замедление в движении метеоритов, вследствие экваториальной выпуклости земли. При этом метеоры, входившие в более низкую часть потока, были захвачены землей, а расположенные в верхних слоях прошли экватор и в конце концов вышли из атмосферы земли.

Очень много вопросов возбуждают эти своеобразные и оригинальные явления. Метеорная процессия 1913 г. осталась во многом невыясненной.

В последующие годы наблюдались подобные явления и в других местах; все они в чрезвычайной мере интересны и заслуживают большого внимания.

Полагают, что многие метеорные потоки имеют непосредственную связь с кометами, и эта связь выясняется тем отчетливее, чем детальнее ставятся вопросы о самих кометах. Не имея возможности касаться подробно всех этих вопросов, остановимся еще кратко на некоторых случаях падения метеоритов, оставивших после себя частичные следы.

Одним из общеизвестных случаев в этом направлении является падение какого-то космического тела в 1908 г. в районе Подкаменной Тунгуски, в Сибири.

Этот случай рассматривают как столкновение земли с головой небольшой кометы. Есть указания, что случай этот совпал по времени с наибольшим приближением земли к орбите кометы Понса-Виннекс. Однако сама комета в это время была на противоположной стороне своей орбиты. Падение на землю метеорита явилось, как полагают, следствием дробления кометы на части. Нанесенный этим метеоритом удар земле оказался настолько сильным, что сопровождавшая его волна горячего воздуха чувствовалась на весьма большом расстоянии. Она опалила и разрушила кругом лес на площади во много квадратных километров<sup>2</sup>. Правда, само метеорное вещество еще до сих пор не обнаружено, и эта проблема находится пока еще в стадии разрешения.

В истории метеорного вопроса известны интереснейшие факты, к числу которых относится проблема величайшей впадины на земной поверхности в пустыне Аризон, в Северной Америке. Считают, что этот знаменитый кратер, имеющий в диаметре 1150 м, несомненно, метеорного происхождения.

Первое подробное описание этой местности было сделано еще в 1891 г. Футом, после чего появилась довольно обширная литература об этом вопросе. Исследования показали, что в окрестностях этого кратера сосредоточено много кусков метеорного железа, некоторые из них имели вес более 500 кг, а в пробуренной зоне кратерного дна, на глубине в 200 м, находили целые сплошные массы железа. В настоящее время оттуда собрано около 15 000 кг метеорного железа.

Наряду с приведенными случаями падения метеорных масс в виде отдельных кусков не раз наблюдалось еще выпадение на земную поверхность мельчайшей

<sup>1</sup> «Об этом камне (говорят) многие много, все кое-что, никто достоверно».

<sup>2</sup> Предварительные итоги метеоритных экспедиций 1921—1931 гг., Л. А. Кулик, Труды Ломоносовского института Академии наук, вып. 2, 1933.

пыли, которая, несомненно, в значительной части имела метеорное — космическое — происхождение. Такую космическую пыль на огромном пространстве в безлюдных местностях Гренландии, на снеге, впервые обнаружил Норденшельд в 1873 г. Отложения пыли по мощности имели от 0,1 до 1 мм. В этой пыли Норденшельд открыл частицы металлического железа, среди которых удалось доказать присутствие никеля, кобальта и фосфора.

Конечно, подобные образования можно лишь наблюдать на снежных и ледяных полях, под полюсами, в местах, удаленных от жилищ, людей и путей сообщения. Каждая частица железа, не связанная с деятельностью человека, сохраняется и различается здесь с легкостью.

Сам Норденшельд по этому поводу пишет: «Многим может показаться, что науке не приличествует заниматься столь пустячным делом, как выпадение незначительного количества вещества неизвестного происхождения, но подобный взгляд однакоже весьма ошибочен». Далее он отмечает: «Если на 1 м<sup>2</sup> приходится до 1 мг пыли, то для всей земной поверхности это составит 500 000 000 кг. Такая масса, накапливающаяся из года в год в течение весьма продолжительных геологических периодов, образует слишком важный фактор, чтобы пренебречь им при постановке главных оснований геологической истории нашей планеты»<sup>1</sup>.

**Платина.** Общие замечания. Самородное состояние платины является наиболее характерной и обычной формой нахождения этого элемента в земной коре.

**Химический состав.** В химически чистом виде платина встречается в природе редко. Обычно она связана с такими элементами, как осмий Os, палладий Pd, иридий Ir, родий Rh, а также с некоторыми другими. Все эти элементы находятся или в виде тонких механических примесей, или образуют с платиной ряд самостоятельных химических соединений.

На основании целого ряда химических анализов состав так называемой сырой платины можно представить в следующем виде:

Составные части	Из коренных месторождений	Из россыпей
Pt . . . . .	70,0 — 82,0	73,0 — 84,6
Fe . . . . .	14,0 — 16,6	2,5 — 16,6
Pd . . . . .	0,06 — 0,70	0,18 — 0,60
Ir, Rh . . . .	2,10 — 7,00	1,30 — 7,60
Os, Ir . . . .	0,50 — 4,20	0,80 — 2,60
Cu . . . . .	0,90 — 8,20	0,30 — 4,70
Ni . . . . .	0,08 — 0,00	0,10 — 1,05

К группе самородной платины относится большое количество отдельных минеральных тел, которые частично были приведены во вводной части к этому отделу. Многие из этих соединений еще не в достаточной мере изучены.

Название «платина» происходит от испанского слова «platina», что значит «сереброподобный». Это название укоренилось из-за серебристого вида платины.

**Структура и формы образования.** Кристаллизуется в кубической сингонии. В качестве главнейших форм обычно наблюдаются куб, октаэдр, ромбический додекаэдр и тетрагексаэдр.

<sup>1</sup> См. «Путешествие А. Э. Норденшельда вокруг Европы и Азии на пароходе «Вега» в 1878—1880 гг.» Перевод с шведского Барановского, 1881.

Отдельные кристаллы весьма редки, большей частью самородная платина встречается в сплошных массах (в отдельных самородках) в зернышках, чешуйках и других формах.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	4—5
Удельный вес	14—19
Блеск	Металлический
Цвет	Светлый, стальносерый
Температура плавления	1780°
В некоторых случаях обладает магнитными свойствами	

Распространение и главные месторождения. Встречается в природе весьма редко. Различают обычно два типа ее залегания в земной коре:

1. Коренные месторождения, приуроченные к глубинным ультраосновным и основным породам, преимущественно к дунитам, также к перидотитам и габбро. Часто при этом в виде спутника в этих породах обнаруживается присутствие хромита ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

2. Вторичные месторождения — россыпи, образующиеся в результате поверхностного разрушения коренных массивных месторождений. Различают россыпи элювиальные, образующиеся на месте выхода рудного месторождения на земной поверхности при его процессах разрушения вследствие выветривания, и аллювиальные — речные, русловые, залегающие в стороне от первоначального рудного месторождения.

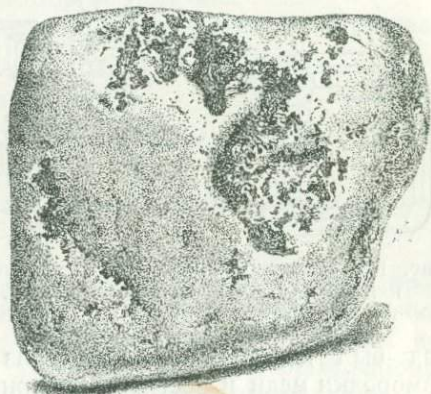


Рис. 160.

В россыпях нередко обнаруживают отдельные самородки платины, достигающие иногда большого веса. Самый крупный из известных самородков был найден в 1843 г. на Урале, в Сырковом логу, на Соловьевой горе, в Нижнем Тагиле. Вес его около 10 кг. Второй самородок найден был в 1904 г. тоже на Урале, на берегу р. Иса, в Бисерском районе, около 8 кг весом (рис. 160).

В большинстве случаев в россыпях платина представлена в виде мелких окатанных зерен и обычно чем дальше россыпь от давшего ее коренного месторождения, тем мельче и незначительнее отдельные частицы ее.

Главнейшие месторождения платины в СССР, имеющие мировое значение, сосредоточены на Урале в различных областях. Кроме Урала, известные месторождения ее во многих местностях Сибири, здесь она приурочена, главным образом, к россыпным месторождениям золота.

Из месторождений вне СССР крупнейшими являются месторождения в Южной Африке, в Капской колонии и Южной Америке (Колумбия).

**Применение.** В настоящее время платина широко используется как материал для изготовления ценнейшей химической посуды (первый платиновый тигель был изготовлен во Франции в 1874 г.). Кроме того, платина употребляется в производстве многих лабораторных приборов, эталонов (в смеси с иридием), термоэлементов и пр. Употребляется также в зубоврачебной практике, как ювелирный материал и в производстве некоторых химических реактивов.

**Медь. Химический состав.** В химическом отношении нередко является весьма чистой и почти целиком отвечает составу  $Cu$ .

В ряде случаев содержит примеси других металлов, как, например, серебра  $Ag$ , железа  $Fe$ , а иногда и золота  $Au$ .

**Структура** кристаллическая, кристаллизуется в кубической сингонии в различных формах. На основании рентгенометрических исследований установлено, что кристаллическая ячейка представляет собой куб с центрированными гранями. Правильные кристаллы обычно встречаются редко, большей частью медь образуется в искаженных формах. Очень характерны для самородной меди дендритовые образования, а также листоватые сплошные массы. В природе отдельные образования меди достигают иногда огромных размеров. Так, например, в Минералогическом музее Геологоразведочного института в Москве хранится глыба самородной меди около 0,5 т весом. Этот исключительный экземпляр еще много лет назад был доставлен в Москву из Казахской степи. Крупнейшие самородки меди известны в Северной Америке — в районе Верхнего озера; здесь наблюдались глыбы самородной меди до 1000 т весом.

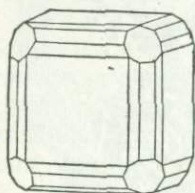


Рис. 161. Самородная медь.

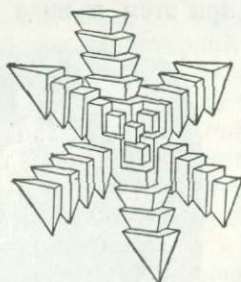


Рис. 162. Дендриты самородной меди.

Очень характерны для самородной меди дендритовые образования, а также листоватые сплошные массы. В природе отдельные образования меди достигают иногда огромных размеров. Так, например, в Минералогическом музее Геологоразведочного института в Москве хранится глыба самородной меди около 0,5 т весом. Этот исключительный экземпляр еще много лет назад

был доставлен в Москву из Казахской степи. Крупнейшие самородки меди известны в Северной Америке — в районе Верхнего озера; здесь наблюдались глыбы самородной меди до 1000 т весом.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2—3
Удельный вес	8,9
Блеск	Металлический
Цвет	Меднокрасный
Температура плавления	1080—1398°
Обладает высокой электропроводностью	

**Происхождение** меди связано с различными процессами. Некоторое количество ее образуется непосредственно из магмы, но в большом количестве обычно выделяется из горячих водных растворов, являющихся следствием остывания магмы. Нередко самородная медь наблюдается и среди осадочных пород, являясь продуктом различных восстановительных реакций некоторых ее соединений с органическими веществами. Подобные образования меди издавна известны среди осадочных отложений пермского периода.

Основными спутниками меди являются малахит, азурит, куприт и другие. Все эти вещества представляют собой вторичные продукты и образуются в процессе поверхностного изменения самородной меди.

Месторождения в СССР известны на Урале и в области Казахской степи. Вне СССР знаменитые месторождения самородной меди сосредоточены в районе Верхнего озера в США.

**Серебро.** Химический состав самородного серебра не всегда является постоянным, во многих случаях в качестве примесей наблюдаются: золото Au, медь Cu, свинец Pb, ртуть Hg, а иногда загрязнено небольшими количествами сурьмы Sb, мышьяка As и висмута Bi.

Все эти примеси теснейшим образом связаны с условиями образования самородного серебра и представляют весьма большой интерес в промышленном отношении.

Структура кристаллическая, кубической сингонии. В хорошо образованных кристаллах встречается редко, большей частью наблюдается в природе в виде дендритов, в пластинчатых и волосовидных формах и пр. В некоторых случаях серебро встречается в отдельных сплошных крупных образованиях.

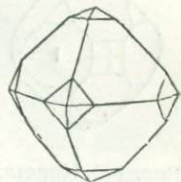


Рис. 163. Самородное серебро.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2—3
Удельный вес	10—11
Блеск	Металлический
Цвет	Серебрянобелый, часто с черным или серым налетом

Месторождения в СССР незначительны и большого промышленного значения не имеют. В качестве отдельных пунктов можно отметить Медвежий остров на Белом море, некоторые районы Урала, Нерчинский округ и Алтай.

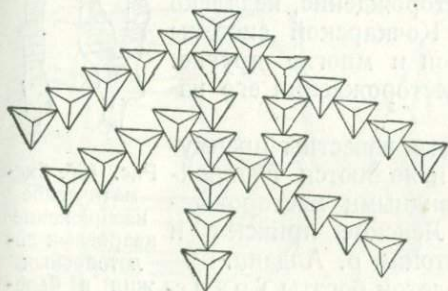


Рис. 164. Дендриты самородного серебра.

**Золото.** Химический состав почти никогда не отвечает чистому элементу. Самородное золото всегда заключает в себе некоторые примеси других элементов, из которых наиболее встречающимися являются серебро Ag (если Ag содержится в золоте от 25 до 75%, то такая

разновидность золота называется электрум), медь Cu, железо Fe, в некоторых случаях палладий Pd, иридий Ir, платина Pt и др.

Все эти элементы образуют с золотом ряд отдельных самостоятельных соединений, представляя собой ряд твердых растворов. Так, например, известны: медистое золото (Au, Cu), платинистое золото (Au, Pt, Ag), иридистое золото (Au, Ir, Pt) и пр. Многие из таких состояний еще не в достаточной мере хорошо изучены и представляют собой не вполне ясные формы.

Структура кристаллическая, кристаллизуется в кубической сингонии. Отдельные кристаллы являются редкими. Большой ча-

стью встречается в природе в виде неправильных зерен, чешуек, небольших листочков, проволочных форм, дендритов и так называемых примазок. Среди россыпей известны самородки, которые в некоторых случаях достигают крупных размеров. Одним из самых больших русских самородков, найденных среди россыпей в Миасском районе (Южный Урал), является самородок весом 35 628 г. Самородок хранится в настоящее время в музее Горного института (Ленинград).

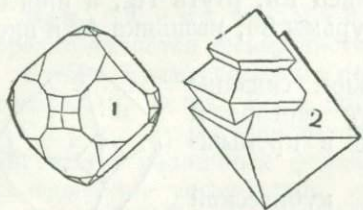


Рис. 165. Кристаллические формы самородного золота:

1. — из Березовского месторождения (Урал); 2. — из Сысертского района (Урал).

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2—3
Удельный вес	12—19,3
Блеск	Металлический
Цвет	Золотожелтый
Температура плавления чистого Au	равняется 1062°,4 С

#### Происхождение и главные месторождения.

Так же как и платина, золото приурочено к двум основным типам месторождений: к коренным и вторичным — в виде россыпей. Коренные месторождения большей частью связаны с кислыми породами, нежели с основными. Кроме того, большинство месторождений, имеющих промышленное значение, приурочено к кварцевым жилам, где золото выделилось из горячих водных растворов вместе с сульфидами различных металлов. Такие месторождения золота известны во многих частях земли и являются весьма существенными. В СССР главнейшие месторождения этого типа сосредоточены на Урале во многих местах: Березовское месторождение, недалеко от Свердловска, месторождения Кочкарской системы в Южном Урале, Миасский район и многие другие. Точно так же многочисленные месторождения его известны еще в Сибири.

Россыпные месторождения также известны преимущественно в Сибири и на Урале, и являются главнейшими по разработке. Особенно видными месторождениями из сибирских являются Ленские прииски и Алданские месторождения по притокам р. Алдана.

Из месторождений вне СССР золотом богаты Трансваальские месторождения в Южной Африке, Колорадо в США, Аляска и некоторые месторождения Австралии.

**Сера.** Химический состав. Самородная сера во многих случаях бывает почти чистой. Некоторые разновидности ее заключают примеси других элементов, в качестве которых наиболее обычными являются мышьяк As, теллур Te, и селен Se. Селенистую серу обыкновенно именуют **во л к а н и т о м**.

Нередко в природе можно встретить серу, загрязненную органическими веществами, главным образом, углеводородами, от присутствия которых сера принимает серую или даже черную окраску.

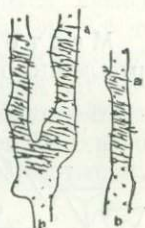


Рис. 166. Схематическое изображение кварцевых золотоносных жил в березите из Березовска, на Урале (по Беку): а — жилы кварца с золотом; б — жилы березита.

При химических анализах серы были обнаружены в ней и другие вещества, находящиеся в большинстве случаев в виде тонких механических примесей.

**Структура.** В настоящее время известно большое число отдельных модификаций серы, отличающихся друг от друга структурой и внутренним строением. Почти ни одна группа элементов не дает столь большого числа модификаций, как сера. Модификации серы отличаются между собой как в молекулярном отношении, в связи с числом входящих в молекулу атомов, так и в структурном, т. е. по расположению этих атомов в молекуле.

В последнее время на основании рентгеновского анализа удалось некоторые из этих модификаций с точностью установить и определить их основные формы образования.

В настоящее время известно свыше 20 отдельных разновидностей серы, при этом значительное большинство относится к твердым состояниям. Некоторые модификации серы наблюдаются в жидкой и газообразной фазах. Кроме того, известны еще особые формы коллоидной серы, представляющие собой эмульсии, образующиеся во многих сероводородных источниках и в некоторых водных бассейнах.

Некоторые из наиболее типичных разновидностей самородной серы отмечены в общем введении к этому отделу.

Наиболее устойчивой на земной поверхности разновидностью серы является так называемая ромбическая сера, кристаллизующаяся в ромбической сингонии. В эту форму с течением времени обычно переходят все другие виды ее. Ромбическая сера иначе называется  $\beta$ -серой и встречается в природе часто в превосходно

выраженных кристаллах. Отдельные кристаллы ее достигают нередко весьма крупных размеров и имеют вид правильно образованных многогранников (рис. 168). Кристаллы  $\beta$ -серы во многих случаях образуют жеоды, или конкреции, или, скапливаясь в больших массах, представляют формы зернистых скрытокристаллических агрегатов.



Рис. 167. Образование золотоносных россыпей.

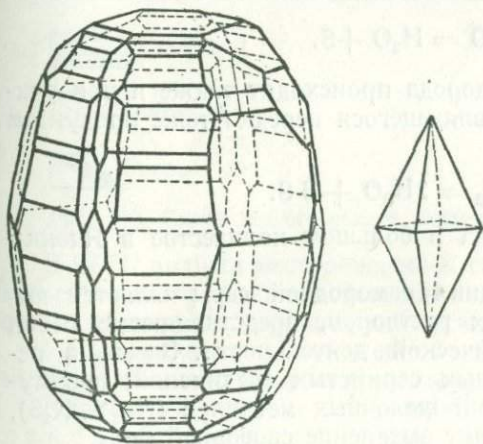


Рис. 168.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

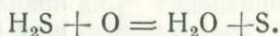
Спайность	Несовершенная
Твердость	1—2
Удельный вес	2
Излом	Раковистый
Блеск	Жирный
Цвет	Медовожелтый, соломенножелтый, бурый — в зависимости от примесей
Электропроводность	Весьма слабая
Температура плавления	Для $\beta$ -серы 112° С
От трения электризуется	отрицательно

От соприкосновения с пламенем сера загорается и сама горит синим пламенем, выделяя при этом удушливый резкий запах  $\text{SO}_2$ .

Растворяется легко в сероуглероде  $\text{CS}_2$ .

Происхождение и главные типы месторождений. Генезис самородной серы довольно многообразен. Основным полем ее распространения являются поверхностные горизонты земной коры; в глубинных частях литосферы сера обычно находится в форме разнообразных соединений, большей частью в виде сульфидов с металлами.

Большое количество серы часто образуется при вулканических извержениях, где она непосредственно возгоняется из паров и при охлаждении осаждается в твердом виде, заполняя стенки кратера или различные пустоты вулканических пород. В другом случае сера может выделиться из сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ ; пары его, образующиеся часто в большом количестве при извержениях, подвергаются на воздухе окислению, в результате чего освобождается сера как продукт реакции:



Процессы окисления сероводорода происходят также и при участии серного ангидрида  $\text{SO}_2$ , являющегося нередко тоже продуктом вулканической деятельности:



Вулканическая сера известна в большом количестве в Японии и отчасти на Камчатке.

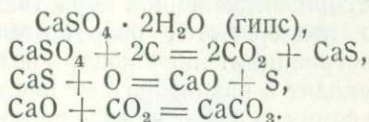
Вторым процессом образования самородной серы является выделение ее из горячих водных растворов, представляющих собой одну из поздних фаз вулканической деятельности. Здесь, в результате расщепления различных сернистых соединений, преимущественно сернистых соединений щелочных металлов ( $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ), а также сероводорода, происходит выделение свободной серы.

Подобные образования ее известны в отложениях гейзеров Исландии и Йеллоустонского парка Северной Америки.

Огромные количества серы образуются еще в зоне восстановления сульфатов, главным образом, гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Под влиянием различных органических веществ сернокислые соли металлов (кальция и некоторых других) подвергаются распаду, по причине отнятия кислорода углеродистыми веществами. Результатом таких реакций вначале являются сернистые соединения, которые в отношении щелочноземельных металлов являются весьма неустойчивыми и переходят

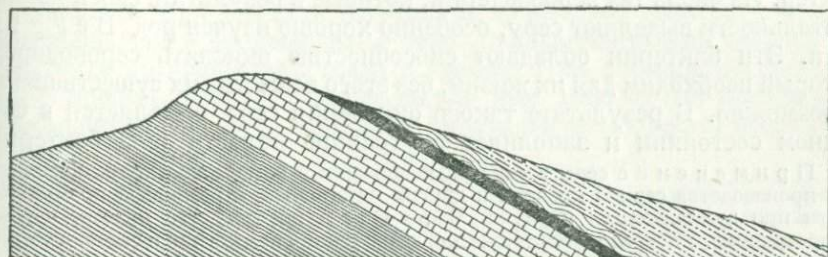
в окиси и углекислые соединения, освободившаяся же сера при этом выпадает в самородном состоянии.

Схему такого процесса можно выразить следующим уравнением:





Знаменитые месторождения этого типа издавна известны в Сицилии, которая является видным поставщиком этого ценнейшего минерала для многих стран.


Сицилийское месторождение серы возможно, как показывают исследования, не полностью связано с процессами расщепления гипса. Главная часть серы, как полагают, повидимому, могла образоваться здесь за счет окисления сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ , выделившегося вместе с базальтами в результате эффузивных процессов.



 мергель

 гипс и битуминозный мергель

 известняк

 мергель с фораминиферами

 сера

Рис 169. Схема геологического разреза Сицилийского месторождения.

В СССР видным месторождением самородной серы является Кара-Кумское месторождение в Закаспийской области. Здесь сера залегает среди песчаников, кремнистых туфов и гипсов.

Происхождение ее здесь еще не вполне ясно, возможно, что генезис ее связан с горячими водными растворами.

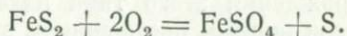
Кроме того, залежи серы известны в Туркестане, в Ферганской области, на Кавказе — Кхнутское месторождение, в Куйбышевском районе, на Волге, и в некоторых других местностях.

В большинстве случаев сера во всех этих месторождениях связана с гипсом, известняками, мергелями и битуминозными органическими веществами.

Среди некоторых осадочных месторождений сера встречается в виде псевдоморфоз по разным остаткам организмов. Так, например, известны случаи нахождения раковин многих морских моллюсков, превращенных в серу.

Известны случаи, когда сера в свободном состоянии выделяется в результате процессов поверхностного разрушения сульфидов тяжелых металлов, например серного колчедана  $\text{FeS}_2$ .

В поверхностных горизонтах земной коры такие вещества, как  $\text{FeS}_2$  относительно легко подвергаются разрушительному действию со стороны агентов выветривания: кислорода, воды, углекислоты и с течением времени переходят в разнообразные кислородные соединения, при этом часть серы самих сульфидов выделяется в свободном состоянии:



Подобные месторождения серы известны в некоторых частях Урала, но практического значения эти месторождения не имеют.

Из числа многообразных случаев происхождения самородной серы известны еще образования ее, связанные с жизнедеятельностью некоторых организмов, главным образом, серобактерий.

В этом случае генезис серы носит так называемый биогенный характер. Из числа тех серобактерий, которые в результате своей жизнедеятельности выделяют серу, особенно хорошо изучен род *V e g g i a t o a*. Эти бактерии обладают способностью окислять сероводород, который необходим для их жизни, без этого вещества их существование невозможно. В результате такого окисления сера выделяется в свободном состоянии и заполняет внутренние полости тела бактерий.

Применение серы весьма разнообразно: в химической промышленности для производства серной кислоты и других материалов, в резиновой промышленности при вулканизации каучука. Часто идет в производство красок, пороха, в пиротехнике. Употребляется также для дезинфекций помещений и садов, в военном химическом деле и т. д.

**Алмаз.** Химический состав отвечает почти чистому углероду (С). Многократными химическими анализами установлено, что после сгорания углерода остается всегда некоторое количество золы, достигающее в среднем 0,05—0,20%.

**Структура.** Кристаллизуется в кубической сингонии, внешний вид кристаллов октаэдрический (рис. 170). Весьма характерной особенностью кристаллов алмаза является искривленность граней, вследствие чего весь внешний облик кристаллов часто принимает шарообразный вид.

На основании рентгеновских исследований Б р э г г а структура алмаза принадлежит к гексатетраэдрическому виду симметрии; кристаллическая ячейка пространственной решетки, как уже отмечалось, состоит из восемнадцати атомов углерода, из которых четырнадцать соответствуют узлам центрального куба, четыре же остальные заключены внутри четырех кубиков, представляющих восьмые части ячейки, и занимают углы тетраэдра, обуславливающего общую структуру этого минерала (рис. 72).

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	10
Удельный вес	3,5
Излом	Раковистый
Блеск	Сильно алмазный
Цвет	Бесцветный. В некоторых случаях имеет окраску желтоватую, бурую, голубую и черную

В зависимости от цвета и некоторых особенностей формы алмаз имеет разновидности — борт, карбонадо, о которых упоминалось в общем введении к этой главе. Алмаз является хорошим проводником тепла и весьма плохим проводником электричества (в противоположность графиту). Температуры плавления и кипения алмаза

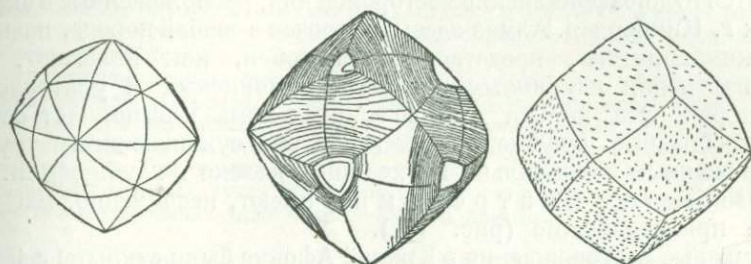


Рис. 170.

неизвестны. При быстром нагревании до высокой температуры алмаз превращается в коксообразное тело. Экспериментально удалось осуществить превращение алмаза в графит. При нормальном давлении этот процесс перехода наблюдается при 1500°C. Это превращение начинается обычно с периферии кристалла и протекает весьма медленно.

Первыми начинают изменяться вершины и двугранные углы, что становится заметным по их потемнению, затем весь кристалл алмаза превращается в черную массу, вследствие выделения в нем высокодисперсного графита. Исследования показывают, что по всей вероятности образование в природе черных алмазов имеет некоторую связь с подобным процессом.

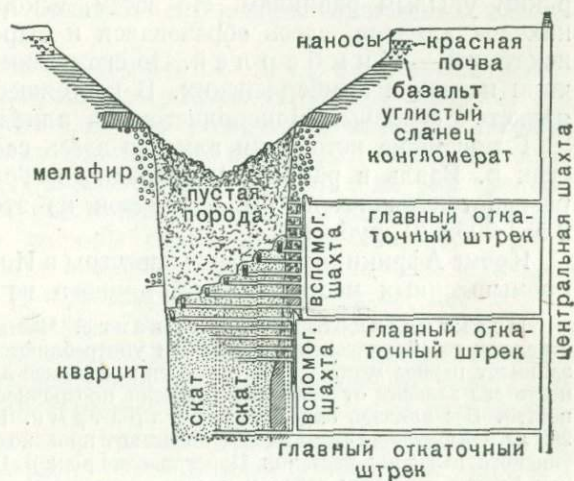


Рис. 171.

Обратный переход графита в алмаз не наблюдался, и экспериментально этот процесс еще осуществить не удалось. Подобный процесс требует меньшей температуры, но гораздо более высокого давления.

Сопоставляя алмаз с графитом, можно степень устойчивости их констатировать в следующих соотношениях: алмаз устойчив при высоких давлениях и относительно низких температурах, графит — при низких давлениях и гораздо более высоких температурах.

Происхождение названия связано с греческим словом «адамас», что значит «твердейший», «твердейшая сталь».

Образование в земной коре имеет связь с высокими давлениями и высокой температурой и целиком относится к процессам магматической дифференциации. Во вторичных месторождениях нередко встречается в россыпях и различных осадочных породах.

Самыми известными и классическими месторождениями алмазов являются Южноафриканские месторождения, расположенные в окрестностях г. Кимберлея. Алмаз здесь заключен в особой породе, называемой «кимберлитом», представляющем собой, как полагают, продукт изменения глубинных основных оливиновых и ультраосновных пород. Эта порода с включениями алмаза выполняет особые воронкообразные углубления, имеющие вид суживающихся трубок, расположенных вертикально и уходящих далеко в глубь земли. Эти трубки именуются д и а т р е м а м и и имеют, несомненно, магматическое происхождение (рис. 171).

Алмазные месторождения в Южной Африке были открыты в 1867 г. по случайным находкам небольших алмазных галек среди песка и гравия р. Оранжевой.

До этого времени об этих месторождениях ничего не знали. Вся область эта представляла собой обширное пустынное плоскогорье, где лишь только около самой воды ютились одиночные фермы голландских буров. До открытия алмазов одни только охотники за страусами посещали эти места и изредка караванами проходили по широким унылым равнинам. Но затем, вскоре после неоднократных находок алмазов, здесь образовался и вырос целый город алмазоискателей — К и м б е р л е й. По его имени и прииски теперь получили название кимберлейских. В настоящее время Южная Африка является основным монополистом на алмазном рынке.

Главнейшие источники алмазов здесь сосредоточены в окрестностях р. Вааль в районе юго-западного Трансвааля. За все время разработок извлечено было алмазов из этой местности на сумму 2 551 205 670 рублей<sup>1</sup>.

Кроме Африки, алмазы еще известны в Индии и Бразилии. В СССР промышленных месторождений алмазов не имеется.

**Практическое использование.** Чистые и прозрачные алмазы представляют собой драгоценные камни и употребляются в ювелирном деле. Алмаз занимает первое место среди драгоценных камней и ценится весьма дорого. Ценность его зависит от величины, степени прозрачности, цвета и других особенностей. Вес алмазов определяется к а р а т а м и. Карат равен приблизительно 205 мг. (Выражение «карат», как полагают, происходит от *Caratonia siliqua* — латинского названия растения Цареградские рожки. Семена этих растений в древнем Египте и других странах представляли торговую меру веса для различных драгоценных камней.)

В ограниченном и шлифованном состоянии алмаз обладает игрой цветов. Для создания в нем большой игры, путем шлифовки, придают алмазу так называемую б р и л л и а н т о в у ю о г р а н к у, характеризующуюся формой двойного усеченного конуса со многими гранями.

Шлифовка алмазов изобретена голландцем Беркеном еще в 1456 г., который для этой цели применил порошок самого же алмаза.

<sup>1</sup> В связи с тем огромным интересом, который проявлен к алмазным месторождениям Южной Африки, в 1928 г. здесь был созван XVI Международный геологический конгресс для разрешения целого ряда геологических и технических проблем. Местом съезда был г. Претория, столица бывшей Бурской республики в Трансваале.

Однако было бы весьма ошибочно представлять, что алмаз является камнем, интересным исключительно как художественный и украшающий материал. В настоящее время ощущается колоссальная потребность в алмазе как в абразивном материале. Он необходим сейчас для многочисленных технических целей, как-то: бурения, сверления, шлифования и пр. В связи с этим все более настойчиво и определенно ставится вопрос относительно искусственного получения алмаза и подобных ему по твердости веществ. Акад. Ферсман А. Е. в своих рассуждениях о технике будущего говорит, что «вся буровая техника, уничтожающая расстояния и проникающая сквозь хребты и слои земные, получит алмаз в новом, ныне недостижимом виде; вся техника резьбы, гравировки, обработки металла и дерева перейдет на алмаз, и вместо стального будет алмазный резец...»<sup>1</sup>

Вместе с тем интересно отметить, что в настоящее время перед всем человечеством стоит на очереди грандиозная проблема получения так называемых сверхтвердых сплавов. Эта задача с большим успехом выполнена во многих научно-исследовательских институтах СССР, что повело между прочим в последние годы к значительному сокращению потребностей в алмазе.

**Графит. Химический состав.** В химическом отношении редко бывает чистым, почти всегда содержит некоторое количество золы, достигающее иногда до 20—30% и даже более. Наиболее обычными примесями является железо, в прежние времена графит принимали за углеродистое железо.

**Структура.** Кристаллизуется графит в гексагональной сингонии, в форме пластинчатых кристаллов. Хорошо и крупно образованные кристаллы в природе встречаются весьма редко, в большинстве случаев графит обладает скрытокристаллическим сложением.

На основании исследований Дебая и Шерера лучами Рентгена удалось установить пространственную структуру графита, что изображено на рисунке 81<sup>2</sup>. Атомы углерода в пространственной решетке находятся в углах правильных шестиугольников, которые образуют систему сетей, удаленных друг от друга на значительно большие расстояния, чем расстояния между углеродными атомами, которыми определяются стороны самих шестиугольников. Вследствие такого расположения атомов графит обладает совсем иными свойствами, чем алмаз. Такие, например, его свойства, как необычайно малая твердость, а вместе с тем и связанная с ней способность к легкому растиранию, мажущие его свойства, а также ощущение жирности — следствие относительно слабого сцепления между отдельными шестиугольными сетками, а следовательно, и легкое расщепление их друг от друга в направлении, перпендикулярном к линии наименьшего сцепления. Как известно, подобные явления рассматриваются как явления кристаллической спайности. Плоскость спайности в данном случае совпадает с плоскостями шестиугольных сеток, целые системы которых и образуют кристаллы графита.

Если бы удалось исследовать кристаллы графита не параллельно, а перпендикулярно к их плоскостям спайности, возможно мы могли бы обнаружить в этом направлении свойства, резко отличные от

<sup>1</sup> Ферсман А. Е., Самоцветы России, 1921.

<sup>2</sup> В связи с исследованием структуры графита высказывается предположение, что так называемый аморфный уголь есть тот же графит, лишь находящийся в таком тонком измельчении, какое не может быть достигнуто механическими средствами. На основании этого противопоставление аморфного углерода кристаллическому в настоящее время в значительной мере утратило свою остроту.

обычных его свойств, и такое свойство, как твердость, по всей вероятности, было бы более близким к твердости алмаза.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Весьма совершенная
Твердость	1
Удельный вес	2,2
Блеск	Металлоподобный до жирного
Цвет	Железочерный до темностальносерого
Черта	Черная, блестящая
В тонких листочках гибок	

Происхождение названия связано с греческим словом «графо», что значит «пишу».

Происхождение в земной коре и главнейшие месторождения. Графит может быть различного происхождения. Известны случаи выделения его непосредственно из магмы в связи с ее процессами дифференциации, при этом нередко образуются хорошо развитые кристаллы с отчетливо выраженными формами. В других случаях графит образуется при процессе метаморфизма под влиянием высокого давления и температуры из различных углистых битуминозных поверхностных образований.

В СССР видными месторождениями графита является месторождение в Тункинских горах, в Сибири, к западу от Иркутска. Это месторождение получило название Алиберовского месторождения, здесь добывается графит лучшего качества не только из русских, но и иностранных месторождений. Само месторождение графита приурочено здесь к сиенитам и является, повидимому, магматического происхождения.

История открытия Алиберовского месторождения графита связана с совершенно случайным явлением. В 1838 г. в глухих дебрях Саянской тайги кем-то из поселян был найден черный блестящий камень, куски которого были собраны в большом количестве. Камень этот население приняло за свинец и предложило местным властям как материал для изготовления пуль. Однако этой находке не придали серьезного значения, и камень долгое время оставался без внимания. Спустя десять лет куски этого камня привезены были в Петербург и там случайно попали в руки молодому французу А л и б е р у, который заинтересовался находкой и сразу же оценил ее. При содействии целого ряда влиятельных лиц Алиберу вскоре удалось организовать товарищество по разработке этого ископаемого, а в 1856 г. к этому делу присоединилась знаменитая карандашная фирма Ф а б е р а и з Н ю р е н б е р г а, после чего алиберовский графит приобрел большую известность и создал целую эпоху в развитии карандашного дела.

Месторождения графита известны также и в других местах Союза, например в Енисейском районе, по р. Курейке, правому притоку Енисея, где большое количество графита образовалось при процессах метаморфизации углей.

Из месторождений вне СССР наиболее видными являются: о. Цейлон, где графит приурочен к жильным образованиям, Чехословакия и некоторые месторождения США.

Применение. Графит известен человечеству с глубокой древности. Такое заключение можно сделать потому, что в находимых при археологических раскопках древних сосудах сохранившаяся роспись черного цвета сделана графитом. Даже теперь, как и в глубокой древности, жители о. Цейлон и о. Мадагаскар, где имеются богатейшие месторождения графита, употребляют его для

раскрашивания домашней утвари. Крестьяне окрестностей г. Мариуполя тоже нередко раскрашивают стены своих хат графитом.

В настоящее время применение графита весьма разнообразно. Его стойкость в отношении высоких температур, нерастворимость в обычных растворителях (кроме расплавленных металлов), кислотоупорность, большая электропроводимость, высокая кроющая способность и другие качества делают его незаменимым в целом ряде производств.

Весьма широкое применение графит имеет в металлургии и электрометаллургии. Металлургия является самым крупным потребителем графитовых изделий, преимущественно графитовых тиглей. Точно так же графит широко используется в литейном деле, с целью предупреждения загрязнения внешней зоны литья формовочным материалом; литейные формовки покрываются изнутри порошком низкосортного графита. Большое количество графита употребляется еще в электротехнике, где он идет как материал для приготовления различных электродов. Кроме того, графит находит себе широкое применение в красочном деле, смазочном деле и пр.

Особенно широко известно применение высококачественных сортов графита для приготовления карандашей. Карандашное дело имеет свою историю. В XIV и XV вв. делали карандаши из свинца. Открытие в середине XVI в. в Англии залежей графита привело к тому, что карандаши впервые стали готовиться из графита. Долгое время английские карандаши (из Бароудалей) были наилучшими во всей Европе, а затем впоследствии производство их было налажено и в других странах.

## СУЛЬФИДЫ, ИЛИ СЕРНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

**Общие замечания.** К группе сульфидов относится весьма большое количество разнообразных минеральных тел, представляющих соединения различных металлов с серой. По количеству относящихся сюда соединений эта группа, после силикатов, занимает второе место. Все сульфиды являются видными полезными ископаемыми и в большинстве случаев представляют руды на те или иные металлы. Химический состав и строение сульфидов часто очень сложны и во многих случаях далеко еще не полно изучены. В отношении физических свойств для большинства сульфидов характерен присущий им резко выраженный металлический блеск, на фарфоровой пластинке большей частью оставляют темную или даже черную черту (за исключением весьма немногих).

Генезис сульфидов весьма разнообразен. Многие сульфиды образуются непосредственно из расплавленных магматических масс, связанных с ними пневматолитическими процессами; для огромного количества сульфидов характерны гидротермальные пути образования, вследствие чего многие из них в большом количестве группируются среди разнообразных гидротермальных жил. Некоторые сульфиды образуются даже среди осадочных пород, выделяясь здесь в результате процессов восстановления из циркулирующих водных растворов, несущих в себе разнообразные соли тех или иных металлов, преимущественно сернокислые. Главнейшими восстановителями здесь являются различные битуминозные органические вещества, находящиеся нередко в осадочных породах в весьма больших количествах.

Во всех отмеченных пунктах нахождения сульфиды приурочены и являются устойчивыми лишь в глубинных частях, там, где нет, или весьма мало влияние свободного кислорода. При переходе в кислородную зону земной коры сульфиды разрушаются, многие из них в поверхностных горизонтах литосферы претерпевают процессы выветривания, подвергаясь окислению, гидратации и отчасти карбона-

тизации. В результате всех этих процессов на поверхности земли скапливаются многообразные вторичные минеральные продукты, образуя особый тип поверхностных месторождений, именуемый «железной шляпой». Эти образования располагаются в самых верхних горизонтах рудного скопления, частью даже выше горизонта грунтовых вод, и обычно являются богатыми гидратами окиси железа, преимущественно лимонитом,  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , с чем и связано в сущности подобное выражение.

В настоящем разделе мы рассмотрим и остановимся на описании только некоторых сульфидов, наиболее распространенных в земной коре, и имеющих то или иное промышленное значение.

**Пирит.** Иначе называемый серным, или железным, колчеданом. Химический состав  $\text{FeS}_2$  (теоретический состав: Fe — 46,64%, S — 53,36%). Нередко наблюдаются примеси других металлов, как, например, золота Au, меди Cu, серебра Ag, кобальта Co, никеля Ni, марганца Mn и некоторых других. Все эти примеси входят или в виде тонких механических включений, или образуют ряд изоморфных смесей. В некоторых разновидностях пирита наблюдались примеси органических веществ.

Название «пирит» происходит от греческого слова «пюр», что значит «огонь», вследствие того, что при ударе пирит выделяет искры.

**Структура.** Кристаллизуется в кубической сингонии в форме кубов или пентагональных додекаэдров. Грани куба несут взаимно перпендикулярную штриховку, как показано на прилагаемом рисунке 172. Иногда пирит кристаллизуется и в других формах, но редко.

Кристаллы пирита не обладают столь высокой симметрией, как, например, кубические кристаллы каменной соли. Благодаря присутствию штриховки, кубы его лишены осей симметрии четвертого порядка, столь обычных для кубов каменной соли, и вся симметрия кристалла отстает слегка от максимальной. Кубические кристаллы его принадлежат к классу дидодекаэдра  $3L^24L^3Pc$ .

Рентгеноскопически пирит был изучен Б р э г г а м и.

Помимо единичных кристаллов, пирит встречается также в виде двойников, а также в плотных зернистых массах. В некоторых случаях агрегаты его имеют шаровидные или гроздьевидные формы.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Весьма несовершенная
Твердость	6
Удельный вес	4,9—5,2
Излом	Раковистый, неровный
Блеск	Металлический
Цвет	Латунножелтый с пестрой побежалостью
Черта	Черная
При ударе искрится и издает запах сернистого ангидрида	

**Генезис и распространенность.** Из всех сульфидов пирит является наиболее распространенным. Его генезис чрезвычайно разнообразен, пирит можно встретить почти во всех областях земной коры.

Известны случаи образования пирита в результате процессов пневматолита, где под влиянием воздействия горячих паров различ-

ных сернистых соединений, например паров сероводорода, на те или иные соединения железа могли осуществиться условия для образования пирита.

Полагают, что подобные процессы обусловили некоторые из его видных месторождений.

Вторым типом месторождений пирита являются контактовые его месторождения среди некоторых метаморфических пород, как, например, хлоритовых сланцев, где он нередко встречается в весьма больших количествах.

Большого внимания заслуживают образования пирита среди гидротермальных жил, преимущественно кварцевых. Эти месторождения вместе с тем еще имеют и огромное промышленное значение. Месторождения этого типа широко распространены в СССР, особенно на Урале, который является главным поставщиком серного колчедана для промышленных целей.

Пирит в гидротермальных жилах сопровождается рядом других минеральных тел, среди которых постоянными спутниками являются халькопирит, арзенопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды и пр.

Среди многообразных месторождений пирита необходимо обратить еще внимание на частое нахождение его во многих осадочных породах, преимущественно глинистых, мергелистых, а также углистых. В этих породах он большей частью встречается в виде скрытокристаллических сплошных масс, образуя скопления или в виде желваков, или в виде конкреций, и обычно сопровождается марказитом.

Образование пирита в осадочных породах связано с выделением его из поверхностных водных растворов, в которых нередко бывают растворены различные соли железа. Эти растворы железистых солей, циркулируя в осадочных породах, подвергаются процессам восстановления, вследствие присутствия здесь большого количества органических веществ. Под влиянием углерода этих веществ, а также отчасти воды сернокислые соли железа легко подвергаются процессам восстановления, что и приводит к образованию серного колчедана  $\text{FeS}_2$ .

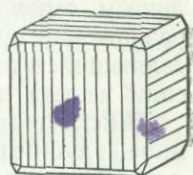
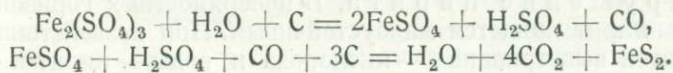


Рис. 172.

Схему этого процесса можно представить следующими уравнениями:



Вследствие того, что образование серного колчедана в осадочных породах идет при участии органических веществ, нередко можно наблюдать образование своеобразных псевдоморфоз его по различным органическим остаткам, как, например, по дереву, различным раковинам моллюсков, костям и пр.

Особенно часто такие псевдоморфозы образуются не столько в связи с пиритом, сколько с другой разновидностью двусернистого железа — марказитом.

Месторождения пирита среди осадочных пород редко когда заслуживают большого практического значения, большей частью он здесь рассеян и разрабатывается обычно попутно с добычей угля или глин.

Наряду с образованием серного колчедана в осадочных породах заслуживает внимания еще образование его на дне различных водных бассейнов, как, например, болот, озер и даже морей, там, где при недостаточном доступе воздуха происходит гниение органических веществ. Образующийся при этом сульфид железа выпадает или в виде двусернистого  $\text{FeS}_2$  — пирита и марказита, или выделяется в форме особой коллоидной односернистой массы черного цвета.

Подобное образование сульфида железа наблюдалось не раз в торфяных болотах, где иногда им бывают образованы целые скопления в виде пластов (например в Богемии на торфяном болоте близ Франценсбада). Такие залежи его могли образоваться только от действия гниющих органических веществ на серноокислые соли железа. Точно так же большие скопления серного колчедана наблюдались на берегу о. Борнгольм, где гниющие виды фукуса приходят в соприкосновение с железистыми источниками, изливающимися в виде ключей в этой местности. Здесь в небольшой бухте моря осаждающееся сернистое железо покрывает все гальки на морском дне или отдельными кристалликами, или в виде сплошной массы.

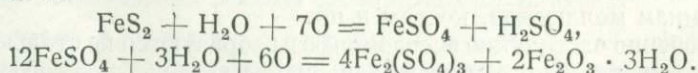
Образование во всех этих случаях сульфида железа связано с наличием сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ , который развивается здесь вследствие разложения органических, по преимуществу белковых, веществ. Выделяющийся при этом сероводород и осаждает содержащиеся в воде соли железа в виде сульфида.

В исключительно большом масштабе этот процесс развит в Черном море, глубины которого заражены сероводородом. Здесь на глубине ниже 200 м, как показали исследования, происходит так называемое сероводородное брожение. Процесс этот идет при участии особых серобактерий (*Beggiatoa*), органические же остатки, падающие с поверхности моря на дно, благодаря недостатку кислорода, разлагаются с выделением сероводорода, который с солями железа морской воды дает черное односернистое железо, рассеянное в иле морского дна.

Наличие такого ила в Черном море было известно издавна, и существует даже на этот счет интересное мнение, что название моря «черным» связано именно с присутствием черного ила, который устилает на большом пространстве его дно.

**Разрушение пирита.** В поверхностных горизонтах земной коры пирит является малоустойчивым. При воздействии различных агентов выветривания — кислорода и воды — пирит и особенно марказит разрушаются и постепенно переходят в разнообразные гидраты окиси железа, большей частью в лимонит (бурый железняк)  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Схему этого химического процесса можно выразить следующими уравнениями:



Очень часто при таких процессах лимонитизации образуются целые большие скопления гидратов окиси железа, именуемые «железными шляпами». Такие месторождения лимонита нередко заслуживают большого промышленного значения.

Вместе с тем такой постепенный процесс окисления серного колчедана приводит часто к образованию превосходных псевдоморфоз лимонита по пириту, описание которых приведено выше в главе «о псевдоморфозах».

**Главнейшие месторождения.** Месторождения пирита весьма многочисленны. Крупнейшие месторождения пирита известны в Испании, где он залегает совместно с халькопиритом в осбых линзах, приуроченных к древнейшим палеозойским сланцам.

В СССР наиболее крупными месторождениями пирита являются месторождения Урала. Здесь пирит залегает также в сплошных линзах и жилах, заключенных в различных метаморфических породах, и сопровождается рядом других сульфидов меди, цинка, свинца, а также некоторыми самородными элементами, золотом, серебром и пр. Наиболее видными районами Урала являются: Кыштымский, Калатинский, Богомоловский и некоторые другие.

Кроме того, известны месторождения пирита на Кавказе, в Подмосковном каменноугольном бассейне и в Боровичском районе в Ленинградской области. В обоих последних районах пирит приурочен к осадочным породам, где он залегает большей частью в виде конкреций и желваков.

**Применение.** Главное потребление пирита связано с производством серной кислоты, где он является основным сырьем. Кроме того, железо его утилизируется в химических производствах, в приготовлении различных железистых препаратов. Как железная руда серный колчедан обычно не используется.

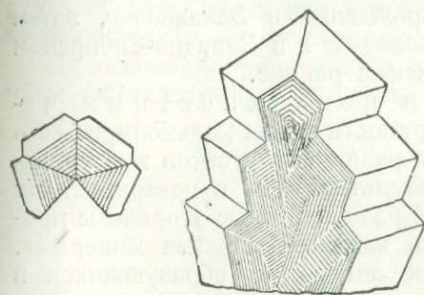


Рис. 174.

**Марказит, или лучистый колчедан,** представляет собой полиморфную разновидность двусернистого железа, кристаллизующуюся в ромбической сингонии (рис. 173).

**Химический состав**  $\text{FeS}_2$ . Физические свойства близки к пириту. Весьма оригинальными формами являются друзовидные его образования (рис. 174).

Название «марказит» теряется в глубокой древности, известно лишь то, что все сернистые металлы в древние времена объединялись в одну общую

группу, шедшую под одним общим названием «marcasitae» (Альберт Магнус).

Повод, послуживший к соединению всех этих тел в одну общую группу, был дан, по всей вероятности, присущим им свойством выделять при обжигании сернистый газ.

### **Халькопирит, или медный колчедан.**

**Химический состав**  $\text{CuFeS}_2$  или  $\text{Fe}_2\text{S}_3 \cdot \text{Cu}_2\text{S}$ , что отвечает  $2\text{CuFeS}_2$  (теоретический состав  $\text{Cu}—34,56\%$ ,  $\text{Fe}—30,52\%$ ,  $\text{S}—34,92\%$ ).

Наиболее постоянными примесями являются: золото  $\text{Au}$ , серебро  $\text{Ag}$  и некоторые другие.

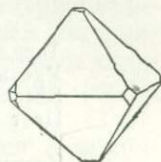


Рис. 173.

Название «халькопирит» происходит от греческих слов «chalcos» — «медь» и «pyr» — «огонь» (то же слово, что и в названии пирит). Позднейшее название меди словом «сургит», укоренившееся в химии, представляет сокращенное слово от выражения «aes surgitum», что значит «руда Кипра». Это название дано меди вследствие того, что ее в прежние времена в большом количестве находили на о. Кипр.

Кристаллизуется в тетрагональной сингонии (рис. 175). Большие кристаллы редки, большей частью встречается в сплошных плотных агрегатах.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	3—4
Удельный вес	4,1—4,3
Блеск	Металлический
Цвет	Лагуножелтый или золотистожелтый с пестрой побежалостью
Черта	Черная или слегка зеленоваточерная

Генезис и главные месторождения. Пути образования халькопирита в земной коре почти те же, что и для серного колчедана. Большое количество его встречается среди гидротермальных жил, где он сопровождается такими минералами, как кварц, кальцит, флюорит, и многими сульфидами.

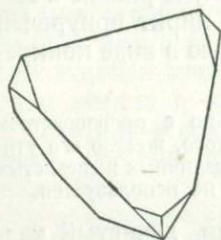


Рис 175.

Месторождения в СССР сосредоточены в большом количестве на Урале, большей частью, среди колчедановых залежей в области кристаллических сланцев. Кроме Урала, известны также месторождения его на Кавказе, Аллавердское месторождение в Закавказье, затем на Алтае, в Казахстане и в Западно-Сибирском крае, в Минусинском районе.

Процессы изменения в поверхностных частях земной коры. На поверхности земли халькопирит есть тело мало устойчивое. Под влиянием различных агентов выветривания халькопирит разрушается, в результате чего в поверхностных частях земной коры концентрируются разнообразные вторичные продукты, представляющие собой очень важные медистые минералы.

В качестве главных медистых минералов, образующихся в связи с изменением халькопирита, можно отметить следующие:

Халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$   
 Ковеллин  $\text{CuS}$   
 Халькантит (медный купорос)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
 Тенорит  $\text{CuO}$   
 Куприт  $\text{Cu}_2\text{O}$   
 Малахит  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$   
 Азурит  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$   
 Самородная медь  $\text{Cu}$ .

Железо халькопирита обычно переходит в мелантерит (железный купорос)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и гидраты окиси железа — лимонит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Применение. Представляет собой одну из главных руд на медь. Медь известна со времен глубокой древности. Исторические сведения о меди часто относятся к ее сплавам с другими металлами, главным образом, к бронзе,

представляющим сплав меди с оловом (см. ниже). Бронза известна с древнейших времен и весьма рано нашла широкое применение в производстве оружия, украшений и домашней утвари. Знакомство древних с медью объясняется тем обстоятельством, что медь во многих местах, например в Египте, встречалась в чистом металлическом виде или часто выплавлялась из малахита и других медных соединений. Все древние народы были знакомы с бронзой гораздо раньше, нежели знали способ получения другой ее составной части — металлического олова.

### Другие сульфиды меди.

**Борнит, или пестрая медная руда,  $Fe_2S_3 \cdot 3Cu_2S$**  (в некоторых разновидностях коэффициент для  $Cu_2S$  соответствует 4 и 5). Кристаллизуется в кубической сингонии. Название связано с именем австрийского металлурга Б о р н а. Месторождения борнита аналогичны халькопиритовым. Является, так же как и халькопирит, весьма ценной рудой на медь.

**Халькозин, или медный блеск,  $Cu_2S$** . Кристаллизуется в ромбической сингонии. Название происходит от «chalcos» — медь. Встречается часто в месторождениях совместно с халькопиритом и борнитом. Особенно крупными месторождениями являются месторождения Америки (на Амазонке, в Мексике, в южной Аляске и некоторых других).

**Ковеллин, или медное индиго,  $CuS$** . Кристаллизуется в гексагональной сингонии. Назван по имени итальянского ученого К о в е л л и, название же медное индиго дано по причине синей окраски минерала. Месторождения приурочены к другим сульфидам меди.

**Группа блеклых руд.** Относящиеся к этой группе минералы представляют весьма сложные и разнообразные вещества, основными составными частями которых являются сера, медь, сурьма и ряд других элементов, входящих в эти соединения в самых разнообразных количественных соотношениях.

На основании ряда исследований в блеклых рудах констатированы нижеследующие элементы:

Cu — медь . . . . .	10,5—54,0%
Sb — сурьма . . . . .	0—35,5%
S — сера . . . . .	20,5—33,0%
Ag — серебро . . . . .	0—31,5%
Fe — железо . . . . .	0—25,0%
Hg — ртуть . . . . .	0—24,0%
As — мышьяк . . . . .	0—20,5%
Pb — свинец . . . . .	0—13,0%
Bi — висмут . . . . .	0—13,0%
Zn — цинк . . . . .	0—9,0%
Ni — никель . . . . .	0—8,0%
Co — кобальт . . . . .	0—4,0%
Sn — олово . . . . .	0—1,5%
Mn — марганец . . . . .	0—1,5%
Pt — платина . . . . .	следы
Au — золото . . . . .	следы
Se — селен . . . . .	следы

Многие из встречающихся в этих рудах элементов входят как механические примеси, некоторые же представлены изоморфными смесями. На основании этого различают несколько разновидностей блеклых руд, где химический состав может быть обозначен той или иной химической формулой, например:

**Сурьмяная блеклая руда** (или темная блеклая руда):

$Sb_2S_3 \cdot x (Cu_2, Ag_2, Fe, Zn, Pb, Ni, Co) S$ , где  $x = 3 - 6$ .

**Мышьяковая блеклая руда** (или теннантит):

$As_2S_3 \cdot x (Cu_2, Ag_2, Fe, Zn, Pb, Ni, Co) S$ , где  $x = 3 - 6$ .

Кроме того, известны и другие, более сложные разновидности. Кристаллизуются блеклые руды в кубической сингонии, преимущественно в форме тетраэдров (гексатетраэдров), вследствие чего им дано еще название **тетраэдрит**.

С внешней стороны блеклые руды обладают металлическим блеском, пестрой побежалостью. Цвет их в большинстве случаев стально-серый или железночерный. Черта черная, коричневая и даже иногда вишневокрасная. Твердость 3—4. Встречаются в месторождениях, свойственных сульфидам меди; широкое распространение в СССР имеют на Урале — Благодатные и Турьинские месторождения, на Алтае и в Нерчинском районе.

В практическом отношении являются весьма ценными веществами в металлургии, где являются источниками добычи различных металлов.

### **Серебро-свинцово-цинковые сульфиды.**

Все относящиеся сюда минералы заслуживают весьма большого внимания, ибо представляют собой ценнейшие руды на серебро, свинец и цинк. В природе эти вещества очень часто группируются вместе и встречаются в одних и тех же месторождениях. Из числа главнейших представителей можно выделить следующие:

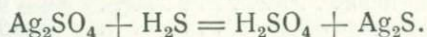
**Аргентит, или серебряный блеск**,  $Ag_2S$  (Ag — 87,07%, S — 12,93%).

Кристаллизуется в кубической сингонии. Очень часто встречается в виде дендритов, в волосистых агрегатах и в сплошных массах.

Название происходит от латинского «argentum» — серебро.

Аргентит представляет собой минерал мягкий, твердость равняется 2—3; удельный вес 7,2—7,4. Обладает металлическим блеском и имеет цвет от свинцовосерого до железночерного.

Встречается преимущественно в рудных жилах гидротермального происхождения. Во многих случаях является продуктом распада других серебряных соединений. Иногда образуется среди осадочных пород в результате восстановительных процессов из разнообразных растворов серебряных солей, например:



Сероводород в этом случае является продуктом распада органических веществ.

Месторождения в СССР известны на Алтае, на Урале, в Турьинских рудных жилах и в других местах.

Почти во всех месторождениях аргентит встречается совместно с галенитом и сфалеритом и обычно является механически подмешанным к этим минералам, которые, таким образом, являются источником добычи серебра.

**Галенит, или свинцовый блеск.** Химический состав  $PbS$  (Pb — 86,6%, S — 13,4%). Очень часто содержит примеси сере-

бра Ag, цинка Zn, железа Fe, мышьяка As, сурьмы Sb и некоторых других. Все эти элементы находятся в галените или в изоморфной смеси, или чаще в виде механических примесей.

Название «галенит» происходит от латинского слова «galena», что значит «свинцовая руда».

Кристаллизуется в кубической сингонии. Вид кристаллов обычно кубический или октаэдрический, нередко с разнообразными комбинациями в простых формах (рис. 176, 177). В природе встречается как в отдельных кристаллах, нередко превосходно образованных, так и в сплошных скрытокристаллических агрегатах. Строение решетки, на основании рентгеновских исследований, такое же, как у хлористого цезия (центрированный куб).

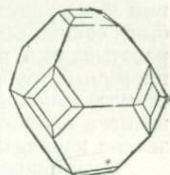


Рис. 176.

Кристаллы галенита обладают весьма совершенной спайностью по трем направлениям — по граням куба. Этим свойством часто пользуются при определении данного минерала.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2—3
Удельный вес	7,3—7,6
Блеск	Металлический
Цвет	Свинцовосерый, иногда с побежалостью
Черта	Серая

Происхождение. Главные месторождения галенита приурочены к гидротермальным жилам, где он образовался из глубинных горячих водных растворов. Почти постоянными спутниками галенита среди этих месторождений являются: кварц, сфалерит, пирит, халькопирит и пр.

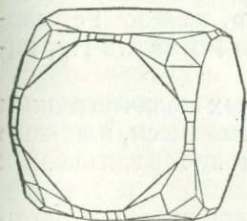


Рис. 177.

Кроме того, галенит встречается также среди осадочных пород, где им иногда бывают образованы псевдоморфозы как по отдельным минералам, так и по некоторым органическим остаткам.

При разнообразных процессах изменения галенит переходит в целый ряд других минеральных продуктов, среди которых чаще всего встречаются следующие:

- Церуссит — белая свинцовая руда  $PbCO_3$
- Англезит  $PbSO_4$
- Глет, или свинцовая охра  $PbO$
- Сурик  $Pb_3O_4$
- Крокоит — красная свинцовая руда  $PbCrO_4$
- Пироморфит — зеленая свинцовая руда  $Pb_3Cl(PO_4)_3$
- Ванадинит  $Pb_3Cl(VO_4)_3$
- Вульфенит  $PbMoO_4$ .

Все эти вещества образуются при разных вторичных процессах и используются как полезные ископаемые.

Месторождения в СССР известны на Урале, в Свердловском районе, на Кавказе — Садонские месторождения, на Алтае и во многих других местностях.

**Применение.** Является главной рудой на свинец. Свинец относится к числу металлов, известных еще в глубокой древности. История утверждает, что его знали еще древние египтяне и, очень вероятно, также и евреи. Греки называли свинец «*molibden*», или «*molibdos*» (от этого слова происходит еще «молибден», который по своим внешним свойствам несколько похож на свинец). В древности часто свинец смешивали с оловом. Во время Пунических войн в Испании уже существовало много шахт для разработки свинцовых руд. Вначале добычу свинцовых руд вели греки и финикийцы, впоследствии же эти шахты разрабатывались римлянами. При раскопках в Помпее находили свинцовые водопроводные трубы, а также различные свинцовые препараты, например: свинцовые белила, свинцовый глет и сурик, так называемый *minium*. Кроме того, в древние времена из свинца приготавливали карандаши, откуда сохранилось немецкое название карандаша — *Bleischift*, т. е. свинцовый стержень.

В настоящее время свинец используется весьма широко, например для устройства трубопроводов, для изготовления покрышек кабелей, для изготовления листов для покрытия крыш, для обкладки свинцовых камер в сернокислотном производстве и при работах с рентгеновскими лучами.

Далее свинец применяется для изготовления тиглей, чаш и сковород для упаривания, а также аккумуляторных пластин. Точно так же он служит для заполнения снарядов (шрапнель) и приготовления дробы.

В химической промышленности свинец употребляется для изготовления различных препаратов и красок (свинцовые белила, сурик, хромовая желтая и пр.).

Наконец, свинец и свинцовые соли находят еще применение в производстве стекол (особенно художественных стеклянных изделий — хрустальное стекло).

Точно так же некоторые соединения свинца, например окись свинца, служат для приготовления так называемых «сиккативов», растворы которых в льняном масле дают «олифы».

В последнее время сернистый свинец употребляется для контактных детекторов.

**Сфалерит, или цинковая обманка.** Химический состав  $ZnS$  ( $Zn$  — 67,06%,  $S$  — 32,94%). Очень часто содержит в себе разнообразные примеси других элементов, как, например, железо  $Fe$ , марганец  $Mn$ , медь  $Cu$ , кадмий  $Cd$ , кобальт  $Co$ , свинец  $Pb$ , ртуть  $Hg$ , индий  $In$ , галлий  $Ga$ , олово  $Sn$  и некоторые другие.

Все эти элементы входят в самых разнообразных количественных соотношениях и представляют собой или изоморфные смеси, или чаще группируются в виде механических примесей, тонко распыленных в основной массе.

В зависимости от состава сфалерит имеет разновидности, из которых в качестве главнейших можно отметить следующие:

1. **Клейофан** — прозрачная чистая разновидность, обладающая желтым или оранжевожелтым цветом.

2. **Марматит** — разновидность сфалерита, содержащая более 10% железа, почти черного цвета. Встречается в Мармато (Колумбия).

3. **Христовит** — разновидность, отличающаяся особым бархатно-черным цветом, встречается близ Брейтенбруна в Саксонии. В составе этой разновидности констатировано присутствие  $FeS$ .

Название «сфалерит» происходит от греческого слова «сфалерос», что значит «обманчивый», вследствие того, что в древние времена не считали этот минерал за руду.

Кристаллизуется в кубической сингонии. Кристаллы большей частью имеют вид додекаэдрический, реже кубический или тетраэдри-

ческий (рис. 178). Помимо отдельных кристаллов встречается часто в виде сплошных скрытокристаллических масс.

Строение решетки аналогично с решеткой алмаза.

Кристаллы сфалерита обладают весьма совершенной спайностью.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	3—4
Удельный вес	3,5—4,2
Блеск	Алмазный, в темных разновидностях металловидный
Цвет	Желтый, зеленоватый, красноватый, бурочерный, реже бесцветный
Черта	Желтая или бурая
Обладает очень сильным лучепреломлением	

**Происхождение.** Главные месторождения сфалерита приурочены к гидротермальным жильным образованиям, где этот минерал выделяется из глубинных водных растворов наряду с другими сульфидами. Наиболее обычными спутниками сфалерита в этих месторо-

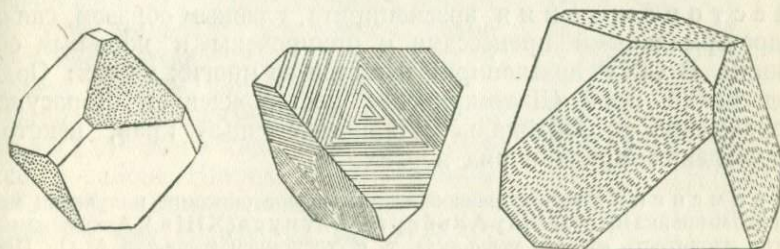


Рис. 178.

ждениях являются кварц, галенит, аргентит, халькопирит, пирит и другие минералы. В некоторых случаях сфалерит встречается также и в осадочных породах, являясь иногда оруденяющим веществом растительных и животных остатков.

В поверхностных частях земной коры сфалерит подвергается различным процессам изменения, превращаясь в разнообразные вторичные минеральные продукты.

Из числа наиболее обычных минеральных веществ, являющихся результатом изменения сфалерита, можно привести следующие:

1. Смитсонит  $ZnCO_3$ .
2. Гидроцинкит  $ZnCO_3 \cdot 2Zn(OH)_2$ .
3. Госларит  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  (выделяющийся иногда в виде сталактитов, как, например, в некоторых месторождениях Алжира).
4. Виллемит  $Zn_2SiO_4$ .
5. Каламин  $Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$ .

Месторождения в СССР. Встречается в целом ряде месторождений, из которых наиболее известны являются: Алтайские, месторождения Кавказа — Садонские рудники, где сфалерит приурочен к кварцевым жилам с рядом других сульфидов, Дальневосточный край, Нерчинский округ, Казахская степь, Урал, Нагольный край Донбасса и многие другие.

**Применение.** Является главной рудой на цинк, из которой также извлекаются различные металлы, находящиеся в виде примесей (кадмий, индий и др.).

### Мышьяковые сульфиды.

К этой группе относятся сернистые минералы, заключающие в своем составе мышьяк.

Наиболее распространенными из этих минералов являются следующие:

**Арзенопирит, или мышьяковый колчедан,  $AsFeS$**  (теоретический состав: Fe — 34,34%, As — 46,01%, S — 10,65%). В качестве примесей нередко наблюдаются: никель Ni (до 5%), кобальт Co, сурьма Sb, висмут Bi, медь Cu, золото Au и др.

Название связано с латинским словом «arsenicum» — «мышьяк».

Кристаллизуется в ромбической сингонии, большие кристаллы редки, большей частью встречается в сплошных массах.

Твердость 5—6. Удельный вес 5,9—6,2. Обладает металлическим блеском и оловяннобелым цветом. Черта сероваточерная.

Месторождения арзенопирита, главным образом, связаны с гидротермальными процессами и приурочены к жильным образованиям. В СССР арзенопирит известен во многих местах: Орджоникидзевский край (Джимаринское месторождение), Дарасунское месторождение в Забайкалье, Дальневосточный край, некоторые месторождения Урала и ряд других.

Применение весьма разнообразно. Первое описание получения металлического мышьяка мы находим у Альберта Магнуса (XIII в.). Алхимикам была известна ядовитость «белого мышьяка», т. е. трехоксида мышьяка  $As_2O_3$ . Применение мышьяка в медицине началось с врача — химика Парацельса.

В настоящее время соединения мышьяка широко используются в сельском хозяйстве по борьбе с почвенными и растительными вредителями, в химических производствах — при изготовлении мышьяковистых препаратов, в красочном и кожевенном деле, в стекольной промышленности — при обесцвечивании стекол, а также в военно-химическом деле и других производствах.

**Реальгар  $AsS$**  (As — 70,08%, S — 29,92%). Происхождение названия в точности не выяснено. Минерал обладает оранжевокрасным цветом. Образуется среди рудных гидротермальных жил, нередко с серебряными и свинцовыми соединениями, а также при вулканических процессах, в результате чего реальгар можно видеть на лавах и среди продуктов, выделяющихся среди сольфатар и в горячих источниках. Иногда реальгар встречается в осадочных породах — среди глин, известняков, доломитов и даже каменных углей.

**Аурипигмент  $As_2S_3$**  — минерал, близкий к реальгару и очень часто встречающийся совместно с последним. В поверхностных частях земной коры реальгар переходит в аурипигмент (повидимому, происходит фотохимический процесс). Минерал красивого золотистожелтого цвета, вследствие чего и назван «аурипигментом» от «aurum» — «золото» и «pigment» — «краска».

Из всех свойств, присущих данному минералу, наиболее интересными являются свойства, связанные с изоляционной способностью в отношении рентгеновских лучей, вследствие чего аурипигмент применяется в рентгенотехнике.

## Сурьмяно-ртутные сульфиды.

**Антимонит** (иначе называемый стибнит, или сурьмяный блеск).  
Химический состав  $Sb_2S_3$  (Sb — 71,38%, S — 28,62%).

Название «антимонит», как полагают, связано с арабским словом «antimonium» — обозначение сурьмы. В древние времена греки называли сурьмяный блеск «stibimni», римляне же — «stibium». Впоследствии последнее выражение стали применять и к самому металлу.

Кристаллизуется в ромбической сингонии. Часто встречается в хорошо образованных кристаллах (рис. 179). Исключительно крупные кристаллы (до 0,5 м) известны в месторождении Итшинокава, о. Шикоку в Японии; антимонит из этих месторождений всегда можно видеть в коллекциях больших минералогических музеев. Нередко также антимонит встречается в игольчатых и зернистых агрегатах.

Весьма совершенная спайность наблюдается лишь в одном направлении. Твердость 2. Удельный вес 4,5—4,6. Блеск яркий металлический. Цвет свинцовосерый. Черта черноватосерая.

Происхождение антимонита приурочено часто к гидротермальным жилам, где этот минерал встречается совместно с киноварью, галенитом, сфалеритом, кварцем, баритом, карбонатами и пр.

Одно из интереснейших месторождений в СССР этого типа известно в Донбассе, в районе Никитовки, — сурьмяно-киноварное месторождение. Кроме того, антимонит еще образуется при вулканических процессах, где он выделяется как продукт возгонки сернистых соединений сурьмы.

Месторождения антимонита в СССР довольно многочисленны.

Применение. Является главной рудой на сурьму, которая используется в приготовлении различных сплавов, в производстве некоторых красок, в медицине и пр.

**Киноварь** (разновидности: печеночная, стальная, коралловая, кирпичная руда, идриалит, метациннабарит).

Химический состав  $HgS$  (Hg — 86,20%, S — 13,80%). В числе примесей иногда содержит битуминозные органические вещества, вследствие чего бывает окрашена в темные цвета.

Метациннабарит представляет полиморфную разновидность сернистой ртути, отличающейся от киновари кристаллическим строением. Наблюдаются также примеси других веществ — органических, глинистых и некоторых металлов.

Происхождение названия киноварь точно неизвестно, полагают, что оно связано с арабским словом «киннабарис», что значит «драконова кровь», отсюда «цинабарит», приставка «мета» обозначает видоизменение.

Кристаллическое строение. Киноварь кристаллизуется в гексагональной сингонии, метациннабарит — в кубической сингонии. Крупные кристаллы у обеих модификаций редки, часто встре-

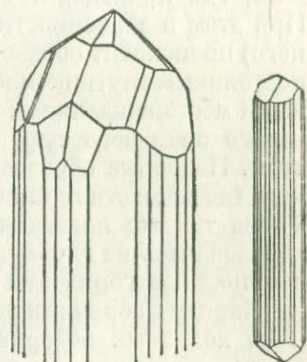


Рис. 179.

чаются в мелкокристаллических агрегатах, в форме плотных зернистых и землистых масс.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

	Киноварь	Метациннабарит
Твердость	2	3
Удельный вес	8,0—8,2	7,7—7,8
Блеск	Алмазный, в некоторых разновидностях металло-видный	Металлический
Цвет	Яркокрасный, иногда буроватый	Серый или черный
Черта	Алая или красная	Бурая или черная

Происхождение связано большей частью с гидротермальными процессами, киноварь часто встречается среди гидротермальных жил, где происходит осаждение ее из горячих водных растворов. При этом в зависимости от характера раствора (кислого или щелочного) происходит образование киновари или метациннабарита. Весьма постоянным спутником киновари является антимонит. Наряду с жильными месторождениями киноварь еще выделяется среди пластов кремневого опалового туфа (или накипи) из гейзеров и разнообразных терм. Подобные образования давно известны в Неваде и в Калифорнии, где совместно с киноварью встречается также и самородная ртуть. Точно так же полагают, что и в богатых залежах Идрии киноварь образовалась из глубинных горячих источников, при выходе их в поверхностные горизонты земной коры.

Наряду с горячими растворами киноварь нередко выделяется также и из холодных поверхностных вод. Такому образованию сульфида ртути во многом способствуют восстановительные процессы, протекающие за счет разложения различных органических веществ.

В СССР главные месторождения киновари известны на Украине (станция Никитовка), где она приурочена к пластам каменноугольные песчаников и сопровождается рядом других сульфидов: антимонитом, пиритом и некоторыми другими.

Кроме того, месторождения киновари сосредоточены и во многих других местностях, как, например, на Урале (Аятское месторождение), в Дагестане, Дальневосточном крае, в ряде месторождений Ферганы и пр.

В поверхностных частях земной коры киноварь является телом, в достаточной мере устойчивым: относительно слабо окисляется и почти не претерпевает процессов разрушения. Вследствие этого киноварь часто можно встретить в россыпях, которые нередко являются ценными месторождениями на ртуть.

Применение и исторические сведения. Ртуть стала известна человечеству значительно позднее, чем золото и серебро. Впервые мы находим указания о ртути у Теофраста за 300 лет до начала нашей эры. В сочинениях Диоскорида она названа «hidrargyros», что значит «жидкое серебро». От этого названия произошло и химическое обозначение ртути — Hg. В древности применялся не столько сам металл, сколько киноварь, употреблявшаяся в качестве краски.

В настоящее время главное назначение киновари как руды на ртуть, которая в свою очередь используется для самых разнообразных целей.

## КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗА.

**Общие замечания.** К этой группе минеральных тел относятся различные вещества, содержащие в своем составе железо. Многие из них являются видными полезными ископаемыми и представляют весьма важные руды на железо. Промышленное значение этих веществ чрезвычайно велико, вследствие чего всестороннее изучение их поставлено на должную высоту и заслуживает большого внимания.

Из числа наиболее важных минералов, относящихся к группе кислородных соединений железа, можно выделить следующие:

1. Магнетит, или магнитный железняк,  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (иначе  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

2. Титаномагнетит — разновидность магнетита, содержащая в себе примеси титанистого железа (ильменита)  $\text{FeTiO}_3$ . Содержание  $\text{TiO}_2$  доходит в некоторых случаях до 25%, вследствие чего титаномагнетиты являются очень важными рудами на титан  $\text{Ti}$ .

3. Ильменит, или титанистый железняк,  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$  (иначе  $\text{FeTiO}_3$ ).

4. Хромит, или хромистый железняк,  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  (иначе  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ).

5. Гематит, или красный железняк,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

6. Лимонит, или бурый железняк,  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (водная окись железа).

**Магнетит.** Химический состав  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (теоретический состав:  $\text{Fe}—72,41\%$ ,  $\text{O}—27,59\%$ ); часто формулу обозначают:  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}_2^{\text{III}}\text{O}_4$  (закись-окись железа) или  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . В качестве примесей иногда наблюдаются:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (окись алюминия),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (окись хрома),  $\text{NiO}$  (закись никеля),  $\text{SiO}_2$  (кремнезем),  $\text{TiO}_2$  (двуокись титана) — титаномагнетит, кислородные соединения марганца  $\text{MnO}$  или  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  — манганомангнетит ( $\text{Fe}^{\text{II}}$ ,  $\text{Mn}$ ) ( $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{Mn}$ ) $_2\text{O}_4$  и некоторые другие.

Наличие тех или иных примесей оказывает соответствующее влияние на общее содержание железа в магнетите и обуславливает, таким образом, то или иное качество железной руды.

К числу частых примесей, наблюдаемых в магнетитах, относится также еще фосфор  $\text{P}$ , который обычно присутствует здесь в виде апатита  $\text{Ca}_5\text{F}$ ,  $\text{Si}(\text{PO}_4)_3$ .

До конца XIX в. такие фосфористые руды не разрабатывались и не имели цены вследствие того, что выплавляемые из этих руд чугуны и особенно сталь, при содержании в них фосфора, являются холодноломкими и, таким образом, неприменимыми для дальнейших целей. Но после изобретения в 1871 г. процесса **томасирования** (английским инженером Томасом), при котором почти весь фосфор переходит в шлак, стало возможным вести разработку этих руд и использование их довести до весьма широкого масштаба. Мало того, получаемый при этом процессе **томасовский шлак**, богатый фосфором, представляет ценное удобрение для полей, и, следовательно, этот процесс принес двойную выгоду горному делу.

Название «магнетит», «магнитный железняк» имеет связь с магнитными свойствами этого минерала. Греческое слово «магнетис» означает «магнит» или «магнитный камень». Само же выражение «магнит» теряется в глубокой древности; по историческим данным известно, что китайцы еще за 1100 лет до начала

нашей эры уже знакомы были с магнитной стрелкой. Существует предположение, что слово «магнит» имеет связь с именем одного пастуха «Магнес», который якобы впервые нашел такой магнитный камень.

Кроме того, о явлениях магнетизма упоминается во многих сказаниях и легендах Востока, связанных с различными поэтическими повествованиями.

**Кристаллическое строение.** Кристаллизуется в кубической сингонии. Вид кристаллов большей частью октаэдрический (рис. 180). Очень часто среди кристаллов магнетита бывают двойники, образованные по так называемому «шпинелевому закону» (рис. 180а).

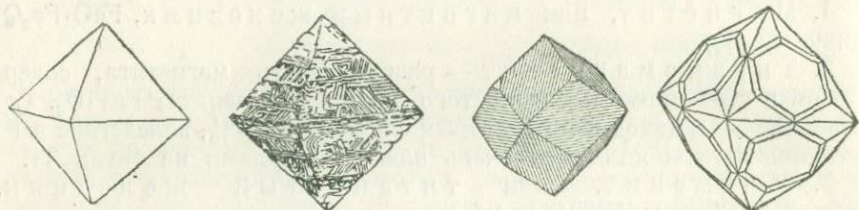


Рис. 180.

Кроме крупнокристаллических образований, магнетит встречается также в виде сплошных масс, в форме различных зернистых агрегатов и рыхлых скоплений, образующихся нередко среди разнообразных россыпей.

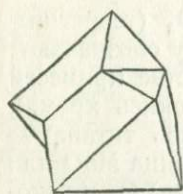


Рис. 180а.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Несовершенная
Твердость	5,5—6,5
Удельный вес	4,9—5,2
Излом	Раковистый, неровный, хрупок
Блеск	Металлический — яркий или матовый
Цвет	Железнодорожный
Черта	Черная

**Особые примечания.** Непрозрачен даже в тонких пластинках. Обладает ясно выраженной магнитностью (рис. 181). Степень магнетизма различная и не зависит от количества входящего железа, а является, по видимому, следствием присутствия особых ионов железа, обладающих магнитными свойствами. При нагревании до 580°C магнетизм сильно слабеет и даже исчезает, при охлаждении снова появляется.

**Главнейшие месторождения и происхождение.** Крупные месторождения магнетита в СССР приурочены ко многим местам Урала. Таковы месторождения горы Магнитной, в Южном Урале, к югу от Верхнеуральска, — Магнитогорск, Троицкое месторождение, месторождение горы Высокой — Нижний Тагил — и горы Благодать, близ станции Гороблагодатской в Среднем Урале.

Во всех этих месторождениях магнитный железняк находится среди глубинных магматических и метаморфических пород и приурочен к контактово-магматическим образованиям. Генезис этих месторождений вызывал многие толкования среди исследователей и являлся предметом спорных и неясных положений в связи с выдвигаемыми на этот счет гипотезами. Магнитный железняк этих месторожде-

ний образует ряд шлировых выделений, сосредоточенных в форме особых гнезд среди вышеназванных пород.

Уральские месторождения магнетита имеют огромное промышленное значение и составляют основную базу в развитии металлургической и железоделательной промышленности. Содержание железа в магнетитах Урала в среднем около 55%.

Кроме Урала, магнетит известен еще среди многих месторождений Сибири. Так, например, на одно из первых мест в СССР, по своим запасам железа, в последнее время выдвинулся Ангаро-Илимский район в Восточной Сибири, расположенный по обе стороны р. Ангары. Генезис этого месторождения еще не полностью выяснен. Магнитная руда сопровождается здесь гематитом, апатитом, кварцем и другими минералами.

Контактные месторождения магнетита известны также и на Кавказе, особый интерес приобретает Дашкесанское месторождение, расположенное в гористой местности к югу от р. Куры, близ г. Ганджа. Это месторождение интересно еще и другими рудными минералами, особенно медными и кобальтовыми.

Наряду с вышеотмеченными месторождениями магнетита большой интерес приобретают месторождения его среди железистых кварцитов в Курском районе — Курская магнитная аномалия. Район этот расположен между городами Щигры и Тим, полоса же магнитных аномалий простирается с ССЗ на ЮЮВ на 250 км в длину и достигает около 3—5 км ширины.

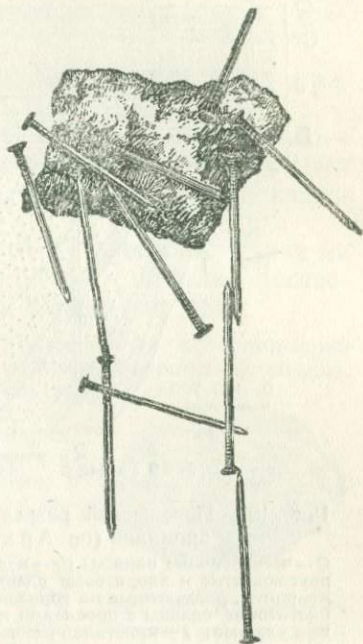


Рис. 181.

Магнитная аномалия (отклонение магнитной стрелки) этого района была отмечена еще геофизиком Лейстом в 1897 г., но оставалась неизученной в отношении залежей железных руд и только в период времени 1920—1924 гг., когда были поставлены работы по геологическому исследованию этой области, были обнаружены залежи магнетита, определившие их дальнейшее промышленное значение.

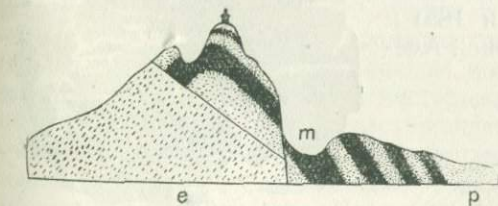


Рис. 182. Гора Благодать (разрез) (по Чернышеву):

*m* — магнетит; *e* — эпидотогранатовая порода; *p* — ортоклазовый порфир и сиенит.

Магнетит Курской аномалии, как было уже отмечено, приурочен главным образом, к залежам кварцитов, залегающих на глубине в среднем от 100 до 250 м от поверхности. Кроме кварцитов, относящихся к докембрийскому времени, здесь в разных местах обнару-

жены и другие метаморфические породы, как, например, гнейсы, слюдяные и хлоритовые сланцы и ряд других пород. Покрывающие породы состоят из четвертичных отложений, третичных палеогено-

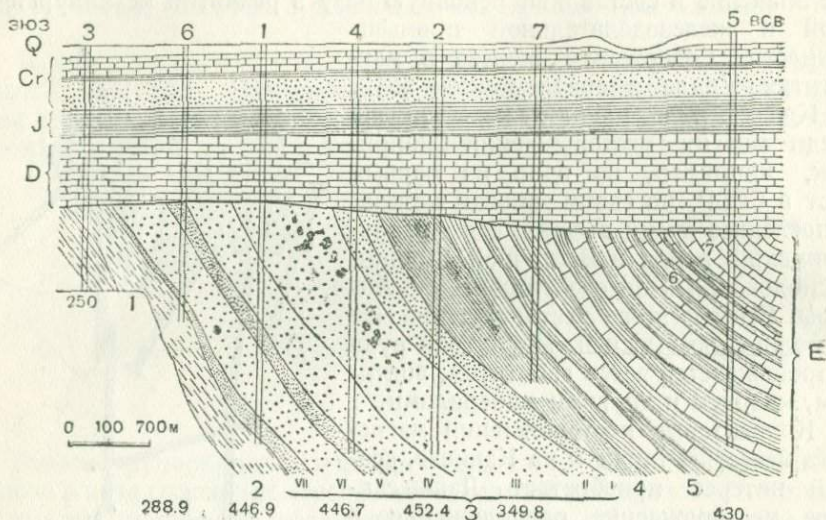


Рис. 183. Поперечный разрез Щигровского участка Курской магнитной аномалии (по Архангельскому и Корбушу):

Q — четвертичные наносы; Cr — мел; J — юра; D — девон; E — докембрий; I — гнейсы, двуслюдястые и хлоритовые сланцы; 2 — те же сланцы без гнейса; 3 — железистые кварциты, разделенные на горизонты I—VII; 4 — биотитовые сланцы; 5 — известково-биотитовые сланцы с прослоями известняка; 6 — известняки с прослоями биотитовых сланцев; 7 — кристаллические известняки. Глубины буровых скважин приведены в метрах.

вых, мезозойских — меловых и юрских, а также палеозойских — карбона и девона. В некоторых пунктах наблюдаются перерывы в этих породах. Общий разрез Щигровского участка Курской магнитной аномалии представлен на рисунке 183.

Из месторождений вне СССР залежи магнетита известны в Северной Швеции — Кирунава (рис. 184 и 185) и Люоссаваара, а также в Северной Аме-



МАГНЕТИТ

Рис. 184. Поперечный разрез рудной горы Кирунава.



Рис. 185. Апатитовые шпирты (белые части) в магнетите с Кирунава.

рике, в месторождениях Верхнего озера, где сконцентрированы весьма крупные залежи этой руды.

Применение. Магнетит является самой богатой рудой на железо.

**Ильменит, или титанистый железняк.** Химический состав  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ , или  $\text{FeTiO}_3$  ( $\text{FeO}$  — 47,30%,  $\text{TiO}_2$  — 52,70%). В качестве постоянной

примеси в ильменитах всегда обнаруживается некоторое количество окиси железа  $Fe_2O_3$ , которая часто доходит до 50—60%. При-  
сутствие  $Fe_2O_3$  в ильмените объясняется, повидимому, изоморф-  
ностью между  $(Fe^{2+})$  и  $(Ti^{4+}Fe^{2+})$ .

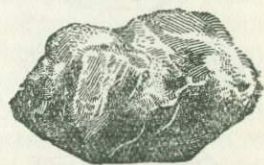
Название ильменит происходит от Ильменских гор в Южном Урале,  
где этот минерал впервые был найден.

Кристаллизуется в гексагональной сингонии. Вид кри-  
сталлов большей частью ромбоэдрический.

Спайность несовершенная. Твердость 5—6. Удельный вес 4,56—  
5,21. Излом раковистый, неровный. Блеск полуметаллический. Цвет  
железнодорожный или бурый. Черта черная, в некоторых разновидно-  
стях бурая.

Месторождения в СССР известны в Ильменских горах на  
Урале, близ Миасса, где ильменит приурочен к нефелинополево-  
шпатовым жилам щелочных изверженных пород (рис. 186).

Применение весьма разнообразное. Употребляется в изготовлении  
различных сплавов с другими металлами: с железом (ферротитан), медью,  
марганцем, алюминием и некоторыми другими. Точно так  
же является сырьем для производства белых красок с вы-  
сокой кроющей способностью, а также желтых и бурых,  
употребляемых в керамике и других производствах.  
Кроме того, соединения титана находят применение в  
электротехнике, в химической промышленности, в сте-  
кольном деле и пр.



**Хромит, или хромистый железняк.** Хими-  
ческий состав.  $FeO \cdot Cr_2O_3$ , или  $FeCr_2O_4$ .  
Представляет главную руду на хром Cr. Содер-  
жание  $Cr_2O_3$  колеблется от 40 до 65%. Такое  
колебание хрома связано с различными приме-  
сями, находящимися в руде.

Рис. 186. Ильменит из  
нефелинополевошпато-  
вых жил Ильменских  
гор.

Кристаллизуется в кубической сингонии, преимуще-  
ственно в форме октаэдров, очень часто встречается в сплошных  
зернистых массах, иногда в россыпях.

Твердость 4,5—5,5. Удельный вес 4,5—4,8. Блеск полуметалли-  
ческий. Цвет железночерный. Черта бурая.

Месторождения хромита приурочены большей частью к  
основным и ультраосновным породам, например, к габбро-пироксенито-  
дунитовому типу платиновых месторождений Урала. Наиболее обще-  
известным в этом отношении месторождением является гора Соловьева  
в Нижнетагильском районе. Хромистый железняк здесь сконцентри-  
рован в шпировых выделениях и является продуктом глубинных  
магматических процессов. Главнейшими спутниками хромита обычно  
являются силикаты хрома, как-то: хромовая слюдка, хромовый гранат,  
или уваровит (минерал травянозеленого цвета), и другие, в некото-  
рых случаях силикаты никеля, а иногда некоторые сульфиды (меди,  
мышьяка, никеля и пр.).

Из других месторождений Урала заслуживают внимания: Сара-  
новское месторождение (Бисерский район в Среднем Урале), Голо-  
горское месторождение, расположенное к западу от Свердловска  
в Васильево-Шайтанском районе, у железнодорожной станции Хром-  
пик, Ключевские месторождения, к востоку от Свердловска, где на-

блюдается целая группа выходов хромита, имеющих большое промышленное значение.

На Южном Урале также имеется ряд районов с месторождениями высокосортных хромовых руд.

Хроме Урала, хромит известен еще в Орджоникидзеvском крае, а также в Армении, в окрестностях оз. Севан (Гокча).

**Применение.** Широко используется для приготовления хромовой стали, применяемой в военном деле, и в качестве инструментальной стали (хром увеличивает твердость стали). Кроме того, применяется в химической промышленности и в производстве хромовых красок.

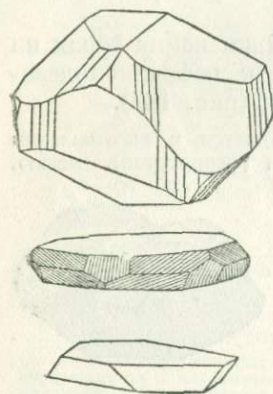


Рис. 187.

**Гематит, или красный железняк.** Химический состав  $Fe_2O_3$  (теоретический состав: Fe—70,00%, O—30,00%). В некоторых случаях наблюдаются примеси закиси железа  $FeO$ , двуокиси титана  $TiO_2$ , кремнезема  $SiO_2$  и др.

Название происходит от греческого слова «гема», что значит «кровь». Такое наименование, как полагают, связано с цветом порошка минерала (вишневокрасная черта), а также со способностью его останавливать кровотечение.

Кристаллизуется в гексагональной сингонии (рис. 187). В некоторых разновидностях является аморфным (землистые разновидности, железные охры), или скрытокристаллическим. В связи с различными формами образования, а также процессами генезиса

гематит распределяется на следующие разновидности:

1. Железный блеск характеризуется ясно выраженной кристаллическостью. Превосходные кристаллы его издавна известны с о. Эльба в Средиземном море.
2. Железная роза — сростки пластинчатых кристаллов железного блеска, группирующихся в форме розеток.
3. Железная слюдка — тонкочешуйчатые формы железного блеска, имеющие сланцеватое сложение.
4. Железная сметана — жирная на ощупь железистая масса, обладающая весьма рыхлой, тонкой и мелкой чешуйчатой структурой.
5. Красная стеклянная голова — разновидность гематита, характеризующаяся почковидными натечными формами с радиально-лучистой внутренней структурой. В отдельных скоплениях эта разновидность иногда принимает длиноволокнистое или игольчатое сложение.
6. Красный железняк — сплошные мелкозернистые агрегаты гематита.
7. Мартит — особые формы гематита, имеющие вид октаэдров и представляющие псевдоморфозы по магнитному железняку.
8. Оолитовые разновидности гематита, имеющие шарикообразную форму часто скорлуповатого сложения.
9. Плотные кремнистые разновидности гематита.

10. Красная железная охра, представляющая землистые рыхлые разновидности гематита, образующиеся иногда в виде налетов и примазок.

**Физические свойства.** Вследствие большого разнообразия форм и агрегатов гематит не обладает постоянством в отношении своих физических свойств.

Твердость	3,5—6,5
Удельный вес	5,19—5,28 (для железного блеска)
Блеск	От металлоидного до стеклянного, у ряда разновидностей блеск отсутствует
Цвет	В зависимости от разновидностей различен: железночерный, стальносерый, красный, вишневокрасный, буроватокрасный
Черта	Красная или вишневокрасная (признак наиболее постоянный)

**Главнейшие месторождения и происхождение.** Наиболее крупным месторождением гематита в СССР является Кривой Рог на Украине. Здесь гематит заключен среди кварцитов и представлен метаморфическими образованиями. Полагают, что эти образования относятся еще к докембрийскому времени. По качеству железная руда Криворожья считается высокосортной, содержание железа 50—70%.

Кроме Украины, гематит известен еще на Урале в целом ряде месторождений, из которых особенно интересными являются месторождения, расположенные по восточному склону. Эти месторождения сосредоточены, главным образом, в области метаморфических пород, преимущественно кристаллических сланцев, и являются в генетическом отношении еще не полностью изученными. Многие из этих месторождений весьма важны в промышленном отношении. Таковы, например, Ильмовское месторождение, в Ревдинской даче, среди тальково-хлоритовых сланцев, переслаивающихся с плотными кварцитами, где гематит сосредоточен в форме чечевицеобразных залежей, имеющих разные размеры по мощности (от 0,2 до 10 м) и по простиранию (от 40 до 200 м). Содержание железа в среднем 51—58%.

Западный склон Урала представляет в промышленном отношении также видный район, по ряду, главным образом, пластообразных месторождений гематита. Многие из этих месторождений являются основной базой для развития металлургической промышленности Урала.

Кроме того, Урал известен месторождениями гематита и в ряде других районов.

**Лимонит, или бурый железняк.** Общие замечания. Лимонит относится к разряду водных окисей железа  $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  и представляет собой тело, весьма широко распространенное в поверхностных горизонтах земной коры. Большинство железистых соединений под влиянием кислорода и воды, т. е. процессов окисления и гидратации, на поверхности земли переходит в лимонит.

**Химический состав.** В химическом отношении лимонит представляет собой вещество непостоянное и неоднородное, так как количественные соотношения между  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$  резко изменчивы против установленной и общепринятой формулы  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

В настоящее время установлено, что постоянным гидратом окиси железа является минерал гетит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (моногидрат окиси железа, где 89,89%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 10,11%  $\text{H}_2\text{O}$ ), кристаллизующийся в ромбической сингонии. Все же остальные водные соединения окисей железа, на основании современных исследований, представляют твердые растворы воды в гематите  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , вследствие чего проявляют весьма большое разнообразие как в химических, так и в ряде физических свойств.

**Главнейшие разновидности.** В зависимости от содержания воды среди водных окисей железа различают следующие разновидности:

1. Турьит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Название связано с первым нахождением в Турьинских горах на Урале.
2. Гетит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Название связано с именем Гёте.
3. Гидрогетит  $3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .
4. Лимонит  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , от греческого «леймон» — «луг».
5. Ксантосидерит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Название происходит от двух греческих слов: «ксантос» — «желтый» и «сидерос» — «железо». Это вещество действительно обладает ярким желтым цветом.
6. Лимнит  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , от греческого «лимне» — «болото», поскольку имеет связь с болотными образованиями.

Многие из этих разновидностей бывают загрязнены различными примесями, как, например, кремнеземом  $\text{SiO}_2$ , соединениями алюминия, марганца и пр.

Вследствие этого различают: кремнистый бурый железняк — типы опаловидных образований, глинистый бурый железняк — охристые разновидности, алюмолимонит — бокситовые разновидности, марганцелимонит — разновидности лимонита с примесью соединений марганца и некоторые другие.

Минералы группы лимонита не обнаруживают ясно выраженного кристаллического строения, многие из них представляют собой гели, образовавшиеся из коллоидных растворов.

**Главнейшие внешние формы минералов группы лимонита — морфология гидратов окисей железа.** 1. Плотные сплошные массы бурого железняка темно- или желтобурого цвета.

2. Бурая стеклянная голова — натечные округлые или сфероидальные формы с радиально-лучистой структурой, с поверхности блестящие и имеющие большей частью темный или черный цвет.

3. Сталактитовые формы — также с радиально-лучистой структурой в поперечном сечении.

4. Конкреции, а также желваки, разнообразного внешнего вида и размеров, образующиеся преимущественно в глинистых и мергелистых породах.

5. Желуды — концентрически-скорлуповатого сложения с внутренними полостями, заполненными или каким-нибудь минеральным веществом, или совсем свободными.

6. Оолитовый бурый железняк — шарикообразные формы также с концентрически-скорлуповатым сложением.

7. Озерные, болотные, луговые, бобовые, дерновые руды — разнообразные виды бурых железняков, представляющие землистые, пористые, почковидные, лепешковидные об-



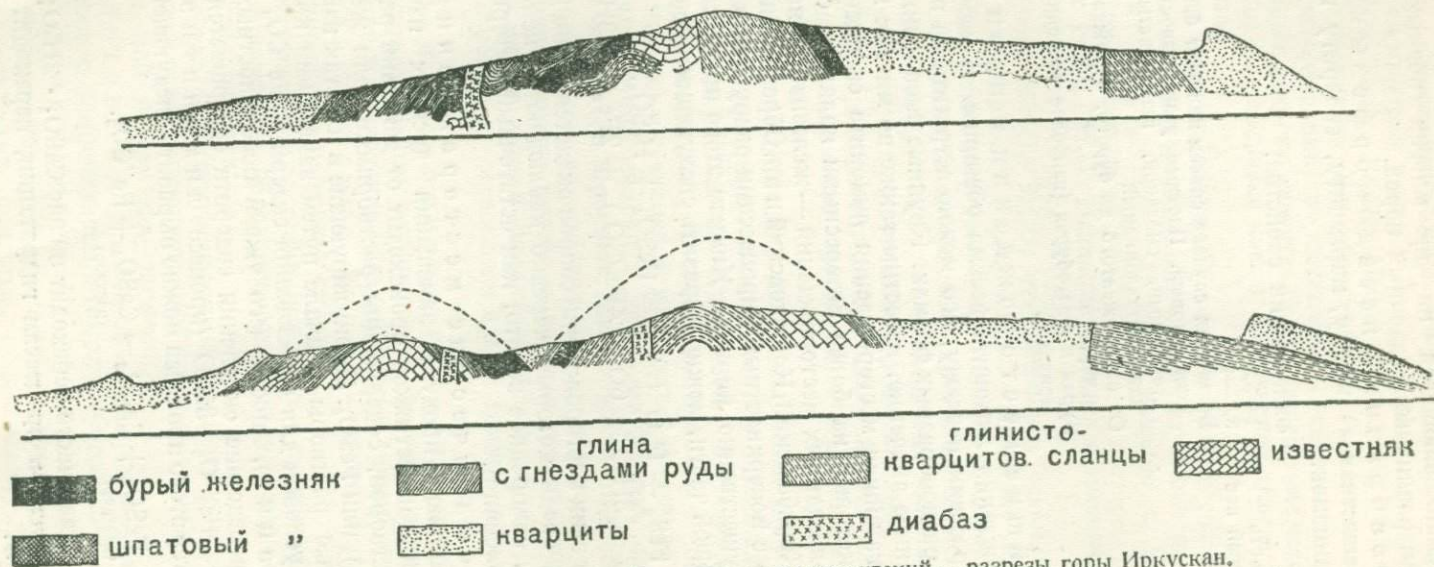


Рис. 188. Геологические профили Бакальских месторождений — разрезы горы Иркутан.

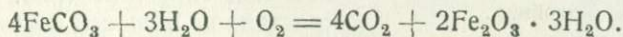
Месторождения этого типа известны в Южном Урале — Бакальское, в окрестностях Златоуста и Алапаевское близ Свердловска.

Кроме того, очень крупным является Халиловское месторождение между Оренбургом и Орском, а также Комарово-Зигозинское месторождение в Башкортостане.

Кроме Урала, крупные месторождения лимонита сосредоточены еще в Липецком и Тульском районах, а также на Керченском полуострове. Керченское месторождение является одним из крупнейших в СССР.

Во всех этих последних пунктах лимонит представлен древнейшими озерными и болотными образованиями. Осаждение его шло на дне озер или в прибрежных частях моря химическим путем (химические осадки).

Полагают, что в этом процессе образования лимонита могла принимать участие особая группа бактерий, которые осаждают гидраты окисей железа из растворимых железных солей в процессе жизнедеятельности — железобактерии. К числу таких железобактерий относятся *Gallionella ferruginea*, *Spirophyllum ferrugineum* и др. У этих организмов необходимая для поддержания жизни энергия освобождается через обработку неорганических веществ, а минеральных соединений неорганических, какковыми в большинстве случаев являются  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  или  $\text{H}_2\text{Fe}(\text{CO}_3)_2$ . В результате процессов окисления этих веществ (непосредственно кислородом или через посредство различных железобактерий) происходит образование гидратов окисей железа (лимонита), например:



### КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МАРГАНЦА.

**Общие замечания.** Большинство минералов, относящихся к этой группе, представляют руды на марганец и в промышленном отношении стоят весьма высоко. Известно несколько разновидностей кислородных соединений марганца, причем одни из них являются относительно простыми и однородными веществами, другие представляют весьма сложные и непостоянные тела. При этом во всех своих природных соединениях марганец является двух- или четырехвалентным. Очевидно, только в таких формах этот элемент является



Рис. 189. Условия залегания лимонита на девонских известняках средней части СССР (по Земляченскому):

a — песок; b — охристая песчаная глина с гнездами лимонита; c — глина с охрой и лимонитом; d — девонский известняк.

«отвечающим данным условиям термодинамических состояний окружающей среды.

К числу кислородных соединений марганца относятся следующие минералы:

**Полианит и пиролюзит**  $MnO_2$  (перекись марганца  $Mn$  63,20%,  $O$  36,80%). Эти минералы представляют две разновидности, отличающиеся друг от друга кристаллическим строением: полианит кристаллизуется в тетрагональной сингонии, тогда как пиролюзит считают разновидностью, обладающей землистым сложением или имеющей натечную форму.

Название полианит происходит от греческого слова «полиос», что значит «серый». Слово «пиролюзит» составлено из двух греческих слов: «пюр» — «огонь» и «люзиос» — «моющий», «уничтожающий», «разрушающий». Такое наименование дано этому минералу вследствие того, что им издавна пользовались для обесцвечивания стекол, загрязненных железистыми соединениями.

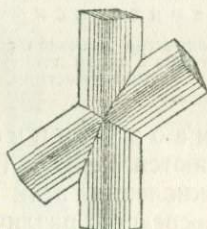
#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

	Полианит	Пиролюзит
Твердость	6—7	1—3
Удельный вес	5,0	4,8
Блеск	Металлический, не прозрачен	Полуметаллический
Цвет	Железочерный, стально-серый	Черный, стально-серый
Черта	Черная	Черная

**Браунит**  $Mn_2O_3$  ( $Mn^{II}O \cdot Mn^{III}O_2$ ) и **гаусманит**  $Mn_3O_4$  ( $Mn^{II}O \cdot Mn^{III}O_2 \cdot Mn^{III}O_2$ ). Оба минерала близки по физическим свойствам к полианиту и встречаются в месторождениях среди других марганцевых руд.



А



В

Рис. 190. А — единичный кристалл; В — двойник.

**Манганит** (водное соединение марганца)  $Mn_2O_3 \cdot H_2O$  ( $H_2Mn_2O_4$ , или  $H_2O, Mn^{II}O \cdot Mn^{III}O_2$ ;  $Mn_2O_3$  — 89,76%,  $H_2O$  — 10,24%).

Название связано с составом — руда на марганец.

Кристаллизуется в ромбической сингонии (рис. 190.) Вид кристаллов большей частью столбчатый или игольчатый. Очень часто образует дендриты на различных осадочных породах.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	3—4
Удельный вес	4,3
Блеск	Металлический, полуметаллический
Цвет	Железочерный
Черта	Бурая

**Псиломелан и вад.** Эта группа марганцевых минералов представляет сложные и непостоянные вещества как в химическом составе, так и в отношении физических свойств. Марганец в псиломе-

ланах и вадах находится в различных степенях окисления и в разном количестве. Повидимому, эти вещества являются комплексными соединениями других марганцевых окислов. Кроме того, в псиломеланах и вадах находится еще вода, которая часто доходит до 10%, а иногда и больше. В качестве примесей здесь наблюдаются кремнезем  $\text{SiO}_2$ , глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , щелочноземельные металлы  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{BaO}$ , щелочные металлы  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , особенно интересной примесью является кобальт  $\text{CoO}$ .

Название «псиломелан» происходит от греческого слова «псиλος» — «лысый» и «мелас» — «черный» (так называемая «черная стеклянная голова»). Вад связан с английским выражением Wad — губчатость, от губчатого строения.

Структура недостаточно изучена. Одни разновидности обладают скрытокристаллической структурой, другие являются аморфными и представляют коллоиды, образующиеся в виде желваков, оолитовых и конкреционных масс, разнообразных натечных форм, земляных масс и т. д.

Физические свойства весьма непостоянны. Твердость у псиломелана 4—6, у вада 1—4. Удельный вес для обеих разновидностей 2,3—4,3. Блеск большей частью полуметаллический. Цвет черный, бурый и серый с различными оттенками. Черта буроваточерная.

Происхождение и главные месторождения марганцевых руд. Описанные выше марганцевые минералы очень близки друг к другу по процессам образования в земной коре. Генезис этих веществ связан большей частью с водными растворами, как глубинными, так и поверхностными.

Очень часто, например, манганит совместно с другими соединениями марганца можно встретить среди гидротермальных кварцевых жил, а иногда в контактовых месторождениях. Крупные скопления марганцевых руд сосредоточены в древних осадочных породах.

В СССР богатейшие месторождения пиролюзита известны в Закавказье — Чиатурские месторождения, расположенные в бассейне

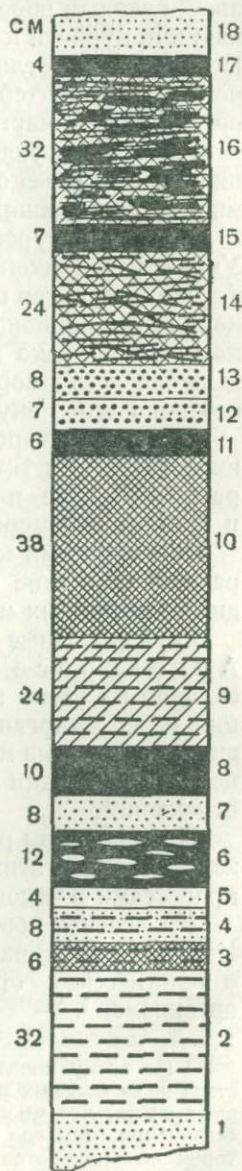


Рис. 191. Разрез Чиатурского марганцевого месторождения:

1, 5, 7, 18 — миоценовый песчаник; 2 — черная марганцевая руда в форме плотных масс; 3, 4 — бурый марганцевистый песчаник; 6 — черная грубозернистая руда с включениями кусковой руды; 8, 11, 16, 17 — плотная руда; 9 — бурая землянистая руда; 10 — черная кусковая руда в плотной массе; 12 — кусковая руда в песчаной массе; 13 — грубозернистая руда; 14 — бурая грубозернистая руда в песчаной массе; 15 — бурая марганцевая руда в форме зернистых масс.

р. Квирила. Месторождение это открытое Абигом еще в 1848 г., издавна уже разрабатывается и в настоящее время имеет огромное промышленное значение. Марганцевая руда здесь залегают в третичных, по всей вероятности, эоценовых отложениях, которые прикрывают собой меловые известняки и мергеля, покоящиеся в свою очередь на гранитах. Третичные отложения представлены большей частью песками и песчаниками. Рудоносный горизонт достигает мощности в среднем около 2 м, обнаруживая иногда значительные местные утолщения (до 4—5 м). Пирролизит этого месторождения представлен, главным образом, оолитовыми формами (так называемая «дробка») и приурочен к отложениям прибрежной полосы эоценового моря. Полагают, что отложения этих руд в значительной части имеют органический характер и связаны с жизнедеятельностью особых микроорганизмов — марганцевых бактерий, а также некоторых водорослей, аккумулирующих в своем теле марганец. Изученность этих организмов еще далеко не стоит на должной высоте, а потому требует многих дальнейших исследований.

Кроме Чиатурских, марганцевые отложения известны еще на юге Украины — Никопольские месторождения, где эти руды имеют весьма близкий характер генезиса с первыми. Марганцевые образования Никопольского района часто представлены отдельными желваками, среди которых нередко встречаются остатки организмов, или в виде отдельных псевдоморфоз, или в форме целых органических остатков, особенно зубов акул и скатов.

Оба эти месторождения геологически очень близки к месторождениям Индии и Бразилии, где марганцевые руды также сконцентрированы в виде пластообразных залежей среди древних осадочных и отчасти метаморфических пород.

При изучении кислородных соединений марганца давно было обращено внимание на нахождение их среди глубоководных осадков дна современных морей и океанов.

Глубоководные исследования экспедиций Чэ л л е н д ж е р а, А л ь б а т р о с а и других обнаружили, что на дне современных океанов на очень значительных глубинах имеются большие скопления железо-марганцевистых стяжений, занимающих нередко большие площади дна морского. Кроме того, своеобразные железо-марганцевистые желваки наблюдаются также и среди мелководных морских отложений.

На основании ряда исследований не раз высказывалось предположение о связи этих своеобразных осадков с химико-биологическими процессами в отношении своего образования на морском дне <sup>1</sup>.

На основании этих наблюдений сопоставляют марганцевые залежи Никопольского района и Чиатурские, а также некоторые другие в генетическом отношении с возможностью участия тех или иных организмов <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> По этому поводу существует много интересных данных, касающихся состава золы морских растений, где был обнаружен марганец. Эти данные указывают на то, что многие растения обладают способностью усваивать марганцевые соединения, несмотря на чрезвычайную бедность этими соединениями среды, в которой они находятся.

<sup>2</sup> См. по этим вопросам В е р н а д с к и й В. И., Очерки Геохимии, 1935.

**Применение.** Все описанные марганцевые минералы являются рудами на марганец, который в настоящее время широко используется в производстве марганцевой стали и различных сплавов. Вместе с тем марганец утилизируется еще в химической промышленности, в красочном деле, а также применяется для обесцвечивания стекла при его изготовлении.

## КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЯ.

**Общие замечания.** К числу алюминиевых кислородных соединений относятся минералы, заслуживающие большого внимания, как со стороны их распространенности в природе, так и в отношении их практического значения.

К этой группе относятся, так же как и в предыдущих, безводные соединения, а также водные, в соединении с разными количествами воды.

Основными представителями этой группы являются следующие минералы:

1. Корунд и его разновидности  $Al_2O_3$
2. Диаспор  $Al_2O_3 \cdot H_2O$
3. Боксит  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$
4. Гидраргилит  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$

**Корунд.** Химический состав  $Al_2O_3$  (Al — 53,00%, O — 47,00%).

Название не вполне ясно, происходит от «corund» — древнеиндусское наименование этого минерала.

**Кристаллическое строение.** Кристаллизуется в гексагональной сингонии. Кристаллы большей частью имеют столбчатый или боченкообразный вид. Грани призм и дипирамид обычно снабжены горизонтальной или косой штриховкой. Спайность на кристаллах отсутствует (рис. 192).

На основании рентгеновских исследований кристаллическую решетку корунда можно рассматривать как молекулярную решетку, так как в ней весьма явно выделяются молекулы  $Al_2O_3$ .

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	9
Удельный вес	4,0
Блеск	Стекланный
Цвет	Голубовато- или желтоватосерый (см. ниже)
Черта	Не дает
Температура плавления	2000° C

**Главнейшие разновидности:** 1. Обыкновенный корунд имеет большей частью кристаллический вид, по цвету голубоватый, серый или желтосерый, некоторые разновидности обладают бронзово-желтыми оттенками. 2. Наждак представляет мелкозернистые и плотные разновидности корунда с примесью кварца и окиси железа  $Fe_2O_3$ . 3. Рубин (название от латинского «guber» — красный) — прозрачный красный корунд является драгоценным камнем. Окраска связана с примесью хрома, в виде  $Cr_2O_3$ . 4. Сапфир (происхождение названия неизвестно) — прозрачный синий

корунд, также драгоценный камень. Причина окраски в точности не выяснена. Кроме того, встречаются еще и другие разновидности корунда, отличающиеся другими цветами и оттенками.

Происхождение и главнейшие месторождения. Главная масса корунда образуется среди пегматитовых жил, где этот минерал часто можно видеть в превосходно образованных кристаллах совместно с полевым шпатом — полевошпатово-корундовые пегматиты. Иногда корунд образуется среди глубинных магматических пород, в которых он представляет главную составную часть, например, в такой породе, как кыштымит, состоящей из корунда (до 47%), анортита (кальциевый полевой шпат) и биотита.

Вопрос о выделении корунда из расплавленной массы весьма обстоятельно был изучен Морозевичем. Необходимо, чтобы магма была пересыщена глиноземом  $Al_2O_3$  при относительно небольшом содержании магния и железа, в связи с которыми может наступить образование других кислородных веществ, например шпинелей ( $MgAl_2O_4$  или  $FeAl_2O_4$ ).

Корундовые месторождения в большом количестве и разнообразии сосредоточены во многих местах Урала: Кыштымский район, Ильменские горы, близ Миасса и некоторые другие. Кроме того, интересные месторождения корунда известны в Казахстане (северо-восточная часть), в Семиз-Бугу. В некоторых из этих месторождений корунд встречается также среди россыпей.

Наряду с отмеченными месторождениями большого внимания заслуживают еще залегания его в контактовых областях, в породах, метаморфизованных действием изверженных масс. Сюда должны быть отнесены, главным образом, месторождения наждака, которые известны в различных местностях. В СССР наждак известен также на Урале, в районе дер. Косой Брод, близ Свердловска.

Месторождения рубина и сапфира, имеющие промышленное значение, в СССР неизвестны. Вне СССР рубины издавна известны в Бирме, сапфиры в Индии и Сиаме, где эти минералы добываются из аллювиальных россыпей.

Применение. Обыкновенный корунд и наждак идут как абразивные материалы (для целей шлифования, точения и пр.). Цветные разновидности (рубин и сапфир) представляют драгоценные камни, а также широко используются в производстве различных частей механизмов и отдельных инструментов, особенно связанных с точностью воспроизводимой работы. Учитывая исключительную стойкость корунда, отсутствие окисляемости, высокую твердость и все его дальнейшие качества, не раз выдвигался вопрос об искусственном его получении. Первые попытки в этом направлении относятся еще к 1837 г. В это время французским химиком Годеном впервые были получены микроскопические рубины путем сплавления алюминиевых квасцов с солями хрома, игравшего роль пигмента. Несколько позже были получены также сапфиры, а в 1877 г. Фреми и Файлю удалось получить кристаллический корунд.

Впоследствии синтез корунда достиг высокой степени совершенства, и около

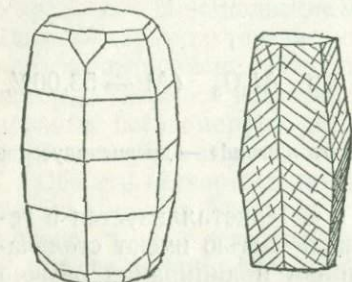


Рис. 192.

1900 г. во Франции уже было оформлено целое производство искусственных рубинов и отчасти сапфиров.

Принцип метода получения этих цветных разновидностей основан на сплавлении чистого глинозема  $Al_2O_3$  в кислородном пламени при температуре  $1800^\circ C$ . В результате такого сплавления образуется однородная масса, которая по всем своим физическим константам почти ничем не отличается от естественных корундов.

Красный цвет рубина, как было уже отмечено, обуславливается коллоидными соединениями хрома в высокодисперсном состоянии. Аналогичный же цвет получается еще от дисперсных частиц золота, которым между прочим пользуются при изготовлении красного «рубинового» стекла.

(Первые сведения о получении рубинового стекла посредством золота относятся еще к XVI в.).

Кроме искусственного рубина, известны еще способы получения сапфира и некоторых других цветных разновидностей корунда. Сапфировый синий цвет достигается прибавлением к глинозему смеси окиси титана и закиси железа. Кроме того, получены и другие окраски путем прибавки других элементов, например, желтый тон достигается прибавкой окиси никеля, зеленый — ванадием и т. д. Таким образом в настоящее время можно синтетически получить самые разнообразные виды, даже не встречаемые в природе.

Искусственные рубины и сапфиры, кроме ювелирных целей, используются еще широко в различных производствах, нуждающихся в твердой и устойчивой минеральной массе (часовые механизмы и пр.).

Искусственные обыкновенные корунды в настоящее время получают путем электрической плавки из бокситов и обычно по качеству стоят выше естественных.

Нередко с корундом смешивают карборунд, такое смешивание происходит по близким свойствам одного и другого, это, действительно, два близнеца. Карборунд представляет собой карбид кремния, или углеродистый кремний. Его получают путем сплавления кварцевого песка с угольным порошком в электрических печах. Зерна карборунда очень остры и тверды. Твердость искусственного корунда, по Моосу, от 9 до 9,5, а карборунда еще выше — 9,6. В последнее время удалось получить еще более твердый материал, так называемый «карборунд-экстра», его твердость, по Моосу, доходит до 9,75. «Карборунд-экстра» получается из особо чистого кварцевого песка и чистейшего углерода.

Все эти материалы являются весьма ценными для настоящего времени, без них невозможно было бы изготовлять режущие инструменты из твердых сплавов — их нечем было бы затачивать. Без этих камней теперь не может обойтись ни один завод, ни одна мастерская, где работают режущим инструментом.

Совсем недавно за границей, в Австрии, открыт еще один сверхтвердый сплав — «титанит». Он тверже всех существующих сплавов — твердость 9,9. В состав этого сплава входит металл титан. Карбиды титана, так же как и карбиды вольфрама и бора, отличаются исключительной твердостью.

В 1934 г. у нас в Союзе был спроектирован план постройки огромного завода твердых и сверхтвердых сплавов. Новый завод явится не только заводом, но и всесоюзной лабораторией для усовершенствования методов получения и изобретения твердых сплавов.

**Боксит. Химический состав.** В отношении химического состава боксит представляет водный глинозем, формулу которого обычно выражают  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ . Однако на основании ряда работ выяснено, что вода в бокситах может быть и в других количественных соотношениях, по крайней мере, от одной частицы до трех ( $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ , при этом  $x = 1-3$ ). Кроме того, и характер воды еще недостаточно выяснен, несмотря на многочисленные исследования в этом направлении.

В последнее время для выяснения строения боксита большое значение имеют термические методы изучения его. Для этой цели исследуемое вещество подвергается нагреванию в электрической печи при температуре до  $1000^\circ C$ . Все изменения, происходящие при этом, наносятся на диаграмму в виде той или иной кривой, по которой можно

судить о строении и о химической конституции взятого для испытания вещества.

Среди бокситов различных месторождений известны многообразные разновидности, например: диаспоровый боксит, гидрат ргилитовый боксит (с содержанием меньшего и большего количества воды), железистый боксит (с окисью железа  $Fe_2O_3$  свыше 2%), кремнисто-глинистый боксит (с содержанием кремнезема  $SiO_2$  свыше 2%) и некоторые другие. В некоторых разновидностях было констатировано присутствие извести  $CaO$ , магнезии  $MgO$ , в ничтожных количествах  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $MnO$ , двуокиси титана  $TiO_2$  и пр.

Таким образом химическая и минералогическая природа бокситов является весьма сложной и не всегда постоянной. Полагают, что бокситы в отношении строения представляют собой сложные дисперсные системы, составные части которых имеют размеры коллоидных частиц.

Название «боксит» происходит от небольшого местечка Бо (Beaux), в Южной Франции, где этот минерал был впервые обнаружен в виде плотного глиноподобного вещества красного цвета.

Красный цвет его в данном случае обязан присутствию окиси железа  $Fe_2O_3$ , которой по анализу, произведенному химиком Бертье, оказалось 27,6%.

Это месторождение до сих пор имеет большое промышленное значение.

**Структура и внешние морфологические особенности.** С внешней стороны боксит обычно представлен глиноподобной каменистой массой плотного или пористого сложения. Очень часто наблюдаются также землистые и рыхлые его разновидности. Характерной особенностью некоторых бокситов является наличие в них так называемых пизолитов. Эти образования имеют вид своеобразных оолитовых стяжений с характерной концентрической скрупуловатостью и состоят из коллоидных частиц окиси железа или смеси их с гидроокисями алюминия.

Очень часто на некоторых разновидностях наблюдается чередование более ожелезненных участков с более светлыми промежутками, состоящими из гидратов окиси алюминия. Если пизолиты преобладают над основной массой, то вся порода принимает ярко выраженный пятнистый вид.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	1—3
Удельный вес	2,5—3,5
Блеск	Матовый или полностью отсутствует
Цвет	Белый, от примесей желтый, красноватый, краснобурый, серый и пр.
Черта	Соответствует цвету данной разновидности

**Происхождение и главные месторождения.** Образование бокситов приурочено к поверхностным частям земной коры и во многом аналогично образованию лимонита. В большом количестве боксит образуется при процессах разрушения на земной поверхности всех соединений алюминия: алюмосиликатов, отчасти корунда и наждака. Кроме того, известны месторождения боксита, образовавшиеся метасоматическими путями, т. е. замещением алюминиевыми солями какой-либо осадочной породы, преимуще-

ственно известковой, при посредстве протекающих водных растворов, — процессы бокситизации<sup>1</sup>.

Месторождения боксита в СССР известны в Ленинградской области — Тихвинский район. Это месторождение приурочено к зоне между древними девонскими и нижнекаменноугольными отложениями и заключено среди известняков. Имеет крупное промышленное значение, содержание  $Al_2O_3$  достигает 46—55%.

Кроме того, боксит известен еще на Урале — Журавлинское месторождение по р. Чусовой, а также близ Алапаевска к северо-востоку от Свердловска. Месторождение также имеет крупное промышленное значение.

**Применение.** Бокситы имеют весьма широкое применение в промышленности. Наибольшее их количество, преимущественно сорта малокремнеземистые и маложелезистые, применяются для производства металлического алюминия.

Металлический алюминий в настоящее время имеет весьма большое значение. Он применяется для изготовления различных предметов технического и военного оборудования, а также в виде разнообразных сплавов, почти во всех видах транспорта: самолетостроении, автостроении, судостроении. Кроме того, применение алюминия широко идет в машино- и аппаратостроении для текстильной, химической и пищевой промышленности, а также наряду с медью в производстве электрических проводов<sup>2</sup>.

Такое широкое и всестороннее использование металлического алюминия основано на его легкости — малым по сравнению с другими металлами удельным весом — и чрезвычайно высокой механической прочности. Вместе с тем алюминий обладает еще высокой химической устойчивостью, например, он не изменяется даже во влажном воздухе и противостоит действию азотной и серной кислоты<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Наряду с этим известны еще процессы, связанные с образованием особых кирпичнокрасных почв, именуемых латеритами, от латинского «later» — кирпич. Латериты образуются в тропических и субтропических странах и представляют собой гидроксиды алюминия (преимущественно гидрагилит) с примесью различных окисных соединений железа, вследствие чего и получаются подобные красноземы. В зависимости от той или иной обстановки латериты могут перейти в бокситы. В СССР благоприятных для образования латеритов климатических условий не существует, поэтому эти образования у нас могут быть находимы лишь как древние, относящиеся к минувшим геологическим периодам.

<sup>2</sup> В настоящее время по поводу алюминия и его сплавов имеется огромная литература. На русском языке интересными являются: Бел яев, Рапопорт, Хазанов, Алюминий, 1932; Дебар, Алюминий, его производство и применение, 1932.

<sup>3</sup> Удельный вес металлического алюминия — 2,7.

У других металлов (для сравнения):

1) Тяжелее алюминия:	железо	— 7,6
	медь	— 8,9
	свинец	— 11,4
2) Легче алюминия:	бериллий	— 1,93
	кальций	— 1,85
	магний	— 1,74
	натрий	— 0,97
	калий	— 0,88
	литий	— 0,59

Последний элемент литий всего лишь в два с половиной раза тяжелее пробки, удельный вес которой в среднем 0,24. Из сплавов наиболее интересными являются: дуралюминий, состоит из 95,6—90,9%  $Al$ , 3,5—8,5%  $Cu$ , 0,5—0,1%  $Mn$  и 0,4—0,5%  $Mg$ . Этот сплав обладает весьма ценными техническими свойствами, вследствие чего находит весьма широкое применение (например удельный коэффициент крепости дуралюминия на 60% больше, чем стали); электрон — сплав магния с алюминием — также получает весьма большое распространение в современной технике, особенно в авиационном. В последнее время появилось много новых сплавов алюминия с различными металлами — медью, цинком, литием и пр.

Новой областью применения алюминия является еще так называемое **алитирование**, т. е. операция, при которой алюминий проникает в какое-нибудь металлическое изделие с поверхности. Благодаря этому устойчивость самого изделия против окисления при высоких температурах сильно повышается. Так, например, железный тигель после 20-часового нагрева при  $1000^{\circ}\text{C}$  сильно поддается порче, в то время как алитированный железный тигель даже после 60-часового такого же нагрева едва обнаруживает следы какого бы то ни было изменения. Эта особенность сейчас технически используется весьма широко.

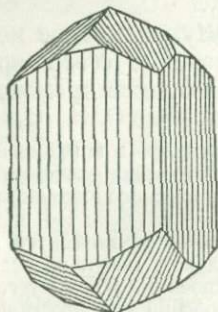


Рис. 193.

Свободный металлический алюминий стал известным лишь с 1825 г.<sup>1</sup> В это время он был впервые получен датским физико-химиком Эршtedтом, при осторожном нагревании амальгамы калия с хлористым алюминием. Сначала при этой реакции образовалась амальгама алюминия, разложив которую, Эршtedт получил кусочек металла, по блеску и цвету напоминающий олово. Первое же систематическое изучение свойств алюминия было впоследствии произведено немецким ученым Веллером.

Свое название алюминий получил от латинского слова «alumen», что значит «квасцы», вследствие того что в прежнее время главная масса алюминия шла на производство квасцов. Наряду с этим алюминий часто называли еще «глинием», благодаря его нахождению в глинах (отмечалось выражение «металл из глины»).

Кроме металлического алюминия, бокситы еще широко используются в производстве алюминиевых солей. Некоторая часть боксита идет на изготовление искусственного корунда, некоторых огнеупорных изделий и глиноземистого цемента. Сильно железистые сорта бокситов получили довольно широкое распространение в качестве минеральных красок. Наконец, боксит еще широко применяется в нефтяной промышленности в качестве адсорбера: в обожженном и обезвоженном состоянии он приобретает активную поглощательную способность и поэтому употребляется для очистки нефти и других материалов.

**Касситерит**, так называемый оловянный камень. Химический состав  $\text{SnO}_2$  ( $\text{Sn}—78,8\%$ ,  $\text{O}—21,2\%$ ). Представляет собой лучшую и почти единственную руду на олово. Содержит нередко примеси окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , двуокиси титана  $\text{TiO}_2$ , кремнезема  $\text{SiO}_2$ , окиси талия  $\text{Ta}_2\text{O}_3$  и некоторые другие.

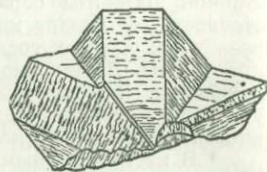


Рис. 194.

Происхождение названия. Название «касситерит» происходит от греческого «cassiteros», что значит «олово». Необходимо отметить, что олово, как показывают раскопки египетских могил, уже в древности получалось в довольно чистом виде и применялось для разных технических целей. Римляне называли олово «Plumbum candidum», в отличие от свинца — «Plumbum nigrum».

<sup>1</sup> Алюминий, несмотря на широкое распространение в земной коре (в соединениях), является по времени начала своего использования одним из последних. Об этом дают представления следующие данные:

1. Железо, медь, золото, серебро, олово, свинец известны с доисторических времен.
2. Цинк и сурьма — со Средних веков.
3. Висмут — с XV в.
4. Платина и марганец — с XVIII в.
5. Никель — » 1725 г.
6. Вольфрам — » 1781 »
7. Хром — » 1797 »
8. Магний — » 1808 »
9. Кадмий — » 1819 »
10. Алюминий — » 1825

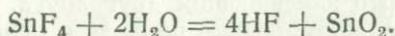
Слово «stannum», служащее теперь для обозначения олова, как полагают, во времена Плиния означало сплав олова со свинцом. Точно так же выражение «cassiteros» весьма древнего происхождения — это слово встречается в «Илиаде» Гомера и, повидимому, обозначало собой какой-то оловянный сплав. К числу древнейших оловянных сплавов относится также бронза — сплав олова с медью, название которой заимствовано из персидского слова «brontpsion», что значит «сплав».

**Структура.** Кристаллизуется в тетрагональной сингонии в виде хорошо выраженных кристаллов, имеющих призматический и бипирамидальный вид (рис. 193). Постоянным и обычным признаком кристаллов касситерита является двойниковое срастание их, по которому касситерит всегда легко можно определить (рис. 194). Кроме отдельных кристаллов, касситерит встречается также в плотных и зернистых массах. Спайность кристаллов несовершенная.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	6—7
Удельный вес	6,8—7,1
Блеск	Алмазный, металловидный или тусклый
Цвет	Черный, бурый, реже желтый и серый
Черта	Желтая или бурожелтая
Излом	Неровный, раковистый

**Происхождение и главные месторождения.** Главная масса касситерита образуется среди пневматолитических жил в результате взаимодействия паров четырехфтористого олова и воды:



Основным телом этих жил обычно является кварц, в качестве же сопровождающих минералов присутствуют: флюорит, апатит, топаз, цинвальдит, нередко вольфрамит и шеелит. Зальбанды оловянно-каменных пневматолитов обычно состоят из особой кварцево-слюдистой породы — грейзена. Процессы грейзенизации являются здесь чисто метаморфическими образованиями. Месторождения этого типа в СССР известны в Забайкалье — Ононское месторождение. Кроме того, касситерит часто встречается в россыпях, которые известны во многих странах и имеют большое промышленное значение. В СССР россыпи оловянного камня известны также в Забайкалье — Шерловая гора, где наблюдаются также и коренные месторождения его.

**Применение.** Касситерит является основной рудой на олово. В настоящее время олово применяется в различных отраслях промышленности: для приготовления белой жести, в производстве так называемого припая — сплав олова со свинцом, в изготовлении бронзы (медь + олово) и латуни — сложный сплав меди, цинка, олова и свинца, для приготовления типографского сплава — олово, свинец и сурьма. В последнее время олово нашло широкое использование в приготовлении баббита — сплава олова с различными металлами, преимущественно с медью и сурьмой. Баббит употребляется для заливки подшипников паровозов, вагонов, паровых машин, всевозможных станков и пр., так называемый белый подшипниковый металл. Баббит был изобретен в сороковых годах XIX в. инж. J. Babbitt'ом, вследствие чего и самый сплав получил соответствующее наименование. Кроме того, олово весьма широко используется для лужения, для выработки оловянной фольги — станиоля, в гальванопластике, а также в приготовлении химических солей и в керамике — для красок, эмали и глазурей.

Краткие сведения по истории добычи и выплавки олова. История металлургии олова теряется в глубокой древности, когда олово было в большом ходу в виде бронзы. Чистый металл также был известен еще в доисторические времена, несмотря на то, что олово не встречается в природе в свободном — самородном состоянии. Когда и где впервые было получено чистое олово, до сих пор установить еще не удалось. Полагают, что оно было открыто совершенно случайно при разведении костра на оловянной россыпи, по крайней мере в песнях Гомера об олове уже упоминается; кроме того, имеются сведения о том, что дворец царя Соломона имел оловянные украшения. В Месопотамии были найдены бронзовые вещи, относящиеся к 4000 г. до начала нашей эры. Египтяне пользовались бронзовыми зеркалами еще в 1600 г. до нашей эры.

Самым старым способом выплавки олова был способ выплавки его в ямах. Выкопанная в земле яма обкладывалась глиной в виде футеровки, и в ней разводили костер, а затем в разгоревшийся костер бросали небольшими порциями отмытый из россыпей касситерит, из которого путем процессов восстановления получалось чистое олово в виде жидкого металла. Из ямы олово вычерпывалось ковшами и разливалось в формы из глины. Дальнейшее развитие техники привело к более совершенным способам добычи.

## КАРБОНАТЫ.

**Общие замечания.** К классу карбонатов относятся углекислые соединения металлов, являющиеся производными угольной кислоты  $H_2CO_3$ .

Водород этой кислоты может быть замещен одновалентными, двухвалентными и трехвалентными металлами. Среди соединений, относящихся к этому классу, наблюдаются и такие, в которых на месте водорода присутствуют не один, а два или даже несколько различных металлов, изоморфно замещающих друг друга. Все эти соединения весьма широко распространены в природе и играют весьма большую роль в строении земной коры.

Кроме того, многие из относящихся сюда соединений связаны с водой и представляют таким образом группу водных карбонатов, являющихся также широко распространенными в земной коре.

Многие из соединений, относящихся к этому классу, весьма существенную роль играют в составе и строении различных горных пород. Наиболее видным представителем в этом отношении является карбонат кальция  $CaCO_3$ , который помимо того, что образует в природе отдельные минеральные разновидности, представлен еще в виде таких образований, как мел, известняки и мрамор. Эти образования в земной коре имеют колоссальное распространение и представляют собой осадочные и метаморфические породы.

Многие из минералов этой группы являются характерными для поверхностных горизонтов земной коры и нередко образуются здесь в больших количествах. Некоторые карбонаты, особенно  $CaCO_3$ , играют весьма существенную роль в строении скелетных частей многих организмов — раковин фораминифер, моллюсков, твердых частей кораллов, иглокожих, губок и других организмов. Кроме того, отложение  $CaCO_3$  наблюдается также в растительных организмах, например в теле водорослей *Chara fretida*, *Lithothamnium* и многих других. В результате жизнедеятельности всех этих организмов идет мощный процесс минералообразования — карбонат кальция в виде биолита откладывается в земной коре, образуя при этом мощные скопления разнообразных известковых пород.

В связи с вопросом об участии карбоната кальция в строении скелетных частей организмов не безинтересно отметить следующее. На основании ряда работ и отдельных исследований, проводящихся как в СССР (В е р н а д с к и й В. И., В и н о г р а д о в А. П. и др.), так и за границей, в настоящее время все более отчетливо выясняется, что многие твердые части организмов, преимущественно беспозвоночных, не всегда состоят только из  $\text{CaCO}_3$  (кальцита или арагонита). В химическом составе многих организмов мы обнаруживаем ряд и других элементов, по большей части изоморфно друг с другом связанных. В настоящее время во всей полноте даже выдвигается проблема о взаимоотношениях между распределением и сочетанием химических элементов в живом веществе и теми геохимическими закономерностями, которые отражены в этих распределениях и сочетаниях. Наряду с этим выдвигаются также вопросы о возможной связи геохимического изучения живого вещества с элементами морфологии и систематики самих организмов.

В настоящем замечании можно указать лишь на некоторые данные химического состава организмов, в связи с карбонатным скелетом.

1. Protozoa. Скелет Protozoa в отношении химического состава еще далеко не изучен, но уже на основании имеющихся сведений представляет большое разнообразие. Так, например, твердые части семейства Lituolidae и Astorhizidae из группы фораминифер представлены железно-кальциевым цементом ( $\text{FeCO}_3 + \text{CaCO}_3$ ), при этом у *Astorhiza crassatina*  $\text{FeCO}_3 = 1,9\%$ ,  $\text{CaCO}_3 = 2,3\%$ ; у *Narphragmina latidorsatum*  $\text{FeCO}_3 = 16,3\%$ ,  $\text{CaCO}_3 = 7,3\%$ . Кроме того, виды семейства Globigerinidae содержат в своих твердых частях  $\text{MgCO}_3$  от 0,4 до 1,8%, например *Globigerina bulloides*, тогда как семейство Rotalidae содержит  $\text{MgCO}_3$  от 4 до 11%, Nummulinidae около 5% и т. д.

2. Spongia. Многие представители этого типа обладают скелетом, состоящим из кальцита с большим содержанием  $\text{MgCO}_3$ .

3. Coelenterata. Скелет семейства Hydrocorallinae и Hexacorallia состоит из  $\text{CaCO}_3$  (араконита). Octocorallia имеют часто магнезиально-кальциевый (кальцитовый) скелет, с содержанием  $\text{MgCO}_3$  до 14%. Многие представители этого типа еще недостаточно изучены.

4. Echinodermata. Почти все классы этого типа имеют однообразный магнезиально-кальциевый скелет, причем согласно наблюдениям содержания  $\text{MgCO}_3$  у Crinoidea от 7,28 до 13,37%, у Echinidae от 5,99 до 13,47%, у Ophiuroidea от 7,79 до 14,11%. Кроме того, карбонат магния обнаружен также у Asteroidea и у Holothuroidea, где содержание его оценивается еще большими количествами, нежели в предыдущих группах.

5. Bryozoa. Эта группа организмов в отношении химического состава изучена весьма слабо. Имеются лишь немногие указания на то, что некоторые представители этой группы в своих скелетных частях состоят из кальцита с некоторым содержанием  $\text{MgCO}_3$ , причем большее количество его преимущественно наблюдается в более тонких по строению частях скелета.

Между прочим в современной геохимической литературе отмечается необходимость более детального обследования химического состава этих организмов, особенно в связи с тем положением, какое занимает эта группа у разных авторов в отношении филогенетической связи с другими классами организмов.

6. Vermes. Семейство Serpulidae и другие имеют магнезиально-кальциевые трубки, с содержанием  $\text{CaO}$  от 35,9 до 50,9%,  $\text{MgO}$  от 0,14 до 3,6%.

7. Brachiopoda. Магнезиально-кальциевый скелет развит преимущественно у Articulata, тогда как Inarticulata построены, главным образом, из фосфата кальция. В раковинах Rynchonella psittacea обнаружено  $\text{CaCO}_3$  98,2% и  $\text{MgCO}_3$  0,5%.

8. Mollusca. Многочисленные представители этого типа организмов весьма интересны в отношении химического строения своих твердых частей — раковин. Створки раковин пластинчатожаберных моллюсков — Lamellibranchiata — обычно построены из слоев  $\text{CaCO}_3$  — арагонита и кальцита, либо из двойной соли  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  в самых разнообразных количественных соотношениях, причем содержание карбоната магния никогда не идет выше 2%. Вместе с тем арагонитовые и содержащие кальцит раковины моллюсков обнаруживают в себе еще соединения стронция Sr и бария Ba, роль которых еще остается невыясненной. Несомненно лишь то, что химический состав этих раковин теснейшим образом связан с общей архитектурой створок и замка этих раковин.

Среди Cephalopoda, имеющих арагонитовые раковины, исключение составляют раковины самки Argonauta, составленные из кристаллов кальцита. Точно

так же раковины аммонитов и белемнитов в большинстве случаев считают арагонитовыми, и только для некоторых из них были указаны кальцитовые структуры.

9. Arthropoda. Из членистоногих наиболее интересной группой является Crustaceae. Наблюдения показывают, что створки многих низших раков построены из  $\text{CaCO}_3$  с некоторым содержанием  $\text{MgCO}_3$ , тогда как все высшие раки содержат фосфаты кальция в своих твердых частях.

В деле изучения структур и химического строения скелетных частей организмов большую роль в настоящее время имеют рентгеноскопические методы, помощью которых удастся вникнуть во многие интереснейшие детали строения.

## Главнейшие виды минеральных тел класса карбонатов.

### I. Группа кальцита — тригональный ряд.

1. Кальцит  $\text{CaCO}_3$  — известковый шпат.
2. Магнезит  $\text{MgCO}_3$  — магнезиальный шпат.
3. Доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  — горький шпат.
4. Сидерит  $\text{FeCO}_3$  — железный шпат.
5. Родохрозит  $\text{MnCO}_3$  — марганцовый шпат.
6. Смитсонит  $\text{ZnCO}_3$  — цинковый шпат.

### II. Группа арагонита — ромбический ряд.

7. Арагонит  $\text{CaCO}_3$
8. Витерит  $\text{BaCO}_3$
9. Стронцианит  $\text{SrCO}_3$
10. Церуссит  $\text{PbCO}_3$ .

### III. Водные карбонаты меди.

11. Малахит  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  моноклиная с.
12. Азурит  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  моноклиная с.

Кроме отмеченных представителей, существует ряд других, но встречающихся в природе в менее значительной степени.

**Кальцит.** Химический состав  $\text{CaCO}_3$  (теоретический состав  $\text{CaO}$  — 56%,  $\text{CO}_2$  — 44%). В качестве примесей нередко наблюдаются:  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$  и другие.

Название «кальцит» происходит от «Calcium» — кальций или «Calcis» — «известь», «известковый камень».

Выражение «шпат» применено на общем основании вследствие спайности в трех направлениях.

**Структура.** Кристаллизуется в гексагональной сингонии — тригональная подсингония (класс  $L^3 3L^2 3PC$ ). Кристаллы кальцита весьма многообразны в отношении своих простых форм. Этот минерал является одним из самых богатых простыми формами и их многочисленными комбинациями. В настоящее время известно до тысячи отдельных форм, в которых кристаллизуется кальцит. Наиболее обычными формами являются скаленоэдр, ромбоэдры и др.

В последнее время кальцит исследован рентгеноскопически; расположение ионов кальция и карбоната в элементарной ромбоэдрической ячейке определяется центрированными ромбоэдрами в отношении кальция и двумя комплексными группами  $\text{CO}_3$ , находящимися внутри ромбоэдров.

Наряду с отдельными хорошо выраженными кристаллами кальцит встречается еще в природе в форме разнообразных агрегатов. Наиболее распространенными являются: сталактитовые, скорлуповатые, оолитовые, зернистые и многие другие. Точно так же кальцит нередко встречается в виде превосходно образованных друз и конкреций.

Группируясь в отдельных кристаллах, кальцит часто наблюдается в форме двойников.

Необходимо так же отметить, что наряду с кальцитом кристаллическим известна еще форма некристаллического коллоидного кальцита, эта последняя разновидность пока не в достаточной мере еще изучена.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Спайность	Весьма совершенная по ромбоэдру
Твердость	3—3,5
Удельный вес	2,6—2,8
Блеск	Стеклообразный, иногда перламутровый
Цвет	Различный в зависимости от примесей, обычно имеет светлые оттенки, белый, чистые прозрачные разновидности бесцветны
Черта	Белая

При воздействии кислоты растворяется с шипением на холоду.

**Главнейшие из разновидностей кальцита.**

1. **Исландский шпат** представляет собой чистую прозрачную разновидность кальцита с ясно видимым двойным лучепреломлением. Высокого качества эта разновидность кальцита известна в месторождениях Восточной Исландии близ Гельгустадара, где разработки его велись около ста лет.

Впервые исландский шпат был привезен в Европу в 1669 г. При помощи одной научной экспедиции в это время из Исландии была доставлена в Копенгаген большая коллекция этого минерала. Среди многочисленных образцов оказалось много больших и совершенно прозрачных кусков. Некоторые из этих кристаллов были подвергнуты исследованию, после чего было обнаружено замечательное явление — удваивать изображение мелких предметов, если их рассматривать через самый кристалл. Открытие этого явления принадлежит Эрмуну Бартолину, профессору физики Копенгагенского университета.

Учение о двойном лучепреломлении было впоследствии блестяще развито Христианом Гюйгенсом и в настоящее время является настолько общеизвестным, что самый исландский шпат ставят всегда в связь с этой удивительной оптической особенностью.

По причине этого явления исландский шпат широко применяется для различных оптических целей.

Подобная же разновидность кальцита известна и в других местностях, но в весьма ограниченных количествах.

2. **Обыкновенный кальцит** — известковый шпат — отличается от предыдущей разновидности непрозрачностью,

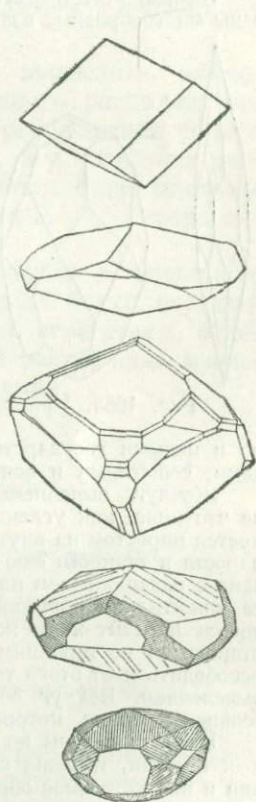


Рис. 195. Некоторые формы кристаллов кальцита.

иногда бывает полупрозрачен, а также нередко окрашен в различные цвета вследствие примесей.

Кроме того, различают еще натечные формы  $\text{CaCO}_3$  — сталактиты и сталагмиты, оолитовые формы, так называемый гороховый камень, известковые туфы, травертины и многие другие. Среди этих последних форм часто имеет место не только кальцит, но и арагонит.

Среди отмеченных разновидностей углекислого кальция заслуживает еще внимания одно весьма интересное образование, являющееся, как полагают, следствием некоторого патологического процесса у пластинчатожаберных моллюсков — это жемчуг.

Всем известно, что жемчуг относится к разряду драгоценных камней. Такое положение жемчуг занимает как вследствие своей необычайной редкости нахождения, так и по причине своей внешности, определяющей «драгоценность» камня.

Камень этот известен человеку со времен глубокой древности, с ним связаны многообразные взаимоотношения не только между отдельными личностями,

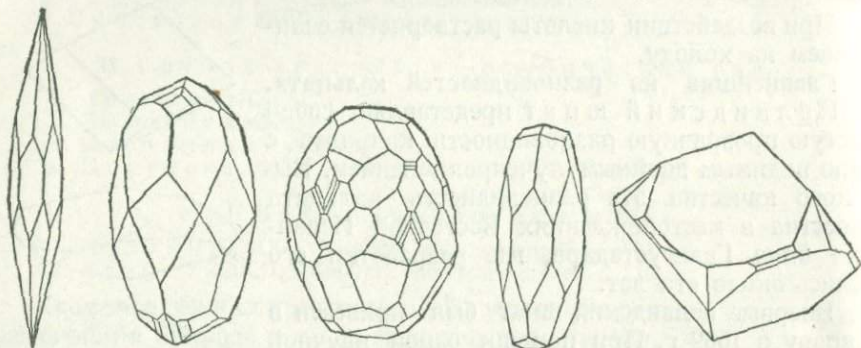


Рис. 195а. Кристаллы кальцита.

Рис. 196. Магнетит.

но и целыми государствами. История жемчуга полна многочисленными легендами, событиями и всякого рода приключениями.

Жемчуг, выделяемый мантией некоторых моллюсков, представляет собой не что иное, как углекислый кальций с коллоидно-распределенной водой и является наростом на внутренней части раковины животного. Происхождение этого нароста в точности еще не выяснено, но есть данные предполагать, что это связано с раздражением или повреждением раковины, вследствие внедрения внутрь ее какого-либо постороннего тела, например паразитов и пр. Пока внедрившийся паразит жив, жемчуга не образуется. С наступлением смерти паразит становится посторонним чужеродным телом, и раковина, не имея возможности освободиться от этого тела, покрывает его особым жемчужным и перламутровым выделением. Вокруг образовавшегося ядра располагается тонкий слой изумительной красоты, который растет по мере роста самой раковины.

В связи с этим во многих странах, например Китае, Японии, Соединенных Штатах, издавна существовал обычай культивирования жемчужных раковин и искусственное образование жемчуга, путем введения в тело моллюска того или иного постороннего предмета. Со временем эти предметы действительно покрывались роскошным перламутром.

В последнее время японцу Микимото удалось с полным успехом достигнуть искусственного получения жемчуга в живой устрице, посредством весьма тонкой операции эпителия, отлагающего перламутр. При этом качество искусственных жемчужин не отличалось от лучших жемчужин природы.

Моллюски, дающие жемчуг, относятся как к морским, так и отчасти к пресноводным формам. Наиболее типичными являются: *Avicula margaritifera*, *Pentadina margaritifera*, *Meleagrina margaritifera*, *Unio margariferus* и некоторые другие.

Жемчужины бывают разной величины и достоинства, отчего зависит и различная цена их, стоящая иногда весьма высоко.



Кристаллические формы магнезита образуются часто в результате процессов метаморфизма или среди жильных месторождений.

Наиболее интересным месторождением магнезита в СССР является Саткинское месторождение в Южном Урале в 45 км от г. Златоуста. Кроме того, магнезит известен на Калкане, в районе Верхне-Уральска, близ Белорецкого завода и в некоторых других местах.

**Применение.** Лучшие сорта магнезита используются как огнеупорные материалы — выдерживают без всякого изменения температуру в 3000° С. Вследствие этого служат превосходным материалом для футеровки различных печей — металлургических, цементно-обжигательных, электрических и др.

Кроме того, магнезит употребляется еще в цементном деле, в строительстве, а также в химической промышленности для получения различных магнезиальных солей и углекислоты.

**Доломит.** Химический состав  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , где по весу  $\text{CaCO}_3 = 54,35\%$ ,  $\text{MgCO}_3 = 45,65\%$ . В качестве примесей наиболее обычны  $\text{FeCO}_3$ , иногда  $\text{ZnCO}_3$ ,  $\text{CoCO}_3$ ,  $\text{NiCO}_3$  и пр.

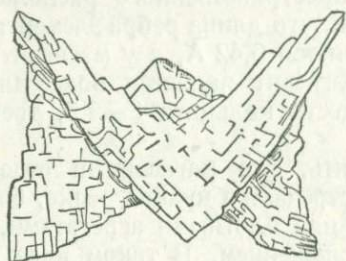


Рис. 197.

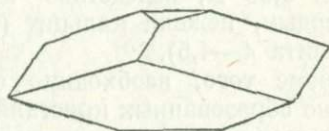


Рис. 198. Сидерит.

Происхождение названия связано с именем французского химика и минералога D. Dolomieu, открывшего доломит.

Структура и кристаллическое строение аналогичны кальциту. Внешний вид кристаллов большей частью ромбоэдрический; грани ромбоэдра часто искривлены, иногда группа кристаллов образует седловидные сростки (рис. 197). Во многих месторождениях доломит образуется в форме плотных и зернистых агрегатов.

Физические свойства в отношении многих внешних особенностей близки также к кальциту.

В кислотах с шипением растворяется лишь при нагревании.

Происхождение в земной коре в главнейшем обусловлено процессами замещения карбоната кальция углекислым магнием в известняках, так называемый метасоматический процесс или процесс доломитизации. Этот процесс весьма широко развит в природе и может иметь место как в поверхностных, так и в глубинных частях земной коры. Источниками магния могут быть или растворимые в воде соли, или магний в виде карбоната может быть органического происхождения (см. кальцит).

**Применение** — как огнеупорный материал, в цементном деле, в качестве строительного камня, а также иногда для удобрения почв, бедных кальцием и магнием.

**Сидерит.** Химический состав  $\text{FeCO}_3$  ( $\text{Fe} — 48,3\%$ ;  $\text{FeO} — 62,1\%$ ,  $\text{CO}_2 — 37,9\%$ ). Наиболее обычными примесями являются  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{MnCO}_3$  и др.

Название «сидерит» происходит от греческого «sideros» — «железо».

Структура и кристаллическое строение аналогичны кальциту.

Часто встречается в форме разнообразных агрегатов: зернистых, натечных, плотных, лучисто-шаровидных — сферосидериты и пр. Кроме того, известны также разновидности коллоидального сложения.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	3,5—4,5
Удельный вес	3,7—3,9
Блеск	Стеклообразный, в некоторых случаях не обладает блеском
Цвет	Гороховожелтый, зеленоватый, серый, бурый. При выветривании делается темно-бурым
Черта	Белая, в некоторых случаях буроватая

**Происхождение.** Главные пути образования сидерита связаны с метасоматическими процессами изменения известняков и доломитов — процессы сидеритизации, обусловленные действием глубинных железистых водных растворов на известковые породы. В поверхностных частях земли сидерит окисляется и в большинстве случаев переходит в водную окись железа — в лимонит, или бурый железняк, образуя на поверхности земли так называемую железную шляпу.

Месторождения в СССР весьма многочисленны. Наиболее видными являются Бакальские месторождения в Южном Урале, Алапаевские месторождения и многие другие места.

Используется как руда на железо.

**Родохрозит.** Химический состав  $\text{MnCO}_3$ .

Название происходит от греческого «родон» — «роза» и «хрос» — «цвет», вследствие того что минерал обладает розовым цветом.

Физические свойства и кристаллические особенности близки к кальциту. Хорошие кристаллы родохрозита обычно редки. В практическом отношении этот минерал мало интересен, в некоторых случаях используется как художественный камень.

**Смитсонит.** Химический состав  $\text{ZnCO}_3$  ( $\text{Zn} — 52,0\%$ ;  $\text{ZnO} — 64,8\%$ ,  $\text{CO}_2 — 35,2\%$ ). Из примесей часто наблюдается  $\text{FeCO}_3$  (иногда до 50%) — железистый смитсонит, в некоторых случаях примесями являются  $\text{MnCO}_3$ , реже  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ .

Название связано с именем английского химика Смитсона, который первый констатировал состав этого минерала и произвел точный количественный анализ его.

Структура и строение кристаллов те же, что и у предыдущих представителей этой группы. Для смитсонита весьма характерно лишь то, что кристаллы его обычно очень мелкие, в краях и ребрах несколько округлены. Кроме того, этот минерал часто встречается в различного рода агрегатах, наиболее типичными из них являются — почковидные, сталактитовые, гроздевидные и пр.

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	5
Удельный вес	4,1—4,5
Блеск	Стеклообразный до перламутрового
Цвет	Белый, желтоватый, зеленоватый, бурый, синий, в некоторых случаях бесцветный
Черта	Белая

**Происхождение и главные месторождения.** Для смитсонита весьма характерными областями распространения являются поверхностные горизонты земной коры. Этот минерал является типичным вторичным образованием и выделяется как продукт разрушения цинковой обманки (сульфида цинка). Вследствие этого в месторождениях смитсонит обычно встречается с цинковой обманкой и другими сульфидами.

В СССР известен во многих местах — Алтай, Нерчинский округ, Дальневосточный край, Средняя Азия и др.

**Применение.** Является весьма ценной рудой на цинк.

### **Арагонит $\text{CaCO}_3$ , витерит $\text{BaCO}_3$ , стронцианит $\text{SrCO}_3$ .**

Все эти минералы не представляют большого интереса, в СССР представлены небольшими количествами, и месторождения их весьма незначительны. В практическом отношении два последних, главным образом, идут как источники добычи бария и стронция; арагонит совсем не имеет применения. Некоторые сведения по поводу арагонита см. в параграфе о кальците.

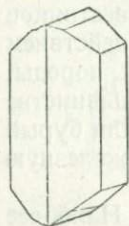


Рис. 199.  
Арагонит.

**Церуссит** — белая свинцовая руда. Химический состав  $\text{PbCO}_3$  (Pb — 77,6%; PbO — 83,52%,  $\text{CO}_2$  — 16,48%). В качестве примесей иногда наблюдается серебро Ag.

**Название** происходит от латинского «cerussa», что значит «белая краска», вследствие того что издавна употребляется в производстве белил (свинцовые белила).

**Кристаллизуется** в ромбической сингонии. Внешний вид кристаллов часто призматический, игольчатый. Очень часто образуется также в форме двойников и даже тройников прорастания. Из агрегатов обычны зернистые, плотные, сплошные или землистые.

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	3—3,5
Удельный вес	6,4—6,6
Блеск	Алмазовидный, стеклообразный
Цвет	Белый или окрашен от примесей в желтые и бурые цвета, иногда бесцветен

**Происхождение и главные месторождения.** Местонахождение церуссита приурочено к земной коре к зоне окисления свинцовых месторождений, преимущественно к галениту, наряду с которым он часто встречается.

В СССР месторождения церуссита весьма многочисленны, особенно интересными являются месторождения Ачи-Сай в Казахстане, где он как руда встречается в большом количестве.

**Применение.** Является весьма ценной рудой на свинец.

**Малахит и азурит.** Химический состав. Оба минерала представляют собой водные соединения углекислой меди.

Малахит  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , где  $\text{Cu} = 57,4\%$ , зеленого цвета («медная зелень»).

Азурит  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , где  $\text{Cu} = 55,2\%$ , синего цвета («медная синь»).

Название «малахит» происходит от греческого «малахэ» — «мальва».

Слово «азурит» связано с французским выражением «азур», т. е. «лазурь». Оба названия применены к минералам в связи с их цветом и цветом черты на фарфоровой пластинке.

Кристаллизуются в моноклинной сингонии. Крупные кристаллы очень редки, особенно для малахита. Довольно часто встречаются в разнообразных агрегатах; для малахита весьма характерны натечные формы — гроздьевидные или почковидные с концентрически-скорлуповатым сложением. Кроме того, часто встречаются в виде плотных или землистых агрегатов.

Происхождение, так же как и для предыдущих, приурочено к верхним горизонтам земной коры, к зоне окисления различных медных месторождений. Оба минерала обычно встречаются совместно, наиболее частыми спутниками их являются сернистые медные минералы, самородная медь и пр.

Лучшими месторождениями в СССР считаются Уральские месторождения — меднорудянский рудник близ Нижнего Тагила и Гумешевский. В этих местах не раз находили малахит в больших количествах. В 1836 г. были найдены глыбы в 250 т весом. При добыче их пришлось разбивать на части и извлекать в кусках весом до 2 т. Знаменитый Малахитовый зал в Ленинграде (бывший Зимний дворец) украшен малахитом из этих месторождений. Кроме Урала, малахит с азуритом известны в некоторых месторождениях Алтая.

Применение. В значительных количествах используются как руды на медь. В чистых разновидностях иногда употребляются в производстве минеральных красок (зеленой и синей). Плотные сплошные формы, особенно малахита, употребляются для художественных целей (поделочный камень).

## СУЛЬФАТЫ, ИЛИ СЕРНОКИСЛЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

**Общие замечания.** В эту группу входят минеральные вещества, представляющие соли серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Многие из относящихся сюда минералов весьма широко распространены в земной коре и представляют собой весьма ценные полезные ископаемые.

Сульфаты можно распределить на две группы: группу безводных сульфатов, куда, главным образом, относятся сульфаты щелочно-земельных металлов — кальция, стронция и бария, и группу водных, т. е. в соединении с водой.

**Безводные сульфаты, кристаллизующиеся в ромбической сингонии.**

**Ангидрит.** Химический состав  $\text{CaSO}_4$ .

Название происходит из греческого «энидрос», что значит «безводный» (в сопоставлении с водным сульфатом кальция — гипсом).

Кристаллизуется в ромбической сингонии (рис. 200). Кристаллы его большей частью имеют призматический вид, некото-

рые разновидности обладают радиально-лучистым или сферолитовым сложением. Большой частью ангидрит образуется в виде плотных скрытокристаллических масс.

**Физические свойства.** Твердость 3—3,5. Удельный вес 2,9—3,0. Блеск — перламутровый или стеклянный. Цвет — белый, серый, синеватобелый или розовый, иногда бесцветный. Черта белая.

**Происхождение** почти исключительно поверхностное. Встречается в природе обыкновенно с гипсом, но значительно реже его. Образуется при усыхании отдельных водных бассейнов с морской водой и откладывается часто совместно с поваренной солью, а также другими хлористыми и сернокислыми соединениями.

Месторождения в СССР немногочисленны; наиболее крупные из них на Урале — у дер. Охлебининой — и по р. Белой и в Донбассе в бывшем Артемовском округе.

Применение в химической промышленности, для производства ангидритового цемента, идет как добавка к портланд-цементу. Используется еще в виде минерального удобрения, а также идет для получения серной кислоты. Наиболее чистые и плотные разновидности ангидрита употребляются в художественном деле, в изготовлении различных мелких художественных изделий.

### Целестин. Химический состав $\text{SrSO}_4$ .

Название связано с латинским «целестие», что значит «небесный»; название иррациональное, имеет связь лишь с некоторыми разновидностями, обладающими небесно-голубым цветом.

Кристаллизуется в ромбической сингонии (рис. 201). Кристаллы имеют так же, как и у ангидрита, резко выраженный призматический вид и являются очень часто крупными и хорошо образованными. В некоторых случаях целестин бывает образован мелкими кристаллическими агрегатами и имеет вид плотных сплошных масс. На кристаллах целестина очень часто можно наблюдать выделение самородной серы в виде мельчайших образований, покрывающих желтым налетом всю поверхность минерала; в некоторых же случаях сера образована довольно крупными скоплениями. Образование самородной серы здесь (а также и на других сульфатах, например на гипсе) объясняется процессами расщепления сульфатов под влиянием некоторых восстановительных реакций, в осуществлении которых часто большую роль играют битуминозные органические вещества, а также некоторые организмы, например серобактерии.

**Физические свойства.** Твердость 3—3,5; удельный вес 3,95—3,97; блеск — стеклянный; цвет — белый, бледно-голубой, иногда серый и бесцветный; черта белая.

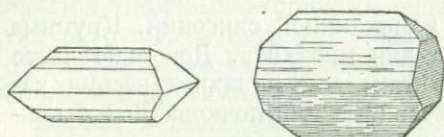


Рис. 200.

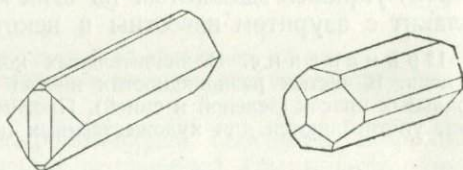


Рис. 201.

Происхождение связано почти всегда с водными растворами, как глубинными, так и поверхностными, вследствие чего целестин можно встретить среди жильных образований, в пустотах различных изверженных пород, а также в большом количестве в виде гнезд и отдельных залежей среди осадочных пород.

Месторождения в СССР известны в Фергане (Узбекистан) и в Туркменистане, а также на Кавказе, в Крыму и во многих местах Поволжья.

Применение в химико-фармацевтической промышленности, в пиротехнике, в производстве красных огней (сигнальных ракет и пр.). В большом количестве целестин употребляется в сахарном производстве как вещество, способствующее выкристаллизовыванию сахара.

**Барит, или тяжелый шпат.** Химический состав  $BaSO_4$ .

Название происходит от греческого «барос» — тяжелый (с этим же словом связано слово барий Ba — название элемента, наиболее тяжелого из группы щелочноземельных).

Кристаллизуется в ромбической сингонии (рис. 202). Кристаллы барита отличаются крупными размерами и обилием кристаллических форм, а также совершенной спайностью в одном направлении.

Помимо отдельных кристаллов, которые часто бывают образованы превосходными друзами, барит встречается также в плотных скрытокристаллических агрегатах, а иногда и в виде желваковых скоплениях.

Физические свойства. Твердость 3—3,5. Удельный вес 4,70. Блеск — большей частью стеклянный, иногда перламутровый.

Цвет — белый, желтый, красноватый, краснобу-  
рый, серый, зеленоватый и других цветов и оттенков; иногда бесцветный. Существуют разновидности барита, окрашенные в густой красно-  
бу-  
рый цвет (от окислов железа  $Fe_2O_3$ ), вследствие чего имеют охристый вид. Черта белая, у железистых — красная.

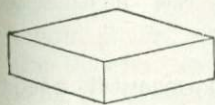


Рис. 202 а.

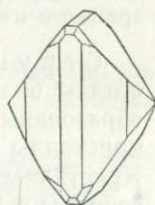


Рис. 202.

Происхождение, так же как у целестина, водное — гидротермальное, жильное и поверхностное среди осадочных пород, преимущественно известняков, доломитов, глин, мергелей и пр. Формы образования барита весьма разнообразны, он встречается в пустотах среди изверженных пород, в отложениях горячих источников, среди жил, иногда совместно с сульфидами. В осадочных породах — в виде пластов, конкреций, отдельных гнезд и пр.

Месторождения в СССР находятся на Кавказе, в Южном Урале, на Алтае и в некоторых других местах. Интересные месторождения барита — известные Туя-Муюнские радиевые рудники. Вне СССР крупные месторождения барита известны в Германии и США.

Применение в химической промышленности для приготовления различных химических препаратов, содержащих барий, и белых красок; в пиротехнике, в приготовлении зеленых огней. Некоторое количество барита употребляется в кожевенном деле, в процессе дубления кожи, в борьбе с вредителями в сельском хозяйстве и пр.

## Некоторые представители группы водных сульфатов.

**Гипс.** Химический состав  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (теоретический состав:  $\text{CaO}$  — 32,54%,  $\text{SO}_3$  — 46,51%,  $\text{H}_2\text{O}$  — 20,95%). Часто, однако, содержит некоторые примеси — железистые, глинистые, битуминозные и другие, а иногда является проросшими зернами кварца.

Название «гипсос» встречается в греческой терминологии у Феофаста, для обозначения мела и гипса, полагают также, что слово это заимствовано от арабского «гебас», что означает «белый» или «пепельносерый».

**Структура.** Кристаллизуется в моноклинной сингонии. Кристаллы большей частью имеют призматический вид и часто хорошо образованы и достигают нередко больших размеров (рис. 203). Многие кристаллы гипса имеют пластинчатый или игольчатый вид (рис. 204). Кристаллы гипса часто являются единичными, но нередко бывают собраны в друзы и целые большие скопления. Для кристаллов гипса весьма обычны двойники, напоминающие по форме хвост ласточки («ласточкин хвост»). Отдельные кристаллы гипса обладают в одном направлении весьма совершенной спайностью, в других направлениях спайность менее совершенна.



Рис. 203.

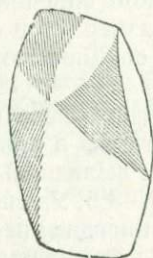


Рис. 204.

В связи с различными формами образования гипс имеет несколько разновидностей, из которых наиболее общеизвестными являются следующие:

1. Обыкновенный кристаллический гипс, обладающий ясно выраженными кристаллами.

2. Листоватый гипс, так называемое «марьино стекло».

3. Чешуйчатый пенистый гипс.

4. Зернистый, мелкокристаллический гипс, называемый алебастром.

5. Волокнистый гипс, называемый селенитом. Название это происходит от латинского «селене», что значит «луна». Эти разновидности по блеску напоминают блеск луны («лунный камень») и часто используются для выработки красивых вещей с лунным отливом.

6. Плотный и землистый гипс — гипсовая земля и многие другие.

### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	1,5—2 (цертится ногтем)
Удельный вес	2,31—2,32
Блеск	Стеклянный, перламутровый до тусклого
Цвет	Белый, желтый, розовый, серый, бурый и другие. В прозрачных кристаллах бесцветный
Черта	Белая

**Происхождение и главные месторождения.** Гипс весьма широко распространен в природе. Нередко в виде землистых и плотных скоплений он образует пласты в осадочных породах, а также является постоянным спутником каменной соли.

Образование гипса связано обычно с выделением его из водных растворов, при этом гипс иногда образуется в виде псевдоморфоз по некоторым органическим веществам, например по дереву.

Своеобразное выделение кристаллов гипса наблюдается среди некоторых песчаных образований, приуроченных к областям высыхающих соленых бассейнов. Трансгрессивное наступание дюнного песка на бывшее дно того или иного соленого бассейна сопровождается в некоторых случаях образованием отложений солей и гипса. Такие солевые горизонты во многих местах сохраняются между покрывшим их золотым песком и подстилающей озерной глиной.

На земной поверхности можно встретить много подобных образований. Особенно интересной областью в этом отношении является место, где Ашхабадская железная дорога пересекает депрессию в песчаном море, между станциями Пески и Карауль-Кую <sup>1</sup>.

В области этой депрессии, простирающейся свыше чем на 100 км в длину и около 30 км в ширину, всюду в почве растут своеобразные, пронизанные песком, гипсовые кристаллы и снова образуются, если удалить их из почвы. Первые кристаллы гипса встречаются здесь уже на глубине 20—30 см от поверхности; сверху они прикрыты желтым дюнным песком. Среди многочисленных кристаллов, встречаемых здесь, можно нередко видеть превосходные экземпляры правильной геометрической формы, достигающие довольно крупных размеров, при этом все кристаллы обычно пронизаны зернами песка (рис. 205). На многих станциях Ашхабадской железной дороги их можно видеть как местные диковинки. На станции Репетек кристаллы гипса даже продают, а в музее г. Самарканда сохраняются редкие экземпляры, достигающие весьма крупных размеров, в отдельных друзах, например, они достигают 80 см в поперечнике.

Образование подобных кристаллов связано с испаряющимися гипсовыми растворами, которые постоянно поднимаются вверх среди отложений дюнного песка и, как показывают наблюдения, площадь, очищенная от гипса, спустя некоторое время, зарастает новыми кристаллами.

Месторождения гипса многочисленны. В СССР главными районами распространения являются Урал, особенно западный склон, Прикамье, Поволжье, Бахмутское соляное месторождение. Весьма интересными являются также месторождения гипса в Шор-Су (Фергана) в области серного месторождения, в парагенезисе с самородной серой, целестином, алунином, некоторыми карбонатами и пр. Точно так же известные гипсовые месторождения находятся по р. Оке,

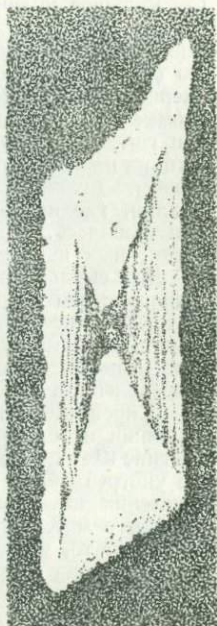
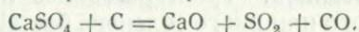


Рис. 205.

<sup>1</sup> Депрессия — термин, которым часто обозначают всякую впадину на земной поверхности, по преимуществу крупную, тектонического происхождения, дно которой лежит ниже уровня океана.

близ Мурмана, где, помимо отделных кристаллов, гипс сосредоточен в форме гипсового песчаника и сопровождается туфом и водными магнезиальными силикатами — палыгорскитом.

Применение гипса весьма многообразно. Некоторое количество гипса используется в производстве серной кислоты. Для этой цели гипс обжигают с углем, вследствие чего происходит разложение его по уравнению:



Выделяющиеся при этом газы улавливаются, и сернистый газ  $\text{SO}_2$  используется для получения серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а образующаяся  $\text{CaO}$  утилизируется в производстве цемента.

Кроме того, гипс находит применение в сельском хозяйстве, при удобрении некоторых почв — гипсование почв, для чего употребляется мелкоизмельченный сырой гипс, который особенно является полезным для удобрения лугов, засеваемых клевером и люцерной.

Большое количество гипса используется в скульптурном деле. Роль гипса в этом отношении известна со времен глубокой древности. Об употреблении гипса в качестве скульптурного материала повествует еще Геродот. Согласно его описанию в его время в Эфиопии существовал обычай высушивать трупы умерших и обмазывать их гипсом для раскрашивания и сохранения на длительный промежуток времени. У Плиния также можно найти сведения о применении гипса для скульптурных и строительных целей. В более поздние времена техника производства гипсовых изделий и отливок была сильно ослаблена и даже позабыта и только около 1300 г. снова возродилась. Центром возрождения была Италия, где производство гипсовых изделий постепенно развивалось и совершенствовалось. Большое значение в этом развитии имело влияние чисто художественных направлений, а также строительство.

Для скульптурных целей и различных поделок используются снежнобелые разновидности зернистого алебастра или жилковатого гипса. Благодаря своей мягкости гипс легко поддается обработке инструментами, хорошо шлифуется, а также принимает полировку. Для лепных работ в архитектуре и для различных отливок, слепков и форм для керамических изделий гипс употребляется в обожженном виде.

В последнее время область применения гипса еще значительно расширилась по линии использования его в производстве различных цементных материалов, где гипс идет также в обожженном виде. Вследствие его высоких вяжущих свойств его употребляют в изготовлении так называемого ангидритового цемента, гидравлических цементов и портландских цементов. Обожженный гипс в качестве вяжущего материала применялся уже со времен глубокой древности. На это указывает то, что египетские пирамиды, а также монументальные здания времен древнего Рима и Средних веков сложены на гипсовом цементе.

## Другие водные соединения сульфатов из группы легкорастворимых солей.

**Кизерит**  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (назван по имени Иенского профессора Kieser'a). Образуется среди минералов соляных месторождений. Используется в химической промышленности и в медицине.

**Эпсомит, или Горькая соль**,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (название происходит от местечка Epsom в Англии, где из минеральных источников этот минерал был впервые извлечен). Образуется также большей частью среди различных соляных месторождений. В СССР в ряде озер — Эльтон, Астраханские озера и пр. Известны еще и другие виды его месторождений, как, например, среди отложений ювенильных минеральных источников (например ртутные месторождения в Италии), и в форме выцветов, своеобразных налетов на различных породах. Применяется в химической промышленности.

**Халькантит, или медный купорос**,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (от «халькос» — «медь» и «анте» — «цвет»). Встречается иногда в верхних горизонтах

многих медных месторождений в виде синих налетов или почковидных и сталактитовых образований, но вследствие легкой растворимости в воде редко бывает в больших количествах.

**Мелантерит, или железный купорос,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .**

Название происходит от греческого «мелас», что значит «черный». Такое наименование укоренилось, как полагают, вследствие того что это вещество шло для изготовления чернил в смеси с некоторыми дубильными органическими веществами.

В больших количествах в природе не наблюдается, по причине легкой растворимости в воде. Обычно приурочен к месторождениям железистых минералов, главным образом, сульфидов железа, и образуется в форме налетов, небольших корочек, натечных масс — сталактитов, а иногда целых прослоек среди осадочных пород.

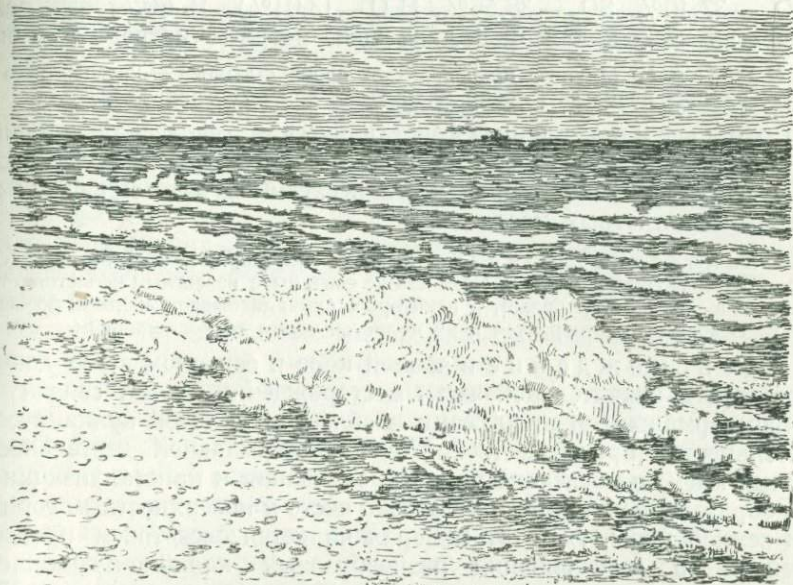


Рис. 206. Осаждение мирабилита по берегам залива Кара-Богаз-Гол.

**Мирабилит, или глауберова соль,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .**

Название связано с прежним обозначением этой соли «*Sal mirabile Glauberi*», что означало «удивительная соль глауберова»; Глаубер — немецкий врач и алхимик XVII в.

Мирабилит осаждается в виде белых или прозрачных кристаллов моноклинной сингонии в озерах с морской водой или в заливах с большим испарением. Осаждение происходит при температуре  $5^\circ\text{C}$ . Крупнейшее в мире месторождение мирабилита находится в СССР в заливе Кара-Богаз-Гол Каспийского моря. Этот залив, имеющий площадь более  $18\,000\text{ км}^2$ , соединен с Каспийским морем узким и мелким проливом, по которому устанавливается постоянное течение воды из моря в залив. Здесь в продолжение осенних и зимних месяцев при температуре воды в  $5,5\text{--}6^\circ$  мирабилит осаждается по произведенным расчетам, в количестве до 600 миллионов тонн. Кроме

того, мирабилит известен также и в других местах, например на Кавказе, в Восточной Сибири, где он находится в водах соляных озер, или осаждается из некоторых источников.

Применяется в большом количестве в химической промышленности для получения соды, употребляется также в стекольной промышленности и в медицине.

### Двойные сульфаты металлов одно- и трехвалентных.

К группе сульфатов, кроме рассмотренных простых, относятся еще и сложные, представляющие комплексные соединения различных металлов. Из наиболее обычных и характерных минералов этой группы остановимся на кратком рассмотрении алунита.

**Алунит, или квасцовый камень.** Химический состав:  $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot Al(OH)_3$ . (Теоретический состав:  $K_2O$  — 11,33%,  $Al_2O_3$  — 37,10%,  $SO_3$  — 38,56%,  $H_2O$  — 13,01%). В некоторых разновидностях часть калия бывает замещена натрием (натровый алунит).

Название «алунит» происходит от слова «алюмен» — квасцы. Это вещество издавна являлось лучшим материалом для получения квасцов.

Структура алунита кристаллическая, гексагональной сингонии, но крупные кристаллы его чрезвычайно редки, большей частью он представлен мелкозернистыми агрегатами в виде сплошных землистых или плотных масс.

Физические свойства алунита довольно изменчивы, вследствие того что структура и сложение его также связаны с известным непостоянством. Цвет его в чистом виде белый, в некоторых случаях бывает желтым, розовым и серым. В воде не растворяется и не является телом гигроскопичным.

Происхождение в земной коре в основном носит двоякий характер. В значительной части месторождений алунит связан или с гидротермальными процессами в областях молодой вулканической деятельности, преимущественно с гидротермальной деятельностью кислых магм, в последние моменты остывания и кристаллизации их, или образование алунита приурочено часто к поверхностным горизонтам земной коры, где этот минерал является следствием процессов химического выветривания разнообразных калийно-алюминиевых силикатов — процессы алунитизации. При этом, в пределах каждого из вышеотмеченных типов генезиса, в образовании алунита большое значение имеют так называемые метасоматические процессы, связанные с циркулирующими водами (как горячими, так и холодными), несущими в растворе своем сернистые или сернокислые вещества. В результате соответствующих процессов замещения на сернокислые соединения калия и алюминия происходят образования целых месторождений квасцового камня.

Из числа типичных метасоматических алунитовых месторождений в СССР большое значение заслуживает Загликское месторождение, находящееся в пределах Ганджинского района Азербайджанской ССР в Закавказье. Изучено это месторождение еще недостаточно детально. Генезис его связывают с поствулканической деятельностью кислой магматической интрузии.

Вторым видным месторождением алунита в СССР является Журавлинское месторождение на западном склоне Урала, по р. Чусовой. Это месторождение относится к типу месторождений выветривания

и связано, с одной стороны, с накоплением калия, происшедшего от разрушения полевого шпата и слюды в глине и песчаниках каменноугольного возраста, с другой — с образованием серной кислоты, явившейся следствием окисления пирита в толщах вышележащих пород. Алунит в этом месторождении сопровождается выходами боксита, гидрагиллита, каолина и других минеральных веществ и имеет огромное промышленное значение.

**Применение.** Алунит издавна является основным источником производства квасцов и сернокислого алюминия. Квасцы широко используются в различных отраслях промышленности, например в кожевенном деле при дублении кож, в бумажной промышленности, для проклейки бумаги, в текстильной, лаковой, красочной и пр. Кроме того, квасцы еще находят применение в приготовлении огнестойких тканей и дерева, а также употребляются в качестве коагуляторов при очистке вод. Некоторое их количество используется в медицине.

В последнее время, особенно в СССР, алунит явился еще источником добычи металлического алюминия, в связи с прогрессом и развертыванием алюминиевой промышленности и относительной ограниченностью необходимых для этих целей бокситовых месторождений.

## ФОСФАТЫ.

**Общие замечания.** К классу фосфатов относится довольно большое количество разнообразных минеральных тел, заключающих в своем составе фосфор. Некоторые из относящихся сюда минералов играют весьма существенную роль в составе многих горных пород. К таким породообразующим фосфатам относятся, например, апатиты, фосфориты и некоторые другие.

Согласно установленной классификации главнейшие виды фосфатов распределяют на следующие группы:

**Группа монацита.** Основным представителем этой группы является монацит, в химическом отношении представляющий фосфорнокислый церий, отчасти торий; кроме того, в состав монацита входят еще другие редкие элементы: лантан, неодим и празеодим. Минерал очень редкий, встречается иногда в россыпях.

**Группа фосфатов алюминия.** Основным представителем этой группы является б и р ю з а (или, как иначе называют, к а л а и т). Красивый минерал небесно-голубого цвета; любимый камень Востока. Издавна известны месторождения бирюзы в Персии, округ Нишапур, на горе Али-Мирза. Чистые разновидности ее являются драгоценным камнем.

**Группа фосфатов железа.** В эту группу входит большое число различных минералов, обладающих разным химическим составом. Наиболее распространенным является в и в и т — водное фосфорнокислое железо  $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ . Этот минерал в свежем состоянии обладает синим цветом, вследствие чего часто называется синей железной рудой.

В природе вивианит встречается довольно часто, особенно среди осадочных пород, где образуется в результате взаимодействия различных фосфорнокислых солей с растворимыми соединениями железа. Фосфорная кислота и ее соли выделяются в осадочных породах нередко от разложения различных органических остатков, вследствие чего вивианит часто образуется среди многих битуминозных пород — торфа, углекислых пород и пр.

Нередко вивианит встречается в большом количестве среди остатков самих организмов — раковин и костей животных, порой образуя своеобразные псевдоморфозы.

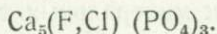
Месторождения вивианита в СССР известны на Керченском полуострове среди месторождений бурого железняка, а также и во многих других местностях, где он в виде землистых и рыхлых масс, а в некоторых случаях в форме хорошо образованных кристаллов, наблюдается в значительных количествах.

Придается, главным образом, как синяя краска.

**Группа апатита.** В эту группу входит несколько минеральных видов, изоморфно связанных между собой. На описании всех представителей мы останавливаться не будем. Рассмотрим из этой группы лишь апатит и фосфориты. Эти вещества, как это было уже отмечено выше, являются порообразующими минералами и из всех фосфоросодержащих соединений наиболее распространены в земной коре.

**Апатит. Химический состав.** В химическом отношении апатит представляет собой фосфорнокислый кальций в соединении с галоидами — фтором или хлором, а в большинстве случаев оба галоида присутствуют совместно.

Состав апатита обычно выражают следующей формулой:



Однако необходимо отметить, что приведенная формула является лишь схемой, выражающей основной химический состав этого вещества. На самом деле состав и химическое строение апатита весьма сложны. На основании ряда химических анализов, проведенных в последнее время, и особенно рентгенометрических исследований, сейчас установлено, что в различных апатитах, кроме основных, присутствуют еще другие элементы, наличие которых обуславливает непостоянство в составе и в некоторых физических свойствах, особенно оптических.

В связи с имеющимися в этом отношении данными анализов и физических испытаний в настоящее время существует попытка к распределению апатитов на ряд отдельных групп. Приведем главнейшие из них согласно установленной на вышеотмеченных принципах классификации:

1. **Фторapatиты** — сюда относятся апатиты с преобладающим содержанием фтора над хлором. Эти апатиты в природе наиболее распространены и в парагенетическом отношении весьма разнообразны.

2. **Щелочные апатиты** — эта группа характеризуется недостаточным содержанием фтора и наличием в этих апатитах щелочных металлов, преимущественно натрия.

3. **Хлорapatиты** — к этой группе относятся апатиты, в которых наблюдается более повышенное содержание хлора, против первых двух групп. Однако необходимо отметить, что подобные разновидности апатита наблюдаются в природе очень редко и встречаются в весьма ограниченном количестве.

4. **Карбонатapatиты** — апатиты, обнаруживающие при анализе угольный ангидрид  $\text{CO}_2$ . Эти апатиты рассматривают как минералы, заключающие в себе в комплексной связи карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ .

5. Сульфатапатиты — апатиты с содержанием сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$ , который, как полагают, может находиться в изоморфной смеси с галоидами.

6. Гидроксилапатиты — апатиты, заключающие в себе воду, возможно как конституционную.

7. Марганец апатиты — с содержанием марганца (1,8—10,5%  $\text{MnO}$ ), который находится в изоморфной смеси с  $\text{Ca}$  в основной молекуле.

8. Апатиты с редкими землями, из числа которых констатированы: церий, лантан, иттрий, дидим и некоторые другие. Эта группа апатитов, главным образом, распространена среди щелочномагматических пород и связана с процессами пневматолита щелочных магм. Сюда относятся церапатиты, иттропатиты и пр.

Кроме того, в некоторых апатитах констатировано нахождение и ряда других элементов, например: железа  $\text{Fe}$ , магния  $\text{Mg}$ , алюминия  $\text{Al}$  и т. д.

Название происходит от греческого «апатен», что значит «обманщик», такое название укрепилось за этим минералом по той причине, что его в прежнее время смешивали с другими минералами: с кварцем, бериллом и пр.

Структура кристаллическая: гексагональная сингония. Кристаллический облик апатита довольно изменчивый, особенно в отношении размеров и числа кристаллических форм. Главнейшими и основными формами кристаллов являются почти во всех случаях призмы, которые всегда являются гладкими и с прекрасным отражением (рис. 207). Наличие и число других форм стоит в прямой связи с составом и характером образования в земной коре. Спайность кристаллов несовершенная.

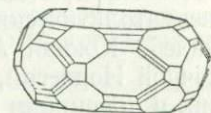
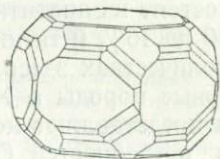


Рис. 207.

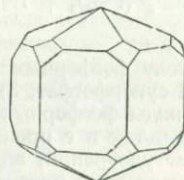
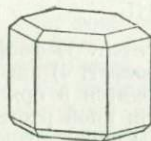
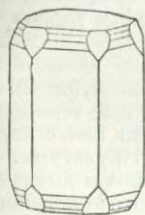


Рис. 207а.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	5
Удельный вес	3,17—3,23
Излом	Раковистый или занозистый
Блеск	Стеклянный и отчасти жирный
Цвет	Есть разновидности бесцветные и белые, но редкие. Большинство окрашены в различные цвета: бурые, краснобурые и чаще зеленые или голубоватозеленые и спаржевозеленые. После нагревания цвет апатита обычно исчезает
Черта	Белая

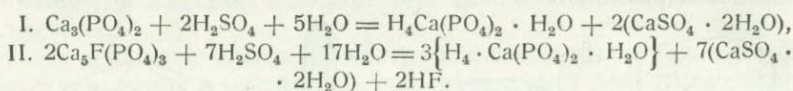
Происхождение и главные месторождения. Апатит является минералом, весьма широко распространенным в земной коре. В виде мелких кристалликов он входит в состав многих изверженных пород, а также часто образуется в крупных формах среди пегматитовых и пневматолитических жил, выделяясь одним из первых при остывании магмы.

Мощные скопления апатита сконцентрированы в нефелиновых породах Хибинских тундр, на Кольском полуострове. Здесь породы состоят из апатита от 40 до 80%, нефелина от 20 до 55%, эгирина от 10 до 15% и титано-магнетита от 2 до 5%; кроме того, в небольших количествах здесь встречаются и другие минералы. Нефелино-апатитовые породы в Хибинах занимают большие площади пространства и представляют колоссальные ресурсы фосфатового сырья для нужд и потребностей СССР. Других месторождений апатита, интересных в промышленном отношении, в СССР не имеется.

Из месторождений вне СССР особенно интересны контактово-пневматолитические месторождения Люлю-Коп в Восточном Трансваале — Южная Африка, пневматолитовые месторождения Юго-Восточной Норвегии, гидротермальные жильные месторождения в Испании, в провинции Касерес, а также метасоматические месторождения Чу-Шан в Китае, близ р. Чаохэ, и некоторые другие.

Применение. Главная масса апатита, равно как и фосфоритов, используется в агрономическом деле и идет на производство искусственного удобрения — различных суперфосфатов. По причине большой чистоты и содержания фосфорного ангидрида  $P_2O_5$  апатит является более ценной рудой, нежели фосфориты. Хибинские апатиты в этом отношении являются особенно высококачественными, со средним содержанием  $P_2O_5$  от 33 до 34% и как агрономическое сырье их можно считать «камнем плодородия».

При переработке апатита и фосфоритов на суперфосфат главную роль играет растворение их в серной кислоте. Основные реакции, которые при этом происходят, можно выразить следующими химическими уравнениями:

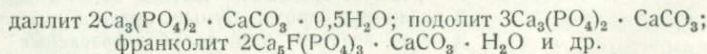


К числу фосфорных удобрений относятся: 1) фосфоритовая мука, 2) обыкновенный суперфосфат, 3) двойной суперфосфат, 4) преципитат и 5) термофосфат. Все эти виды фосфорных удобрений находятся в прямой связи как с характером почвы, так и с производством той или иной растительной культуры.

Кроме удобрений, апатит и фосфориты служат еще источником добычи фосфора — желтого и красного, а также находят применение в изготовлении различных фосфорных препаратов.

## ФОСФОРИТЫ.

1. Состав, формы и строение. Фосфориты представляют собой минеральные тела, состоящие, главным образом, из фторфосфорнокислого кальция  $Ca_5F(PO_4)_3$ , к которому примешиваются различные посторонние тела в неодинаковом количестве. В фосфоритах присутствует карбонат кальция или в виде механической примеси, или связанный с фосфатом кальция. В этом последнем случае различается несколько отдельных минеральных видов:



Кроме фосфата кальция, изредка и в небольшом количестве присутствуют фосфаты железа и алюминия. В качестве обычных минеральных спутников сле-

дует отметить глауконит — сложный силикат калия, пирит, зерна кварца, некоторых силикатов (особенно полевых шпатов), а также разнообразные гидраты окиси железа и гипс. В ничтожном количестве в фосфоритах некоторых месторождений обнаруживается хлор и иод как аналоги фтора.

Обильно в фосфоритах содержится органическое вещество, ему обязан характерный битуминозный запах, издаваемый большинством фосфоритов при трении одного куска о другой. Этот запах весьма часто напоминает запах жемчужной кости. Количество органического вещества редко наблюдается ниже 1%, в некоторых месторождениях оно значительно больше, так, например, в каролинских фосфоритах и тунисских (Gafsa) — около 4—7%, в пиренейских оно доходит даже до 30%. Природа органического вещества фосфоритов изучена еще несовершенно; быть может, некоторая часть органического вещества фосфоритов представляет собой фосфо-органические соединения.

Фосфориты заключают в себе остатки различных организмов, скопляющихся иногда в очень большом количестве, в особенном изобилии бывают в некоторых месторождениях зубы рыб. Кроме макроскопической фауны, при рассматривании шлифов фосфоритов обнаруживается нередко присутствие очень большого количества микроскопических организмов — раковин фораминифер, радиолярий, панцирей диатомовых. Фосфатовая масса, кажущаяся при небольших увеличениях однородной, при больших, иногда весьма значительных увеличениях оказывается вся состоящей из остатков организмов, например, панцирей диатомовых, превращенных в фосфат; получается псевдоморфоза фосфата, называемая по панцирям диатомовых — фосфатовый диатомит.

Многочисленные псевдоморфозы фосфоритов встречаются по различным ископаемым, например: по стволам деревьев, по отдельным раковинам аммонитов, по костям рептилий — северодвинские остатки рептилий или позвонки ихтиозавров и пр.

Фосфориты залегают в земной коре или в виде отдельных желваков в различных породах, или в виде сплошных масс. Желваки бывают угловатые или гораздо чаще округлые. Они имеют шероховатую поверхность или же совершенно гладкую, окатанную — фосфоритовые гальки; нередко желваки бывают покрыты черной, блестящей, как бы лакированной, коркой. Они достигают самой различной величины. Желваки фосфоритовые или залегают свободно в рыхлой породе; или цементированы в плотную массу. Цементирующим веществом является какое-либо постороннее тело или же фосфат кальция в виде вторичной генерации. От этих образований наблюдается в ряде случаев непосредственный переход к таким разновидностям фосфорита, где фосфатовое вещество присутствует только в виде цемента, связывающего другие минеральные зерна, преимущественно кварца, в плотную массу — получается род фосфатового песчаника.

В связи с вышеописанными различиями в характере фосфоритов меняются их физические свойства. Твердость колебания в значительных пределах от 2 до 6, удельный вес от 2,2 до 3,2. Цвет фосфоритов — серый, темносерый, но в отдельных месторождениях обнаруживает резкие изменения — черный, ржавобурый или, наоборот, почти совершенно белый. Различную окраску представляют также части отдельных желваков: светлосерая наружная часть желвака сменяется ко внутри значительно более темной или, наоборот, более светлая внутренняя масса желвака покрыта снаружи совершенно черной коркой.

Фосфоритовое вещество или некристаллично и не обнаруживает никакого или еле уловимое действие на поляризованный свет, или же явственно кристаллично. Иногда в одном и том же шлифе фосфорита наблюдается аморфное основное фосфатовое вещество и прекрасное окристаллизованный радиально-лучистый фосфат другой генерации. В некоторых случаях фосфориты представляют сложные коллоидные системы.

2. Генезис и типы месторождений. Главная масса фосфоритов сосредоточена в осадочных породах, начиная от самых древних — кембрийских — вплоть до современных, причем размеры фосфоритовых залежей в различных геологических системах неодинаковы. Относительно меньшая масса фосфоритов содержится в палеозойских и нижней серии мезозойских отложений, гораздо большее количество их скопляется в верхних частях юры и мела, и наконец, наибольшие фосфоритовые богатства заключены в нижнетретичных отложениях — богатейшие нижне эоценовые залежи Алжира и Туниса, эоценовые и отчасти миоценовые залежи Флориды и Каролины.

По процессам образования в земной коре, по генезису, фосфориты в основной своей части представляют вещества органического происхождения и являются

биолитами. Только для весьма ограниченного количества месторождений принимается неорганический источник фосфора. К этой группе месторождений относятся фосфатные жилы Кверси во Франции, которые согласно взглядам де-Ланз



Рис. 208. Гнездовые альбатросов и отложение ими гуано (из Elschner'a С.).

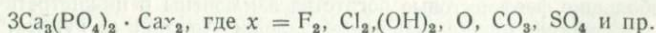
представляют результат деятельности восходящих терм. За неорганический характер образования стоят взгляды некоторых исследователей и в отношении наших подольских фосфоритовых месторождений. Однако полностью вопросы генезиса этих месторождений далеко еще не разрешены.

Несомненно во всех остальных месторождениях источником фосфора являются органические вещества, вследствие чего скопившийся в залежах фосфор прошел через тело организмов.

Как известно, для жизни растения необходим фосфор. Посредством растений этот элемент попадает в тело животного и там концентрируется, преимущественно в костях. Интересные подсчеты такой концентрации дает Бишоф. Содержание фосфора в виде  $P_2O_5$  в теле животных как в мягких частях, так особенно в скелете довольно значительно; так, например, в теле человека находится приблизительно 1,6%  $P_2O_5$ , что соответствует 3,5%  $Ca_3(PO_4)_2$  или около 3,8%  $Ca_5F(PO_4)_3$ . При нормальном весе человека в 70 кг в его теле содержится  $P_2O_5$ , отвечающая чистому фосфориту весом в 2,6 кг. Приблизительно таково же содержание  $P_2O_5$  в теле и других позвоночных животных. Весьма значительно также количество  $P_2O_5$ , выделяемое мочей и экскрементами; так, человек выделяет в сутки приблизительно 6 г  $P_2O_5$ , следовательно, в течение 200 дней выделяется количество фосфора, равное содержанию этого элемента во всем теле.

Точно так же не раз констатировалось, что кости современных, а также и вымерших животных в основном состоят из фосфорнокислого кальция. Помощью химических анализов костей удалось установить, что минеральный состав их очень близок по составу с апатитами и отвечает комплексному соединению типа  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$  с содержанием некоторого количества  $CaF_2$  и отчасти  $CaCl_2$ .

Еще Карно рассматривал состав костей как сложный химический комплекс, аналогичный с составом апатита, и предложил в виде общей формулы для этого комплекса следующее выражение:



В последние годы при изучении костей стали применять лучи Рентгена, помощью которых почти полностью подтвердились взгляды Карно. Исследуя кости многих современных животных, Юнг получил ряд спектров с характерными

для фторапатита линиями, при этом было отмечено, что кости современных и многих ископаемых организмов дают спектр с расплывчатыми линиями, отвечающими кристаллической структуре этих объектов.

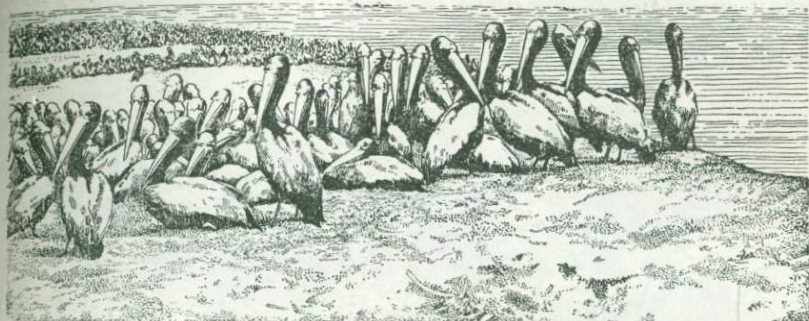


Рис. 209. Пеликаны на южных островах и отложение гуано (из Stutzer'a O.).

Скопление костей и других органических веществ в различных водных бассейнах при наличии тех или иных условий окружающей среды может обусловить образование фосфоритовых месторождений. Полагают, что такое скопление органических остатков может происходить во время массовой гибели животных организмов, например рыб в местах схождения двух морских течений — теплого и холодного. Эти места в океанах являются губительными для многих организмов, вследствие чего на дне данного бассейна скапливается множество мертвых остатков их, что подтверждается многими наблюдениями, произведенными в этом направлении.

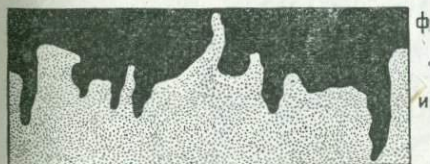


Рис. 210. Отложение фосфоритов на коралловом известняке:

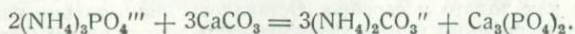
ф — фосфорит; и — известняк.



Рис. 211. Подольские фосфориты шаровой структуры.

Образование фосфоритов может происходить и другими путями, не в условиях морского дна, а процессами метасоматического характера, т. е. процессами замещения известняков фосфорнокислым кальцием. Источником фосфора в этом случае является гуано, представляющее собой фосфатные скопления, образовавшиеся из экскрементов морских птиц и из продуктов гниения различных органических остатков.

При разложении органических веществ, особенно белковых, нередко наблюдается образование фосфорнокислого аммония, который, вступая в реакцию с карбонатом кальция, постепенно переходит в фосфат кальция:



Подобные процессы часто наблюдаются на известковых породах коралловых островов, там, где вследствие гнездовья многих морских птиц, образуются колоссальные скопления гуано.

Главнейшие месторождения. Месторождения фосфоритов довольно многочисленны. В СССР находятся в западной части Украины; по рекам Вятке и Каме, где фосфоритовый горизонт приурочен к верхнему отделу меловой системы; около Актюбинска (Казахская ССР) и в Поволжье, также в Подмосковном районе (Егорьевское месторождение), в районах Курской и Орловской областей и др.

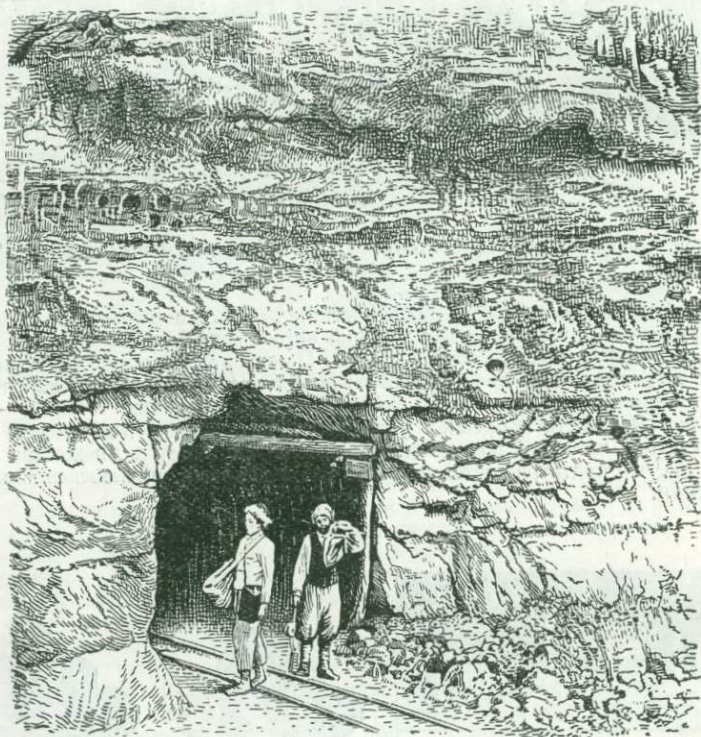


Рис. 212. Фосфоритовые залежи Алжира.

Вне СССР обширные скопления фосфоритов известны в Алжире, Тунисе и Марокко (Африка). Здесь пласты фосфорита имеют до трех метров мощности и простираются в длину на несколько километров. Месторождения эти приурочены к верхнемеловым и нижнетретичным отложениям. Некоторые горизонты их весьма интересны остатками зубов акул и скатов (рис. 213). Вторым крупным месторождением фосфоритов, имеющим большое мировое значение, является Флорида в Северной Америке, где залежи их приурочены к третичным отложениям.

Краткая история фосфора. Открытие фосфора принадлежит одному гамбургскому купцу Брандту (в 1669 г.), который в погоне за средствами начал заниматься изучением алхимии. В то время каждый верил в возможность бесконечного превращения вещества и считал, что целым рядом таких превращений можно «облагородить» металлы, т. е. из малоценных металлов получить такие, как золото и серебро. Оставалось лишь только найти способ получить этот «философский камень». Проработав долгое время безуспешно и без-

результатно, Брандт решил попытаться раздобыть этот таинственный камень из продуктов живого организма и как самый подходящий исходный материал для своей затеи взял человеческую мочу.

Брандт усердно занимался нагреванием, перегонкой и возгонкой мочи всевозможными способами, что повело, конечно, к разложению ряда соединений, находящихся в моче, и образованию новых веществ, но «философский камень» все же не получался. И вот в один прекрасный день, после долгих и упорных испытаний, наш алхимик обнаружил в приемнике реторты своеобразное тело, обладавшее замечательными свойствами. Тело это по виду и консистенции напоминало воск, имело острый противный вкус и распространяло слабощелочной запах. При слабом нагревании эта масса плавилась, а при обыкновенной температуре из нее выделялись пары, которые светились в темноте, вследствие чего это вещество впоследствии и было названо фосфором, что значит «светоносец». Когда же Брандт проводил рукой по вновь полученному телу, пальцы его также светились бледным зеленовато-белым светом. При соприкосновении с этим телом любого предмета последний приобретал способность к самостоятельному лучеиспусканию. Эти странные, ни на одном другом предмете еще не замеченные, явления послужили поводом сделать фосфор интересным для всего мира феноменом. Его странное происхождение, его легкая воспламеняемость и таинственное лучеиспускание послужили толчком к тому, что в скором времени весь образованный мир начал заниматься этим интересным веществом. Приготовление фосфора Брандт держал в секрете, а между тем спрос на него был так велик, что он ценился дороже золота. Его показывали за деньги как величайшую редкость.

Спустя некоторое время, как полагают, Брандт за очень большую сумму продал свой секрет немецкому химику Кунцелею — тогдашнему доктору медицины, после чего секрет приготовления фосфора в короткое время сделался

общим достоянием. Есть сведения, что около 1681 г. в Англии также был открыт фосфор неким Бойле, который нашёл при этом, как говорят, громадное состояние. Присутствие фосфора в моче послужило поводом к тому, что начали искать его потом и в самом теле животных. И действительно, в 1715 г. Генсигу удалось найти фосфор в мозгу, а в 1771 г. Шелем было сделано открытие фосфора в костях. Он нашёл, что кости животных в значительной части состоят из фосфорнокислой извести. В 1788 г. Клаппротт и Пруст констатировали тот факт, что фосфорнокислый кальций является очень распространенным минералом в земной коре.

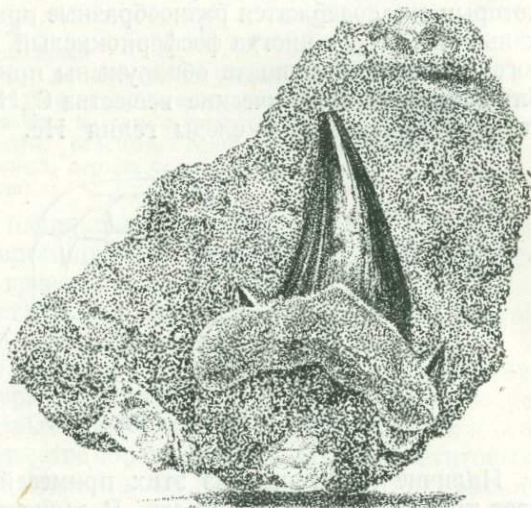


Рис. 213.

## ГАЛОИДОПРОИЗВОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

**Общие замечания.** Группа галоидопроизводных весьма разнообразна и многочисленна своими представителями. Все относящиеся сюда соединения обычно подразделяются на следующие подгруппы:

1) фтористые, или фториды, 2) хлористые, или хлориды, 3) бромистые, или бромиды и 4) иодистые, или иодиды. К наиболее распространенным в земной коре

относятся первые две подгруппы — фтористые и хлористые, среди которых известны вещества, имеющие огромное промышленное значение. Бромистые и иодистые минеральные вещества также весьма ценны в практическом отношении, но распространены в земной коре в значительно более слабой степени и представляют собой относительно редкие минеральные тела.

В настоящем описании остановимся на краткой характеристике некоторых минеральных тел фтористых и хлористых соединений.

### Фтористые соединения.

**Флюорит, или плавиновый шпат.** Химический состав  $\text{CaF}_2$  (теоретический состав: Ca—51,22%, F—48,78%). Очень часто наблюдаются разновидности флюорита почти химически чистые. В некоторых же содержатся разнообразные примеси, например хлористый кальций  $\text{CaCl}_2$ , а иногда фосфорнокислый кальций  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Кроме того, в плавиновом шпате обнаружены примеси окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , битуминозные органические вещества  $\text{C}_m\text{H}_n$ , а также иногда незначительные количества — следы гелия He.

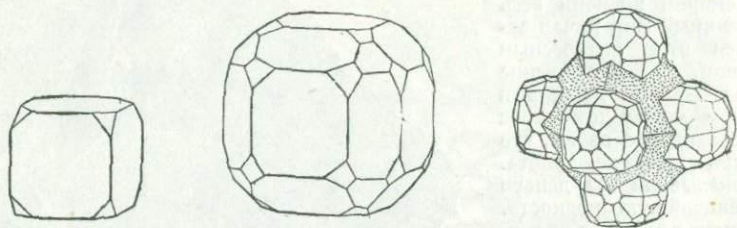


Рис. 214.

Наличие некоторых из этих примесей, повидимому, обуславливает ту или иную окраску его. В зависимости от присутствия этих примесей плавиновый шпат имеет ряд разновидностей.

Название «флюорит», как полагают, имеет связь с термином «fluor» (fluogine — по-английски), что на европейских языках означает элемент фтор F. Плавиновым же этот минерал именуется потому, что издавна применялся как пламень (флюс) при плавке руд.

**Структура и внешние особенности.** Кристаллизуется в кубической сингонии в гексаоктаэдрическом виде симметрии. Вид кристаллов большей частью кубический, реже октаэдрический, но бывают и более сложные формы (рис. 214). Отдельные кристаллы часто достигают весьма крупных размеров, в некоторых же случаях имеют почти микроскопический вид, как это, например, наблюдается у одной его фиолетовой разновидности, называемой **ратовки том**.

Кристаллы флюорита очень часто представлены двойниками.

Кристаллическая структура флюорита в настоящее время обстоятельно изучена рентгенометрически. В кристаллах флюорита ионы кальция Ca образуют гранецентрированную кубическую решетку, ионы же фтора F занимают середины восьми меньших кубов, на

которые можно разложить элементарный куб ячейки. Тип решетки пла-  
викового шпата встречается и у многих других бинарных соединений.

Кристаллы плавикового шпата обладают весьма совершенной  
спайностью, плоскости которой ориентированы по граням откаэдров.

Весьма характерной морфологической особенностью флюорита  
является часто присущая ему конкреционная форма. В этой форме  
флюорит встречается часто в виде превосходных кристаллов с радиаль-  
но-лучистым расположением и имеющих различную окраску. Особенно  
эффектно эти конкреции выглядят при шлифовании и полировке.  
Иногда флюорит встречается в природе в виде плотных сплошных масс  
или в землистых агрегатах.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	4
Удельный вес	3,1—3,2
Блеск	Стеклянный
Цвет	Белый, во многих случаях бесцветен и прозрачен или водянопрозрачен. Обычно же окрашен в самые разнообразные цвета: желтый, зеленый, голубой, фиолетовый, розовый, серый, черный и пр.
Черта	Белая

Многие разновидности плавикового шпата обладают явлениями  
люминисценции, т. е. флюоресцируют и фосфоресцируют при разных  
условиях освещения и нагревания. Некоторые из разновидностей  
флюоресцируют яркими цветами, как это было обнаружено на флю-  
оритах многих месторождений.

Происхождение и главные месторожде-  
ния. В земной коре флюорит распространен весьма широко, встре-  
чается среди различных горных пород, как магматических, так и оса-  
дочных. В большом же количестве образуется в жилах—пегматитовых,  
пневматолитических и гидротермальных. Жильные месторождения  
флюорита всегда сопровождаются рядом других минеральных тел,  
среди которых наиболее обычными спутниками являются: кварц,  
касситерит, барит, кальцит, многие сульфиды и пр.

Особенный интерес представляют образования среди газов фумарол  
при вулканических извержениях, где из летучих фтористых соедине-  
ний образуются иногда превосходные кристаллы его. Точно так же  
большой интерес имеет флюорит некоторых осадочных месторождений,  
где он иногда является продуктом жизнедеятельности некоторых  
организмов. На органогенное происхождение флюорита было давно  
обращено внимание вследствие того, что в раковинах некоторых мол-  
люсков, преимущественно из пластинчатожаберных, констатировано  
присутствие фтористого кальция. Известны даже единичные случаи  
нахождения его в тканях некоторых морских организмов. Таким  
образом некоторые осадочные месторождения флюорита можно рас-  
сматривать как биолитные образования.

Вместе с тем нередко флюорит встречается еще в виде псевдомор-  
фоз, как по отдельным минералам — пириту, кварцу, халцедону  
и другим, так и по различным органическим остаткам.

Месторождения флюорита в СССР довольно многочисленны.  
Особенный интерес в промышленном отношении имеют Абагай-

туйское плавиковое месторождение в Забайкалье, имеющее жильный характер, Аурахматское в Ташкентском районе и Куликолонское в Таджикистане, где сконцентрированы чистые и прозрачные его разновидности, употребляющиеся сейчас для оптических целей (оптический флюорит)<sup>1</sup>. Кроме того, к числу видимых флюоритовых месторождений относятся Калангуйское, в Забайкалье, некоторые месторождения Урала, например Баевское, изумрудные копи в окрестностях Свердловска, месторождения Дальневосточного края — Богучанское, Куранжа и др.

Месторождения вне СССР известны в США, в Англии и в Германии.

**Применение.** С давних пор флюорит применяется в металлургии и идет как плавень при плавке руд. В большом количестве используется в химической промышленности для изготовления плавиковой (фтористо-водородной) кислоты и многих фтористых солей. Точно так же многие сорта флюорита употребляются в стекольном деле и в производстве глазурей и эмалей. Наиболее чистые разновидности флюорита в настоящее время представляют ценный материал в оптике для изготовления особых линз, имеющих специальное назначение. В меньших количествах он находит применение, в смеси с другими солями кальция, в качестве лекарства при костных заболеваниях. Цветные и наиболее плотные разновидности флюорита используются как художественные камни в производстве различных изделий.

**Криолит** представляет собой комплексное фтористое соединение алюминия и натрия.

**Химический состав**  $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{NaF}$ .

Назван криолитом от греческих слов: «криос» — «лед» и «литос» — «камень», на основании своего внешнего вида. Кристаллизуется в моноклинной сингонии, кристаллы его обычно мелки, большей частью встречается в сплошных скрытокристаллических массах.

**Физические свойства.** Твердость 2,5—3. Удельный вес 2,95—3,00. Блеск стеклянный или матовый. Цвет большей частью белый.

Встречается, главным образом, среди жильных образований. Из месторождений в СССР известен в небольших количествах в Южном Урале — Ильменские горы. Вне СССР крупным месторождением криолита является западное побережье Гренландии.

Криолит теперь готовится искусственным путем и применяется при выплавке алюминия.

### Хлористые соединения.

**Галит, или каменная соль** (поваренная соль). Химический состав  $\text{NaCl}$  (Na—39,39%, Cl—60,61%). Часто содержит небольшое количество хлористого калия  $\text{KCl}$ , а в некоторых случаях сульфатов кальция  $\text{CaSO}_4$  и магния. Иногда заключает в себе в качестве примесей  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (розовая соль) и битуминозные органические вещества.

Название «галит» связано с греческим «галос» — «соль», поваренной именуется вследствие того, что употребляется в пищу.

**Структура** кристаллическая, кристаллизуется в кубической сингонии в форме кубов (при низких температурах хлорид натрия

<sup>1</sup> Соболевский В. И., Сарычева А. В., Смоленский Е. Н., Куликолонское месторождение и его оптический флюорит, изд. Академии наук СССР, 1936.

кристаллизуется из водных растворов в форме гексагональных табличек состава  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Кристаллическое строение каменной соли было обстоятельно изучено Б р э г г о м В. Л. в 1913 г. Решетка относится к типу ионных, где отдельные точки — узлы — здесь попеременно соответствуют ионам натрия и ионам хлора. В настоящее время рентгеновская структура каменной соли определена с весьма большой точностью. Длина ребра  $a_n$  элементарного куба равняется 4,10 Å. Вследствие этого каменная соль нередко употребляется как единица сравнения при рентгенометрических измерениях других веществ. По типу каменной соли построено большинство галоидных соединений щелочных металлов.

Кристаллы каменной соли часто достигают весьма крупных размеров и обладают совершенной спайностью по всем трем направлениям.

Во многих случаях она образуется в виде сплошных масс, а также в виде тонких кристаллических налетов в области так называемых сухих fumarol при извержениях вулканов.

Иногда каменная соль встречается в форме сталактитов и других натечных образований.

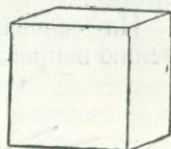


Рис. 215. Кристалл каменной соли.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2
Удельный вес	2,17
Блеск	Стеклообразный
Цвет	Бесцветна или водянопрозрачна, от примесей имеет разные цвета
Черта	Белая

Обладает соленым вкусом. Чистый хлорид натрия негигроскопичен. Известное всем отсырение поваренной соли на влажном воздухе происходит в связи с содержанием в ней примесей.

Точка плавления  $800^\circ \text{C}$ . Точка кипения  $1440^\circ \text{C}$ . Выше температуры красного каления становится заметно летучим.

Среди некоторых месторождений каменной соли наблюдаются иногда разновидности ее, окрашенные в голубой и даже в синий цвет (в некоторых случаях цвет имеет фиолетовые оттенки). Очень долго не могли найти причины этой голубой окраски, так как химический анализ не давал определенных указаний на различие состава бесцветной и голубой соли. Одно время предполагали наличие здесь органических веществ, как, например, образование голубого субгалогенида натрия, подобного субгалогенидам серебра и пр. В последнее время в связи с разработкой ультрамикроскопических методов исследования, с большой определенностью было установлено, что голубой цвет соли всецело обязан коллоидным растворам металлического натрия в твердой поваренной соли. Ультрамикроскопическое исследование обнаружило во всех голубых пробах соли многочисленные интенсивно окрашенные и с известной правильностью расположенные коллоидные частицы металла, отсутствующие в бесцветном минерале.

Разработкой ультрамикроскопического метода мы обязаны двум исследователям: Г. Зидентопфу и Р. Зигмонди. Помощью этого метода является возможным сделать видимыми отдель-

ные частицы дисперсных систем, размеры которых меньше длины световой волны. По Зидентопфу нетрудно получить искусственно голубую каменную соль, дающую очень близкую с естественной ультрамикроскопическую картину путем образования молекулярно-дисперсного раствора металлического натрия в твердой кристаллической массе. Заслуживает упоминания также случай совпадения цвета голубой поваренной соли с цветом коллоидного натрия, полученного электрическим распылением в органических растворах. Кроме того, аналогичная окраска вызывается также освещением радиоактивными лучами.

На основании этого является возможность подойти к разрешению вопроса о нахождении голубой соли в природе. Это связано с распылением

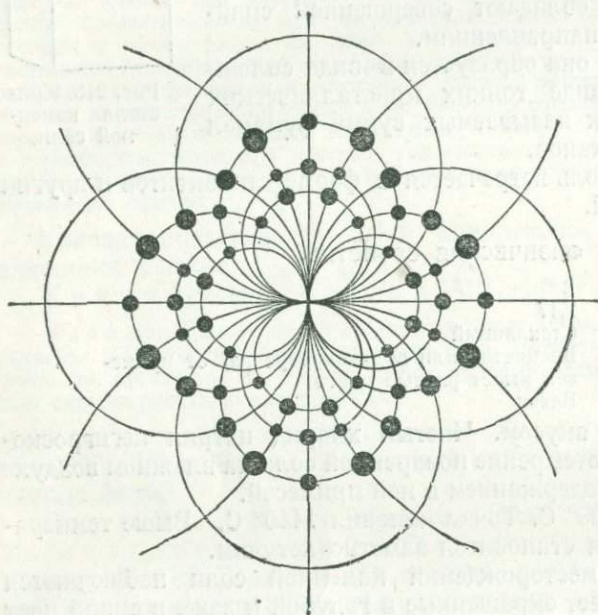


Рис. 216. Рентгенограмма каменной соли.

частиц металлического натрия, а также со слабой радиоактивностью залегающих по соседству калиевых солей. Калиевые соли могут являться основным источником радиоактивных излучений<sup>1</sup>.

Происхождение и главные месторождения. В природе хлорид натрия может быть образован следующими двумя путями: 1) при вулканических извержениях как продукт возгона из паров и газов — вулканическая соль и 2) осаждением из

водных растворов — самосадочная соль, образованная на дне тех или иных водных замкнутых бассейнов. Каменная соль образовалась еще в минувшие геологические периоды на дне прошлых водных бассейнов. Теперь эта соль залегает в виде сплошной каменной массы среди горных пород. Кроме того, соль иногда осаждается на поверхности земли в виде так называемых выцветов. Это явление наблюдается преимущественно в пустынных и степных областях.

Главная масса поваренной соли образуется осаждением из озер и заливов морей, в результате чего часто образуются целые залежи ее в виде отдельных пластов, или прослоек среди глин, мергелей и других осадочных пород.

<sup>1</sup> Ostwald W o, Kolloidchem. Beih., 1911.

Соляные озера в СССР довольно многочисленны, важнейшие из них находятся: в Сталинградской области — оз. Эльтон и Баскунчак, в Крыму — Сакское озеро, Чекракское и др., в Западной Сибири, в Казахстане и других местах.

Крупнейшие отложения каменной соли известны в Соликамско-Березниковском районе на Урале, в Бахмутском районе в УССР, в Илецкой Зашите Оренбургской области и многих других местностях.

Кроме того, во многих местностях соль выделяется еще в виде так называемых соляных источников, которые также часто имеют большой промышленный интерес.

Пласты соли, наблюдаемые в разных странах, иногда достигают колоссальных размеров. Известны страны, в которых каменная соль покрывает широкие поверхности земли или образует целые горы. Так, например, на о. Кишим, в Персидском заливе, одна гора, имеющая до 6 км длины и 150 м высоты, сплошь состоит из чистой каменной соли.

Примером мощной штокообразной массы соли может служить также Горькое озеро в Суэцком перешейке; сейчас эти отложения соли водами канала уже размыты. Но по имеющимся сведениям там была обнаружена линза каменной соли в 13 км длины, около 6 км ширины и 8 м толщины, которая вследствие проникавших вод канала вся была растворена.

Соляные растворы во многих случаях оказывают высокое консервирующее действие на органические вещества. При некоторых условиях в пластах соли могут беспрепятственно сохраняться остатки материковых животных и растений.

Иногда крупные скопления соли наблюдались среди степных и пустынных областей. Большое влияние на отложение солей в пустынях оказывают часто движущиеся дюны. Как известно, дюнные пески значительной мощности под влиянием ветров определенных направлений могут трансгрессивно перейти через большую поверхность. При этом нередко наблюдается, что они подходят к берегу соляного озера и, перекатываясь дальше, переходят через одно или несколько таких озер, а во многих случаях через озерную область.

В степях низовьев Волги песком засыпано бесчисленное множество соляных озер. Под слоями песка здесь можно видеть очень чистый твердый хлоридный натрий.

Точно так же подобный процесс, приводящий к отложению солей, вызывается массами пыли, которую несет в пустыне каждая буря. Характерной особенностью почти каждого пустынного ландшафта является наличие так называемых «соляных болот», «соляных трясин», «соляных топей».

Ландшафты многих соленосных отложений с исключительной живостью и мастерством описаны Иоганном Вальтером — этим знаменитым исследователем пустынь<sup>1</sup>.

Вот одно из мест его описаний: «Окруженное высокими желтыми песчаными дюнами лежит гладкое и белое, как только что занесенное снегом, соляное озеро у Моллахкара. Из него ежегодно добываются

<sup>1</sup> Вальтер И., Законы образования пустынь.

тысячи центнеров соли и перевозятся длинными караванами верблюдов на Закаспийскую ж. д., но запасы соли постоянно возобновляются, так как к бассейну без стока всегда текут соленые притоки. Венок зеленых кустов окружает его берега и дает резкий цветовой контраст с голубой водой, покрытым солью берегом и светложелтыми дюнами. Похожие на дрок кусты эфедры, заросли ситника и колючие акации образуют толстую изгородь. Между ними поднимаются светложелтые тамариски. Их красиво свисающие ветви несут красные, как кровь, кисти цветов. Сухие ветви, листья и цветы падают в насыщенную солью воду и благодаря медленному гниению дают сильно пахнущий сероводородом черный ил, который можно было бы рассматривать как битуминозную соленую глину. На всех корнях и свешивающихся ветвях образуются кристаллы поваренной соли, а на противоположном берегу соль образует довольно твердый слой в дюйм толщиной, похожий на ледяной покров. В воде мы замечаем тучи *Artemia salina*, маленьких нежных ракушковых, красноватые скорлупы которых иногда попадают в соль в таком количестве, что она приобретает красноватый оттенок. В соленосную глину могут легко попадать сравнительно крупные млекопитающие, а также и насекомые и там великолепно сохраняться. Когда весной бывает птичий перелет, тогда берега соляного озера кишат тучами всевозможных птиц. Следы змей, ящериц и жуков запечатлеваются на соседних песчаных дюнах, а иногда случайно и сами животные могут превращаться в окаменелости, в образующихся здесь слоях соли».

**Применение.** Промышленное значение каменной соли чрезвычайно велико. Каменная соль представляет собой исходный продукт для получения соляной кислоты, сульфата натрия, соды, хлора и едкого натра. Хлорид натрия в технике служит исходным материалом для получения почти всех других соединений натрия. Кроме того, соль служит еще для многих других промышленных целей, например для высаливания мыла, для высаливания органических красок, для хлорирующего обжига во многих металлургических процессах; в кожевенном производстве она употребляется для соления кож. Точно так же ее применяют для глазуирования глиняных изделий, для ускорения таяния снега, для приготовления охлаждательных смесей и т. д.

Большое значение поваренная соль имеет в качестве пищевого средства, особенно при растительном характере пищи. Затем соль широко применяется для консервирования мяса, при солении рыбы и пр.

### Калийные соли.

Главнейшими представителями калийных солей являются следующие:

**Сильвин.** Химический состав  $KCl$  ( $K - 52,46\%$ ,  $Cl - 47,54\%$ ). Это вещество является наиболее ценным из калийных минералов. Сильвин часто бывает загрязнен примесью хлорида натрия; в этом случае минерал именуется **сильвинитом**.

**Название** минерала связано с именем химика и врача Сильвия Франца де ле-Бое из Ганау (1614—1672), которому принадлежит открытие этой соли.

**Структура.** Сильвин по своему кристаллическому строению весьма близок к галиту — кубическая сингония, вид кристаллов кубический, но часто с притуплениями на углах. Рентгенометрические показатели те же, что и у галита. Кристаллы сильвина обладают также совершенной спайностью по граням куба.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Твердость	2
Удельный вес	1,9—2,0
Блеск	Стеклянный
Цвет	В чистом виде бесцветный и прозрачный От примесей бывает желтым, красноватым, голубоватым и пр.
Черта	Белая

Сильвин в отличие от галита обладает горько-соленым вкусом.

**Карналлит** представляет двойную соль хлорида калия с хлоридом магния, состава:  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  ( $KCl$  — 26,7%;  $MgCl_2$  — 34,5%;  $H_2O$  — 38,8%). Очень часто в карналлите обнаруживается бром (в среднем около 0,18—0,20%) и незначительные количества хлористого рубидия и цезия (от 0,015 до 0,030%).

Карналлит обладает весьма большой гигроскопичностью, вследствие чего, притягивая влагу из воздуха, легко расплывается и распадается на составные части.

Кристаллизуется в ромбической сингонии. Твердость 1; удельный вес 1,6. Окрашен в различные цвета — оранжево-желтый, бурый, в чистом виде бывает почти бесцветным.

**Каинит** является двойной солью хлорида калия и сульфата магния, состава:  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$  ( $KCl$  — 30,00%;  $MgSO_4$  — 48,1%;  $H_2O$  — 21,9%).

Кристаллизуется в моноклинной сингонии. Твердость 3. Удельный вес 2,1. Имеет широкое распространение в месторождениях калийных солей.

Главнейшие месторождения калийных солей. По условиям генезиса для калийных солей имеют место те же пути, что и для каменной соли. Главнейшими месторождениями калийных солей являются водные бассейны, как современные, так и ископаемые.

На территории СССР сконцентрированы колоссальные месторождения калийных солей, и по своим запасам эти месторождения стоят на первом месте среди прочих стран.

Одним из важнейших месторождений в СССР является месторождение в Соликамске на Урале — Верхнекамское калийное месторождение. Это месторождение по своей мощности и по запасам солей превышает все известные месторождения на Западе (Стассфуртские и Эльзасские) и является базой обеспечения всех потребностей как в калийных удобрениях, так и в потреблении калия в других отраслях промышленности. На базе Соликамского месторождения в настоящее время в СССР создан крупнейший химический комбинат, построенный с использованием всех новейших технических методов добычи и переработки калийных солей. Открытие этого мирового месторождения относится к 1925 г., несмотря на то, что до этого времени отдельными исследователями калий был констатирован в отдельных пробах. В геологическом отношении Соликамское месторождение приурочено к пермскому возрасту и представляет дно усохшего соленого бассейна в период обмеления пермского моря. О геологическом строении Соликамского месторождения можно судить по прилагаемому профилю (рис. 217).

Месторождения калийных солей вне СССР известны в окрестностях Стассфурта, расположенные на большой площади Северогерман-

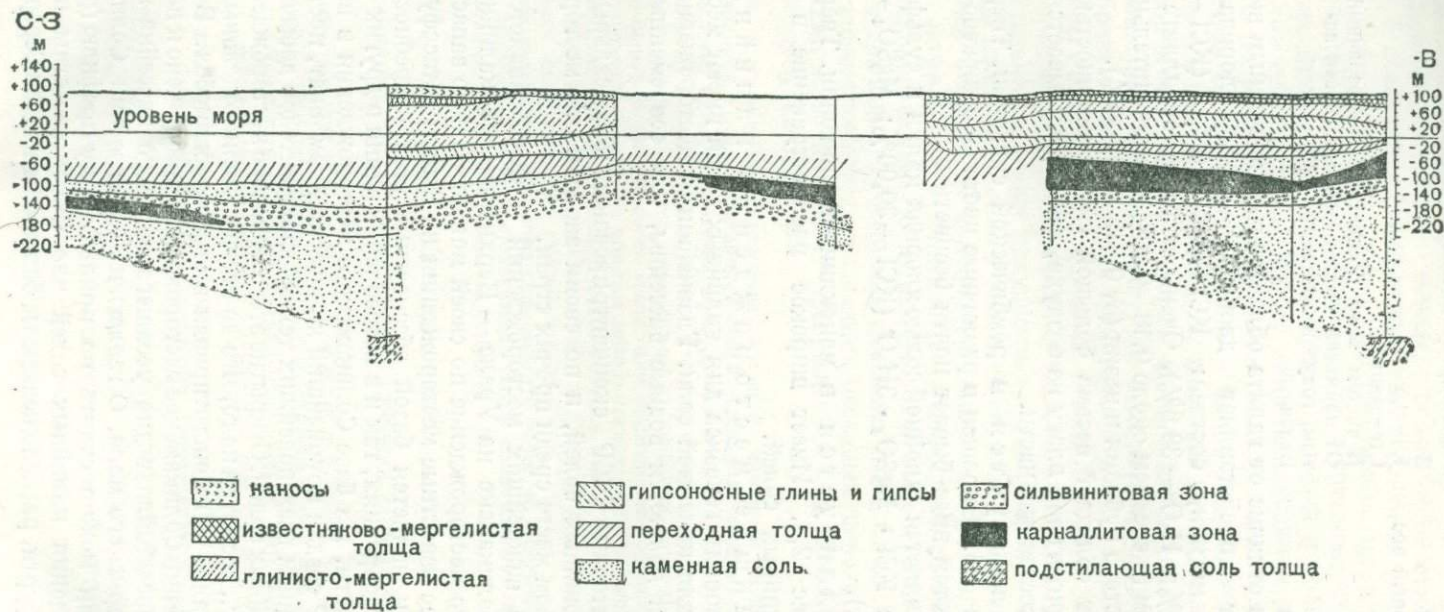


Рис. 217. Схема геологического разреза калийного месторождения на Березниковском участке в Соликамске ( по Иванову).

ской низменности. Кроме того, месторождения калия имеются еще в Эльзасе, в долине р. Рейна, около г. Мюльгаузена. Это месторождение в настоящее время принадлежит Франции.

**Применение калийных солей.** Калийные соли находят применение в различных отраслях промышленности и хозяйства страны. Основными потребителями калия являются сельское хозяйство и химическая промышленность.

Громадный рост потребления калийной соли в сельском хозяйстве объясняется использованием ее, наряду с фосфором и азотом, в качестве удобрительных средств. В настоящее время около 95% солей калия применяется для удобрения.

Наибольшее значение калийные удобрения имеют для таких растительных культур, как сахарная свекла, корнеплоды, картофель, ячмень, табак, конопля, подсолнечник, мак и некоторые другие.

### **Нитраты, или азотнокислые соединения.**

**Общие замечания.** В этой группе будут рассмотрены азотнокислые соединения щелочных металлов, обычно именуемые селитрами. Эти вещества известны с незапамятных времен, и знакомство с ними относится к глубокой древности.

В промышленном отношении селитры интересны, главным образом, с точки зрения азота, вследствие чего применяются в качестве азотистых удобрений. Кроме того, селитры широко используются в химической промышленности, а также идут на приготовление взрывчатых веществ (особенно калийная селитра).

К числу наиболее общеизвестных селитр относятся:

**Натровая, или чилийская, селитра.** Химический состав  $\text{NaNO}_3$  ( $\text{Na}_2\text{O}$  — 35,0%,  $\text{N}_2\text{O}_5$  — 65,0%, содержание азота отвечает 16,74%). Кристаллизуется в гексагональной сингонии в форме ромбоэдров (близких к кальциту). Твердость 1,5—2. Удельный вес 2,26. Обычно бесцветна или окрашена в слабые цвета. Вкус солоноватый. Легко растворяется в воде.

Образуется в природе при разложении азотсодержащих органических остатков, преимущественно гуано птиц, или иногда осаждается в озерах. В некоторых случаях может быть образована и другими процессами, связанными с магматической деятельностью.

Крупнейшие месторождения натровой селитры сосредоточены в Чили. Полоса земли, в которой добывают селитру, лежит на западном берегу Южной Америки между 4 и 20° южной широты. Ее залежи тянутся вдоль побережья Перу и Чили на расстоянии свыше 3600 км. Вся эта полоса почти совершенно лишена дождей, так что производит впечатление пустыни. Немногие реки этой местности питаются исключительно водой тающего снега Кордильер. Породы, содержащие селитру, залегают на глубине от одного до десяти метров. Чилийская селитра сопровождается залежами каменной соли, карбонатами натрия и многими другими солями. Кроме того, она содержит еще в себе незначительные количества йода, который также составляет предмет добычи. Генезис этих месторождений не вполне еще ясен. В СССР крупных месторождений натровой селитры неизвестно. Небольшие скопления ее находятся в Забайкалье — в области Доронинских озер.

**Калийная селитра.** Химический состав  $\text{KNO}_3$ . Кристаллизуется в ромбической сингонии. Твердость 2. Удельный вес 1,99. приме-

няется, главным образом, для производства взрывчатых веществ и в химической промышленности.

Месторождения в СССР известны на Кавказе, в Крыму, в Средней Азии, в Закаспийской области и некоторых других местах. В этих же месторождениях частью находят и натровую селитру. Из месторождений вне СССР особого внимания заслуживают месторождения Индии.

В природе, кроме этих двух селитр, известны еще кальциевая — известковая  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и отчасти магниевая  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . По имеющимся сведениям эти вещества могут образоваться среди известковых пород в связи с наличием азотистых органических остатков, как это, например, наблюдалось на о. Цейлоне и в других местах, где в известковых пещерах из века в век проживают целые стаи летучих мышей.

Процессы, ведущие к образованию селитр в этих местах, повидимому, связаны с метасоматическими процессами замещения карбоната извести на нитрат азотсодержащих органических веществ гуано.

## ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

**Общие замечания.** К классу органических природных соединений относится ряд минеральных тел разнообразного и часто сложного химического состава, в котором главнейшую роль играют углеродистые вещества. В природе все эти соединения образуются сложными процессами, среди которых большую роль играют организмы, как растительные, так и животные. Значительная часть относящихся сюда веществ непосредственно органогенного происхождения; такие вещества являются типичными биолитами. Минеральные тела этого класса можно разбить на четыре отдельные группы:

I. **Группа солей органических кислот.** Сюда относятся некоторые органические соли кальция, железа и алюминия, например: шавелевокислый кальций  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , так называемый юйлит; шавелевокислое железо  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , или гумбольдтин; меллитовокислый алюминий  $\text{Al}_2\text{C}_{12}\text{O}_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , или меллит, и некоторые другие.

II. **Группа углеводов.** К этой группе принадлежат различные виды нефти и продукты ее изменения, например озокерит, так называемый горный воск, представляющий собой продукт высыхания некоторых нефтей, и асфальт.

III. **Группа смол.** К этой группе относятся различные виды смол, находящиеся в твердом ископаемом состоянии, частью сохранившиеся в виде жидких масс, среди которых, главным образом, известен янтарь.

IV. **Группа углей.** Ископаемые угли представляют весьма обширную группу веществ, имеющих свою классификацию, чрезвычайно интересных по процессам образования в земной коре.

На основании целого ряда данных и общих положений можно главнейших представителей этой группы расположить следующими последовательными переходами:

Углеобразователи (дерево, мох, водоросли и пр.) — торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит.

В настоящем отделе мы кратко остановимся только на янтаре.

**Общие замечания.** Янтарь представляет собой смолу ископаемых хвойных деревьев третичного периода, потерявшую под химическим воздействием внешних условий свое жидкое состояние и затвердевшую в плотную массу. На основании остатков листьев и цветов янтарными деревьями считают четыре вида сосны, из которых ни один не стоит, однако, близко к современной *Pinus silvestris*, и один вид ели, близкий к *Picea ajanensis*, растущей на Амуре и о. Иезо.

Янтарь известен с глубокой древности; еще Фалес, живший за 600 лет до начала нашей эры, обратил внимание на свойство янтаря после натирания о шерсть притягивать легкие тела. В связи с этим древние греки называли янтарь «электроном», откуда впоследствии образовалось слово «электричество».

Весьма характерными особенностями янтаря являются включения громадного количества всевозможных животных, главным образом, из представителей членистоногих, в частности насекомых.

Многие из этих объектов сохранились в янтарной смоле с большой отчетливостью и со всеми деталями их организации. Известны случаи сохранения в консервированном состоянии оводов, слепней, комаров, некоторых видов блох и пр. О янтарных насекомых существует огромная литература. Нахождение

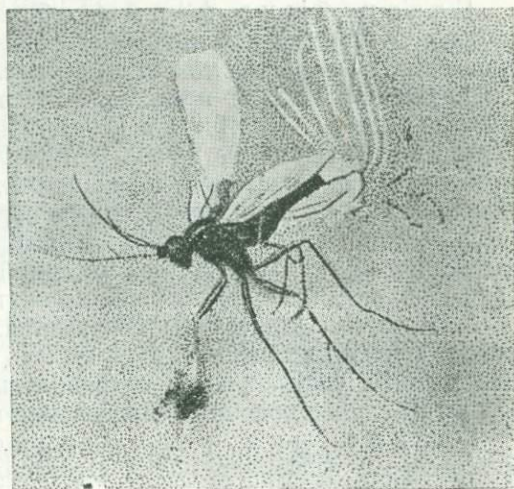


Рис. 218. Янтарь с включением насекомого.

этих остатков организмов проливает большой свет на палеобиологическую обстановку прошлых геологических периодов. В некоторых экземплярах янтаря находили даже остатки волос млекопитающих, перьев птиц и даже в хорошо сохранившихся формах остатки ящериц, как, например, род *Nucras tessellata* Smith, обитающий еще в настоящее время в тропической Африке.

Богатейшая коллекция янтаря, лучшая в мире, принадлежит геолого-палеонтологическому институту Кенигсбергского университета. Эта коллекция, единственная как по количеству, так и по качеству образцов, представляет собой одну из достопримечательностей Кенигсберга, в окрестностях которого расположены главнейшие янтарные залежи.

Янтарная фауна здесь представлена в количестве около 70 000 экземпляров.

**Химический состав.** В химическом отношении янтарь представляет собой вещество сложное и непостоянное. В состав янтаря

входят различные сложные органические соединения, а также в некотором количестве и минеральные вещества.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Структура	Некристаллическая, аморфная
Твердость	2—2,5
Удельный вес	1,06—1,08
Блеск	Смоляной
Цвет	Различный в зависимости от разновидностей, большей частью желтый, бурый или краснобурый
Температура плавления	250—300°
При трении о сукно электризуется	

Янтарь легко растворяется в бензоле и сероуглероде, тогда как в спирте и эфире почти нерастворим.

Главнейшие формы образования. Янтарь представлен в природе довольно многообразными формами, из которых в качестве главнейших можно отметить следующие:

1. Янтарные капли представляют собой затвердевшие капельки янтарной смолы, выступившие когда-то из смоляных ходов янтарных деревьев и упавшие на почву. Эти капли при своем падении могли подвергнуться различным деформациям, вследствие чего многие из них приобрели сплюснутую лепешкообразную форму.

2. Янтарные натеки образовались под влиянием медленного вытекания из стволов и ветвей янтарной смолы, которая, постепенно сгущаясь, дала прозрачные и светлые натеки затвердевших масс.

3. Янтарные сталактиты образовывались в тех случаях, когда смола, вытекая по каплям, свешивалась свободно с ветвей и наподобие ледяных сосулек потом сохранилась в затвердевшем состоянии. Известны случаи подобных образований в крупных размерах.

Главнейшие разновидности янтаря. Весьма интересными особенностями янтаря являются его многочисленные разновидности, отличающиеся друг от друга цветом и другими признаками.

Из наиболее типичных разновидностей известны следующие:

1. Геданит характеризуется яркожелтым цветом.
2. Глессит темнубурого цвета, почти непрозрачный.
3. Стантениит почти черного цвета и весьма крупный.
4. Беккерит совершенно непрозрачный, бурого цвета.

Месторождения. Известен во многих местах, но особенно крупные его скопления сосредоточены по бережьям Балтийского моря, преимущественно в северо-западной части полуострова Замланд, там, где расположены прусские морские курорты. Янтарь здесь залегает в нижнеолигоценовых слоях, в так называемой «голубой земле», получившей свое название от присутствия в ней голубоватозеленого минерала глауконита. Ежегодно отсюда добывают янтарь в огромных количествах.

Применение. Используется как изолятор в электроприборах; некоторые разновидности служат для получения янтарной кислоты, которая во многих случаях является материалом, идущим на переработку в анилиновые краски, полимеры и янтарный лак. Большое количество различных сортов янтаря идет на поделки и художественные изделия.

В Екатерининском дворце в г. Пушкине, близ Ленинграда, есть комната, стены которой убраны янтарными пластинками.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПРОСТЫХ ТЕЛ.

Издавна научная мысль пыталась привести в стройную систему все известные в то время химические элементы. Начиная же с 60-х годов прошлого столетия, когда были выработаны методы нахождения истинных атомных весов, эти попытки стали все более и более настойчивыми. Из среды ученых, занятых осуществлением этой идеи, необходимо выделить: Шанкуртуа, Одингга, Мейера Л., Ньюлендса Дж. Но лишь в конце 1868 г. Менделеевым Д. И. был найден закон, который позволил ему расположить все существовавшие в то время химические элементы в определенную систему. Этот закон — периодический — можно формулировать примерно следующим образом: свойства всех химических элементов, а также состав и свойства образованных ими соединений изменяются периодически с их атомным порядковым числом. Под порядковым атомным числом элемента надо подразумевать число положительных электрических зарядов ядра атома, равное числу электронов в электронных оболочках этого атома. Ниже приводится таблица всех химических элементов и описание наиболее распространенных в земной коре простых тел с указанием главных физических свойств их и нахождения в природе. Это описание простых тел расположено по возрастанию порядкового атомного числа элемента.

1. Водород — H (Hydrogenium, от греческого «рождать воду»).  
Водород был открыт еще в XVI в. Парацельсом, но лишь в 1766 г. Кавендиш установил его самостоятельную природу.  
Водород — газ без цвета, не имеет ни вкуса, ни запаха. Плотность (по отношению к воздуху) 0,0695, критическая температура около минус 240°, температура кипения минус 252°,5.
2. Гелий — He (Helium, от греческого «солнце»).  
Был открыт в 1868 г. Локкиером в спектре солнечных протуберанцев. Бесцветный газ, не имеет ни вкуса, ни запаха; плотность (по отношению к водороду) 1,995, температура кипения минус 268°,98. Встречается в минералах: клевайте, фергусоните, монаците и др.
3. Литий — Li (Lithium).  
Открыт в 1817 г. Арфведзоном.  
Самый легкий из всех металлов с удельным весом 0,534; температура плавления 179°, температура кипения 1336°.  
Все летучие соединения лития окрашивают пламя в красно-малиновый цвет. Встречается в редких минералах, например в лепидолите.
4. Бериллий — Be (Beryllium, от греческого «сладкий» — соли бериллия сладкие).  
Другое название этого элемента — глиций.  
Бериллий — хрупкий металл удельного веса 1,84, с температурой плавления 1278° и температурой кипения около 2970°; пламя не окрашивает.  
Открыт в 1797/98 г. Вокеленом Л. в минерале берилле.
5. Бор — B (Borium).  
Впервые был получен Гей-Люссаком и Тенардом в 1808 г. при восстановлении борной кислоты металлическим натрием.

## ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА

(порядковый номер, символы и атомный вес).

Периоды	Г р у п п ы																			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII				
1	—	—	—	—	—	—	1 H 1,008	2 He 4,02	3 Li 6,94	4 Be 9,02	—	—	—	—	—	—	—	—	2a	
2b	—	—	5 B 10,82	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3a
3b	—	—	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,02	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 Ar 39,94	19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,64	27 Co 58,94	28 Ni 58,69	—	4
5	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,66	33 As 74,96	34 Se 79,20	35 Br 79,92	36 Kr 82,9	37 Rb 85,46	38 Sr 87,63	39 Y 88,93	40 Zr 91,22	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43 Ma ?	44 Ru 101,7	45 Rh 102,9	46 Pd 106,7	—	6
7	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,76	52 Te 127,5	53 J 126,93	54 Xe 130,2	55 Cs 132,81	56 Ba 137,36	57—71 TR *	72 Hf 178,6	73 Ta 181,5	74 W 184,0	75 Re 186,3	76 Os 190,9	77 Ir 193,1	78 Pt 195,23	—	8
9	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,0	84 Po (210,0)	85 Ab ?	86 Rd 222,0	87 Vi (?)	88 Ra (225,97)	89 Ac (227)	90 Th 232,12	91 Pa 231	92 U 238,14	—	—	—	—	—	10

\* Группа редких элементов, перечень которых помещается в тексте.

Бор — металлоид темногобурого цвета, удельного веса 1,73; температура плавления 2300°, при накаливании на воздухе загорается с образованием борного ангидрида.

В природе встречается в виде солей и в некоторых силикатах.

6. Углерод — C (Carbonium).

Углерод — чрезвычайно распространенный в природе элемент, изученный, главным образом, при анализе алмаза и графита Лавуазье (1773 г.), Теннантом (1796 г.). В виде простых тел встречается в форме графита, алмаза и аморфного углерода. Входит в состав так называемых органических соединений. Растворяется в большинстве металлов.

7. Азот — N (Nitrogenium, от греческого «неживущий»).

Латинское название получил от селитры (nitrum). Выделен впервые и назван азотом в XVIII в. Лавуазье при опытах окисления ртути воздухом.

Азот — газ без цвета, вкуса и запаха; совершенно не поддерживает горения и дыхания. Литр чистого азота при нормальных условиях весит 1,2507 г, температура кипения минус 194°, температура плавления минус 214°. Является составной частью воздуха, входит в состав селитры и других соединений.

8. Кислород — O (Oxygenium, от греческого «рождать» и «кислый»).

Впервые получен в 1744 г. Пристлеем; кислородом назван Лавуазье.

Кислород — газ без цвета, запаха и вкуса. Литр кислорода весит 1,429 г, температура кипения минус 182°,5. Является составной частью воздуха и входит как компонент в окислы и соли кислородных кислот.

9. Фтор — F (Fluor).

Впервые в свободном виде был получен Муассаном в 1886 г. при разложении безводного фтористого водорода.

Фтор — газ бледножелтого цвета; температура кипения минус 188°, температура плавления минус 233°, удельный вес (жидкости) 1,108.

В природе встречается в минералах — флюорите, криолите и др.

10. Неон — Ne (Neon).

Один из «благородных» газов, находящихся в незначительном количестве в воздухе. Открыт в 1898 г. Рамзаем и его ассистентом Траверсом. В 1000 объемах воздуха неона находится 0,005 объема; литр неона весит 0,8985 г, температура кипения минус 245°,93; цвета, запаха и вкуса не имеет; не обладает способностью вступать в химические соединения с какими-либо телами.

11. Натрий — Na (Natrium).

Впервые получен Дэви в 1807 г. при электролизе едкого натрия.

Натрий — мягкий белый металл с температурой плавления 97°,7, с температурой кипения 880°,9, с удельным весом 0,971.

Быстро окисляется на воздухе, со взрывом разлагает воду, хранится обычно в керосине, бензине и т. д.

Входит в состав многих минералов и горных пород, находится в морской воде и т. д.

12. Магний — Mg (Magnesium).

Впервые в свободном виде был изолирован Дэви из амальгамы.

Магний — серебристобелый металл, удельный вес 1,74, температура плавления 650°, температура кипения 1120°.

Употребляется для изготовления различных твердых и вязких сплавов.

Встречается в природе в многочисленных минералах и горных породах — магнезит, доломит, оливин, шпинель, тальк и др.

13. Алюминий — Al (Aluminium, от латинского названия квасцов «alumen»).

Впервые был получен в 1825 г. Велером Фр.

Алюминий — серебристобелый металл, удельный вес 2,7. При температуре 100—150° легко прокатывается в фольгу, выше 500° делается хрупким. Температура плавления 659°, температура кипения 2270°.

В природе встречается в различных минералах — полевые шпаты, слюды, каолин, гранаты и т. д.

14. Кремний — Si (Silicium).

Открыт в 1810 г. Берцелиусом при анализе кремневой кислоты,

Кремний — металлоид, в чистом виде может быть получен или в аморфном, или в кристаллическом виде. Удельный вес кремния 2,34, температура плавления (аморфного) 1420°, температура кипения 2355°.

Распространение кремния в природе чрезвычайно широкое; играет в минеральном мире такую же роль, как углерод в живых организмах. Встречается в большинстве минералов и горных пород — кремнезем и силикаты.

15. Ф о с ф о р — P (Phosphorus).

Фосфор был впервые получен в 1669 г. алхимиком Брандтом при перегонке остатков выпаренной мочи; эту операцию Брандт производил с целью отыскания «философского камня».

В виде простого тела фосфор встречается в форме четырех аллотропных видоизменений — бесцветный, пурпурный, рубиновый и черный.

По своим физическим свойствам бесцветный фосфор резко отличается от остальных видов. Так, бесцветный фосфор имеет чесночный запах, температура плавления  $44^{\circ},3$ , удельный вес  $1^{\circ},82$ , температура воспламенения  $30-35^{\circ}$ , чрезвычайно ядовит.

Остальные три вида без запаха, температура плавления  $592^{\circ},5$ , удельный вес последовательно 1,90, 2,11 и 2,69, а температура воспламенения  $210-240^{\circ}$ ,  $346^{\circ}$  и  $499^{\circ}$ , не ядовиты.

Входит в состав разных горных пород и минералов — апатиты, фосфориты и др.

16. С е р а — S (Sulfur).

Сера была известна с давних пор, но как элемент была признана лишь со времен Лавуазье.

Металлоид, встречается в нескольких аллотропных видоизменениях, из которых необходимо отметить серу ромбическую, моноклинную, а также аморфную.

Ромбическая сера имеет удельный вес 2,07 и температуру плавления  $114^{\circ},5$ , кристаллизуется в совершенных формах ромбической системы из сероуглерода. Выше  $96^{\circ}$  ромбическая сера переходит в моноклинную.

Моноклинная сера имеет удельный вес 1,96 и температуру плавления  $119^{\circ}$ . Существует в такой форме лишь в интервале  $96-119^{\circ}$ .

Аморфная сера имеет несколько разновидностей; так, при температуре  $180^{\circ}$  расплавленная сера вновь загустевает. Если же загустевшую серу нагреть почти до температуры кипения ( $444^{\circ},6$ ) и вылить в холодную воду, то получится нерастворимая в сероуглероде каучукообразная сера. Аморфная сера быстро переходит в ромбическую серу.

Сера встречается в различных минералах — сульфаты, сульфиды и т. д.

17. Х л о р — Cl (Chlorum).

Был открыт в 1774 г. Шееле К. при нагревании двуокиси марганца с соляной кислотой.

Хлор — желтозеленый удушливый газ с температурой кипения минус  $34^{\circ},6$ , температурой плавления минус  $103^{\circ}$ . Вес нормального литра хлора 3,214 г.

В природе распространен очень широко в виде различных солей — каменная соль и др.

18. А р г о н — Ar (Argon, от греческого «ленивый»).

В чистом виде был получен в 1894 г. Рэлея и Рамзая В. при детальном исследовании состава воздуха.

Аргон — газ без цвета, запаха и вкуса. Не горит и не поддерживает горения. Не вступает в химические реакции с другими элементами. В воздухе содержится до 1% по объему. Вес нормального литра 1,7837 г, температура кипения минус  $185^{\circ},85$ .

19. К а л и й — K (Kalium).

Впервые калий был получен Дэви в 1807 г. при соприкосновении проволочек электрической батареи с куском влажного едкого калия.

Калий — серебристо-белый металл, удельный вес 0,862, температура плавления  $63^{\circ},5$ , температура кипения  $762^{\circ},2$ , быстро окисляется на воздухе; соли калия окрашивают пламя в сиреневый цвет. Встречается в полеовом шпате, слюде, сильвине, в селитрах и т. д.

20. К а л ь ц и й — Ca (Calcium).

Впервые был получен Дэви в начале XIX в. Белый металл удельного веса 1,545; температура плавления  $843^{\circ}$ , температура кипения  $1439^{\circ}$ . Соли кальция окрашивают пламя в оранжевый цвет.

Встречается в природе в известняках, меле, доломитах, исландском шпате и многих силикатах.

21. Скандий — Sc (Scandium).

Открыт в 1879 г. Нильсоном. Еще в 1871 г. был предсказан Менделеевым Д. И., определившим заранее его атомный вес и валентность.

Встречается в редких минералах — эвксените, гадолините, ортите и монаците.

22. Титан — Ti (Titanium).

Изолирован как элемент Берцелиусом при разложении двойной фтористой соли металлическим калием.

Серебристобелый металл удельного веса 4,5; температура плавления 1800°, температура кипения 3800°.

Входит в небольших количествах в глины, пески, минералы — рутил, титанит, ильменит и др.

23. Ванадий — V (Vanadium).

Ванадий открыт еще в 1801 г. дель-Рио, но в металлическом виде выделен лишь в 1867 г. Роско. Металл серого цвета, удельный вес 6,0.

Встречается почти во всех горных породах, но в крайне малых количествах, а также в минералах — ванадините и др.

24. Хром — Cr (Chromium, от греческого «цвет», «краска»).

Хром был открыт в 1797 г. Вокеленом.

Металл стального серого цвета; удельный вес 6,7, температура плавления 1920°, температура кипения 2660°, обладает большой твердостью.

Встречается в природе в виде хромистого железняка и др.

25. Марганец — Mn (Manganum).

Изолирован Ганом в 1774 г. Металл светлосерого цвета, очень твердый, удельный вес 7,3, температура плавления 1250°.

Встречается в виде пиролюзита, браунита, гаусманита, манганита и др.

26. Железо — Fe (Ferrum).

Известно было еще древним египтянам.

Железо хорошо изучено Пру, Берцелиусом, Гей-Люссаком и другими, представляет металл серого цвета; удельный вес 7,86, температура плавления 1527°, температура кипения 2540°.

В природе встречается в виде различных окислов — красного железняка, или гематита, турьита, гетита, бурого и магнитного железняка и др.

27. Кобальт — Co (Cobaltum).

Кобальт открыт в 1742 г. Брандтом; серебристобелый металл, удельный вес 8,83, температура плавления 1490°, температура кипения 3100°.

В природе встречается в виде сернистых и мышьяковистых соединений — шмальтин, кобальтин, линнит и др.

28. Никель — Ni (Niccolum).

Никель был открыт в 1750 г. Кронштедтом.

Металл серебристобелого цвета; удельный вес 8,85, температура плавления 1452°, температура кипения 3075°.

Встречается в виде сернистых или мышьяковистых соединений — никелин, никелевый блеск, петландит и др.

29. Медь — Cu (Cuprum).

Известна была еще в древние времена.

Металл бледнорозового цвета. Удельный вес 8,93, температура плавления 1082°,6, температура кипения 2360°.

Встречается как в самородном виде, так и в виде минералов — малахита, азурита, медного колчедана или халькопирита и др.

30. Цинк — Zn (Zincum).

Цинк употребляли еще в древности в виде сплавов с медью, хотя как таковой стал известен значительно позднее. Цвет металлического цинка синеватосеребристый. Удельный вес колеблется от 6,9 до 7,2. При обыкновенной температуре хрупок, при 100—150° делается тягучим, а при 200° снова становится хрупким. Температура плавления 419°,4, температура кипения 907°.

Важнейшая цинковая руда — цинковая обманка; кроме того, цинкит, галмей и др.

31. Галлий — Ga (Gallium).

Галлий был открыт спектроскопически Лекок-де-Буабодраном в половине прошлого столетия и назван им в честь древнего названия Франции — Галлия.

Один из самых редких металлов; удельный вес 5,91; температура кипения 2300°.

Встречается в цинковых рудах.

32. Германий — Ge (Germanium).

Германий был открыт в 1886 г. Винклером К. Свойства его были предсказаны еще в 1870 г. Менделеевым Д. И. С одной стороны, германий — металл, похожий на олово; с другой стороны, по химическим свойствам приближается к металлоидам (кремнию). Удельный вес германия 5,35, температура плавления 958°.

33. Мышьяк — As (Arsenicum).

Мышьяк в чистом виде был получен алхимиками в XIII в., хотя мышьяковистые препараты были известны и в древности. Мышьяк имеет стальносеребристый цвет, металлический вид и кристаллическую форму. Удельный вес 5,72; при температуре 180° легко улетучивается; температура плавления 616°, температура кипения 818° (35,8 ат). Пары мышьяка и соли его ядовиты.

В природе встречается изредка в самородном состоянии, чаще же в различных минералах — аурипигмент, реальгар, арсенипирит и др.

34. Селен — Se (Selenium, от греческого «луна»).

Селен был открыт Берцелиусом в 1817 г. Селен имеет вид или некристаллического тела красного цвета или вид металла черного цвета. Удельный вес 4,27—4,8, температура плавления 220°, температура кипения 688°.

Встречается во многих колчеданах, пиритах.

35. Бром — Br (Bromum).

Бром был найден в 1826 г. Баларом в маточных растворах морских солей.

Бром — тяжелая жидкость темнокоричневого цвета, удельный вес 3,19, температура плавления минус 7°,3, температура кипения 58°,7.

Соли брома — бромистый натрий, бромистый магний и другие — находятся в морской воде.

36. Криптон — Kr (Krypton).

Открыт Рамзаем и Траверсом в 1898 г.

Химически инертный газ без цвета, запаха и вкуса. В 1000 объемах воздуха находится всего лишь 0,001 объема криптона. Вес нормального литра криптона 3,708 г, температура кипения минус 152°,9.

37. Рубидий — Rb (Rubidium, от греческого «темнокрасный» — от главных линий спектра его).

Открыт Бунзеном и Кирхгофом в 1860—1861 гг. с помощью спектрального анализа.

Рубидий — металл удельного веса 1,52; температура плавления 39°,0, температура кипения 696°.

Встречается в ничтожных количествах в некоторых минеральных водах и редких минералах.

38. Стронций — Sr (Strontium).

Стронций был открыт Дэви в начале прошлого столетия. Это белый мягкий металл удельного веса 2,55; температура плавления больше 757°, температура кипения 1366°. Соли стронция окрашивают пламя в красно-малиновый цвет.

Встречается в минералах — стронцианите, целестине и др.

39. Иттрий — Y (Yttrium).

Впервые был получен Велером Фр. в первой половине прошлого столетия.

40. Цирконий — Zr (Zirkonium).

Цирконий выделен в чистом виде Берцелиусом в 20-х годах прошлого столетия при разложении фтористого циркония металлическим калием.

Металл удельного веса 6,53, температура плавления 1857°, температура кипения 2500°.

Идет в изделия, заменяя платину.

Находится, главным образом, в минерале цирконе.

41. Ниобий (он же колумбий) — Nb.

Ниобий как элемент стал известен лишь после работ Бломстранда и Мариньяка (XIX в.).

Ниобий — серый высокоплавкий металл удельного веса 18,56, температура плавления 1950°.

Встречается всегда вместе с танталом (см. 73) в таких, например, минералах, как колумбит, танталит.

42. **Молибден** — Mo (Molybdaenium, от греческого «свинец»), так как молибден по виду очень похож на графит, который именовали «черным свинцом». Молибден был открыт Гильельмом в 1783 г. Металл, имеет вид стали. Удельный вес 10,2, температура плавления 2500°, температура кипения 3600°. Встречается в природе, главным образом, в вольфените и молибдените.
43. **Мазурий** — Ma (Masurium). Крайне редкий металл, изученный лишь с 1928 г.
44. **Рутений** — Ru (Ruthenium). Открыт в платиновых рудах Клаусом. Металл, по внешнему виду напоминающий железо. Удельный вес 12,26, температура плавления 2450°, температура кипения 4100°. Принадлежит к группе платиновых металлов. Встречается в природе в самородном состоянии.
45. **Родий** — Rh (Rhodium). Открытие родия принадлежит Волластону (начало XIX в.), хотя заслуга отделения его от других платиновых металлов принадлежит Бунзену. Назван вследствие красно-розового цвета растворов его солей. Металл с удельным весом 12,1, с температурой плавления 1970° и температурой кипения 4000°. Встречается в самородном состоянии.
46. **Палладий** — Pd (Palladium). Открыт в начале прошлого столетия Волластоном и назван в честь планетоида Паллады. Замечателен большой способностью поглощать водород (при 1000° 1 объем палладия поглощает 650 объемов водорода); удельный вес 11,5, температура плавления 1555°, температура кипения 3600°. Встречается в природе в самородном виде.
47. **Серебро** — Ag (Argentum). Серебро было известно еще египтянам. Белый металл, обладающий наибольшей тепло- и электропроводностью. Удельный вес 10,5, температура плавления 960°, температура кипения 2152°. Имеет широкое применение в фотографии. В природе встречается в самородном состоянии и в виде соединений — серебряного блеска, рогового серебра и пр.
48. **Кадмий** — Cd (Cadmium). Впервые кадмий был исследован в 1817 г. Штроейером. Металл по внешнему виду похож на олово. Удельный вес имеет 8,64, температура плавления 321°, температура кипения 776°. Кроме редкого минерала гренокита, встречается в виде карбонатов и сульфидов среди цинковых руд.
49. **Индий** — In (Indium). Индий открыт в 1863 г. Рейхом и Рихтером как составная часть фрейбергской цинковой обманки. Металл удельного веса 7,25, температура плавления 154°, температура кипения около 1500°. В природе встречается в цинковых обманках.
50. **Олово** — Sn (Stannum). Олово известно было в довольно чистом виде еще египтянам. Слово stannum во времена Плиния означало, по видимому, сплав олова со свинцом. Белый металл удельного веса 7,28; температура плавления 231°, температура кипения 2275°. В природе встречается в ничтожных количествах в самородном состоянии и в виде руды — оловянный камень, или касситерит.
51. **Сурьма** — Sb (Stibium). Соединения сурьмы были известны в древности. Металлическая сурьма была получена в XV в. Валентином. Сурьма — белый кристаллический металл удельного веса 6,69, с температурой плавления 630°. Сурьма хрупка и легко превращается в порошок. В свободном состоянии встречается в природе в малых количествах, главная же масса ее добывается из сурьмяного блеска, или антимонита.

52. **Теллур** — **Te** (Tellurium от латинского «земля».)  
 Открыт в 1782 г. Мюллер — Рейхенштейном, а теллу-  
 ром назван Клапротом в 1789 г.  
 Теллур — серебристобелый металл удельного веса 6,1—6,5, с темпе-  
 ратурой плавления 452°,5 и температурой кипения 1390°.
53. **Иод** — **J** (Jodum, от греческого «фиолетовый».)  
 Открыт Куртуа в 1811 г. в золе морских растений.  
 Иод — темносерое кристаллическое (ромбической системы) вещество,  
 металлоид, имеет запах, напоминающий хлор, при нагревании превра-  
 щается в темнофиолетовый пар. Удельный вес 4,94, температура плавления  
 113°,5 и температура кипения 184°,3.  
 Встречается в морской воде в виде солей, а также в виде  $\text{NaJO}_3$  как  
 примесь к чилийской селитре.
54. **Ксенон** — **Xe** (Xenon).  
 Газ без цвета, запаха и вкуса, открытый в 1898 г. Рамзем и Травер-  
 сом. Содержание ксенона в 1000 объемах воздуха 0,00008 объема, вес нор-  
 мального литра 5,851 г, температура кипения минус 106°,9. Газ не вступает  
 в какие-либо соединения с другими элементами.
55. **Цезий** — **Cs** (Caesium, что значит — «синеватый».)  
 Цезий открыт Бунзеном и Кирхгофом в 1860—1862 гг.  
 с помощью спектрального анализа. Назван от окраски главных линий  
 спектра. Удельный вес металла цезия 1,87, температура плавления 28°,5,  
 температура кипения 670°.  
 Встречается в ничтожных количествах в некоторых минеральных водах  
 и некоторых минералах.
56. **Барий** — **Ba** (Barium, от греческого «тяжелый».)  
 Первые изолирован Дэви в начале прошлого столетия.  
 Барий — металл с желтоватым оттенком, с удельным весом 3,78, тем-  
 пература плавления 850°, температура кипения 1840°. Соли бария окра-  
 шивают пламя в желто-зеленый цвет.  
 Встречается в природе в форме витерита, тяжелого шпата и других  
 минералов.
57. **Лантан** — **La** (Lanthanum).  
 Открыт в первой половине прошлого столетия Мозандером.  
 Лантан — металл из группы редких земель. Встречается в минерале  
 церите вместе с другими редкими землями — неодимия, празеодимия и  
 других, отделить от которых чрезвычайно трудно благодаря их близким  
 свойствам.
58. **Церий** — **Ce** (Cerium).  
 Выделен в виде окисла Клапротом и Берцелиусом из  
 минерала церита.  
 Церий — металл той же группы, что и лантан.  
 Встречается в минерале церите и др.
59. **Празеодим** — **Pr**.  
 60. **Неодим** — **Nd**.  
 61. **Иллиний** — **Il**.  
 62. **Самарий** — **Sm**.  
 63. **Европий** — **Eu**.  
 64. **Гадолиний** — **Gd**.  
 65. **Тербий** — **Tb**.  
 66. **Диспрозий** — **Dy**.  
 67. **Гольмий** — **Ho**.  
 68. **Эрбий** — **Er**.  
 69. **Тулий** — **Tu**.  
 70. **Иттербий** — **Yb**.  
 71. **Лутеций** (он же **кассиопий**) — **Lu**.  
 72. **Гафний** — **Hf**. См. «Циркон», стр. 162.  
 73. **Тантал** — **Ta**.

Выделен в свободном виде Бломстрандом и Маринья-  
 ком.

Тантал — высокоплавкий металл с удельным весом 16,6, с темпе-  
 ратурой плавления 3030° и температурой кипения около 5500°. Встречается  
 в минерале танталите.

74. **Вольфрам** — W (Wolframium).  
 Вольфрам был открыт Дельгуиаром в 1783 г.  
 Вольфрам — металл, обладающий самой высокой температурой плавления, лежащей около 3350°; удельный вес 19,1, температура кипения 4800°.  
 Встречается в виде руды — шеелит, вольфрамит.
75. **Рений** — Re (Rhenium).  
 Рений — крайне редкий металл. Изучен лишь в 1928 г.; удельный вес около 20, температура плавления около 3000°.
76. **Осмий** — Os (Osmium, от греческого «запах»)  
 Открыт Теннаном, Девиллем и Дебрэв XIX в.  
 Пары осмиевой кислоты, подобно хлору, действуют раздражающе на дыхательные пути.  
 Осмий — металл серого цвета с удельным весом 22,48, с температурой плавления 2500° и температурой кипения 4450°.  
 Встречается в природе в самородном состоянии.
77. **Иридий** — Ir (Iridium).  
 Открыт теми же исследователями, что и осмий.  
 Иридий — металл платиновой группы, удельный вес 22,4, температура плавления 2350°, температура кипения 4400°.  
 Встречается в природе в самородном состоянии.
78. **Платина** — Pt (Platinum, от уменьшительного испанского слова «plata» — «серебро»)  
 Выделена в свободном виде Уатсоном в 1750 г.  
 Платина — сероватобелый металл удельного веса 21,46, с температурой плавления 1771° и температурой кипения 3800°.
79. **Золото** — Au (Aurum).  
 Золото было еще известно в древние времена.  
 Металл желтого цвета, удельный вес 19,31, температура плавления 1063°,4, температура кипения 2677°.  
 Встречается в природе преимущественно в самородном виде.
80. **Ртуть** — Hg (Hydrargium).  
 Первые сведения о ртути находим у Теофраста (за 300 лет до нашей эры), который назвал ее «жидким серебром».  
 Ртуть — единственно жидкий металл при обыкновенной температуре, удельный вес 13,6, температура кипения 357°, температура плавления минус 38°,9. Пары ртути ядовиты, ядовиты и соли ртути.  
 Встречается в природе иногда в самородном виде, чаще же в виде руды — киновари.
81. **Таллий** — Tl (Thallium, от греческого «зеленая ветка»)  
 Таллий — металл, получил свое название от резкой зеленой линии в своем спектре. Удельный вес 11,85, температура плавления 301°, температура кипения 1457°.  
 Встречается в некоторых сульфидах.  
 Был открыт Круксом спектроскопически — в отложениях дымовых труб завода серной кислоты.
82. **Свинец** — Pb (Plumbum).  
 Свинец был известен с глубокой древности.  
 Металл серого цвета. Удельный вес 11,34, температура плавления 324°,4, температура кипения 1740°.  
 В природе встречается в различных минералах.
83. **Висмут** — Bi (Bismuthum).  
 Сведения о висмуте имеются в сочинениях Валентинуса (XV в.).  
 Висмут — серый металл с розовым отливом, с удельным весом 9,8, температурой плавления 271°, температурой кипения 1430°.  
 Встречается обыкновенно в самородном состоянии, а также в виде руд — висмутовой охры и висмутового блеска.
84. **Полоний** — Po.  
 85. **Алабамий** — Ab.  
 86. **Родон** — Rd первоначальная эманация — Em.  
 87. **Виргиний** — Vi.  
 88. **Радий** — Ra (Radium).  
 Радий — металл, открытый в 1910 г. Кюри и Дебиером.

Как простое тело, а также и его соединения, испускает непрерывный поток невидимых для глаза лучей. Последних три рода: альфа-, бета- и гамма-лучи.

Альфа-лучи есть поток положительно заряженных частичек, бета-лучи — катодные лучи, т. е. поток электронов, а гамма-лучи — лучи Рентгена. Это излучение связано с распадом радия, причем атом радия дает атом радона (газ) и атом гелия. В свою очередь радон распадается на атом твердого радиоактивного элемента и атом гелия.

89. А к т и н и й — Ac.

90. Т о р и й — Th.

Был открыт Берцелиусом в 1828 г.

Торий — металл удельного веса 11,5, с температурой плавления 1842° и с температурой кипения около 2500°.

Встречается в редких минералах — торите и монаците.

91. П р о т о а к т и н и й — Ra.

92. У р а н — U (Uranium).

Открыт как элемент Клапротом в 1789 г. и назван в честь планеты Уран.

Уран — редкий металл, с самым большим атомным весом. Удельный вес 19,2, температура плавления больше 1800°.

Встречается в урановой смоляной руде.

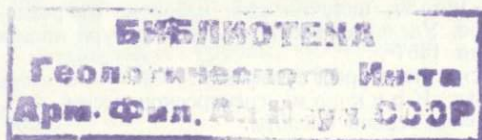
Данные физических свойств приведенных выше элементов взяты из следующей литературы:

1. Меншуткин Б. Н., Уч. курс общей неорганич. химии, 1931.

2. Эфраим Ф., Неорганическая химия, 1932—1933.

3. Ферсман А. Е., Геохимия, 1935—1936.

4. Спутник минералога и геохимика, изд. Акад. наук 1937.



# АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД.

Авантурин.	134	Гаусманит.	224	Криолит.	262	Родохрозит.	241
Авгит.	156	Гейландит.	168	Крокоит.	207	Рубелит.	166
Агат.	138	Гематит.	218	Куприт.	204	Рубин.	227
Адуляр.	149	Гетит.	220				
Азурит.	243	Гиалит.	142	Лабрадор.	149	Санидин.	149
Аквамарин.	159	Гиацинт.	163	Лейцит.	155	Сапфир.	227
Актинолит.	157	Гидрарги лит.	227	Лепидолит.	170	Селитра.	269
Алебастр.	246	Гидрборацит.	117	Лимонит.	219	Сера самородн.	190
Алмаз.	194	Гиперстен.	156	Липарит.	104	Серебро само- родное.	189
Алунит.	250	Гипс.	246			Серпентин.	172
Альбит.	149	Горный хру- сталь.	132	Магнезит.	239	Сидерит.	241
Альмандип.	160	Гороховый ка- мень.	238	Магнетит.	213	Сильвин.	266
Амазонский ка- мень.	149	Гранат.	160	Малахит.	243	Сильвинит.	266
Аметист.	133	Графит.	197	Манганит.	224	Сненит.	96
Амфибол.	157	Грейзен.	233	Марказит.	203	Сколецит.	168
Анальцим.	168	Гроссуляр.	160	Медь самородн.	188	Слода.	170
Андезин.	149			Мел.	119	Смитсонит.	241
Андезит.	103			Метеориты.	183	Содалит.	155
Ангидрит.	243	Диаспор.	227	Микроклин.	149	Спессартин.	160
Англезит.	207	Диорит.	95	Молибденит.	99	Стронцианит.	242
Анортит.	149	Диопсид.	156	Монацит.	251	Сфалерит.	208
Антимонит.	211	Доломит.	240	Мусковит.	170		
Антрацит.	270	Дунит.	162	Мрамор.	122	Тальк.	176
Апатит.	252	Еврейский ка- мень.	150	Наждак.	227	Топаз.	164
Арагонит.	242	Железная сло- дка.	218	Натролит.	168	Трахит.	104
Аргентит.	206	Железный блеск.	218	Нефелин.	153	Трепел.	143
Арзенопирит.	210	Железо само- родное.	181	Нефть.	270	Турьит.	220
Асбест.	173			Обсидиан.	104	Турмалин.	165
Асфальт.	270			Огненный опал.	142	Уваровит.	160
Аурипигмент.	210			Озокерит.	270	Филлипсит.	168
				Оливин.	151	Флюгопит.	170
Базальт.	102			Олигоклаз.	149	Флуорит.	260
Барит.	245	Змеевик.	172	Оловянный ка- мень (см. кас- ситерит).		Фосфорит.	254
Берилл.	158	Золото само- родное.	189	Опал.	140	Халькозин.	205
Бирюза.	251	Известняк.	119	Орлец.	157	Халькопирит.	203
Биотит.	170	Изумруд.	159	Ортоклаз.	149	Халцедон.	137
Битовнит.	149	Ильменит.	216			Хлорит.	171
Блеклая руда.	205	Исландский шпат.	237	Парагонит.	170	Хризотил.	172
Бобовая руда.	220	Кальцит.	236	Пемза.	104	Хромит.	217
Бологная руда.	220	Каменная соль (см. галит).		Песчаник.	110	Целестин.	244
Боразит.	117	Канкринит.	155	Пирит.	200	Цеолиты.	167
Борнит.	205	Каолинит.	177	Пироксен.	156	Церуссит.	242
Браунит.	224	Карналлит.	267	Пиролозит.	224	Циннабарит.	211
Брекчия.	68	Касситерит.	232	Пироморфит.	207	Циркон.	162
Бронзит.	156	Кварц.	130	Пироп.	160	Шабазит.	168
Бурый железняк (см. лимонит).		Киноварь.	211	Пирротин.	102	Шеелит.	165
Вад.	224	Ковеллин.	205	Платина само- родная.	186	Шерл.	166
Ванадинит.	207	Конгломерат.	68	Псиломелан.	224	Шпатель.	214
Вавианит.	251	Корунд.	227			Элеолит.	153
Витерит.	242	Кошачий глаз.	135	Ратовкит.	260	Электрум.	181
Волластонит.	156	Красн. железняк (см. гематит).	218	Реальгар.	210	Эпидот.	165
Вольфрамит.	99	Кремень.	139	Роговая обман- ка.	157	Эпсолит.	248
Вульфенит.	207			Роговик.	139	Янтарь.	271
Габбро.	96			Родонит.	157	Яшма.	139
Галенит.	206						
Галит.	262						

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<b>I. Основные сведения из кристаллографии . . . . .</b>	<b>5</b>
Распространенность и облик кристаллов в связи с их происхождением	—
Понятие о кристалле и кристаллической среде . . . . .	13
Аморфное состояние материи . . . . .	16
Элементы ограничения кристаллов . . . . .	20
Рост кристаллов. Общие сведения . . . . .	36
Рентгенометрия кристаллов . . . . .	39
Полиморфизм . . . . .	50
Энантиоморфные кристаллические многогранники . . . . .	51
Изоморфизм . . . . .	52
Физические свойства кристаллов . . . . .	55
<b>II. Общие понятия о минеральных телах . . . . .</b>	<b>59</b>
Минеральные тела, минералы и горные породы . . . . .	—
Морфология минералов . . . . .	62
Физические свойства минералов . . . . .	71
Методы химического исследования минералов . . . . .	79
Краткие сведения по определению минералов с помощью паяльной трубки . . . . .	—
<b>III. Элементы генетической минералогии . . . . .</b>	<b>88</b>
Строение земли . . . . .	88
Понятие о генезисе минеральных тел . . . . .	91
Земная кора . . . . .	—
Главнейшие типы генетических процессов . . . . .	93
Общие понятия о магме и процессы ее дифференциации . . . . .	94
Пневматолит и пегматитообразование . . . . .	98
Гидротермальное жильное образование . . . . .	101
Минеральные вещества вулканического происхождения . . . . .	102
Образование минеральных веществ в зоне катаморфизма . . . . .	108
Минералообразование в зоне метаморфизма . . . . .	122
<b>IV. Описание минералов . . . . .</b>	<b>124</b>
Минералы группы кремния . . . . .	128
Группа свободных, или самородных, элементов . . . . .	178
Сульфиды, или сернистые соединения . . . . .	199
Кислородные соединения железа . . . . .	213
Кислородные соединения марганца . . . . .	223
Кислородные соединения алюминия . . . . .	227
Карбонаты . . . . .	234
Сульфаты, или сернокислые соединения . . . . .	243
Фосфаты . . . . .	251
Фосфориты . . . . .	254
Галоидопроизводные соединения . . . . .	259
Органические природные соединения . . . . .	270
<b>Приложение . . . . .</b>	<b>273</b>

Item 5p. 50/c

644