

543
К 37
Д. И. Кецмец,



КРИСТАЛЛОГРАФИЯ
И
МИНЕРАЛОГИЯ

МЕТАЛЛУРГИЗДАТ — 1957

Д. И. КЕЦМЕЦ

549
К 37

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Д о п у щ е н о
Управлением учебными заведениями
Министерства черной металлургии СССР
в качестве учебного пособия для техникумов

22227



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Харьков 1957

АННОТАЦИЯ

В книге приведены основные сведения по кристаллографии и минералогии.

Предназначается в качестве учебного пособия для учащихся металлургических и химических специальностей техникумов черной металлургии. Раздел «Минералогия» может быть использован студентами негеологических специальностей технических вузов.

Автор

КЕЦМЕЦ Дмитрий Иванович

Ответственный редактор *С. Д. Ромасько*

Редактор издательства *Е. К. Сиянская*

Техн. редактор *С. П. Андреев*

Корректор *Ю. П. Рябко*

Сдано в производство 18/VI 1957 г.

Подписано к печати 10/XI 1957 г.

Бумага 60 X 92¹/₁₆ — 4,75 бум. л. = 9,5 печ. л.
Уч.-изд. л. 9,13 Заказ 1612 Тираж 8500
Т-10023 Цена 4 р. 70 к.

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, д. 30

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
<i>Раздел I</i>	
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ	
§ 1. Два типа веществ. Свойства кристаллических веществ	9
§ 2. Понятие о пространственной решетке	12
§ 3. Кристаллизация (возникновение, развитие, рост и разрушение кристаллов)	14
§ 4. Симметрия и элементы симметрии кристаллов	18
§ 5. Классификация кристаллов по элементам симметрии	21
§ 6. Формы кристаллов	27
§ 7. Понятие о параметрах и индексах	29
§ 8. Закон постоянства двугранных углов и полиморфизм	37
§ 9. Изоморфизм	40
§ 10. Внутреннее строение кристаллов	43
§ 11. Кристаллохимические связи в решетках	45
<i>Раздел II</i>	
МИНЕРАЛОГИЯ	
§ 12. Земная кора и происхождение (генезис) минералов	46
§ 13. Сочетание минералов в природе (парагенезис)	55
§ 14. Физические свойства минералов	57
§ 15. Классификация минералов	61
§ 16. Самородные элементы	62
§ 17. Сернистые соединения, или сульфиды	72
Пирит (73), халькопирит (74), халькозин (75), арсенопирит (76), молибденит (77), галенит (77), сфалерит (78), киноварь (80), антимонит (81), аурипигмент (82), реальгар (83)	
§ 18. Окислы	83
Магнетит (84), гематит (85), бурый железняк (86), гётит (86), лимонит (86), хромит (87), пиролюзит (89), боксит (90), корунд (91), касситерит (92)	
§ 19. Галоидные соединения	93
Каменная и самосадочная соль (94), сильвин (95), карналлит (95), флюорит (96), криолит (97)	
§ 20. Карбонаты	98
Кальцит (99), доломит (102), магнезит (102), сидерит (104), малахит (104)	

§ 21. Сульфаты	106
Барит (106), ангидрит (107), гипс (108), мирабилит (110)	
§ 22. Вольфраматы	111
Вольфрамит (111), шеелит (112)	
§ 23. Фосфаты	113
Апатит (113), фосфорит (114)	
§ 24. Силикаты	115
1. Силикаты с изолированными тетраэдрами	118
Оливин, хризолит, перидот (118), циркон (119), группа дистена (120)	
2. Силикаты с изолированными группами тетраэдров	122
Берилл (122)	
3. Силикаты с непрерывными цепочками тетраэдров (пироксены и амфиболы)	123
Волластонит (127)	
4. Силикаты с бесконечными двухмерными тетраэдрами	128
а) Слюды	128
б) Слюдоподобные минералы	131
Вермикулит (131), каолин (132), тальк (133), серпантин (135), хлориты (136), тюрингит (137), шамозит (137), глауконит (137)	
5. Силикаты с бесконечными трехмерными каркасами тетраэдров	138
Кварц (138), опал (141), полевые шпаты (142), подгруппа ортоклаза (144), подгруппа плагиоклаза (145), нефелин (145)	
Литература	147
Предметный указатель	148

ВВЕДЕНИЕ

Кристаллография и минералогия являются науками о веществах простого и сложного химического состава и о кристаллическом состоянии вещества, которое характеризуется упорядоченным расположением атомов, ионов или молекул в пространстве. Упорядоченное расположение частиц вещества проявляется в форме природных многогранников — кристаллов. Почти все вещества простого и сложного химического состава относятся к телам кристаллическим.

Кристаллография тесно связана с геологическими науками — минералогией, петрографией, учением о полезных ископаемых, а также с математикой, физикой, химией, металловедением и др.

Минералогия — это наука о минералах, т. е. естественных продуктах геологических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности. Эта наука возникла и развилась из практики горного промысла. Источником добычи металлов, как известно, является руда (по-латыни — минера), а отсюда и название этой науки — первоначально минераграфия, а затем минералогия.

В развитии кристаллографии и минералогии исключительную роль сыграли выдающиеся русские ученые М. В. Ломоносов, А. П. Карпинский, Е. С. Федоров, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, С. С. Смирнов, Н. В. Белов, А. Г. Бетехтин, В. Д. Кузнецов, И. И. Шафрановский, А. В. Шубников и многие другие, а также зарубежные ученые — В. М. Гольдшмидт, П. Грот и др.

Первые упоминания и попытки классификации неорганических природных тел находим у греческого ученого и философа Аристотеля (384—322 гг. до нашей эры) и его ученика Теофраста (371—286 гг. до нашей эры). Замечательные для своего времени описания минералов были даны аль Бируни (хорезмский ученый; жил с 972 по 1048 г.) и Ибн-сина-Авиценна (уроженец Бухары; жил с 980 по 1037 г.). В этот эмбриональный период развития минералогии классификации минералов были весьма примитивными, представления о химическом составе минералов не существовало.

Начиная с эпохи Возрождения, в условиях развития торгового капитала происходит значительное расширение горного промысла, наука постепенно освобождается от пут религиозной догмы и делает новые открытия, минералогия приобретает все большее зна-

чение самостоятельной отрасли знаний. Уже в XVI веке в зарубежной литературе появляется ряд важных работ по минералогии (например, Г. Агрикола, 1490—1555 гг., и др.).

Начало отечественной минералогии было положено Михаилом Васильевичем Ломоносовым, ученым необыкновенных и многогранных дарований. А. С. Пушкин писал о Ломоносове так: «Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенною силою понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстью сей души... Историк, ритор, механик, минералог, художник и стихотворец — он все испытал и все проник... Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом».

М. В. Ломоносов открыл основной закон, действительный для всего окружающего мира, — закон сохранения материи и движения, из которого следуют три весьма важных закона: сохранения вещества, сохранения энергии и взаимосвязи массы вещества и энергии. Ломоносову принадлежит много других открытий.

В 1749 г. Ломоносов первый в истории кристаллографии связал величину двугранного угла кристаллов селитры с их химическим составом и высказал мысль о закономерном расположении частиц селитры в пространстве. Это открытие, изложенное в его работе «Диссертация о рождении и природе селитры», известно как основной закон кристаллографии.

Приходится удивляться его многим научным предположениям в различных областях геологии. Например, причину образования гор он видел в поднятии и изгибании земных слоев, как он говорил — от «трясения земли». Образование вулканов связывал с появлением трещин в земной коре. Чередование слоев с остатками растений и животных объяснял смену различных геологических периодов в истории Земли. Не раз указывал на огромную роль воды в разрушении, переносе и образовании горизонтальных слоев, которые собираются в складки и образуют горы. Горы снова размываются и все повторяется вновь.

Последователь и продолжатель идей Ломоносова В. М. Севергин (1765—1826 гг.) способствовал дальнейшему развитию отечественной минералогии. Многие термины и понятия, введенные Севергиным, прочно вошли в минералогическую и химическую литературу. Севергин впервые, например, установил явление совместного нахождения (парагенезиса) минералов (по Севергину — смежность минералов).

Из русских минералогов второй половины XIX века следует упомянуть Н. И. Кокшарова (1818—1892 гг.) и П. В. Еремеева (1830—1899 гг.), которые составили классические таблицы характеристик кристаллов и проделали значительную работу по изучению и систематизации минералов.

В 1869 г. великий русский химик Д. И. Менделеев открыл периодический закон. Суть этого закона состоит в том, что химические (и физические) свойства химических элементов, расположенных по возрастанию атомного веса, периодически повторяются. Природную последовательность элементов Менделеев назвал периодической системой элементов. Значение этого закона огромно.

Ф. Энгельс в книге «Диалектика природы» писал: «Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил *научный подвиг*» (подчеркнуто автором). Это великое открытие произвело революцию не только в химии, но и в других науках и способствовало возникновению новой геологической науки — геохимии. Воспользовавшись этим законом, В. И. Вернадский (1863—1945 гг.) и А. Е. Ферсман (1883—1945 гг.) преобразовали минералогии из науки описательной в науку генетическую, естественно-историческую. Они рассматривали минералогии как химию земной коры, а минералы — как продукты химических реакций, протекающих в земной коре.

Крупнейший вклад в кристаллографию был сделан Евграфом Степановичем Федоровым (1853—1919 гг.), являющимся основоположником теоретической кристаллографии.

Е. С. Федоров разработал кристаллохимический анализ, позволяющий определить химический состав вещества по внешней форме его кристаллов, а также создал универсальный оптический метод исследования кристаллических зерен в тонких шлифах с помощью специально сконструированного им прибора, получившего название «федоровского столика».

Важные достижения в области теории равновесия растворов принадлежат выдающемуся русскому ученому Н. С. Курнакову (1860—1941 гг.).

Большая заслуга в изучении минеральных богатств нашей страны принадлежит А. К. Болдыреву (1883—1946 гг.), а в области исследования рудных месторождений — В. А. Обручеву (1863—1956 гг.), С. С. Смирнову (1895—1947 гг.) и другим советским ученым. В последние годы достигнуты значительные успехи в расшифровке кристаллических структур минералов.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

§ 1. ДВА ТИПА ВЕЩЕСТВ. СВОЙСТВА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Известно два типа веществ: кристаллические и некристаллические.

Кристаллические вещества характеризуются упорядоченным расположением атомов, ионов или молекул в пространстве, связанных между собой элементами симметрии.

Земная кора — верхняя оболочка земли — практически целиком состоит из кристаллических веществ. Они, как истинно твердые тела, образуются из расплава, пересыщенного раствора, пара или газа. В зависимости от условий кристаллизации (зарождения и развития) могут образоваться геометрически правильные тела и их зерна. Первые называют кристаллами (рис. 1), а вторые — кристаллитами. Кроме одиночных кристаллов, образуются ветвящиеся, древовидные сростки. Самый крупный древовидный кристалл (дендрит) железа длиной в 390 мм был найден в 1879 г. в усадочной раковине 100-тонного стального слитка Д. К. Черновым (рис. 2 и 3).

Природные и «искусственные» кристаллы — явление нередкое. Чаще всего они встречаются в виде кристаллитов; образуются при быстром росте большого количества одновременно зарождающихся кристаллов, которые взаимно искажают геометрическую форму друг друга. Например, все металлы и их сплавы обычно образуют кристаллиты, зерна которых имеют округлую или вытянутую форму с плавными или зазубренными краями. Кристаллиты обладают внутренней симметрией, а кристаллы — не только внутренней, но и внешней.

К некристаллическим веществам относят газы, жидкости и некоторые твердые в общежитийском понятии тела (природные и искусственные стекла, сургуч, сапожный вар и др.). Они представляют собой отвердевшие, переохлажденные жидкости с большой вязкостью. Правда, известны и такие кристаллические вещества, которые под действием горообразовательных сил или под влиянием собственного веса медленно текут подобно жидкости (например, каменная соль, а также лед ледников). Некристаллические вещества не обладают внутренним порядком расположения атомов, ионов или молекул и не способны в силу этого образовывать

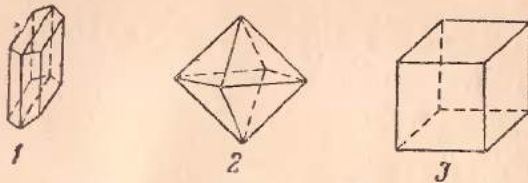


Рис. 1. Кристаллы:

1 — гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 2 — магнитита FeFe_2O_4 ;
3 — каменной соли NaCl

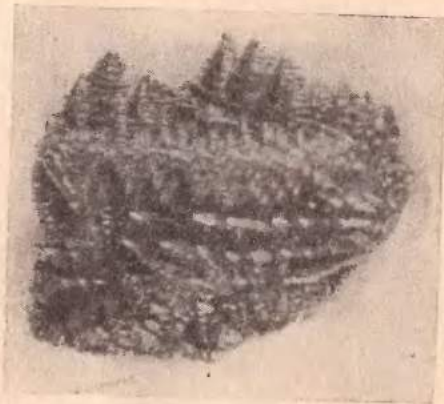


Рис. 2. Дендриты железа



Рис. 3. Кристаллиты ферросилиция

кристаллы. Поэтому некристаллические вещества называют еще иначе бесформенными — аморфными (рис. 4). Бесформенность является главным внешним отличительным признаком некристаллических веществ от веществ кристаллических. С течением времени некристаллические вещества переходят (скачкообразно) в кристаллические. Примером такого перехода может служить зарухание стекла, засахаривание меда, варенья и т. д.

Все кристаллические вещества обладают многими общими физическими свойствами. К основным физическим свойствам кри-

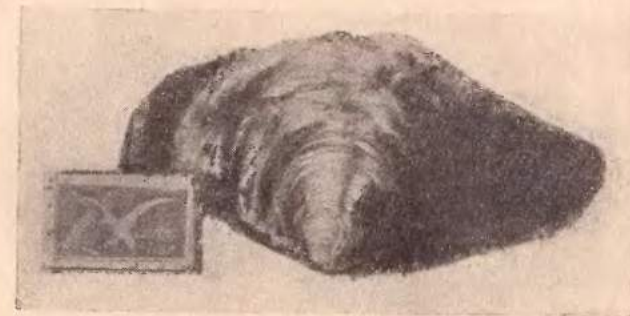


Рис. 4. Обсидиан — природное аморфное вещество

сталлических веществ относятся: самоограняемость, анизотропность, однородность и др. Они зависят от химического состава и типа кристаллической решетки вещества. Рассмотрим эти свойства.

1. Самоограняемость — это свойство кристаллических веществ приобретать или восстанавливать утраченную форму кристалла.

При переходе веществ из паро- и газообразного или жидкого состояния в твердое происходит самопроизвольное или вынужденное зарождение кристаллов с присущей данному химическому веществу геометрической формой. При кристаллизации пересыщенного водного раствора NaCl или $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ образуются кристаллы в форме куба или октаэдра. Если в эти растворы поместить обломки названных кристаллов, то они восстановят свою прежнюю форму. Эту способность кристаллов называют регенерацией.

2. Анизотропность — это способность вещества количественно изменять свойства от одного направления к другому. С количественной стороны анизотропность иногда называют векториальностью, если свойства выражены графически с помощью вектора. Например, кристалл дистена (рис. 5) сильно меняет свою твердость; по десятибалльной шкале твердости она равна 4, 5, 6 и 7.

У кристалла исландского шпата твердость меняется с изменением знака вектора: например, если царапать по грани ромбоэдра через короткую диагональ, вверх и вниз, то твердость заметно различается. Меняется не только твердость, но и другие физические свойства — теплопроводность, скорость света, что объясняется неодинаковыми расстояниями между узлами кристаллической решетки в различных направлениях.

3. Кристаллические вещества обладают также однородностью в том смысле, что строение решетки данного вещества одинаково во всех его частях.

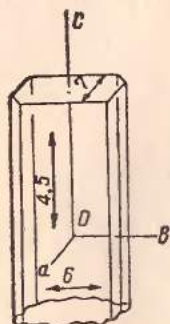


Рис. 5. Кристалл дистена

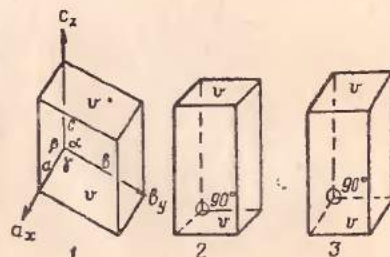


Рис. 6. Параллелепипеды

§ 2. ПОНЯТИЕ О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РЕШЕТКЕ

Основоположник теоретической кристаллографии Е. С. Федоров в 1897 г. писал (в курсе кристаллографии), что пространственная решетка есть не что иное, как совокупность точек, составляющих вершины системы выполняющих пространство равных и параллельно расположенных параллелепипедов. Как нам известно из геометрии, любой параллелепипед состоит из боковых граней и оснований. Боковые грани — это параллелограммы и ромбы, прямоугольники и квадраты, а грани оснований — многоугольники. Различают наклонные и прямые параллелепипеды. У наклонных все грани — параллелограммы или ромбы, а у прямых боковые грани — прямоугольники или квадраты. Если все грани прямоугольники, то такие параллелепипеды называют прямоугольными. Противоположные грани любого параллелепипеда равны и параллельны. Величина и форма параллелепипеда зависят от длины ребер a , b , c и углов α , β и γ (рис. 6).

Если заполнить какое-либо пространство одним из видов параллелепипедов, то они расположатся параллельно и будут соприкасаться друг с другом общими гранями, ребрами и вершинами.

На рис. 7 видно, что белые и черные кружочки, расположенные в вершинах самого симметричного параллелепипеда — куба, имитируют ионы натрия и хлора. Они образуют пространственную

кристаллическую решетку вещества NaCl. Известны решетки простые и сложные. Решетки сложных химических соединений представляют собой решетки разноименных ионов, вставленных как бы одна в другую.

Пространственная решетка состоит из узлов, рядов и плоских сеток. Вершины параллелепипедов называют узлами. Их положение соответствует положению атомов, ионов или молекул в кристаллическом веществе. Все одноименные точки пространственной

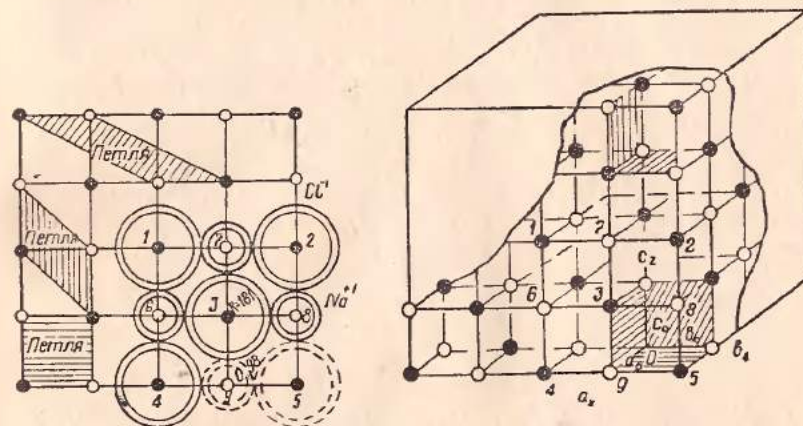


Рис. 7. Взаимное расположение элементов ограничения кристалла вещества NaCl и элементов кристаллической решетки того же вещества

решетки одинаковы, поэтому их часто называют соответственными. Совокупность узлов, лежащих на одной прямой с равными промежутками, образует ряд решетки. У NaCl отрезки по кристаллографическим осям a_x , b_y , c_z (см. рис. 6) одинаковы и соответственно равны $a = b = c = 5,628 \text{ \AA}$ ¹. Систему параллельных рядов называют плоской сеткой. Плоские сетки состоят из петель, которые слагают грани параллелепипеда. Любой параллелепипед пространственной решетки образует ячейку кристаллической решетки. Ячейку называют простой (примитивной, элементарной), если узлы расположены только в ее вершинах, и сложной, если узлы расположены, кроме вершин, также внутри или на поверхности ячейки (см. рис. 19, h , d , o , p).

В одной и той же пространственной кристаллической решетке ряды и плоские сетки можно выбрать несколькими способами. При

¹ Ангстрем $\text{\AA}$ — единица длины, равная 10^{-8} см ; служит для измерения расстояний между атомами, ионами или молекулами в кристаллических веществах.

любом способе выбора плоских сеток площадь петли будет одна и та же. На рис. 7 заштрихованы три петли. Площадь каждой из них равна 1 см^2 . Объем простой ячейки, выбранной несколькими способами в пространственной решетке, также остается постоянным, так как он отнесен к одному узлу ячейки.

Между элементами пространственной решетки и элементами ограничения кристалла существует тесная связь. Как видно из рис. 7, ребра кристалла каменной соли располагаются параллельно рядам кристаллической решетки с наименьшими промежутками между узлами ряда, а грани параллельны плоским сеткам с наибольшей ретикулярной¹ плотностью, т. е. с наибольшим количеством узлов, приходящихся на единицу площади.

Мы пользуемся рядами и плоскими сетками решетки как вспомогательными геометрическими элементами, которые облегчают познание закономерности в объеме ограниченного пространства.

Зачатки теории решетчатого строения мы находим в работе М. В. Ломоносова (1749 г.) «Диссертация о рождении и природе селитры». Математически обосновал эту теорию Е. С. Федоров. В 1912 г. эта теория впервые была подтверждена опытным путем с помощью рентгеновских лучей немецким физиком Лауэ.

§ 3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

(возникновение, развитие, рост и разрушение кристаллов)

Сущность кристаллизации в узком смысле этого слова заключается в возникновении, развитии и росте кристаллической решетки. Внешней «одеждой» этой решетки является кристалл — твердое тело правильной геометрической формы. Сам процесс кристаллизации состоит из возникновения зародыша, его развития в кристалл и роста кристалла.

Как известно, вещество может находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии. Жидкое состояние является промежуточным. В зависимости от температуры строение жидкости может приближаться к строению газов или твердых тел. У первых строй частиц — хаотический, у вторых — упорядоченный. По мере падения температуры и приближения ее к границе температуры отвердевания жидкости возникают группы с упорядоченным расположением частиц в пределах линии, плоскости и ячейки кристаллической решетки. Жизнь таких групп очень коротка. Под действием теплового движения строй нарушается и группы распадаются, но в другом месте возникают новые, и процесс продолжается. Такие группы называют сиботаксическими с ближним порядком расположения частиц. При дальнейшем падении температуры число распавшихся групп будет уменьшаться, превращаясь из одно-

¹ От латинского слова ретикула — сетка.

двухмерных групп в трехмерные. В этом развитии наступает такой момент, когда присоединение к сиботаксической группе одной или нескольких частиц приводит к качественному скачку и распад групп прекращается. Так появляется кристаллический зародыш с дальним порядком расположения. Его размеры не превышают

100 Å. При дальнейшем развитии зародыш вырастает до ощутимых размеров (когда может быть обнаружен прибором), превращаясь в физическую точку — «примитивный кристаллик». При равномерном росте «примитивного кристаллика» образуется совершенный (идеальный) кристалл, у которого одинаковые по очертаниям, величине и физическим свойствам грани представляют собой простую форму (см. рис. 27 и дальше).

Растут кристаллы в направлении пирамид роста. Каждая грань кристалла является одновременно основанием пирамиды с вершиной в первоначальной точке роста. Рост кристалла сопровождается построением кристаллической решетки за счет частиц вещества с ограниченным движением.

При уменьшении кинетической энергии частиц происходит выделение тепла, благодаря чему температура жидкости остается постоянной до конца кристаллизации.

При неравномерном притоке питающего кристалл вещества происходит искажение внешней формы: одни грани развиваются, а другие уменьшаются до полного исчезновения. Выживают те грани, которые расположены параллельно плоским сеткам кристаллической решетки с наибольшей ретикулярной плоскостью. Этим объясняется постоянство углов между гранями одной простой формы (см. закон о двугранных углах).

На внешнюю форму кристалла оказывают влияние: степень пересыщения и переохлаждения жидкости, степень и резкость колебания температуры, концентрационные потоки (иногда их называют конвекционными), вязкость¹ и примеси. Например, калий-алюминиевые квасцы образуют кристаллы в форме восьмигранника (октаэдра), а в присутствии мочевины превращаются в кубы. Кубы поваренной соли в присутствии буры превращаются в восьмигранники. Известны и такие примеси, которые в очень малых количествах измельчают или укрупняют и изменяют форму зерен кристаллитов. Эти примеси называют модификаторами. Известно, что металлы с однородным тонким и мелкозернистым строением обладают большой прочностью и вязкостью. Такое строение приобретает сталь, содержащая 0,10—0,15% модификатора — ванадия. Графит, как противонакипное средство, противодействует образованию плотной корки накипи на стенках паровых котлов и осаждает соли из воды в виде тонкого и рыхлого порошка².

¹ Когда рост кристалла зависит от диффузии.

² В виде суспензии, т. е. мути из твердых частиц.

Газы и пары, как и жидкости, могут переходить в кристаллическое состояние. Непосредственный переход кристаллического вещества в газ или пар и обратно, минуя жидкое состояние, называют возгонкой или сублимацией. Процесс возгонки широко применяется в промышленности для очистки йода, цинка, мышьяка, нашатыря, нафталина и многих других веществ.

Кристаллические (твердые) вещества при механической обработке и нагревании способны переходить в новое кристаллическое состояние ниже температуры плавления. Этот переход называется рекристаллизацией. При рекристаллизации происходит увеличение или уменьшение величины зерен и изменение их формы. Металлурги используют метод рекристаллизации для получения металлов и их сплавов с заданными физическими свойствами (например, в порошковой металлургии). Если металлическое изделие — ось или рессора вагона, автомашины — длительное время подвергается односторонней и переменной нагрузке, то металл рекристаллизуется вопреки нашему желанию. В результате образуется неоднородная зернистость, которая приводит к «усталости» (потере прочности) металла.

Как видим, рекристаллизация может иметь и отрицательные последствия. В природе процесс рекристаллизации происходит при метаморфизме известковых, глинистых и песчаных горных пород. Первые из них превращаются в мрамор, вторые — в филлиты, кристаллические сланцы и гнейсы, а последние — в кварциты.

Процесс кристаллизации жидкости (расплава или раствора) наблюдается в природе в крупных размерах при образовании магматических и химически-осадочных горных пород — гранитов, самосадочной соли, солей калия, мирабилита и т. п. В химической, металлургической и других отраслях промышленности широко используют метод кристаллизации вещества из раствора или расплава.

При растворении и повторной кристаллизации (точнее пере-кристаллизации) водных растворов получают химически чистые препараты, а также выращивают отдельные крупные чистые и прозрачные кристаллы сегнетовой соли $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (для радиотехники и телефонии), поваренной соли для использования тепловых (инфракрасных) лучей. Из раствора фтористого кальция в расплаве NaCl выращивают кристаллы плавикового шпата (флюорита), а кристаллы свинцового блеска (галенита) выращивают из раствора сернистого свинца в расплаве металлического свинца. Кроме того, кристаллы получают непосредственно из расплава при выплавке чугуна, стали, меди и т. д.

Кристаллы возникают и развиваются только в пересыщенных растворах и переохлажденных расплавах. Пересыщение достигается охлаждением раствора или испарением растворителя. В обоих случаях количество растворенного вещества в растворе будет уве-

личиваться. На рис. 8 видим две линии: правый конец одной резко приподнят — это кривая растворимости калийной селитры, вторая имеет вид едва заметно приподнятой справа прямой. Это прямая (говорят «кривая») растворимости поваренной соли. Из графика видно, что растворимость калийной селитры зависит от температуры, тогда как у каменной соли такая зависимость почти отсутствует.

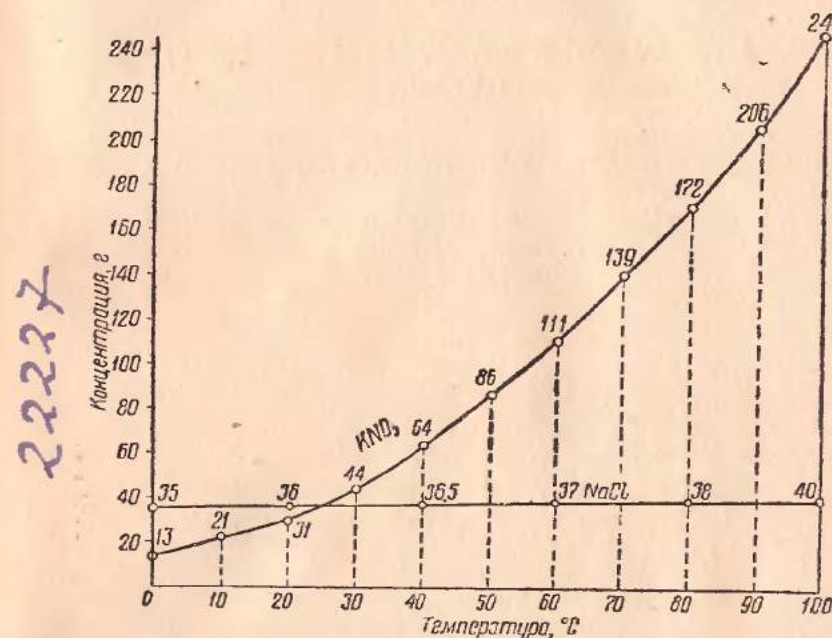


Рис. 8. Кривые растворимости калийной селитры и каменной соли

В зависимости от степени пересыщения раствора кристаллизация может быть самопроизвольной (спонтанной) или вынужденной. Вынужденная кристаллизация наблюдается при слабом пересыщении в присутствии затравки. В качестве затравки берут обломок кристалла растворенного вещества, вещества, изоморфного с ним, или любое кристаллическое и даже аморфное вещество. Наилучшей затравкой является кристалл растворенного вещества.

Обломок или шар кристалла каменной соли, помещенный в пересыщенный раствор этой соли, с течением времени восстанавливает утраченную форму куба, т. е. регенерирует. Явление регенерации наглядно показывает развитие граней параллельно граням куба. Эти же направления соответствуют положению плоских сеток с наибольшей ретикулярной плотностью.

Плавление и растворение являются процессом, диаметрально противоположным кристаллизации; сущность его заключается в аморфизации внутреннего и внешнего порядка кристаллического вещества. При этом процессе происходит поглощение тепла, которое расходуется на отрыв частиц от кристаллической решетки. Температура твердого вещества остается постоянной до тех пор, пока не будет разрушена последняя ячейка решетки.

§ 4. СИММЕТРИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ

Симметрией называется правильное расположение точек, прямых, плоскостей или тел в пространстве относительно точки, прямой или плоскости.

Среди неживой природы самыми симметричными телами являются кристаллы, которые, по меткому выражению Е. С. Федорова, «блещут своей симметрией».

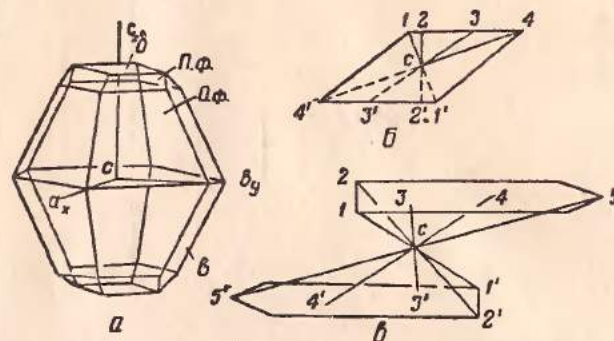


Рис. 9. Кристалл серы:

a — кристалл; *б* — грань пинакоида; *в* — грань призмы;
a_x, *b_y*, *c_z* — кристаллографические оси; *с* — центр инверсии (симметрии)

На рис. 9 показан кристалл серы. Его элементы ограничения — вершины, ребра и грани — расположены симметрично относительно некоторой центральной точки, прямых a_xc , b_yc , c_zc и трех плоскостей: горизонтальной, в которой лежат две прямые a_xc — b_yc , и двух вертикальных плоскостей, в которых лежат прямые a_xc — c_zc и b_yc — c_zc .

Точка, прямые и плоскости составляют элементы симметрии кристалла серы. Точку называют центром симметрии, прямые — осями симметрии, а плоскости — плоскостями симметрии, или просто зеркальными плоскостями.

Рассмотрим эти элементы симметрии более подробно.

Центром симметрии называют точку внутри кристалла, в которой пересекаются и делятся пополам прямые, соединяющие одинаково расположенные точки на поверхности кристалла. Этот элемент симметрии обозначают буквой *c* (первая буква слова *centrum* — острие, средоточие).

У куба такими наглядными точками на поверхности кристалла являются вершины, центры граней и середины ребер. Если каждому типу грани соответствует равная и параллельно расположенная грань, то центр симметрии присутствует (см. рис. 9).

Осью симметрии называют прямую, проходящую через кристалл, при вращении вокруг которой на 360° происходит совмещение его элементов ограничения (граней, ребер, вершин и любых других точек) через каждые 180 , 120 , 90 или 60° (соответственно 2, 3, 4 или 6 раз).

Углы в 180 , 120 , 90 и 60° — это элементарные углы поворота от нулевого положения кристалла до первого совмещения с самим собой; числа 2, 3, 4 и 6 показывают порядок, наименование оси симметрии. Оси симметрии обозначают буквами *L*, λ , *g* или цифрами. Мы приняли обозначение оси буквой *L*, а порядок оси записываем в виде показателя степени: L^2 , L^3 , L^4 , L^6 . Все это вместе читается так: ось симметрии (*L*) второго, третьего, четвертого и шестого порядка. Если осей симметрии одного и того же порядка больше одной — 2, 3, 4, 6, то эти числа записывают перед знаком оси в виде коэффициента. Ось симметрии L^2 есть ось симметрии низшего наименования или порядка, а L^3 , L^4 и L^6 — оси симметрии высшего наименования или порядка.

Оси симметрии первого порядка во внимание не принимают, а оси L^5 или порядка выше L^6 не существуют и невозможны, так как внешняя форма кристалла находится в тесной и неразрывной связи с его кристаллической решеткой.

Предположим, что ось L^5 возможна. Тогда необходимо допустить существование плоской сетки кристаллической решетки с петлями двух геометрических видов: правильного пятиугольника и ромба. Одновременно присутствие двух видов петель противоречит геометрическому принципу построения пространственной решетки (см. § 2), так как петли должны выполнять плоскость без избытка и без недостатка.

На рис. 10 изображен ромбический шестигранник (ромбоэдр) в сочетании с пинакоидом. Перпендикулярно к граням пинакоида, через их центры, проходит ось симметрии L^3 , а через середины параллельных ребер — $3L^2$. Оси симметрии могут проходить через центры граней, середины ребер, центр грани и середину ребра, центр грани и вершину, а также вершины многогранных углов.

Оси симметрии бывают простые и сложные. До сих пор мы рассматривали простые оси. Сложные оси симметрии образуются при одновременном вращении и отражении кристалла в зеркале.

При этом порядок оси увеличивается в два раза. Встречаются эти оси в кристаллах тригональной, тетрагональной и кубической системы и могут быть 4-го и 6-го порядка. Изображая эти оси в виде L_4^2 и L_6^3 *, мы как бы подчеркиваем, что в данном кристалле с одним и тем же направлением совпадают две оси: простая L^2 и сложная L_4 , простая L^3 и сложная L_6 .

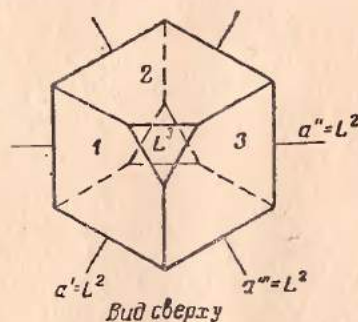


Рис. 10. Ромбический шестигранник (ромбоэдр):

1, 2, 3 — верхние грани ромбоэдра; грани в виде треугольника — грани пинаконда; a' , a'' , a''' — горизонтальные кристаллографические оси и совпадающие с ними три оси симметрии второго порядка

На рис. 11 изображен тетраэдр тетрагональной системы с осью L_4^2 . При повороте кристалла на 180° вокруг прямой $L^2 - L_4$ грани 1 и 3, 2 и 4 поменяются местами и совпадут. Значит, наша прямая есть простая ось симметрии второго порядка — L^2 . Теперь разрежем кристалл зеркалом 1—2—3—4, как показано на рисунке, на две равные части и будем вращать кристалл на 360° , делая остановки через 90° . Тогда грань 1 совпадет: с гранью 2 — после вращения на 90° и отражения в зеркале, с гранью 3 — после вращения на 180° , с гранью 4 — после вращения на 270° и отражения в зеркале, наконец, после четвертого поворота на 360° совпадет сама с собой. Это значит, что наша прямая есть сложная, или так называемая зеркально-поворотная ось симметрии.

Зеркально-поворотные оси легко определяют следующим образом. Если взяться двумя пальцами одной руки за верхнюю пару граней (1, 3), а пальцами другой — за нижнюю пару граней

* Ряд авторов называет эти оси инверсионными на том основании, что они могут быть получены при вращении и одновременном отражении в центре инверсии; обозначают их так: q_{i4} и q_{i6} .

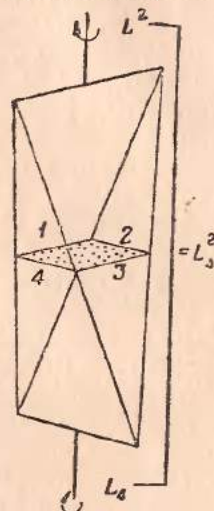


Рис. 11. Зеркально-поворотная (инверсионная) ось симметрии

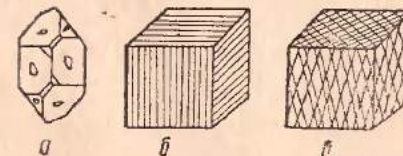
(2, 4), то пальцы расположатся взаимно симметрично и при их сближении будут двигаться в направлении биссектрис угла между пальцами обеих рук.

Точно в таком же взаимном положении окажутся три пальца одной руки и три пальца другой в случае ромбоэдра.

В случае присутствия в кристалле (сложной формы) граней трапецеэдра пальцы одной руки расположатся не по биссектрисам между пальцами другой руки и при их сближении будут прижаты к одной стороне пальцев.

Рис. 12. Симметрия реальных кристаллов:

a — кварц с фигурами травления; b — пирит; $в$ — свинцовый блеск со штрихами



Плоскостью симметрии называют плоскость, которая делит кристалл на две равные зеркально расположенные части. Обозначают ее или латинской буквой P , или греческой π . Нами принято обозначение через P .

В кристалле может присутствовать от 1 до 7 и 9 плоскостей симметрии, как, например, у куба. У кристалла серы (см. рис. 9) присутствует 3 плоскости симметрии, проекции которых — прямые линии — совпадают с направлением $3L^2$.

Плоскости симметрии могут проходить в кристалле через центры граней и середины ребер, вдоль ребер, через вершины и вдоль биссектрис граней, т. е. через оси симметрии или ось симметрии и биссектрисы угла между осями.

Действительная симметрия (т. е. симметрия кристаллической решетки) некоторых природных и «искусственных» кристаллов бывает ниже симметрии их геометрической формы. Поэтому при определении симметрии реальных кристаллов необходимо обращать внимание на симметрию химических и физических свойств, в частности, на фигуры травления и штрихи на гранях кристалла. При травлении граней альфа-кварца находим L^3 вместо L^6 благодаря появлению на гранях фигур травления с одинаковой ориентировкой через одну грань. У пирита со штрихами на параллельных гранях куба находим $3L^2 4L^3 3P$ вместо $3L^4 4L^3 6L^2 9P$ для обычного куба (рис. 12, б). В обоих случаях наблюдается снижение симметрии кристаллов. Снижение симметрии наблюдается и у кристалла свинцового блеска (рис. 12, в).

§ 5. КЛАССИФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛОВ ПО ЭЛЕМЕНТАМ СИММЕТРИИ

Кристаллы подразделяются по элементам симметрии на виды или классы, системы или сингонии, категории и типы (табл. 1).

Характеристика сингоний

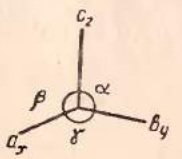
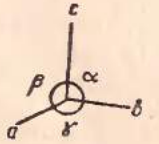
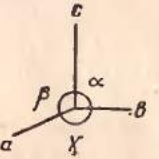
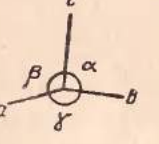
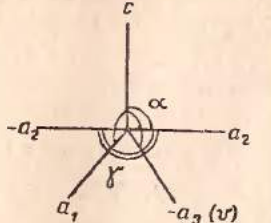
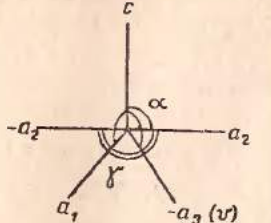
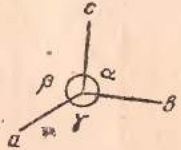
Категории и число осей симметрии высшего порядка	Сингонии и типы кристаллографических осей	Системы и общие элементы симметрии
Низшая — осей высшего порядка нет	$a \neq b \neq c^*$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ 	Триклинная (кососоугольная) Осей симметрии нет
	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ 	Моноклинная (однонаклонная) L_2 или $P=1$
	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 	Ромбическая $L^2=1$ или $3P=2$
Средняя — одна ось высшего порядка	$a=b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 	Тетрагональная (квадратная) $L^4=1$
	$a_1=a_2=a_3 \neq c$ $\alpha = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ 	Тригональная (треугольная) $L_3=1$
		Гексогональная (шестиугольная) $L^6=1$

Таблица 1

и видов симметрии

Виды симметрии						
прямой	центральный	плана-льный	аксиаль-ный	плана-кс-ал. ный	инвер-сион-ный	инверсионно-плана-льный
1	2					
L'	c					
		3	4	5		
		P	L^3	L^2Pc		
		6	7	8		
		L^22P	$3L^2$	$3L^23Pc$		
9	10	11	12	13	14	15
L^4	L^4Pc	L^44P	L^44L^2	L^44L^25Pc	L_4^2	$L_4^22L^22P$
16	17	18	19	20	21	22
L^3	L^3c	L^33P	L^33L^2	$L_6^33L^23Pc$	$L^3P=L_6^3$	$L^33L^24P=$ $=L_6^33L^23P$
23	24	25	26	27		
L^6	L^6Pc	L^66P	L^66L^2	L^66L^27Pc		

Категории и число осей симметрии высшего порядка	Сингонии и типы кристаллографических осей	Системы и общие элементы симметрии
Высшая — осей высшего порядка больше единицы	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 	Кубическая $4L^3$

* a, b, c или a_1, a_2, a_3 — осевые единицы.
 ** α, β, γ — осевые углы.

Каждый природный или «искусственный» кристалл совершенной (идеальной) формы характеризуется определенным сочетанием элементов симметрии, которые проходят через одну точку, образуя так называемую точечную группу, или вид элементов симметрии. Таким образом, видом симметрии называют полную совокупность элементов симметрии кристалла как конечной фигуры.

Математический вывод 32 возможных видов симметрии был дан Гесселем в 1830 г., но ввиду сложности был вскоре забыт. В 1867 г., независимо от Гесселя, русский ученый А. В. Гадолин дал оригинальный и к тому же наиболее простой вывод (формулы 32 видов симметрии приведены в табл. 1). Природные кристаллы 14, 18 и 22 вида были найдены только в 40-х годах XX столетия. Полный математический вывод разновидностей видов симметрии для пространственных кристаллических решеток как бесконечных фигур дал в 1891 г. Е. С. Федоров, который определил 229 разновидностей. В 1894 г. немецкий ученый А. Шенфлис, независимо от Федорова, установил 227 разновидностей. А. Шенфлис указал на один пропуск в выводе Федорова, а Федоров указал на три пропуска в выводе Шенфлиса и таким образом всего разновидностей оказалось 230. Среди кристаллических веществ представители многих разновидностей (пространственных групп) симметрии пока не найдены.

Иногда вид симметрии отождествляют с классом, тогда как класс представляет собой группу кристаллов, которая обладает элементами симметрии вида. Например, куб, восьми- и двенадцатигранник обладают $3L^4 4L^3 6L^2 9P_c$, т. е. элементами симметрии 32-го вида (см. табл. 1). Виды и классы имеют самые различные названия, которые в учебниках по кристаллографии и минералогии даются обычно по присутствию характерных простых форм (общих или исходных) или другим характерным признакам. В на-

Продолжение табл. 1

Виды симметрии						
примитивный	центральный	планиальный	аксиальный	панаксиальный	инверсионно-примитивный	инверсионно-планиальный
28	29	30	31	32		
$3L^2 4L^3$	$3L^2 4L^3 3P_c$	$3L^2 4L^3 3P$	$3L^4 4L^6 6L^3$	$3L^4 4L^6 6L^3 9P_c$		

шем учебном пособии ограничимся порядковыми номерами и формулами видов симметрии.

Тридцать два вида и класса симметрии объединяют в сингонии и системы.

Сингонией называют группу видов, которая характеризуется определенным типом координатных, или так называемых кристаллографических осей. Таких типов осей шесть и сингоний столько же: триклинная, моноклинная, ромбическая, тетрагональная, гексагональная и кубическая. За кристаллографические оси в кристалле принимают направления параллельно осям симметрии, перпендикуляр к плоскостям симметрии или ребрам.

Оси состоят из трех или четырех пересекающихся векторов, расположенных под теми или иными углами (см. табл. 1). Кристаллографическую ось, взятую на координатной оси x , обозначают через a , на оси y — через b , на оси z — через c , а дополнительную ось v , введенную французским ученым Браве, — через a_3 . Оси a и b обозначают соответственно через a_1 и a_2 . Ось a обращена от начала координат к наблюдателю, b — направо от наблюдателя, c — вертикально вверх. Все эти направления считаются положительными. В случае гексагональной сингонии оси a_1 и a_3 обращены к левому и правому плечу наблюдателя, а знаки чередуются через один: $+a_1, -a_3, +a_2$ и т. д. Ось a может располагаться в пространстве горизонтально и наклонно. Так же может располагаться и ось b *. Возможен и такой случай, когда обе оси наклонены к горизонту.

Некоторые авторы обозначают кристаллографические оси римскими цифрами I, II, III и I, II, III, IV в случае шестиугольной

* Когда кристаллографическая ось b наклонена к горизонту, то ось a тоже наклонена.

(гексагональной) сингонии; осевые углы, лежащие против конца осей a , b , c , обозначают через α , β , γ . Осевые углы и осевые единицы a , b , c и a_1 , a_2 , a_3 , c называют кристаллографическими константами. Заметим, что в математике неизвестно сочетание прямоугольной и косоугольной системы координат или системы, состоящей из четырех прямых, пересекающихся в одной точке — в начале координат. Эти особенности, как и многие другие, связаны с решетчатым строением кристаллов и их симметрией.

Иногда сингонию отождествляют с системой, что неправильно, так как кристаллы по внешней форме объединяют в системы, а по внутреннему строению — в сингонию. Система — это группа классов кристаллов, которые обладают одним или несколькими общими элементами симметрии. Систем семь. Кристаллы всех систем принадлежат к сингониям того же названия, кроме тригональной системы. Кристаллы этой системы по типу кристаллографических осей принадлежат к гексагональной сингонии. Триклинная система осей и плоскостей симметрии не имеет (см. табл. 1).

Названия сингоний и систем, видов и классов даны по углам между ребрами параллелепипеда пространственной решетки, по форме многоугольника поперечного сечения многих простых форм или по названию простой формы, втекающей во всех видах и классах.

По числу осей симметрии высшего порядка кристаллы объединяют в три категории: низшую, если оси симметрии высшего порядка отсутствуют; среднюю, если этих осей только одна, и высшую, если их больше, чем одна (см. табл. 1).

По внешней форме и внутреннему строению все кристаллы относят к кубическому или гексагональному типу, если элементы

Таблица 2

Кубический и гексагональный типы кристаллов

Система	Номер вида и тип кристаллитов	
	кубический $3L^4, 4L^3, 6L^2, 9Pc$	гексагональный $L^6, L^2, 7Pc$
1. Триклинная	1, 2	
2. Моноклиная	3, 4, 5	
3. Ромбическая	6, 7, 8	
4. Тетрагональная	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	
5. Тригональная	16, 17, 18, 19, 20	
6. Гексагональная		21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
7. Кубическая, или правильная	28, 29, 30, 31, 32	

симметрии кристаллов какого-либо вида или класса являются частью элементов симметрии 32-го вида кубической системы или 27-го вида гексагональной системы.

В табл. 2 приведены номера видов симметрии по типам и сингониям кристаллов. Из таблицы видно, что только кубическому типу подчинено 12 видов симметрии, гексагональному — 7, а обоим типам одновременно — 13 видов (с 1 по 8 и с 16 по 20).

§ 6. ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ

Природные и «искусственные» кристаллические вещества простого или сложного химического состава при переходе в твердое, т. е. кристаллическое состояние при свободном росте образуют кристаллы правильной геометрической формы.

Геометрической или кристаллографической формой называют совокупность граней кристалла, которые связаны между собой элементами симметрии определенного вида. Очень часто разные по внешней огранке кристаллы обладают элементами симметрии одного из 32 видов и принадлежат, таким образом, к одному классу кристаллов. Например, куб, октаэдр и ромбододекаэдр обладают элементами симметрии 32-го вида.

До второй половины XIX века кристаллография изучала главным образом внешнюю форму кристаллов. Знание форм кристаллов и в настоящее время имеет большое практическое значение прежде всего в минералогии, затем в петрографии, в учении о полезных ископаемых, химии и других науках. Для многих природных и «искусственных» минералов внешняя форма является одним из характерных и отличительных признаков. Известно, что NaCl , CaF_2 и FeS_2 образуют правильные кубы, квасцы $\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и магнетит FeFe_2O_4 — октаэдры и т. д. (см. рис. 1).

В кристаллографии различают простые и сложные формы кристаллов.

Простой называют такую форму, у которой при равномерном росте кристалла все грани одинаковы по очертанию и величине, т. е. могут быть совмещены при наложении. При неравномерном росте кристалла очертания и величина граней меняются, но взаимный наклон соответствующих граней сохраняется.

Любую простую форму можно вывести геометрически из заданного положения грани и элементов симметрии данного класса. Предположим, нам даны: $3L^4 3L^3 6L^2 9Pc$ и грань, пересекающая все три координатные оси, или, что то же самое, $3L^4$. Чтобы получить простую форму, достаточно произвести симметрические преобразования заданной грани с помощью $3L^4$. При вращении грани вокруг вертикальной оси $z = L^4$ получим нечто вроде пирамиды. При вращении вокруг одной из горизонтальных осей $x = L^4$ или $y = L^4$ полученная пирамида займет обратное положение. Грани

обеих «пирамид» образуют простую форму — октаэдр (см. рис. 1). Если используем и остальные элементы симметрии, то новых граней не получим.

Кроме геометрических свойств, грани простых форм обладают одинаковыми химическими и физическими свойствами.

Всего известно 47 простых форм.

По положению граней простой формы относительно осей и плоскостей симметрии различают общие и частные простые формы, а по возможности и невозможности нахождения простой формы в виде отдельных природных кристаллов эти формы подразделяют на закрытые и открытые.

Если заданная грань или любая грань простой формы расположена косо к осям и плоскостям симметрии, то такую форму называют общей. Каждый вид характеризуется присутствием только одной общей формы. Поэтому виды симметрии принято называть по наименованию общей формы. Так, например, 5-й вид симметрии P (см. табл. 1) называют призматическим; 6-й — L^2 пирамидальным, 17-й — L_6^3c ромбоэдрическим и т. д.

В двух видах симметрии косоугольной (триклинной) системы присутствуют только общие формы, так как в них нет L и P . Поэтому число общих форм в этой системе равно числу присутствующих простых форм. Первый вид этой системы называют моноэдрическим, а второй — пинакоидальным.

Частной называют форму, у которой любые грани расположены параллельно, перпендикулярно к L или P или образуют равные углы с L или P . Частные формы могут присутствовать в нескольких видах симметрии, но в одном из 32 видов обязательно будут играть роль общей формы. Этот вид будет содержать наименьшее число элементов симметрии.

Закрытой называют такую форму, которая встречается в природе в виде самостоятельных кристаллов. Примером могут служить кубы каменной и самосадочной соли $NaCl$, сильвина KCl и плавленого шпата CaF_2 , восьмигранники (октаэдры) магнитного железняка $FeFe_2O_4$ и квасцов $KAl[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ и т. д.

Открытые простые формы не могут существовать в виде природных кристаллов, так как они состоят из такого числа граней, которое недостаточно для ограничения кристаллического вещества со всех сторон. К открытым формам относят геометрические фигуры — призму и пирамиду, только без оснований. Так как все кристаллы представляют собой тела конечные, то встречающиеся в них открытые простые формы сочетаются с другими открытыми или закрытыми простыми формами.

Сочетание в одном кристалле нескольких простых форм называют сложной формой.

В природе обычно встречаются кристаллы сложной формы. Число установленных простых форм может достигать 180 у тур-

малина и в несколько раз больше у кальцита. С точки зрения начертательной геометрии сложную форму кристалла можно рассматривать как результат взаимного пересечения простых форм.

На моделях кристаллов сложной формы число простых форм равно числу типов граней. Под типом граней понимают отличные по очертаниям и величине грани. Грани разных простых форм не могут быть совмещены при симметрических преобразованиях, так как они не связаны между собой всеми элементами симметрии данного вида.

На природных кристаллах принадлежность граней к одной и той же простой форме устанавливается по одинаковым двугранным углам между гранями.

Сложные формы особых названий не имеют.

Простые формы обычно имеют особые названия или называются по числу граней, геометрическому очертанию их и т. д. (табл. 3).

§ 7. ПОНЯТИЕ О ПАРАМЕТРАХ И ИНДЕКСАХ

В кристаллографии простые формы кристаллов выражают с помощью элементов симметрии и параметров или индексов граней. Знания одних элементов симметрии недостаточно, так как известно, что к одному и тому же классу может принадлежать много кристаллов с различной природной огранкой. Например, куб и восьмигранник (см. рис. 1, б, в) обладают $3L^4L^3L^29Pc$, а кристалл серы (см. рис. 9) и ромбическая двойная пирамида, или дипирамида, обладают $3L^23Pc$ (см. табл. 3).

Взаимный наклон граней простых форм выражается вторым весьма важным законом — законом рациональности отношений параметров или индексов, который гласит: числа, показывающие, во сколько раз параметры или индексы основной формы больше или меньше параметров или индексов производных форм, есть целые малые рациональные числа: 1, 2, 3 и, как исключение, больше 10.

Прежде чем приступить к определению параметров или индексов, определяют элементы симметрии и по ним систему, а затем правильно устанавливают кристалл, выбирают единичную грань и направление координатных осей a_x, b_y, c_z или a_1, a_2, a_3, c . Эти оси называют кристаллографическими. Их выбирают в кристалле таким образом, чтобы грани одной и той же простой формы (грани с одинаковым взаимным наклоном и физическими свойствами) имели общее численное значение, различаясь только знаками и порядком расположения этих чисел, т. е. параллельно рядам кристаллической решетки с наибольшей густотой узлов. Парал-

Простые формы кубической системы

Названия форм	Исходные формы	Условные формы с числом граней			Угловыми	Угловыми	Угловыми
		удвоенным	утроенным	шестикратным			
Тетраэдр	33		34	35	36	37	
	38					39	
Куб	40		41	42	43	44	
	45		46				
Пентагон-додекаэдр							
Ромбо-додекаэдр	47						

Примечание: знак * означает, что простая форма встречается в кристаллах и других системах, за исключением кубической

Открытые простые формы

1 — моноэдр, или одногранник; 2 — пинакOID, или двугранник с параллельными гранями (примером первой формы является основание пирамиды, а второй — основание призм); обе формы характерны для кристаллов триклинной системы; 3 — диэдр, или двугранник с пересекающимися гранями (форма характерна для моноклинной системы, но может встречаться и в ромбической); 4—10 — призма (грани призмы пересекаются в параллельных ребрах и уходят в бесконечность в противоположных направлениях; в поперечных сечениях наблюдаются ромб, квадрат, правильный треугольник и шестиугольник и последние три сечения с удвоенным числом сторон; призма может встречаться и в моноклинной системе; как и диэдр, она является в этой системе общей формой); 11—17 пирамида (это последняя открытая форма, у которой грани пересекаются в одной точке и расступом уходят в бесконечность в одном направлении; форма многоугольников поперечного сечения такая же, как у призм).

Закрытые простые формы

18—24 — дипирамида, или двойная пирамида (грани ее пересекаются в двух противоположных точках, лежащих на оси C_2 , против грани сверху лежит грань снизу, а короткие ребра лежат в одной плоскости; поперечные сечения такие же, как у призм; формы граней — равнобедренные и равнобедренные треугольники); 25—27 — трапецоэдр, или своеобразная несимметричная дипирамида (против грани сверху несимметрично лежит ребро снизу и отсутствуют плоскость и центр симметрии; короткие ребра расположены зигзагообразно и равны через одно; форма граней — четырехугольник с двумя равными и двумя разными сторонами; поперечные сечения — квадрат, правильный треугольник и шестиугольник); 28 и 29 — скаленоэдр, или своеобразный колювидный гранник (в паре смежных граней напоминают острые копы; форма граней — разносторонние треугольники; короткие ребра равны и расположены зигзагообразно, а двугранные углы при длинных ребрах равны через один; поперечные сечения — квадрат и правильный треугольник с удвоенным числом сторон; обе формы содержат зеркально-поворотные оси L_2^2 и L_6^6); 30 и 31 — тетраэдр, или четырехгранник с ромбическим и квадратным сечением (у первого грани — разносторонние треугольники, а самые короткие ребра расположены наподобие линии буквы χ); у второго грани — равнобедренные треугольники, а самые короткие ребра расположены взаимно-перпендикулярно); 32 — ромбоэдр, или деформированный (по оси L_2^2) куб (напоминает трапецоэдр, у которого против грани сверху симметрично лежит ребро; каждая грань — ромб).

Простые формы кубической системы

33 — тетраэдр или четырехгранник; 38 — куб, или гексаэдр; 40 — октаэдр, или восьмигранник; 45 — пентагон-додекаэдр, или пятиугольный двенадцатигранник; 47 — ромбо-додекаэдр, или ромбический двенадцатигранник.

тельно этим рядам располагаются оси симметрии, перпендикуляры к плоскостям симметрии и ребра кристалла.

В табл. 4 приведена наиболее простая однозначная установка.

Таблица 4

Сингония	Направления кристаллографических осей a, b, c или a_1, a_2, a_3, c	Число констант, подлежащих определению
Триклинная	a, b, c — направления, параллельные ребрам с углами между ними, близкими к 90°	5 ($a:b:c = a:1:c$) и углы α, β, γ)
Моноклинная	$b \perp L^2$ или перпендикуляр к P ; a, c — параллельно ребрам с углами между ними, близкими к 90°	3 ($a:b:c = a:1:c$ и угол β)
Ромбическая	$a, b, c \perp 3L^2$ или: $c \perp L^2$; $a, b \perp 2 \perp$ к $2P$	2 ($a:b:c = a:1:c$)
Тетрагональная	$c \perp L^4$ или L^2_4 ; $a, b \perp 2L^2$, или $2 \perp$ к $2P$, редко параллельно ребрам с прямыми углами между ними	1 ($a:b:c = 1:1:c$)
Гексагональная	$c \perp L^6, L^3_6$ или L^3 ; $a_1, a_2, a_3 \perp 3L^2$ или $3 \perp$ к $3P$, редко параллельно ребрам с углами между ними в 120° или 60°	1 ($a_1:a_2:a_3:c = 1:1:1:c$)
Кубическая	$a, b, c \perp 3L^4$ или $3L^2$	Нет

При установке начало кристаллографических (координатных) осей мысленно размещают внутри кристалла. Затем выбирают одну из простых форм кристалла за основную и в ее координатах, которые в кристаллографии называют параметрами и индексами, выражают внешний облик остальных простых форм. Эти формы, выраженные в параметрах или индексах основной формы, будут являться производными. В настоящее время охарактеризовано около 15 тыс. кристаллов различных веществ. У каждого вещества имеется своя основная форма — $O. \phi.$ Она должна обладать наиболее развитыми, часто встречающимися пирамидальными гранями в том смысле, что они пересекают все кристаллографические оси. Если грани пересекают две оси и параллельны третьей — c_z , то их называют призматическими, и доматиическими (диздрическими), если они параллельны a_x или b_y . Известен также и третий тип граней — пинакоидальный, или конечный, когда грани пересекают одну из осей.

У кристалла серы (см. рис. 9) за основную форму принята большая двойная пирамида, или дипирамида. Ее грань $O. \phi.$ отсекает на осях a_x, b_y, c_z отрезки a, b, c .

Положение граней кристалла можно выразить через углы, однако это довольно сложно. Абсолютные значения отрезков дают представление о размерах кристалла, которые изменяются в зависимости от условий его роста. Так как при росте кристалла грани перемещаются параллельно самим себе, то для характеристики внешнего облика берут отношение отрезков $a:b:c$. Отрезки этих отношений называют линейными параметрами или осевыми единицами, если они отсекаются гранью основной формы, а углы, образованные той же гранью с кристаллографическими осями, — осевыми углами α, β, γ^* . Параметры основной формы условно приравнивают к единице и пользуются ими как масштабом, поэтому грань $O. \phi.$ называют единичной, или масштабной. Таким образом, параметры единичной грани кристалла серы $a:b:c$ будут равны $1:1:1$, хотя действительное отношение равно $0,8130:1:1,9037$ (обычно единичный отрезок по оси b_y принимают за единицу). Двойная пирамида с узкими гранями $П. \phi.$, а также ромбическая призма и пинакоид кристалла серы с гранями типа $3b$ и $2b$ (см. рис. 7) являются производными простыми формами.

Если параметры производной формы кристалла серы $П. \phi.$ обозначим через $a' = m \cdot a = 3a$; $b' = n \cdot b = 3b$; $c' = p \cdot c = 1c$, то коэффициенты при a, b, c , равные 3, 3, 1, представляют собой числовые параметры производной формы (в дальнейшем будем называть их просто параметрами). Параметры второй производной формы (ромбической призмы) — грани типа $3b$ — равны $a'' = m' \cdot a = \infty \cdot a$; $b'' = n' \cdot b$; $c'' = p' \cdot c$; параметры третьей производной формы (пинакоида) — грани типа $2b$ — такие: $a''' = m'' \cdot a = \infty \cdot a$; $b''' = n'' \cdot b = \infty \cdot b$; $c''' = p'' \cdot c$. У последних двух производных форм некоторые параметры равны бесконечности¹. Хотя параметры и дают непосредственное представление о положении грани, но оперировать с бесконечно большими числами весьма неудобно. Поэтому в настоящее время пользуются индексами.

Индексами называют отношение параметров основной формы к параметрам производной формы. Для ясности снова обратимся к кристаллу серы (см. рис. 9). Выше было установлено, что параметры ромбической двойной пирамиды со значком $П. \phi.$ — $3:3:1$, а индексы этой же формы $\frac{1}{3}:\frac{1}{3}:\frac{1}{1}$. Чтобы избавиться от дроби, необходимо умножить эти значения на 3. Физический, точнее геометрический, смысл умножения (или деления) состоит в параллельном перемещении граней, что и наблюдается при росте:

* Осевые единицы a, b, c и осевые углы α, β, γ являются постоянными (константами) параллелипипеда кристаллической решетки и внешней формы кристалла того же вещества.

¹ Такие же параметры имеют призматические, доматиические и пинакоидальные грани.

кристаллов. Из геометрии о пропорциональных отрезках известно, что абсолютная величина увеличивается или уменьшается, а соотношение между отрезками остается постоянным. Полученные числа 1, 1, 3 и есть индексы граней *П. ф.* Если грань расположена параллельно одной, двум или трем кристаллографическим осям (в случае гексагональной сингонии), то параметр равен бесконечности, а индекс нулю, так как единица, деленная на бесконечность, равна нулю.

У природных или «искусственных» кристаллов индексы, как и параметры, представляют собой простые малые рациональные числа 0, 1, 2, 3 и т. д. Чем больше эти числа, тем реже наблюдаются соответствующие им грани, тем меньше ретикулярная плотность плоских сеток кристаллических решеток.

Числовые величины индексов записывают в одну строку без знаков препинания и заключают в круглые скобки, если они относятся к определенной грани, и в фигурные скобки, если они характеризуют простую форму в целом. Таким образом, индексы основной формы кристалла серы будут {111}, а производной {113} и читаются так: {один — один — один} и {один — один — три}, а не сто одиннадцать или сто тринадцать.

Геологам (кристаллографам, минералагам и петрографам), металлургам и другим специалистам, интересующимся кристаллами и кристаллическим строением, не обязательно определять численные значения индексов, а достаточно уметь качественно связать индексы (даже в общем виде) с формой кристалла или параллелепипеда кристаллической решетки. Индексы в общем виде обозначают: по оси a_x — через h , по оси b_y — через k , по оси c_z — через l , а в случае гексагональной сингонии по осям $a_x = a'$, $b_y = a_2$, $c_z = a_3$ — соответственно через h , k , l .

Таким образом, индексы производных форм кристалла серы в общем виде: ромбической двойной пирамиды — { hkl }; ромбической призмы — { okl }; пинакоида — { ool }.

В результате кристаллографическое выражение кристалла серы и его простых форм примет вид:

$$3L^23Pc$$

$$\{111\}, \{hkl\}, \{okl\}, \{ool\}$$

Индексы, заключенные в круглые скобки, называют символом грани, а заключенные в фигурные скобки — символом простой формы в целом.

§ 8. ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА ДВУГРАННЫХ УГЛОВ И ПОЛИМОРФИЗМ

Закон постоянства двугранных углов является основным законом кристаллографии. Он гласит: величина двугранного угла между гранями одной простой формы у одного и того же вещества данной кристаллографической разновидности (модификации) есть величина постоянная при данной температуре и давлении и не зависит от общего числа, очертаний и размеров граней.

Еще в 1615 г. И. Кеплер обратил внимание на равенство углов между лучами снежинок. Значительно позже, в 1669 г., датчанин Н. Стено подметил на глаз некоторую закономерность в двугранных углах отдельных кристаллов кварца и гематита.

Современник Н. Стено Бартолин указал на подобную закономерность у кристаллов исландского шпата, а второй его современник — Левенгук — заметил ту же закономерность у кристаллов гипса.

В 1749 г. Ломоносов в своей работе «Диссертация о рождении и природе селитры» дал точные измерения величин двугранных углов, первый связал величину двугранного угла с химическим составом кристаллов селитры и, исходя из корпускулярной теории, первый высказал мысль о решетчатом строении кристаллов. Кроме кристаллов селитры, Ломоносов указывал на кристаллы каменной соли, горного хрусталя, алмаза (в 1763 г.) и других минералов.

Много лет спустя (в 1769 г.) французский ученый Делиль повторил открытие Ломоносова на многих кристаллах различного химического состава.

Основной закон кристаллографии позволяет дать геометрическую характеристику кристалла и определить химический состав вещества. Этот закон по праву называют законом Стено-Ломоносова-Делиля.

На рис. 13 показаны три кристалла кварца различной формы, но одной кристаллографической разновидности (модификации).

На искажение внешнего облика кристалла оказывает влияние относительная скорость отложения вещества на гранях. Эта ско-

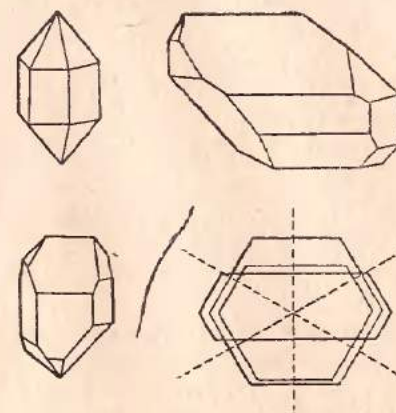


Рис. 13. Кристаллы кварца с поперечными сечениями

рость в свою очередь зависит от многих физико-химических причин: сетчатой (ретикулярной) плотности (густоты) узлов; положения кристалла в питательной среде (растворе или расплаве); концентрации вещества и химических примесей; температуры; вязкости среды и концентрационных потоков.

Чтобы показать, что вертикальные грани кристаллов кварца принадлежат гексагональной призме, надо совместить поперечные сечения трех кристаллов, как это показано на рис. 13.

Двугранные углы на кристаллах измеряют угломерами, или так называемыми гониометрами.

Как известно, первые точные измерения двугранных углов были произведены Ломоносовым на кристаллах алмаза (в 1763 г.). К сожалению, до нас не дошли сведения об устройстве этого угломера.

Угломеры бывают прикладные и отражательные одно- и двукружные.

В 1772 г. Каранжо предложил прикладной угломер, представляющий собой сочетание линейки и транспорта. Этим угломером пользовался Делиль. Точность определений равна около $0,5^\circ$.

В 1809 г. Волластон предложил однокружный отражательный угломер, усовершенствованный (в 1843 г.) Митчерлихом. Точность измерения углов равна $1'$.

Наиболее совершенным угломером является двукружный, или так называемый (по сходству) теодолитный, изобретенный в 1889 г. Е. С. Федоровым. С помощью этого угломера определяют величину двугранного угла с точностью до $1''$. В 1893 г. угломер был введен в практику. В этом же году шведский ученый В. Гольдшмидт и польский ученый З. Чапский предложили свои угломеры, отличающиеся от федоровского некоторыми деталями. Последней усовершенствованной моделью федоровского угломера является модель Е. Е. Флинта (1938—1939 гг.).

Угловую (гониометрическую) характеристику имеют около 15 тыс. различных химических веществ.

Как указывалось выше, закон постоянства двугранных углов действителен для кристаллов данной разновидности. Нередко одно и то же вещество дает кристаллы разных классов и систем как по внешней форме, так и по внутреннему строению. Такое явление называется полиморфизмом кристаллов.

Полиморфизм, или многоформие, а точнее — многоструктурность, означает способность кристаллического вещества одного и того же химического состава кристаллизоваться в нескольких кристаллографических разновидностях (модификациях). Явление полиморфизма открыто Митчерлихом в 1822 г. на кристаллах серы.

На образование кристаллической решетки и на ее изменение оказывают влияние температура, давление и химические примеси. Особенно чувствительны решетки кристалла к изменению температуры. Переход одной решетки в другую совершается скачкообразно и отмечается на кривой остановкой температуры в виде ступеньки (рис. 14). Полиморфные разновидности обозначают

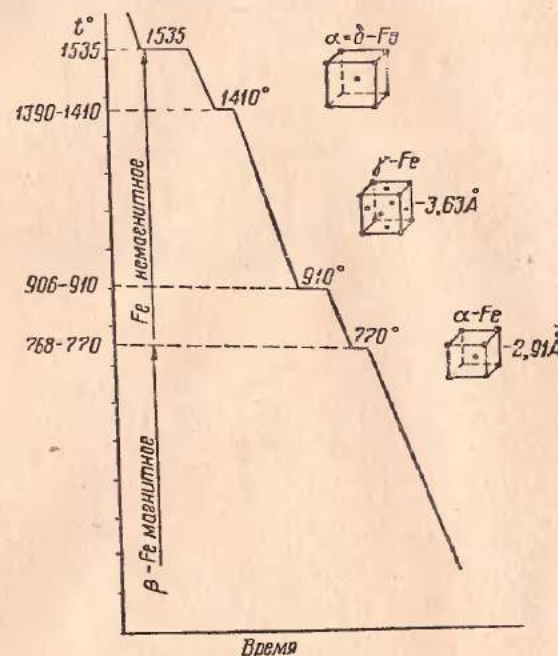


Рис. 14. Полиморфизм железа

греческими буквами: низкотемпературную разновидность — альфа, более высокотемпературную — бета, затем гамма и т. д.

Превращения разновидностей могут быть обратимыми и необратимыми. Первые называют монотропными (односклоняющимися), а вторые — энантиотропными. Полиморфные разновидности можно обнаружить: в кварце — с помощью поляризационного микроскопа; в железе — рентгеновскими лучами; в других веществах — термическим анализом, по удельному весу, по электропроводности и другим физическим свойствам.

Полиморфизм химических элементов называют аллотропизмом (от греческого слова аллос — чужой, чуждый). Классическим примером аллотропизма являются алмаз и графит, состоящие из

углерода. Алмаз образует решетку и кристаллы кубической системы, а графит — гексагональной (рис. 15).

Д. К. Чернов (1839—1921 гг.) доказал в 1869 г., что нагревание и охлаждение влияют на внутреннее строение стали, и указал температурные точки перехода (см. рис. 14).

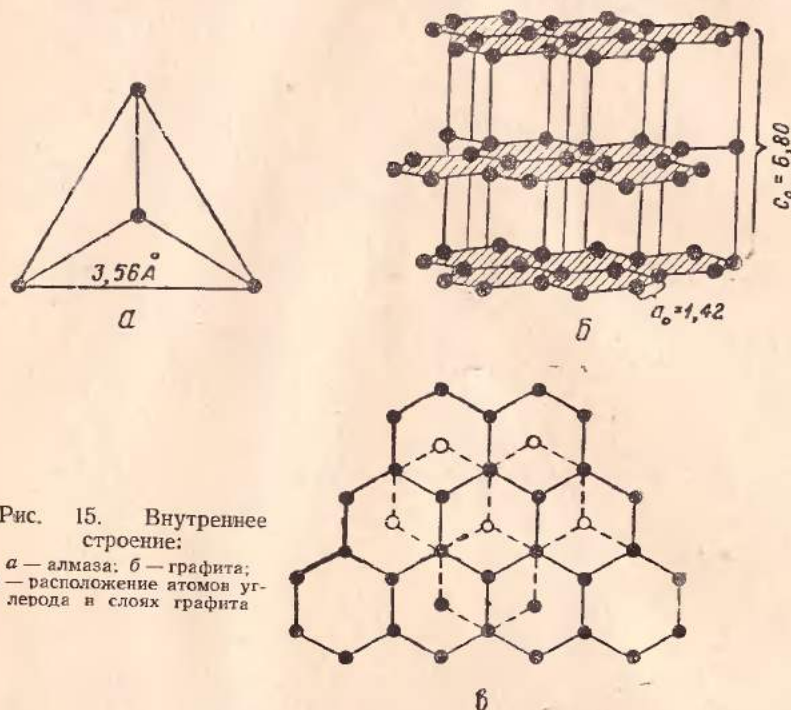


Рис. 15. Внутреннее строение:

a — алмаза; *б* — графита;
в — расположение атомов углерода в слоях графита

б

§ 9. ИЗОМОРФИЗМ

Изоморфизм — явление, заключающееся в том, что разные вещества образуют равные, близкие или подобные по внешней форме и внутреннему строению кристаллические тела, могущие дать твердые растворы. Изоморфизмом обладают: золото — серебро, альбит — анортит, форстерит — фаялит и многие другие кристаллические вещества. Названные три пары веществ являются классическими примерами.

Приведенная на рис. 16 диаграмма изоморфизма схематически передает ход кристаллизации смеси двух расплавов — 45,6% альбита и 54,4% анортита (или серебра и золота) — и образование твердого раствора. Диаграмма состоит из двух кривых:

верхней — кривой плавления (ликвидус) и нижней — кривой кристаллизации (солидус). При охлаждении расплава от точки *a* до точки *P*₁ при температуре *P*₁ начнется кристаллизация, причем кристаллы будут иметь состав, соответствующий точке *K*₁, т. е. будут состоять из 3% альбита и 97% анортита. При медленном остывании расплав непрерывно взаимодействует с кристаллами,

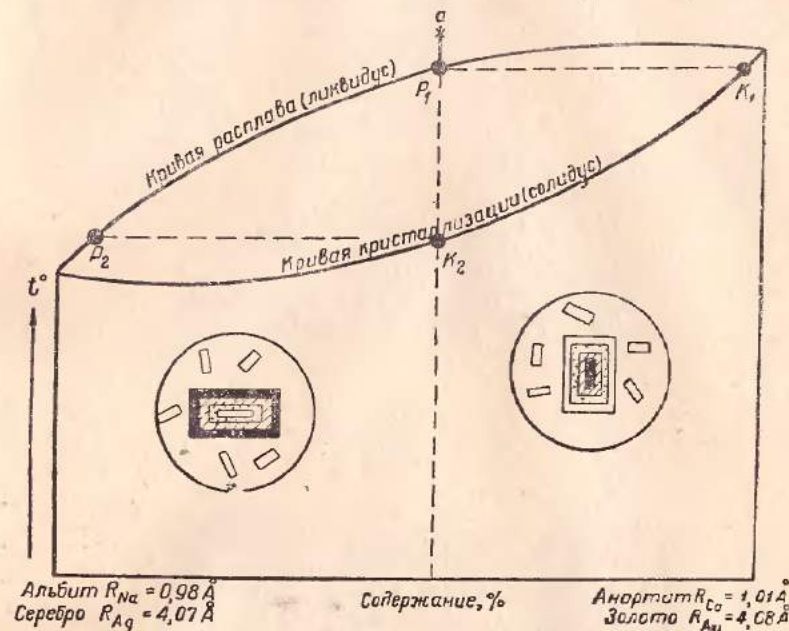


Рис. 16. Диаграмма изоморфизма

которые в связи с этим будут обогащаться молекулами альбита и обедняться молекулами анортита. Под конец кристаллизации расплава, когда остывают последние капли жидкости, состав кристаллов будет соответствовать составу первоначально взятого расплава, т. е. 45,6% альбита и 54,4% анортита.

Если расплав смеси альбита и анортита будет остывать скачками, то кристаллы не успеют полностью провзаимодействовать с расплавом при данной температуре. В новых температурных условиях образуются кристаллы нового химического состава. Кроме того, вещество будет отлагаться в виде зон на ранее образовавшихся кристаллах, повторяя их геометрическую форму. Катионы натрия и кальция, как и в первом случае, будут меняться местами, сохраняя строение кристаллической решетки. Если шлиф (т. е. тонкую полированную пластинку) такого кристалла поместить на столик поляризационного микроскопа, то

при скрещенных поляризационных призмах будут видны зоны в виде светлых и темных полос (рис. 16). При вращении столика микроскопа освещение зон постепенно изменится: светлые места потемнеют, а темные посветлеют.

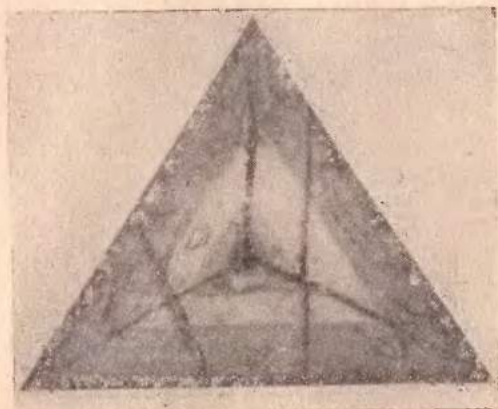


Рис. 17. Турмалин с зонами изоморфизма (в проходящих лучах)



Рис. 18. Гранат с зонами изоморфизма (в отраженных лучах)

У кристаллов, содержащих красящие катионы железа, хрома и других элементов, зоны будут окрашены в соответствующие цвета и тона и могут наблюдаться невооруженным глазом. Такое зональное строение видно в поперечном (треугольной формы) сечении турмалина (см. рис. 17), сфотографированного в проходящих лучах, и у граната (рис. 18), сфотографированного в от-

раженных лучах света. Таким образом, зональное строение минералов является одним из наглядных примеров изоморфизма.

Серебро и золото также способны давать кристаллы смещенного состава, обладающие решеткой серебра и золота одновременно в виде гранецентрированного куба (см. рис. 4 и 16). Решетки смешанных кристаллов и чистых металлов серебра и золота в такой степени близки, что их невозможно отличить друг от друга с помощью рентгеновских лучей. В данном случае только химический анализ может помочь отличить чистые металлы от их твердых растворов.

§ 10. ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ

С применением рентгеновских лучей (с 1912 г.) стало возможным иметь представление о решетчатом строении кристаллов и кристаллических веществ вообще. Моделью такого строения является пространственная решетка NaCl (см. рис. 7) и многих других веществ.

В 1885 г. Е. С. Федоровым была создана теория параллелепипедов (параллельногранников), которая помогла установить четыре типа решетки и четыре типа соответствующих им структур. В качестве вспомогательных кристаллографических фигур были взяты куб¹, ромбический двенадцатигранник, сочетание куба и восьмигранника и, наконец, шестигранная призма. При заполнении пространства этими фигурами центры тяжести (они же и центры симметрии) расположатся: в первом случае — как бы в вершинах куба; во втором — в вершинах и в центре куба; в третьем — в вершинах и центрах граней куба и в четвертом — в вершинах шестигранной призмы и в центре ее оснований. Полученные таким образом пространственные решетки называют простым или элементарным кубом, центрированным и гранецентрированным кубом и призматической решеткой.

На рис. 19 видны заштрихованные плоскости с наиболее густо усаженными частицами — это так называемые плоские сетки с наибольшей ретикулярной плоскостью. Нетрудно догадаться, что эти плоские сетки соответственно расположены так же, как и грани куба (гексаэдра), ромбического двенадцатигранника (ромбо-додекаэдра), восьмигранника (октаэдра) и шестигранной призмы с индексами {hoo}; {hko}; {hkl} и {hkio}.

Таким образом, четырем решеткам соответствуют четыре структуры, которые имеют свои обозначения и называются по форме многогранников: гексаэдрическая (h), додекаэдрическая (d), октаэдрическая (o) и призматическая (p)².

¹ Соответственно названы Федоровым три-, гекса-, гепта- и тетрапараллелоэдром.

² При обозначении структуры буквы h, k, o и p заключают в круглые скобки.

Первые три решетки Федорова образуют кубический тип, так как они обладают элементами симметрии куба — $3L^4 4L^3 6L^2 9P_6$, а последняя относится к гексагональному типу

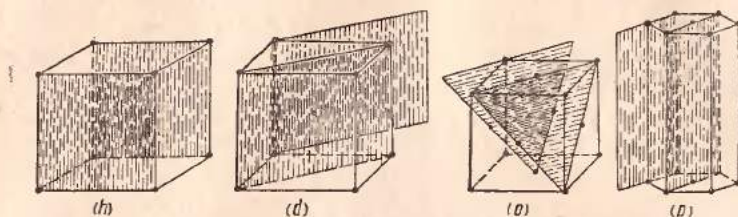


Рис. 19. Четыре типа решеток и четыре типа структур:
h — гексаэдрическая; d — додекаэдрическая; o — откаэдрическая и
p — призматическая

с элементами симметрии 25-го вида системы того же названия — $L^6 6L^2 7P_6$.

Справедливость теории решетчатого строения кристаллических веществ Федорова была подтверждена Лауэ в 1912 г. опытным путем с помощью рентгеновских лучей.

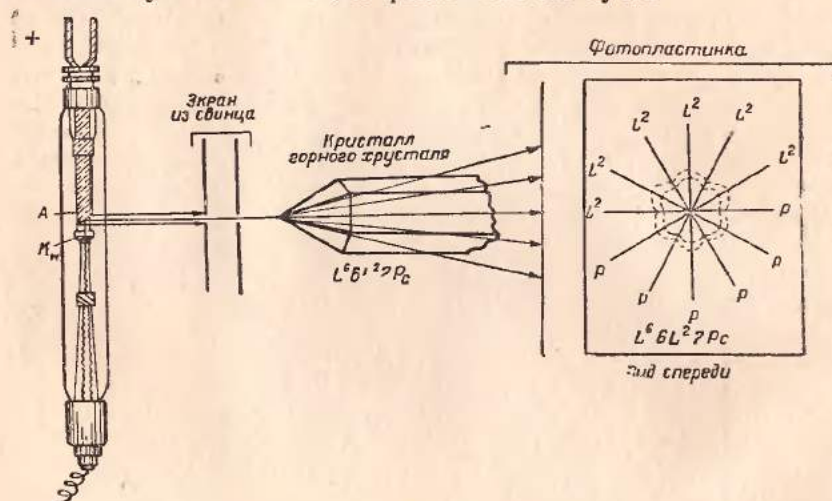


Рис. 20. Лауэграмма

Рентгеноскопические снимки кристаллов (лауэграммы) подтверждают зависимость формы кристалла от его внутреннего строения (рис. 20). На этом рисунке справа показана разрядная трубка, излучающая рентгеновские лучи, которые, пройдя через кристалл горного хрусталя, оставляют на фотопластинке отпечаток, отражающий внутреннюю структуру этого кристалла.

§ 11. КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В РЕШЕТКАХ

С помощью рентгеноструктурного анализа достоверно установлено, что в узлах кристаллических решеток расположены атомы и их группы, ионы и их группы, а также отдельные молекулы. Связь между этими частицами осуществляется по-разному.

Различают 4 типа кристаллохимических связей в решетках кристаллов: металлическую, неметаллическую, ионную, молекулярную (связи Ван дер Ваальса). Последний тип недостаточно изучен. Первые три типа связи осуществляются за счет образования устойчивой оболочки из 8 электронов. Способы образования этих оболочек неодинаковы.

Металлический, или атомный, тип связей наблюдается прежде всего у металлов, которые обладают свободно блуждающими электронами. Атомы металла образуют как бы каркас решетки, а электроны наподобие газа или облака заполняют промежутки в этом каркасе. Благодаря наличию «электронного газа или облака» металлы обладают большой электропроводностью, теплопроводностью и другими физическими свойствами.

Неметаллическая (ковалентная, или гомополярная) связь характерна для неметаллов. Образование восьмиелектронной оболочки осуществляется за счет «мостика», т. е. пары общих электронов, которые принадлежат одновременно двум атомам. Примером такой решетки и такого типа связи может служить углерод в виде алмаза и графита, фтор. Молекула фтора состоит из двух атомов. Каждый атом имеет семь валентных электронов, из которых один может находиться в какой-то момент времени на орбите обоих атомов. В этот момент один атом будет играть роль как бы катиона, а другой — аниона.

Ионный, или гетерополярный, тип связи широко распространен среди природных минералов. Кристаллы с такой связью состоят из положительно и отрицательно заряженных ионов (катионов и анионов), благодаря чему осуществляется прочная связь в решетках. Молекулярные, остаточные, или вандерваальсовы, связи являются типичными для органических соединений и благородных газов. Вопросы характера связей в кристаллических решетках, зависимость между атомным строением кристаллов и их химическими, физическими и геометрическими свойствами изучает наука кристаллохимия.

Эта молодая наука имеет большое практическое и теоретическое значение. Вскрывая связи между структурой и физико-химическими свойствами природных веществ, кристаллохимия в частности, помогает выяснять закономерности поведения атомов в земной коре, устанавливать условия образования промышленных скоплений полезных ископаемых и ряд других практических вопросов.

МИНЕРАЛОГИЯ

§ 12. ЗЕМНАЯ КОРА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ (ГЕНЕЗИС) МИНЕРАЛОВ

Планета Земля имеет зональное строение и состоит из ядра и ряда концентрических оболочек (геосфер) определенного вещественного состава и свойств. Непосредственному наблюдению доступны некоторые части трех геосфер: газовой оболочки — атмосферы, водной оболочки — гидросферы и твердой земной коры (рис. 21).

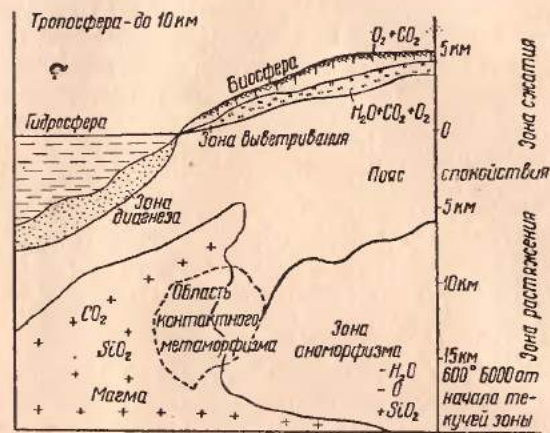


Рис. 21. Схематический разрез земной коры по А. Е. Ферсману

Относительно уровня моря на поверхности земли наблюдаются выпуклости — горы высотой около 9 км и морские впадины глубиной более 10 км. В пределах этого разреза, созданного геологическими процессами, возможно непосредственное изучение тонкого слоя внешней оболочки земной коры; эта оболочка имеет мощность в 16 км.

Земная кора является местом и источником образования минералов.

Рассмотрим основные типы образования минеральных масс в их природных (парагенетических) сочетаниях, не вдаваясь

в подробности механизма кристаллизации каждого минерала в отдельности. (Об этом сказано на стр. 14 и дальше).

Известны три основных типа минералообразования: магматический, или эндогенный, осадочный, или экзогенный, и метаморфический (вторично преобразованный).

В природе больше всего минералов первого типа и меньше всего второго типа. Минералы третьего типа образуются из первых двух.

Магматический, или эндогенный, тип. Первоисточником всех минералов является магма. Это огненножидкий расплав окиси кремния, в котором растворены окислы различных металлов. Из работ В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана и других наших ученых, а также ученых зарубежных стран (Кларка, Вашингтона) известно, что магма состоит из 10 основных химических элементов: кислорода — 49,13% от общего веса земной коры, кремния 26%, алюминия 7,45%, железа (закасного и окисного) 4,20%, кальция 3,25%, натрия 2,40%, магния 2,35%, калия 2,35%, водорода 1,00%, титана 0,61% (итого 98,74%) и только 1,26% приходится на остальные 82 элемента таблицы периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Первые два элемента составляют около 75%. На этом основании считаем магму силикатным расплавом (раствором). Приведенные основные химические элементы в процессе кристаллизации магмы образуют различные сочетания минералов, преимущественно группы силикатов. Образовавшиеся при этом природные агрегаты называются магматическими горными породами. В их минералогический состав входит в среднем 60% (по весу) полевых шпатов и их заместителей, около 13% кварца, более 16% амфиболов и пироксенов, около 4% слюд, 5% оливина и прочих силикатов и только 1% составляют несиликаты.

Земная кора состоит на 95% из магматических горных пород и на 5% — из пород осадочных, в том числе 4% составляют глины и глинистые сланцы; 0,75% — кварцевые пески и песчаники и только 0,25% — карбонатные породы (известняки и доломиты). Из приведенных данных следует, что химический и минералогический состав магматических горных пород в первом приближении соответствует составу земной коры.

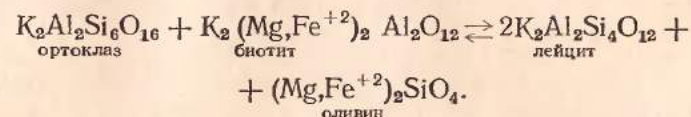
Кроме жидких (расплавленных) веществ, магма содержит в большом количестве пары воды, газообразный фтористый, хлористый и сернистый водород, закись и окись углерода, летучие соединения различных металлов с серой, фосфором и бором. Все эти паро- и газообразные вещества играют роль минерализаторов. Они разжижают вязкий силикатный расплав, понижают его температуру кристаллизации и сами принимают непосредственное участие в образовании минералов.

Магма образуется за пределами земной коры под влиянием

тепла ядерных реакций. В силу внутренних геологических процессов магма внедряется в земную кору и чаще всего остывает на той или иной глубине литосферы или прорывается на дневную поверхность. С этого момента начинается новый этап истории магматического очага. Его подразделяют на четыре основные стадии: собственно магматическую, пегматитовую, газовую (пневматолитовую) и горячеводную (гидротермальную).

В собственно магматической стадии сначала образуются второстепенные (акцессорные) минералы: магнетит, хромит, апатит и др., которые при известных условиях обособляются (сегрегируют) и дают промышленные рудные скопления. Затем кристаллизуется основная масса магмы, состоящая из так называемых главнейших породообразующих минералов — полевых шпатов, нефелина, кварца, слюд и т. д.

Сочетания минералов зависят от химического состава данной магмы, а также температуры и давления. Поэтому при одном и том же валовом химическом составе магмы могут образоваться различные сочетания минералов. Например:



Ортоклаз и биотит образуются на большой глубине при высоком внутреннем давлении и сравнительно низкой температуре, а лейцит и оливин — при быстром охлаждении магмы на поверхности земли при низком давлении и высокой температуре.

Магматические породы, образовавшиеся на глубине, называют интрузивными, а застывшие на поверхности земли — эффузивными.

Первые состоят из крупных зерен в виде кристаллитов и редко кристаллов, различимых невооруженным глазом, а вторые представлены стекловатой или тонкозернистой массой с крупными зернами лейцита и оливина. Когда на фоне тонкозернистой массы наблюдаются крупные кристаллы или кристаллиты, то строение называют порфировым, а крупные зерна — порфировыми выделениями (рис. 22).

После отвердевания главной массы магмы минерализаторы оттесняются в остаточный расплав магмы, содержащий большое количество кремнекислоты. Здесь может быть два случая дальнейшей кристаллизации: когда внутреннее давление меньше внешнего и когда оно больше внешнего (на малых глубинах). В первом случае наступит пегматитовая стадия, а во втором — пневматолитовая.

Пегматитовая (от греческого слова пегматос — тесная связь) стадия характеризуется образованием очень крупных кристаллов

весом в несколько сот и тысяч килограммов. В состав пегматитов входят полевой шпат и кварц, реже — полевой шпат

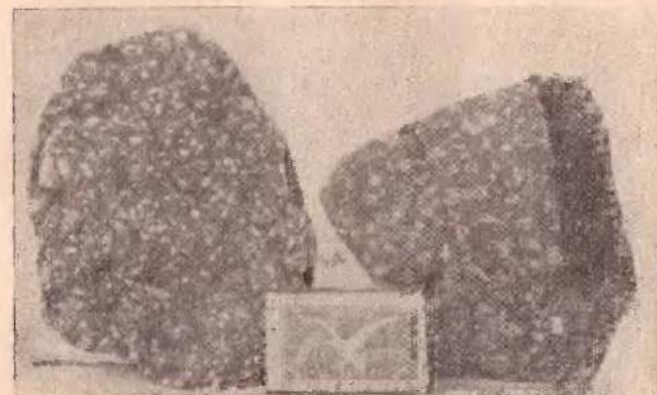


Рис. 22. Излившаяся горная порода с порфировыми выделениями полевого шпата

и нефелин, слюды и драгоценные камни. Нередко встречается природная эвтектическая смесь из 74% ортоклаза и 26% кварца. Полированная поверхность такой породы напоминает древние письма и называется пегматитом (рис. 23).



Рис. 23. Пегматит (письменный гранит)

При остывании отвердевшей части магматического очага появляются трещины. В эти трещины вгоняется остаточный расплав, при охлаждении которого образуются пегматитовые жилы, являющиеся основным источником добычи полевых шпатов, слюд и драгоценных камней.

В пневматолитовой, или газовой, стадии главную роль в образовании новых минералов и преобразовании минералов вмещающих пород играют газы и летучие соединения. Особенно легко взаимодействуют с газообразными веществами карбонатные породы — известняки, доломиты, мергели (глина с карбонатом кальция) и песчаники с известковым цементом. В этих условиях в результате обменных реакций образуются так называемые скарны, состоящие преимущественно из силикатов Ca, Fe, Al и др. В связи со скарном нередко образуются крупные месторождения железа, иногда вольфрама, молибдена и др. С пневматолитовыми месторождениями связаны: оловянный камень, плавиковый шпат и многие силикаты (волластонит, диопсид, геденбергит и др.).

При полном остывании магмы температура очага и прилегающих горных пород может понизиться до 374°. Это критическая точка кипения воды. Ниже этой температуры пары воды будут сгущаться и растворять в себе сернистые соединения железа, меди, свинца, цинка, ртути и других металлов, а также кремнекислоту, карбонат кальция и сульфат бария. Сгущение паров воды может наблюдаться в любую фазу минералообразования, но этот процесс будет протекать вдали от контакта магматического очага. Таким образом, пневматитовая стадия сменится горячеводной (гидротермальной).

В гидротермальной стадии образуются прежде всего сернистые соединения молибдена, висмута, железа, меди, цинка, свинца, сурьмы, ртути и мышьяка, а также вольфрамит, шеелит, золото и серебро. Все это так называемые рудные минералы. Кварц, барит или кальцит образуют жильные минералы. Наиболее распространенным жильным минералом является кварц.

Минералы гидротермального происхождения при отложении в трещинах горных пород образуют жилы, а при полном или выборочном замещении (метасоматозе) минералов вмещающих пород, особенно карбонатных, образуют неправильной формы тела или вкрапления. Гидротермальные минеральные тела по глубине залегания подразделяют на глубинные, или гипотермальные, средних глубин, или мезотермальные, малых глубин, или эпитермальные.

Минералы зоны больших глубин обладают большой твердостью и окрашены в темные цвета, средних глубин — серые блестящие средней твердости и малых глубин — пестроокрашенные и мягкие.

Как мы уже говорили, газы и горячие водные растворы способны замещать минералы вмещающих пород. В случае замещения (метасоматоза) твердых веществ растворами газов метасоматоз называют газовым (пневматолитовым), в случае замещения водными растворами — гидатометасоматозом.

Гидатометасоматоз может быть эндогидатогенным — при замещении горячими водными растворами и экзогидатогенным — при замещении холодными (поверхностными, атмосферными) водами.

Наиболее распространенными видами метасоматоза являются: замещение с сохранением и без сохранения внутреннего строения (решетки) минерала, замещение с сохранением и без сохранения внешних особенностей строения агрегата зерен или клеток организмов.



Рис. 24. Окаменелое дерево (из опала):
а — продольное сечение; б — поперечное сечение

К первому виду относят изоморфные замещения, ко второму — морфотропные, когда перейдена граница возможного изоморфного замещения. Например, при замещении в оливине магния бериллием образуется фенакит $\text{Be}[\text{SiO}_4]$, а при замещении кремния алюминием — шпинель $\text{Mg}[\text{Al}_2\text{O}_4]$. Это так называемые псевдоморфозы превращения. Под псевдоморфозой необходимо понимать ложную форму замещающего минерала по замещенному, когда один минерал приобретает форму другого.

Последние два вида образуют псевдоморфозы вытеснения или замещения. Например, при действии холодных водных растворов, содержащих кремнекислоту, на дерево клетчатка растворяется и, перейдя в раствор, вызывает осаждение кремнекислоты. Так образуется окаменелое дерево (рис. 24), у которого наблюдаются все подробности строения, вплоть до годовых колец. При замещении кальцита известняка магнетитом или свинцовым блеском, а полевого шпата гранита — оловянным камнем полностью исчезают внешние особенности известняка и гранита.

Все эти процессы протекают внутри земной коры, поэтому этот тип минералообразования называют еще эндогенным.

Осадочный, или экзогенный, тип. Экзогенные процессы протекают на поверхности или вблизи поверхности земли до глубины в несколько десятков метров при действии температуры, воздуха и его составляющих газов (кислорода и двуокиси углерода), льда ледников, воды на поверхности

земли и на глубине, организмов (растений, животных) и продуктов их разложения. Этот весьма сложный и многообразный процесс состоит из трех основных этапов, следующих один за другим.

Первый этап — это выветривание, которое состоит из механического разрушения и химического превращения первичных минералов. Второй этап сопровождается перемещением минеральных веществ под действием собственного веса, водных и воздушных потоков (ветра) и медленно перемещающихся масс льда в виде ледников. Третий этап — этап созидательной работы —

является следствием ослабления и полного прекращения действия сил переноса (транспорта) и характеризуется накоплением осадков.

В зависимости от преобладания определенных сил в конечном итоге образуются механические, химические, биохимические и даже чисто органические осадки.

При образовании механических осадков сначала происходит растрескивание горных пород (рис. 25) и отдельных минералов при резких колебаниях температуры и при действии кристаллизационной силы воды и растворенных в ней солей. Эти явления особенно резко выражены в горных районах и областях с резко континентальным климатом. Корни растений также способствуют расширению трещин.

В зависимости от рельефа местности обломки могут находиться на месте залегания обнаженных¹ горных пород и месторождений тех или иных минералов или перемещаться по склону

¹ Обнажение происходит при горообразовании с последующим размывом поднятых участков земной коры.



Рис 25. Механическое разрушение горных пород

горы под действием собственного веса. Глыбы и небольшие обломки в виде щебня, достигнув подошвы горы или ущелья, уносятся потоками воды.

Перемещение обломков с места на место сопровождается дальнейшим измельчением материала до песчинок и пылинок. Песчинки обычно состоят из кварца, а пылинки — из глинистых минералов. Чем меньше величина обломков, тем дальше они будут перенесены. Подобная сортировка обломков горных пород и минералов происходит также по берегам морей и океанов в результате поднятий и опусканий земной коры.

Если при разрушении горных пород происходит одновременное разрушение минералов рудных месторождений, химически и механически устойчивых в условиях поверхности земли, то образуются новые месторождения, которые называют россыпями. По месту образования россыпи делят на элювиальные, лежащие на месте образования, делювиальные, перемещенные по склону горы, но лежащие в непосредственной близости от места образования, и аллювиальные, или речные, претерпевшие длительный перенос (транспорт). К последнему виду относятся морские и дельтовые россыпи. Россыпи имеют большое практическое значение как месторождения золота, оловянного камня, платины, вольфрамит, драгоценных камней (алмазов, рубинов, изумрудов, аметиста, горного хрусталя) и других минералов.

В результате переноса ветром глинистых частиц во взвешенном состоянии на большие расстояния образовался лёсс Китая, Средней Азии и Европы.

Наряду с механическим разрушением (физическим выветриванием) происходит и химическое превращение (химическое выветривание) минералов. В зависимости от химического состава минералов и климатических условий химические процессы могут преобладать над механическими. В этом случае химическое выветривание приобретает значение основного процесса преобразования первичных минералов. В числе факторов химического выветривания главенствующую роль как растворитель играет вода вместе с растворенными в ней кислородом и углекислым газом воздуха и гумусовыми кислотами (остатки не полностью разложившихся растений). При химическом выветривании, как и при механическом, наблюдаются разрушения, перенос и осаждение взвешенных частиц и растворенных солей пересыщенных водных растворов.

При образовании вторичных минералов, как продуктов химических превращений первичных минералов, происходит увеличение объема последних от 2,44 до 264,25% или уменьшение от 4,13 до 64,99%.

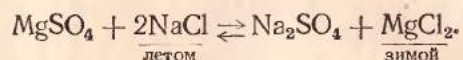
При химическом выветривании из полевых шпатов в умеренном климате образуется каолин, а в жарком и влажном климате,

в присутствии большого количества гуминовых кислот или серной кислоты, — красном (латерит) и боксит. На поверхности месторождений железосодержащих сульфидов и других железосодержащих минералов образуются «железные шляпы», состоящие практически из лимонита; часто они содержат золото и другие самородные элементы; карбонаты и силикаты марганца образуют «марганцевые шляпы» из пиролюзита; соляные месторождения — «гипсовые шляпы» и т. д. «Шляпы», как видим, состоят из продуктов окисления и остатков выщелачивания полезного ископаемого. Они прикрывают месторождение до глубины просачивания атмосферных вод.

Вода, как растворитель, уносит с собой соли натрия, калия, кальция, магния, железа, марганца, ванадия, никеля и других металлов. Соли первых четырех металлов накапливаются в морях, океанах, а иногда и озерах, а последние четыре металла не достигают океана и концентрируются на поверхности земли или просачиваются вместе с водой на некоторую глубину и там осаждаются, образуя инфильтрационные месторождения. Соли же, достигшие океана, в изолированных водных бассейнах в момент пересыщения образуют химические осадки.

Известно, что морская вода содержит в среднем 3,5% солей, т. е. 35 г в 1 л воды, в том числе 78% NaCl, 11% MgCl₂, 5% MgSO₄, 6% остальных солей: CaCO₃, CaSO₄ и т. д. Первыми осаждаются из пересыщенного раствора труднорастворимые соли (CaSO₄), затем легкорастворимые (NaCl) и в последнюю очередь — очень легко растворимые соли калия (сильвин, карналлит).

В Каспийском море содержится 1,5% солей, а в его заливе Кара-Богаз-Гол — в 15–20 раз больше. В осенне-зимнее время при температуре —6° осаждается мирабилит, а летом — самосадочная соль по реакции:



В образовании окислов железа и марганца часто играют немаловажную роль микроорганизмы — бактерии. Образовавшиеся этим путем минералы называются биохимическими осадками.

Минералы, образовавшиеся из остатков растений и животных, называются органогенными, или органическими осадками. Эти осадки называют биолитами. К ним относят известняки, мел и другие негорючие вещества, а также ископаемые угли, нефть, горючие газы и торф.

Метаморфический тип. Метаморфические процессы протекают в земной коре в зоне анаморфизма обычно на глубине 6–10 км. При погружении на эту глубину магматических и оса-

дочных горных пород внешний облик их минеральных агрегатов претерпевает коренные изменения и происходит превращение одних минералов в другие. Превращения сопровождаются повторной кристаллизацией в твердом состоянии под действием высокой температуры и высокого давления и появлением новых минералов в результате взаимодействия расплава внедрившейся магмы и ее минерализаторов с вмещающими горными породами.

В целом метаморфический процесс является созидательным. Рыхлые и уплотненные агрегаты глинистых минералов превращаются в филлит, слюдяные и другие сланцы и в конечном итоге — в гнейс; известняки — в мрамор; кварцевый песок и песчаник — в кварцит; бурые угли — в каменный уголь и антрацит, а вблизи магматического очага антрацит переходит в графит.

В зависимости от преобладания одной из причин метаморфизма различают: термальный метаморфизм, когда главную роль играет температура; динамометаморфизм, связанный с односторонним давлением, вызванным горообразовательными процессами; региональный, связанный с геосинклинальными областями, с давлением вышележащих пластов и температурой. Известно, что с глубиной через каждые 100 м температура повышается на 3°, а давление — на 26–28 атм. Последний вид метаморфизма охватывает огромные территории. Контактный, или местный, метаморфизм наблюдается на границе магмы и вмещающей горной породы и сопровождается образованием, в частности, скарнов, с которыми связаны богатейшие месторождения вольфрама и других металлов.

Агрегаты минералов метаморфического происхождения называют кристаллическими сланцами. Кристаллическими называют их потому, что они по степени кристалличности сходны с магматическими горными породами, а сланцами — за их способность легко раскалываться в одном направлении. Это свойство обусловлено горообразовательными процессами и называется сланцеватостью. Отдельные минералы (а не их агрегаты) также обладают способностью раскалываться в одном и в нескольких направлениях. Это свойство называется спайностью.

§ 13. СОЧЕТАНИЕ МИНЕРАЛОВ В ПРИРОДЕ (парагенезис)

Природные агрегаты состоят из одного или нескольких разных минералов. Совместное образование определенных минералов называют парагенезисом.

¹ Геосинклиналь — это огромных размеров впадина, заполненная морскими или материковыми осадками. мощностью до 10–20 км. Накопление сопровождается оседанием дна геосинклинали, затем сменяется поднятием дна и завершается образованием гор и одновременным внедрением магмы.

Закономерность сочетания минералов впервые установил в 1757—1763 гг. М. В. Ломоносов, а в 1798 г. В. М. Севергин ввел понятие о смежности (парагенезисе) минералов. Современное представление об общности происхождения минералов разработано В. И. Вернадским. Знание возможных и невозможных сочетаний минералов в природе облегчает поиски и разведку месторождений полезных ископаемых.

Парагенезис — это не только образование определенных минералов, но и их возможные сочетания в природе. Он зависит от химического состава питающей и окружающей среды, условий образования и времени.

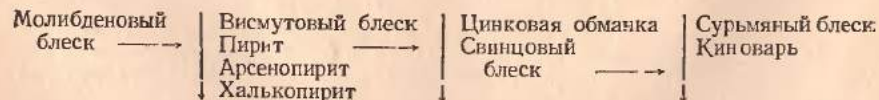
Условия образования — это температура и давление, одновременность и последовательность кристаллизации.

Известно, что в природе образуется больше всего магматических минералов. Магмы и горные породы по процентному содержанию кремнекислоты подразделяются на кислые, средние и основные. Кислые характеризуются наличием свободной кремнекислоты в виде кварца, а основные содержат недосыщенные кремнекислотой оливин и другие минералы. Отсюда следует, что присутствие кварца исключает присутствие оливина и наоборот. Вместе с кварцем не встречаются также нефелин, лейцит и др. Эти минералы являются антагонистами и представляют пример запрещенного парагенезиса (по Д. С. Коржинскому).

Мы уже указывали, что при одном и том же химическом составе магмы, но при сочетаниях разных температур и давлений, могут встречаться вместе ортоклаз и биотит или лейцит и оливин. При изменившихся термодинамических условиях первичные минералы на поверхности земли и на небольшой глубине в присутствии воды, кислорода и углекислого газа воздуха превращаются во вторичные минералы.

Совместное нахождение минералов может быть связано с одновременностью или последовательностью процесса образования. Известно, например, что цинковая обманка образуется в гидротермальную стадию почти одновременно со свинцовым блеском. Об этих минералах говорят, что они парагенетически тесно связаны между собой.

Свинцовый блеск и цинковая обманка связаны со всеми сульфидами последовательностью кристаллизации как во времени, так и в пространстве. Из горячих водных растворов в первую очередь выделяется молибденовый блеск, а в последнюю — киноварь по следующей схеме:



Кварц занимает особое положение. Он образуется и является устойчивым во всех термодинамических зонах земной коры, но связан со средой определенного химического состава.

§ 14. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

В зависимости от химического состава, внутреннего строения и условий образования минералы обладают определенными физическими свойствами. К ним относят внешнюю огранку кристаллов, цвет, черту, блеск, твердость, спайность, излом и другие свойства.

Цвет, блеск, черта являются скалярными свойствами, так как они измеряются величинами, определяемыми только их числовыми значениями без указания направления. Другие свойства минералов кристаллического строения — векториальны, так как их величины определяются не только числовым значением, но и направлением. Таковы твердость, спайность, показатель преломления и т. д.

Форма агрегатов. Внешняя форма минералов зависит прежде всего от вида кристаллической решетки и условий кристаллизации.

Различают форму отдельных кристаллов и их агрегатов. Отдельные кристаллы встречаются довольно редко, а их агрегаты — всегда.

Агрегаты могут давать закономерные и случайные скопления кристаллов и кристаллитов. Их форма, размеры и взаимное расположение могут быть самыми различными. Отметим самые распространенные агрегаты.

Зернистые массы состоят из округлых и слабо зазубренных зерен от микроскопических размеров до 10—15 мм и более. При размере зерен более 5—10 мм массы называют крупнозернистыми; 2—5 мм — среднезернистыми; 0,5—2 мм — мелкозернистыми и от 0,5 мм — тонкозернистыми.

В плотных массах границы отдельных зерен угадываются по точечному блеску или устанавливаются под микроскопом.

Игольчатые, шестоватые и столбчатые агрегаты состоят из вытянутых в одном направлении кристаллов без заметных венчающих граней (у иголок и шестиков). Их расположение может быть параллельным, веероподобным, радиально-лучистым, а также совершенно случайным.

При параллельном расположении кристаллов, выросших на волнистую или вогнутую поверхность, образуются щеткообразные агрегаты, или друзы. При росте иголочек как бы из одного центра в направлении радиусов образуются конкреции (стяжения) шаровидной формы (фосфорит, марказит). Чешуйчатые и листоватые агрегаты образованы мелкими чешуйками и листоч-

ками слюд или слюдоподобных минералов (биотита, мусковита, талька, хлорита) и легко расщепляются по спайности и сланцеватости перочинным ножом или иглой. Землистые массы внешне напоминают рыхлую почву. Они образованы микроскопическими зернами или чешуйками и легко растираются между пальцами (каолин, бурый и красный железняк, пиролюзит).

Бурые железняки, арагонит, сферосидерит и некоторые другие минералы встречаются в виде горошинных масс. Если горошинки имеют концентрически-скорлуповатое строение (наподо-



Рис. 26. Схема образования сталактитов и сталагмитов

бие детской игрушки «яичко в яичке»), то их называют оолитами, или сферолитами. При радиально-лучистом строении игольчатые и шестоватые кристаллы расходятся из одной точки.

Натечные формы могут иметь вид сосулек и почек, образующихся в пустотах при быстром уходе (стекании или высыхании) избытка растворителя, свертывании (коагуляции) растворенного вещества и выделении из раствора газообразного вещества (CO_2). Размеры сосулек (по длине и толщине) меняются в широких пределах: от тонких как сердцевина карандаша, до толстых как бревно. Сосульки, прикрепленные к потолку пещеры, называют сталактитами, а растущие им навстречу — сталагмитами (рис. 26). Почки бывают размером от булавочной головки (в виде накипи) до голубинового яйца и больше. Поверхность почек обычно гладкая и блестящая (у окислов железа) или пупырчатая (у магнезита и малахита). В разрезе строение скорлуповатое и одновременно радиально-лучистое.

Оригинальными агрегатными формами являются секретиции, образующиеся в результате концентрически послойного заполнения пустот (от периферии к центру) кристаллическим или аморфным веществом, и дендриты — древовидные налеты по стенкам трещин.

Цвет минерала и его порошка. При рассмотрении минерала прежде всего бросаются в глаза его внешняя форма и цвет.

Цвет зависит от химического состава минерала и входящих в него изоморфных и механических примесей, а также от числа и характера расположения ближайших соседей частицы в решетке, температуры образования, присутствия молекул воды и т. п. Например, медный купорос («синий камень») $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ окрашен в синий цвет. Если удалить из него воду путем нагревания (в пробирке), то он обесцветится и превратится в белый порошок, а после прибавления воды сразу же снова посинеет.

А. Е. Ферсман различает три вида цвета: идиохроматический, аллохроматический и псевдохроматический.

Идиохроматический, или собственный, цвет минерала зависит от его химического состава и изоморфных примесей. Так, малахит яблочно-зеленого цвета, а цинковая обманка медово-желтого цвета меняют свою окраску через коричневый цвет до черного благодаря присутствию изоморфной примеси закисного железа.

Аллохроматический, или чуждый, цвет зависит от механических примесей. Примером могут служить окрашенные разновидности кварца.

Псевдохроматический, или ложный, цвет вызывается оптическими явлениями в результате разложения белого цвета на составляющие, интерференции лучей при отражении от внутренних плоскостей минерала и дифракции. Классическим примером являются голубовато-синеватые и зеленоватые переливы у разновидности полевого шпата — лабрадора.

Побежалость. Побежалость минерала является одним из примеров цвета, который зависит от разложения и интерференции лучей в тонкой пленке окислов халькопирита, каменного угля, нефти, сурьмяного блеска и закаленной стали. У первых трех минералов она имеет радужный отлив, у последних двух — темно-синий цвет (цвет вороньего крыла). По цвету побежалости отличают сходные минералы (халькопирит и пирит) и определяют температуру отпуска и закалки стали.

Порошок минерала обычно окрашен в белый цвет или в очень бледный тон цвета минерала. Но есть такие минералы, цвет порошка которых точно соответствует цвету самого минерала или резко от него отличается. Чтобы не дробить каждый раз минерал при определении цвета его порошка, проводят минералом по неглазированной поверхности фарфоровой пластинки или трубки. При этом на белой поверхности фарфора минерал оставит след, который называют чертой. Если черту растереть пальцем, то хорошо виден цвет порошка. Цвет черты позволяет, например, различать темноокрашенные железняки: у магнитного железня-

ка черта черная, у хромистого — темно-бурая, у красного — вишнево-красная и у бурого — желто-бурая.

Блеск. При падении лучей на поверхность минерала часть лучей отражается, часть поглощается, а часть преломляется и отражается от внутренних плоскостей; при этом наблюдается явление блеска.

Основные видов блеска два: металлический и неметаллический.

Металлический блеск наблюдается у самородных металлов, сернистых соединений и некоторых окислов, которые блестят как свежая поверхность среза олова, свинца или полированная поверхность стали.

У большинства минералов наблюдается неметаллический блеск, который подразделяют на стеклянный, шелковистый, перламутровый и т. п.

Стеклянный блеск напоминает блеск стекла и наблюдается у галоидных соединений, карбонатов и силикатов. У минералов черного цвета этот блеск называют смоляным. Блеск более сильный, чем у стекла, называют алмазным или сильным стеклянным (как у цинковой обманки, циркона).

Жирный или жирноватый блеск напоминает блеск смазанной жиром поверхности. Такую поверхность имеет свежий излом серы, кварца, нефелина, оливина. Если жирный блеск имеет тусклый вид, то его называют восковым (как у опала, халцедона).

Шелковистый блеск наблюдается у тонковолокнистых или тонкочешуйчатых агрегатов (как хризотил-асбест и филлит¹).

Перламутровый блеск, напоминающий блеск внутренней поверхности двусторчатых раковин, характерен для талька, мусковита, флогопита.

Спайность и излом. Спайность — это способность минерала раскалываться по определенным кристаллографическим плоскостям в одном или нескольких направлениях. Она зависит от внутреннего строения минерала. Эти направления (плоскостей) всегда параллельны плоским сеткам с наиболее сближенными — густо сидящими — узлами решетки. Например, у графита, слюд и слюдopodobных минералов атомы и сложные анионы расположены наиболее густо — слоями, как бы этажами. Поэтому у них спайность развита в одном направлении. У полевых шпатов таких направлений два, у карбонатов и каменной соли — три, у плавленого шпата — четыре, у цинковой обманки — шесть. Спайность проявляется в образовании более или менее гладких поверхностей раскола. Она тем совершеннее, чем ровнее и глаже плоскости раскола. Например, у слюды спай-

¹ Метаморфическая горная порода, состоящая из микроскопических чешуек слюдяных минералов.

ность весьма совершенна, так как она расщепляется на тончайшие (до 0,01 мм и меньше) листочки с зеркальными поверхностями. Различают четыре степени совершенства спайности: весьма совершенную (у слюды), совершенную (у полевых шпатов), хорошую (у амфиболов и пироксенов) и плохую (у кварца); у кварца она практически отсутствует.

Поверхность излома или излом может наблюдаться в виде ступеньки, раковины, занозы, зерна, горошины (полусферы), крючочков и т. д. У кальцита и свинцового блеска излом ступенчатый, так как характер поверхности излома напоминает косые и прямые ступеньки. У кварца и серы — раковистый, так как напоминает выпуклую или вогнутую поверхность раковины. Агрегаты игольчатого и шестоватого строения характеризуются занозистым изломом; агрегаты кальцита в виде мрамора — зернистым, а рыхлые агрегаты — землистым.

Твердость. Способность минерала оказывать сопротивление царапающему усилию называют твердостью. Твердость, как и прочие физические свойства, особенно спайность, зависит от строения кристаллической решетки. Всем известно резкое различие твердости у разновидностей углерода: алмаза и графита. Первая из них царапает все минералы и сплавы, а вторая — очень мягкая, пишет, жирная на ощупь и марают руки. Это различие объясняется неодинаковым расположением атомов углерода в кристаллах. У алмаза атомы углерода расположены как бы в вершинах кубического четырехгранника (тетраэдра); у графита они расположены слоями как бы в вершинах шестигранной призмы и в центрах оснований (см. рис. 15, б).

Все минералы по твердости объединяют в 10 групп. За образцы (эталоны) твердости по Ф. Моосу приняты следующие минералы: 1) графит; 2) гипс; 3) кальцит; 4) плавленый шпат; 5) апатит; 6) ортоклаз; 7) кварц; 8) топаз; 9) корунд и 10) алмаз. Порядковому номеру минерала соответствует его твердость. Твердость широко распространенных минералов находится между 1—7.

Минералы с твердостью единица жирны на ощупь; с твердостью два легко чертятся ногтем; с твердостью три легко царапаются иголкой; с твердостью четыре и пять царапаются иголкой при слабом и сильном нажиме; с твердостью шесть слабо царапают стекло; с твердостью семь легко царапают стекло; с твердостью восемь известно менее десятка минералов; корунд и алмаз являются единственными минералами с твердостью девять и десять.

§ 15. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Минералы, как естественные вещества, обладающие некоторыми химическими и физическими свойствами, используемые для различных практических целей и образующиеся в тех или иных

природных условиях, можно классифицировать соответственно типу химических соединений, физическим, технологическим свойствам, генезису и т. д.

Применяя один из указанных классификационных признаков, получим химическую, технологическую, генетическую и другие классификации минералов. Выбор классификации зависит от цели, с которой классифицируются минералы.

В описательной минералогии, т. е. при систематическом обзоре всех минеральных видов, технологическая и генетическая классификации ограниченно приемлемы, так как многие минералы в этом случае должны быть отнесены к разным группам и их пришлось бы рассматривать несколько раз. Этого недостатка лишена химическая классификация, которая принята и в нашем учебном пособии.

Соответственно этому в последующих параграфах книги рассматриваются: самородные элементы, сернистые соединения, окислы, галогениды, карбонаты, сульфаты, вольфраматы, фосфаты и силикаты.

§ 16. САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К самородным элементам относятся около 50 видов минералов, в основном редких. По массе, считая в том числе и газообразные элементы воздуха, они составляют около 0,1% веса земной коры. Практическое значение некоторых самородных элементов (сера, алмаз, графит, железо, платина, золото) исключительно велико. С них и начнем рассматривать класс самородных элементов.

Сера (S). Сера в чистом виде встречается редко. Обычно она содержит механические примеси глинистых и органических веществ, тонкораспыленные капельки нефти и пузырьки газов, а иногда изоморфные примеси селена (1—5%), теллура, мышьяка и, как исключение, таллия.

Сера может существовать в виде двух основных аллотропических модификаций: альфа-сера ромбической системы и бета-сера моноклинной системы. Первая разновидность плавится при 112,8°, а вторая — при 119,95°. Обе разновидности переходят друг в друга при 95,5°.

Природная сера существует в виде альфа-модификации и хорошо растворяется в сероуглероде. Кристаллы имеют дигипирамидальную форму в виде комбинаций нескольких простых форм (рис. 27) и редко тетраэдрическую. Агрегаты представлены сплошными зернистыми массами и вкраплениями полупрозрачного и непрозрачного янтарного, желтого, бурого и коричнево-черного цвета (от примесей органических веществ). Блеск — жирноватый. Твердость — 2 и более. Излом — мелко раковистый.

Характерные и отличительные признаки. Сера хорошо растворяется в сероуглероде, легко воспламеняется от зажженной спички и горит очень коротким синим пламенем. При нагревании растрескивается благодаря большому коэффициенту расширения и расширению содержащихся газов. Если зажечь в кулаке кусочек серы размером 2—3 см³ и поднести его к уху, то ясно слышится треск. Полупрозрачные разновидности обладают зеленоватым оттенком и жирноватым блеском.

Образуется сера в процессе возгонки при извержении вулканов, вторичным путем при разложении пирита и гипса, а также в результате жизнедеятельности серосодержащих бактерий.

Вместе с серой встречаются: пирит, гипс, кальцит в виде известняка, глинистые минералы, аурипигмент с реальгаром, каменная соль, соли калия, нефть и др.

Месторождения. Крупнейшие месторождения серы в СССР находятся в Средней Азии и Среднем Поволжье. Ограниченное значение имеют месторождения аварской группы в Дагестане и Крыму. За рубежом сера имеется в США, Италии, Испании и некоторых других странах.

Серу в руде должно содержаться не менее 8%. К вредным примесям относятся мышьяк, селен, битумы.

Применение: при производстве серной кислоты и отравляющих веществ для борьбы с вредителями сельского хозяйства, при вулканизации каучука, при изготовлении черного пороха, спичек, серного ангидрида для бумажной промышленности.

Алмаз (C). Алмаз по-гречески называется адамас, что значит непреодолимый. Это название означает наивысшую твердость, физическую и химическую устойчивость. Встречается алмаз в виде кристаллов кубической системы (обычно в форме восьмигранника — октаэдра) и их обломков весом от сотых долей до нескольких граммов¹. Знаменитые алмазы Звезда Африки, или Куллинан, весит около 605 г, Эксельсиор — 194 г, Куи-Кур, или Гора Света, — 21 г, Орлов — 40 г и т. д.

Алмазы бывают прозрачные розовые, голубые, зеленые, желтые и даже черные. Блеск (сильный стеклянный или алмазный) зависит от показателя преломления (2,40—2,48), но может быть



Рис. 27. Кристаллы серы

¹ Обычно вес драгоценных камней выражается не в граммах, а в каратах. Один карат равен 209 мг.

усилен искусственной огранкой. Граненые алмазы называются бриллиантами (рис. 28). В них белые лучи света не только рассеиваются, но и разлагаются на составляющие, давая красивую игру разноцветных огней.

Как указывалось выше, алмаз обладает наивысшей твердостью. Он в 1000 раз тверже кварца, который легко царапает

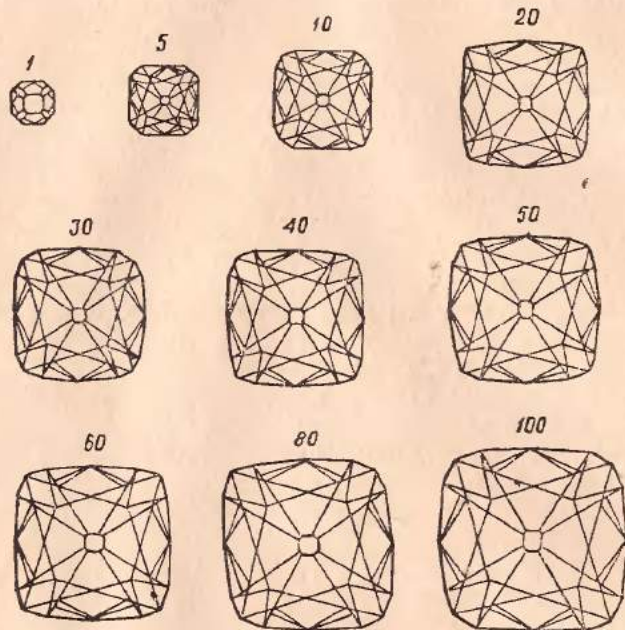


Рис. 28. Бриллианты весом от 1 до 100 каратов

стекло, и в 150 раз тверже корунда, который едва уступает по твердости резцу из сверхтвердого сплава. Спайность — средняя в четырех направлениях по граням восьмигранника (октаэдра).

На мировом рынке различают два типа алмазов: ювелирные и технические (75—85% общей добычи).

Ювелирные, или ограночные, алмазы — прозрачные цветные или бесцветные — применяются в качестве украшений.

Технические алмазы содержат видимые загрязнения, большей частью непрозрачны и состоят из мелких кристалликов.

К техническим алмазам относят три основные разновидности:

Борт — кристаллы с загрязнениями, трещинами, включениями и т. д. Его употребляют для резки стекла, нанесения штрихов при градуировке стеклянных мерных сосудов, изготовления пластинок с калиброванным отверстием (фильеров), полу-

чения тонкой пыли, идущей на шлифовку и полировку драгоценных камней, в том числе и алмазов, металлических и каменных изделий.

Карбонадо — темно-зеленые, коричневые и черные алмазы тонкозернистого строения и большой прочности. Применяются в буровых колонках при бурении кварцитов, гранитов и других очень крепких горных пород.

Балласы — шарообразные алмазы с характерным тонкозернистым наружным слоем. По прочности занимают промежуточное место между борт и карбонадо. Применяются, как и карбонадо, при бурении горных пород.

Промышленное содержание алмазов в 1 м³ руды — от 0,07 до 75 каратов.

Образуется алмаз магматическим путем вместе с графитом, оливином, хромитом, магнетитом, заполняя в земной коре почти вертикальные цилиндрической формы отверстия (трубки взрыва). Кроме того, алмазы накапливаются в россыпях при разрушении и размыве магматических месторождений. В россыпях спутниками алмаза являются гранаты, горный хрусталь и другие силикаты, иногда платина и золото.

Характерные и отличительные признаки. Исключительно высокая твердость, сильный блеск. После облучения ультрафиолетовыми лучами светится (люминесцирует) голубовато-синим, иногда зеленоватым цветом. Прозрачен для рентгеновских лучей, чем отличается от подделок из стекла. В атмосфере кислорода при 720° горит с образованием двуокиси углерода. В пламени вольтовой дуги при 3000° переходит в графит. Легко разъедается расплавленной содой с калийной селитрой.

Месторождения. В СССР за последние годы открыты многочисленные богатые россыпные и коренные месторождения алмазов в Якутии и на западных склонах Урала. За рубежом богатейшие месторождения находятся в Африке: Бельгийское Конго дает более 60% мировой добычи; государство Гана и Южно-Африканский Союз дают почти остальное количество алмазов. Из россыпей добывают алмазы в Бразилии, Индии, Бирме и на о. Борнео.

Графит (С). В чистом виде графит встречается редко. Обычно он содержит механические примеси кварца, глинистых и других минералов (до 10—20% и более).

Кристаллы гексагональной системы пластинчатой формы встречаются также редко. Обычно образуются плотные мелкозернистые и мелкочешуйчатые массы, реже — волокнистые и игольчатые агрегаты.

Цвет графита — от стально-серого до железо-черного. Блеск — матовый, полуметаллический и металлический у круп-

ночешуйчатых разновидностей. Твердость равна единице; жирный на ощупь. Спайность — совершенная в одном направлении; наблюдается невооруженным глазом у явно чешуйчатых разновидностей. Чешуйки неупругие, как у молибденита, талька, хлорита и других слюдоподобных минералов.

Графит обладает более высокой теплопроводностью, чем медь и алюминий; по электропроводности отнесен к проводникам первого рода. Химически инертен, но энергично взаимодействует с калийной селитрой при нагревании и растворяется в расплавленном железе с образованием карбида железа.

Характерные и отличительные признаки. Очень мягкий; жирный на ощупь. По цвету и блеску похож на молибденит, сурьмяный блеск, свинцовый блеск, но не имеет голубоватого оттенка. При нагревании смесь порошков графита и калийной селитры дает вспышку.

Известны два основных типа образования природного графита: метаморфический и магматический. Искусственный графит образуется при доменном процессе.

Месторождения. Месторождения графита известны на Украине, Урале, в Восточной Сибири, Хабаровском крае. За рубежом: в Корее, Германии, США, Канаде, на о. Цейлон и др.

Применение. Графит широко применяется при изготовлении тиглей для выплавки сталей, щеток для электрических машин, электродов для сталеплавильных печей, в электрохимической и электрической промышленности, в литейном производстве с целью предохранения металлической отливки от пригорания к форме, в качестве краски («аморфный») и смазочного материала вместе с маслом (крупночешуйчатый), при изготовлении карандашей, черного пороха, в паровых котлах в качестве антинакипного вещества и, наконец, в урановых котлах-реакторах.

Промышленное содержание графита, в зависимости от назначения, колеблется от единиц до 90%. Вредные примеси: легкоплавкие окислы натрия, калия и железа, легко разлагающиеся карбонаты (кальцит), пирит, легколетучие вещества (не более 3%) и механические твердые примеси в виде кварца и других минералов.

Железо (Fe). Содержит примеси никеля, кобальта, марганца, меди и хрома в виде природных сплавов, углерода в виде когенина Fe_3C , серы в виде троилита FeS , фосфора в виде штрейберита $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{P}$, пирротина и др.

Встречается обычно в виде сплошных мелких зерен и вкраплений; очень редко — в виде мелких кристаллов кубической системы. Цвет — железно-черный и стально-серый. Твердость 4—5. Излом — крючковатый и мелкозернистый. Блеск в свежем изломе — металлический. Спайность — совершенная по кубу.

По месту образования известно железо земное (теллуристое) и внеземное, или космическое (метеоритное).

Метеоритное железо отличается от земного видманшtedтовыми фигурами травления (рис. 29). Метеоритное железо представляет только научный интерес.

Земное (теллуристое) железо образуется магматическим путем вместе с минералами основных и ультраосновных горных пород: основными плагиоклазами, оливином и пироксенами.

Существует три аллотропические разновидности (полиморфические модификации) железа, которые различаются внутренним строем или расстояниями между частицами (атомами) железа: альфа-железо, гамма-железо и высокотемпературное альфа-железо (см. рис. 14).

Характерные и отличительные признаки. До 768° железо действует на магнитную стрелку, на воздухе легко ржавеет, особенно при смачивании кислотой, в водном растворе медного купороса осаждает на себе медь, легко растворяется в азотной кислоте и не растворяется в концентрированной серной кислоте.

Месторождения. Земное железо (самородное) в больших количествах встречается у западного берега Гренландии (на о-ве Диско), в базальтах Винницкой и Ровитенской областей Украины, в Западной Германии (вблизи г. Касселя), в Индонезии (на о. Борнео) и в Карелии. Практическое значение самородного железа ограничено.

Золото (Au). В химически чистом виде золото встречается исключительно редко. Оно обычно содержит изоморфные примеси серебра (от 4 до 15%, реже до 40% и больше), а также элементы группы платины. Система — кубическая.

Кристаллы в виде восьмигранников, ромбических двенадцатигранников и кубов встречаются редко. Обычно образуется в виде зерен от микроскопических размеров до 0,5—1,5 см, редко до нескольких десятков сантиметров в виде самородков. Самородок весом в 36 кг был найден в 1842 г. на Южном Урале. Этот самородок хранится в музее Ленинградского горного института. Три самых больших самородка в мире, найденные в Австралии, весят 68,98; 69,67 и 93,3 кг. Кроме того, золото образуется в виде ветвистых скоплений кристаллов (дендритов), пластинок и чешуек.



Рис. 29. Фигуры травления метеоритного железа

Твердость золота — 2,5—3. Удельный вес его, в зависимости от количества примесей, колеблется от 12 до 19,3. Золото очень ковко и тягуче; из 0,06 г можно вытянуть проволоку длиной в 157 м; пластинка, расплюснутая до толщины в 0,0002 мм, просвечивает зеленым цветом. Плавится при 1063°. Излом — крючковатый. Цвет — золотисто-желтый у сравнительно чистого золота, а у богатых серебром разностей — от бледно-желтого до серебристо-белого (электрум). Блеск — металлический.

Характерные и отличительные признаки. По окраске золото похоже на выветривающиеся чешуйки биотита золотисто-бронзового цвета, мелкие вкрапления пирита и халькопирита. Однако золото не раскалывается на чешуйки, подобно биотиту, имеет меньшую твердость, чем пирит, и не крошится, как халькопирит.

Золото не окисляется и поэтому химически весьма устойчиво на поверхности земли; растворяется в царской водке (смесь 3 частей HCl и 1 части HNO₃), цианистом калия KCN, ртути, бромной и хлорной воде.

Разновидности: электрум — изоморфная смесь золота и серебра (содержание серебра — от 15 до 30—40 и даже до 50%).

Золото образуется в гидротермальных жилах, начиная с поверхности земли и до самых больших глубин; накапливается в россыпях и конгломератах, т. е. в древних сцементированных россыпях песчано-глинистых и окатанных обломков на склонах гор, в речных долинах и на берегах морей.

В жилах золото встречается в виде вкраплений в кварце, кальците, барите, лимоните (так называемое рудное золото). «Связанное» золото находится в пирите, арсенопирите, халькопирите, свинцовом блеске, цинковой обманке и других сернистых соединениях в рассеянном, тонко распыленном (дисперсном) состоянии.

Золото, добываемое из жил, называют коренным, а из конгломератов и россыпей — россыпным.

Постоянными спутниками россыпного золота являются: кварц и незначительное количество магнетита и других минералов с большим удельным весом. В конгломератах Ю. Африки золото встречается вместе с алмазами.

Россыпное золото более высокопробное, так как оно содержит весьма незначительные количества примесей, особенно серебра.

Месторождения. Большие и богатые месторождения находятся на Среднем и Южном Урале, в Восточной и Северо-Восточной Сибири, Дальневосточном крае, а также на Алтае, в Казахстане, Средней Азии и на Северном Кавказе. За рубежом: в Трансваале (Южная Африка; здесь золото добывается в шахтах из конгломератов на глубине 2 км), в Западной Австра-

лии, Новой Зеландии, на Аляске, в Калифорнии, Индии, Канаде, Южной Америке.

Применение. Золото применяется в качестве валюты и денежной единицы. Кроме того, золотом покрывают металлические (серебрянные, медные и др.) изделия путем электролиза комплексной соли КА и (CN)₂. Сплав используют в ювелирном и зубопротезном деле. Для получения рубиново-красного стекла и нанесения узоров на фарфор используют тонкораспыленное (дисперсное) золото.

Минимальное промышленное содержание золота в коренных рудах колеблется от 1 до 10 г/т.

Платина (Pt). Как и все самородные металлы, платина содержит примеси многих элементов, прежде всего железа и металлов группы платины. Впервые найдена в Колумбии в провинции Чако (Южная Америка) и вывезена в Испанию в 1735 г.

Встречается в природе в виде зерен, пластинок, чешуек; иногда образует самородки весом до 9 и 13 кг. Кристаллы образуются исключительно редко. Цвет — серебристо-белый, серый и темно-серый. Чем темнее окраска платины, тем больше в ней содержится примесей, особенно железа.

Твердость сравнительно чистых разновидностей 2—3 (такая же, как и золота); при большом содержании примесей увеличивается до 4—5. Удельный вес 14—19, чистой платины — 21. Температура плавления 1774°.

Характерные и отличительные признаки. Платина растворяется только в свежеприготовленной царской водке. Тугоплавкая, ковкая. Если содержит много железа (до 20%, ферроплатина), то действует на магнитную стрелку. По цвету похожа на серебро, но отличается большей твердостью и значительно меньшей электропроводностью, тугоплавкостью, нерастворимостью в азотной кислоте.

Платина образуется магматическим путем вместе с хромитом, оливином, диопсидом, халькопиритом, пиритом, пирротинном, магнетитом. При механическом разрушении магматических месторождений и последующем переносе и отложении продуктов разрушения образуются россыпи. Очень часто россыпи платины содержат золото. В свое время, при добыче золота испанцами в Колумбии, платина считалась вредной механической примесью и ее ввоз в Испанию был даже запрещен.

Месторождения. На Северном и Среднем Урале (между 57 и 69° северной широты), в Красноярском крае (в низовьях Енисея — Норильское), на Кольском п-ове (Монче-Тундра), в Армении (у озера Севан). За рубежом: в Канаде, Колумбии, Южной Африке.

Применение. Первоначально на Урале платина применялась для изготовления цепей, обручей для бочек и других предметов хозяйственного обихода. В настоящее время она применяется в ювелирном и зубопротезном деле; в рентгентехнике (в виде солей); в химической промышленности (в губчатом виде) в качестве катализатора; для изготовления лабораторной посуды (тиглей, реторт, спиралей для нагрева муфельных печей) и т. д.

Перед употреблением платину подвергают аффинажу, т. е. отделению от примесей растворением и последующим осаждением.

Промышленное содержание металла в коренных чисто платиновых рудах — от 2 до 5 г/т; в коренных медно-никелевых рудах — от 0,2 до 0,4 г/т (в месторождениях СССР и Канады достигает 50 г/т); в россыпях — от 0,1 до 0,5 г на 1 т «песков».

Серебро (Ag). Серебро содержит изоморфные примеси золота, платины, меди и полуметаллов: сурьмы, мышьяка и висмута. Серебро входит в состав изоморфных примесей золота и свинцового блеска. Система — кубическая.

Серебро встречается в природе в виде зерен, чешуек, пластинок, проволочек, дендритов и самородков больших размеров. Самородок весом до 1420 кг был найден в Чили и весом в 5000 кг — в Саксонских горах (Германия). Кристаллы образуются редко.

Цвет на свежем срезе — серебристо-белый с сильно металлическим блеском.

Поверхность самородков серебра обычно покрыта тонкой пленкой арсенида Ag_2S и окрашена в серый, темно-серый и даже черный цвет с матовым блеском.

Твердость 2—3. Удельный вес 10—11. Излом крючковатый. Плавится при 960° .

Характерные и отличительные признаки. Очень хорошо куется. По электропроводности и теплопроводности стоит на первом месте. При прокаливании разбрызгивается. Легко растворяется в азотной кислоте и затем с соляной кислотой моментально образует белый творожистый осадок $AgCl$, чем и отличается от платины.

Медная проволока в азотнокислом серебре (ляписе) покрывается серебром. С золотом образует (в естественных и искусственных условиях) непрерывный изоморфный ряд (твердый раствор).

Самородное серебро образуется обычно в зоне окисления свинцово-цинковых, свинцово-медных, цинково-медных, медно-никеле-кобальтовых месторождений из твердых растворов или сернистых, сурьмяных и мышьяковых соединений серебра.

Месторождения. Самородное серебро встречается в свинцово-цинковых рудах Алтая и Забайкалья, а также Верхнего Озера в США. Главная масса серебра добывается из полиметаллических руд Алтая, Северного Кавказа, Забайкалья, Ка-

захстана, Таджикистана и ДВК. В зарубежных странах мировой известностью пользуются месторождения Норвегии, Канады, США и Мексики.

Основная масса серебра извлекается из свинцового блеска и шламов электролитической очистки меди.

Промышленное содержание серебра в серебряных рудах — не менее 200 г/т. В остальных рудах, из которых серебро извлекается попутно, содержание его может колебаться от нескольких десятков до сотен граммов на тонну руды.



Рис. 30. Самородная медь в виде животного и дерева

Применение. Серебро применяется в качестве государственной валюты, для изготовления ювелирных изделий, нанесения отражающего слоя на стекло зеркал и оптических призм, служит заменителем олова в сплавах (2% серебра могут заменить 30% олова). Галогенные соединения применяют в фото-кинопромышленности для получения светочувствительных пленок, пластинок и бумаги. В тонкораспыленном состоянии металлическое серебро обезвреживает воду, содержащую различные микроорганизмы.

Медь (Cu). Нередко медь встречается в чистом виде. Система — кубическая. Обычно содержит механические и изоморфные примеси серебра, железа и золота. Известна человеку с древнейших времен (бронзовый век).

Медь, как и ранее рассмотренные самородные металлы, образуется в виде пластинок, дендритов (ветвистые сростки кристаллов — рис. 30) и отдельных самородков весом до 300—500 кг, очень редко — до 500 и 1000 кг. Кристаллы образуются редко.

Цвет неокисленной меди и на свежем срезе — характерный красный. Естественная поверхность обычно покрыта пленкой окислов бурого и черного цвета и зеленым налетом водного карбоната — малахита. Твердость 2,5—3; легко чертится и режется ножом. Удельный вес — около 9. Излом — крючковатый. Блеск —

тусклый или матовый, а на свежем срезе — сильный металлический. Температура плавления 1083° .

Характерные и отличительные признаки. Медь очень ковкая и тягучая. Это свойство меди кушари-медники стран Востока используют при изготовлении цельнокованой посуды для домашнего обихода. По теплопроводности и электропроводности занимает второе место после серебра. Легко растворяется в разбавленной азотной кислоте с выделением окислов азота. На поверхности земли и на небольшой глубине легко соединяется с кислородом и углекислым газом воздуха; при этом на поверхности металла образуется пленка (налет) зеленого, бурого или черного цвета. Очищенная медь осаждает на себе серебро из раствора азотнокислого серебра. Медь внешне похожа на золото, но отличается в полумину меньшим удельным весом и растворимостью в азотной кислоте.

Происхождение — гидротермальное, вторичное (из сульфидов и окислов меди) и непосредственно магматическое. Из нерудных минералов медь сопровождает кварц, кальцит, хлорит и другие силикаты и малахит.

Месторождения. На Урале, в Узбекистане, Казахстане. За рубежом: в США (на южном берегу Верхнего Озера).

Из общего количества ежегодной добычи на самородную медь приходится 5—10%.

Применение. В экономике любой страны медь занимает второе место после железа и широко используется в машиностроении, в электрической и химической промышленности (при изготовлении проводов, арматуры, перегонных котлов, холодильников, змеевиков), для чеканки монет и различных бытовых целей в чистом виде или в виде сплавов с оловом, алюминием, цинком и другими металлами.

Промышленное содержание самородной меди не регулируется, так как она добывается попутно с сульфидными рудами.

§ 17. СЕРНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ИЛИ СУЛЬФИДЫ

Сернистые соединения по количеству минералов (около 350) и входящих в них химических элементов (около 40) занимают второе место после минералов группы силикатов, по весу же в земной коре (0,15%) играют подчиненную роль. Несмотря на это, многие из них представляют собой промышленно важные минералы, особенно пирит и сульфиды цветных металлов.

Укажем на их общие или близкие химические и физические свойства и условия образования в природе.

Из описанных ниже 9 минералов сульфиды на поверхности земли или на небольшой глубине представляют собой неустойчивые соединения (кроме киновари). Под действием кислорода,

углекислого газа и воды они превращаются в окислы, гидроокислы, карбонаты и гидрокарбонаты. Почти все сернистые соединения обладают эндокрипцией, т. е. способностью содержать в себе в рассеянном состоянии сверхредкие («рассеянные») элементы: таллий, галлий, индий, германий и самый молодой — рений (открыт советскими учеными в 1925 г.). Сверхредкие элементы самостоятельных минералов не образуют, а рассеиваются в решетке сульфидов. Например, атомы индия, галлия, германия и кадмия рассеяны в сфалерите, таллия — в пирите, рения — в молибдените и т. д.

Блеск сульфидов — металлический и реже — неметаллический (алмазный и перламутровый). Твердость — от 1 до 4 и очень редко равна или больше 6. Спайность — совершенная и в отдельных случаях плохая, т. е. практически отсутствует. Удельный вес колеблется от 3,5 до 8,25.

Сульфиды образуются в земной коре обычно гидротермальным путем, всегда вместе с кварцем, реже — с кальцитом и еще реже — с баритом. Из рудных минералов халькопирит сопутствует пириту, молибдениту и золоту. Свинцовый блеск всегда сопровождают цинковая обманка и серебро в самородном виде и в соединении с серой. Киноварь почти всегда встречается вместе с сурьмяным блеском и флюоритом, висмутовый блеск — с молибденитом, золотом и халькопиритом. Аурипигмент наблюдается обычно только с родственными по химическому составу реальгаром.

Практическое значение сульфидов велико. Они являются рудами на редкие, малые цветные и благородные металлы.

Пирит, или серный колчедан (FeS_2). В пирите содержится 53,4% S, остальное — железо. Примеси: золото, медь (до 3%), серебро и другие элементы. Система — кубическая.

На поверхности земли или на небольшой глубине пирит превращается в бурый железняк; при этом кристаллы сохраняют свою прежнюю форму (псевдоморфоза бурого железняка по пириту).

Пирит встречается в виде сплошных зернистых масс и кристаллов в форме куба и пентагон-додекаэдра со штрихами на гранях (рис. 31, а), октаэдра и комбинаций этих форм. Кристаллы весом от долей грамма до 32 кг образуют в руде отдельные вкрапления и скопления.

Цвет пирита — латунно-желтый, иногда с зеленоватым оттенком (в присутствии селена). У медистого пирита на свежем изломе может наблюдаться побежалость, как у халькопирита. Блеск — металлический. Черта — темно-зеленая, почти черная. Твердость — 6,5. Царапает стекло. Это самый твердый минерал среди сернистых соединений. Удельный вес — около 5. Излом — мелкокоралловый или зернистый. Разлагается при $600-689^{\circ}$.

Характерные и отличительные признаки. Штрихи на гранях куба и пентагондодекаэдра; большая твердость. Тонкоизмельченный порошок полностью растворяется в азотной кислоте (HNO_3).

Разновидностью пирита является марказит (ромбической системы), который образует копьевидные, гребенчатые (наподобие гребня петуха) и игольчатые скопления кристаллов (рис. 31, б). Игольчатые кристаллы образуют шаровидные тела с радиально-лучистым строением.

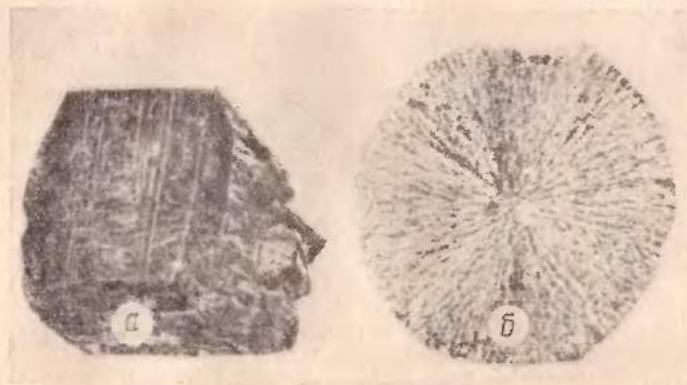


Рис. 31. Пирит в виде кристалла со штрихами на гранях (а) и марказита радиально-лучистого строения (б)

Пирит образуется тремя основными путями: гидротермальным, осадочным (особенно его разновидность — марказит) и метаморфическим. Главная масса пирита образуется гидротермальным путем вместе с сернистыми соединениями, золотом, кварцем, кальцитом и баритом.

Пирит нередко содержится в рудах железа и ископаемых углях, ухудшая их качество; марказит — в сланцеватых глинах и глинистых сланцах и при разложении превращается в алюминиевые квасцы.

Месторождения. На Урале, в Азербайджане и т. д. За рубежом — в Испании и Италии.

Применяется пирит при производстве серной кислоты, а также является рудой на золото и медь.

Халькопирит, или медный колчедан (CuFeS_2). Содержит 34,6% Cu, 34,9% S, остальное — железо. Примеси: золото, серебро, таллий, германий и олово. Система — квадратная.

На поверхности земли и на небольшой глубине неустойчив и превращается в малахит и азурит, бурый железняк и вторичные

сульфиды, из которых наиболее важное промышленное значение имеет халькозин.

Халькопирит образует сплошные зернистые массы и включения. Кристаллы встречаются редко. Цвет латунно-желтый с зеленоватым оттенком. При первоначальном окислении покрывается тонкой пленкой окислов и вторичных сульфидов с радужной окраской (побежалостью). Блеск — металлический. Твердость 3,5—4. Легко царапается иглой и при этом крошится. Удельный вес — 4 и больше. Черта — черная с зеленоватым оттенком. Излом — мелкозернистый.

Характерные и отличительные признаки. От сходного с ним пирита отличается: зеленоватым оттенком, радужной побежалостью, малой твердостью, крошением при царапании иглой. Мелкие вкрапления, похожие внешне на золото, легко растворяются в царской водке и окисляются с выделением серы. Халькопирит растворяется в азотной кислоте с образованием зеленого раствора. После прибавления гидроокиси аммония выпадает бурый осадок гидроокиси железа, а раствор окрашивается ионами меди в синий цвет.

Образуется халькопирит в различных природных условиях; присутствует в небольших количествах в магматических медно-никелевых сульфидных рудах.

В качестве спутника других сульфидов или существенной составной части халькопирит встречается во всех гидротермальных месторождениях, главным образом в мезотермальных и эпитермальных жилах и в метасоматических месторождениях. В экзогенных условиях халькопирит неустойчив, однако и в этих условиях он образуется среди осадочных пород при сероводородном брожении.

Месторождения. Карпушинское, Левихинское и другие колчеданные месторождения на Урале; контакто-метасоматическое месторождения Турьинской группы на Урале; аналогичные месторождения Минусинского района в Хакаской АО; Джезказганское месторождение; Коунрадское месторождение вкрапленных медных руд в Казахстане и др. Из числа недавно открытых уникальным месторождением является Николаевское в предгорьях Алтая.

Применение. Руда на медь, иногда на никель, платину, золото, серебро, молибден.

Промышленное содержание меди в руде 1—2% и больше, а для очень крупных месторождений вкрапленных руд — 0,5%.

Халькозин, или медный блеск (Cu_2S). Это самый богатый медью минерал: 79,9% Cu, остальное — сера. Обычные примеси: серебро, иногда железо, никель, золото. Система — ромбическая.

В зоне окисления халькозин неустойчив и переходит в окислы и карбонаты меди.

Встречается в виде сплошных тонкозернистых масс. Кристаллы образуются сравнительно редко. Цвет — черно-свинцово-серый. Блеск — металлический; у окисленного минерала — матовый. Твердость 2—3. Удельный вес — от 5,5 до 6.

Характерные и отличительные признаки. На свежем срезе минерал блестит; растворяется в кислотах. В азотной кислоте раствор окрашивается в зеленый цвет. Черта — темно-серая, блестящая.

Халькозин — продукт изменения халькопирита — образуется в зоне вторичного сульфидного обогащения вместе с другими вторичными сульфидами — ковеллином и борнитом.

Спутники: пирит, халькопирит, малахит, серебро, золото, кварц и др.

Применение. Руда на медь. Из 85% добываемых сульфидов на халькозин приходится 50% всей массы руды. В этом и состоит его основное экономическое значение.

Залегает в тех же месторождениях, что и пирит и халькопирит.

Арсенопирит, или мышьяковый колчедан (FeAsS). Содержит 46% As, 19,7% S, остальное — железо. Примеси: тонкораспыленные вкрапления золота, иногда до 5% Ni, до 4% Sb, до 3% Co. Кристаллизуется в моноклинической системе. На поверхности земли неустойчив, окисляется и присоединяет воду (гидратируется), превращаясь в минерал скородит $[\text{Fe}(\text{AsO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ грязно-зеленого или светло-бурого цвета.

Образует зернистые и сплошные массы и столбчатые, призматические и дипирамидальные кристаллы. Цвет — оловянно-белый до стально-серого. Блеск — металлический. Черта — серовато-черная. Твердость 5,5—6; хрупкий. Удельный вес — около 6.

Характерные и отличительные признаки. При прокаливании минерала в пробирке образуется издающий чесночный запах возгон As_2S_3 красного цвета, переходящего в блестящий серый. Разлагается в азотной кислоте с образованием серы и мышьяковой кислоты. Характерны также оловянно-белый цвет и большая твердость (при сильном нажиме слабо царапает стекло). Окисление сопровождается зелеными продуктами образования. Похож на висмутовый блеск, но отличается от него большей твердостью и отсутствием спайности.

Промышленное значение имеют гипотермальные месторождения, в которых наряду с арсенопиритом образуются вольфрамит, касситерит, висмутовый блеск, часто золото, кварц, кальцит, амфибол в виде актинолита, тальк, а также галенит, цинковая обманка, пирит и др. Промышленное содержание мышьяка в руде — не менее 2%; обычно разрабатывают богатые руды с содержанием 5—10, а иногда 25—30% мышьяка.

Месторождения. В СССР: на Урале, в Забайкалье, в Казахстане, в Средней Азии и других районах страны. За рубежом: в Швеции, США, Германии, Румынии и др.

Применение. Руда на мышьяк, часто на золото и кобальт. Мышьяк идет на изготовление отравляющих веществ для борьбы с вредителями сельского хозяйства (больше 75% продукции); применяется при изготовлении молочно-белого стекла и эмалей. В медицине используется в качестве лечебного препарата.

Молибденит, или молибденовый блеск (MoS_2). Содержит 60% молибдена, остальное — сера. Постоянной изоморфной примесью является рений. Система — гексагональная.

Встречается в виде включений, чешуек, листочков и розеток, редко сплошными массами. Цвет — свинцово-серый с голубоватым оттенком. Черта — серая, как у графита, но блестящая, иногда с зеленоватым оттенком. Твердость — 1 и больше; мягкий; пишет; жирный на ощупь. Спайность — совершенная по пинакоиду; чешуйки — не упругие. Блеск — металлический. Удельный вес 4,7—5. Разлагается при 790°.

Характерные и отличительные признаки. По цвету, блеску, твердости и спайности похож на графит, но отличается голубоватым оттенком и едким запахом горячей серы. По цвету и блеску похож на свинцовый и сурьмяный блеск (однако у первого — спайность в трех направлениях по кубу, а у второго — игольчатое и шестоватое строение).

Происхождение — гидротермальное и контактово-метасоматическое скарнового типа.

Спутники: кварц, пирит, халькопирит, нередко вольфрамит, реже — касситерит и золото, кальцит, шеелит и силикаты.

Месторождения. В Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии и на Кавказе. За рубежом: в Китае, США, Чили, Французском Марокко, Мексике, Норвегии, Финляндии и Северной Корее.

Промышленное содержание молибденита в руде — от 0,04 — 0,1 до 2—3%.

Применение. Руда на молибден, имеющий важное значение в черной металлургии при производстве специальных сталей (самозакаляющейся инструментальной и кислотоупорной), брони и в чистом виде. В виде сплава с вольфрамом заменяет в электропромышленности платину и чистый вольфрам. Окись MoO_3 используется в качестве катализатора при крекинге нефти.

Галенит, или свинцовый блеск (PbS). Содержит 86,6% Pb, остальное — сера. Система — кубическая.

Примеси: почти всегда серебро¹ (особенно в мелкозернистых разновидностях — свинчаке), медь, кадмий и др. В зоне окисления легко превращается в сульфат и карбонат свинца. Корка

¹ Чаще всего в виде аргентита Ag_2S .

этих веществ обволакивает отдельные зерна свинцового блеска и защищает его от дальнейшего превращения.

Агрегаты — от плотных и мелкозернистых масс до крупнозернистых. Кристаллы в виде кубов, октаэдров и их комбинаций встречаются довольно редко.

Цвет минерала — свинцово-серый с голубоватым оттенком. Часто на гранях куба наблюдаются двойниковые штрихи в двух направлениях, образующие с пересекающимися ребрами куба штрихи под углом в 30 и 60° (см. рис. 12, в). Блеск — металлический. Твердость 2,5—3. Очень легко царапается иглой. При наклоне иглы под острым углом создается ощущение, что нагретая игла скользит по поверхности воска или стеарина. Удельный вес — 7,5. Спайность совершенная в трех направлениях по кубу, вследствие чего излом — ступенчатый.

Характерные и отличительные признаки. Щепотка порошка свинцового блеска в капле соляной кислоты выделяет сероводород легче, чем цинковая обманка. Ступенчатый излом. На гранях кристаллов наблюдается косая двойниковая штриховка.

Минерал образуется гидротермальным путем, главным образом при средних температурах, всегда вместе с цинковой обманкой (сфалеритом), аргентитом (который наблюдается в основном только под рудным микроскопом), пиритом, халькопиритом, кварцем, баритом или кальцитом, нередко с золотом.

Месторождения. На Северном Кавказе, в Алтайском крае, Таджикистане, Казахстане, на Урале (в пределах Башкирской АССР), на Дальнем Востоке, в Забайкалье. За рубежом: в США, Австрии, Германии, Чехословакии, Польше, Канаде, Норвегии и др.

Применение. PbS находит применение в радиотехнике в качестве детектора (полупроводника) и как руда на свинец и серебро. Промышленное содержание свинца в руде 3—5% и больше; при одновременном извлечении цинка и других металлов допустимое содержание свинца — до 1%. Свинец как цветной металл широко применяется в виде сплавов с медью, оловом, сурьмой и мышьяком (в автопромышленности — на изготовление аккумуляторов; в электропромышленности — на изготовление от свинцованного кабеля, бермановских трубок; в химической промышленности — для труб; в типографских и антифрикционных сплавах; в рентгентехнике в качестве защитного слоя и пр.).

Сфалерит, или цинковая обманка [(Zn, Fe) S]. Содержит 67,1% Zn, остальное — сера. Примеси: до 22% железа, кадмий, золото, серебро и сверхредкие металлы: индий, таллий, галлий и германий. Благодаря содержанию закисного железа окраска минерала меняется от коричневой до почти черной. Отсюда

и название минерала — сфалерит — обманчивый. Может содержать до 7—8% кадмия, до 2% серебра. Рассеянные, или так называемые сверхредкие, элементы: индий, таллий, галлий и германий содержатся в ничтожных количествах, но играют весьма важную роль в технике в качестве полупроводников. Таллиевый фотоэлемент весьма чувствителен к инфракрасным (тепловым) лучам.

Стекло, содержащее таллий, обладает очень большим показателем преломления. Зеркальная поверхность индия полностью и равномерно отражает видимые лучи. Это свойство используется при изготовлении зеркал астрономических рефлекторов (телескопов), прожекторов, а также автомобильных и других фар. Германий является полупроводником и применяется в качестве выпрямителя переменного тока, а также для усиления радиоколебаний.

Цинковая обманка еще реже, чем свинцовый блеск, встречается в форме комбинаций (тетраэдров). Она обычно образуется в виде крупных зернистых масс и редко кристаллов кубической системы.

Цвет — от коричневого, как у канифоли, до темно-коричневого и почти черного, редко — вишне-желтого. Блеск — алмазный, а у темных разновидностей — полуметаллический и металлический. Твердость 3,5—4; при царапании иглой на поверхности остается след; хрупкая (подобно свинцовому блеску). Удельный вес — 4. Спайность — совершенная в шести направлениях по ромбододекаэдру. Излом — неровный.

Цинковая обманка черного цвета может быть не замечена в руде, но она легко обнаруживается по постоянному присутствию свинцового блеска с помощью HCl.

Характерные и отличительные признаки. Щепотка порошка с каплей соляной кислоты выделяет сероводород, который легко обнаруживается по запаху. Характерны также алмазный блеск и совершенная спайность. При окислении образуются: бурый железняк, сульфаты, карбонаты и силикаты цинка. Бурый железняк накапливается в зоне окисления. Сульфат цинка, как легко растворимое соединение, перемещается в более низкие горизонты рудного тела; если на своем пути он встречает карбонат кальция в виде известняка, то превращается в карбонаты и оседает. В противном случае цинк уходит (мигрирует) за пределы месторождения. Цинковая обманка похожа на вольфрамит, который с HCl и Sn окрашивает раствор в синий цвет.

Происхождение, спутники и месторождения те же, что и для свинцового блеска. Так как свинец, цинк и серебро тесно связаны между собой химическим составом источников и условиями образования, то их минералы всегда

встречаются вместе, т. е., как говорят, тесно связаны парагенетически.

К рудам цинка предъявляются более высокие промышленные требования, чем к рудам свинца, так как при выплавке металла часть его улетучивается. Поэтому цинка в руде должно содержаться не менее 8—10%. Для месторождений с большими запасами содержание цинка может быть снижено до 3%.

Применение. Руда на цинк, кадмий, а также сверхредкие элементы.

Цинком главным образом покрывают проволоку и листы кровельного железа для предохранения его от окисления и разъедания (коррозии). Сплавы цинка с медью, алюминием и оловом широко применяются в машиностроении, а окись цинка представляет собой белую краску высшего качества.

Киноварь (HgS). Содержит 86,2% ртути, остальное — сера. Система — гексагональная. Примеси: окислы железа, глинистые минералы и органические (битуминозные) вещества, придающие темную окраску минералу. Киноварь устойчива на поверхности земли, поэтому иногда встречается в россыпях вблизи коренного месторождения.

Кристаллы, а чаще округлые зерна или небольшие сплошные массы киновари образуют вкрапления в пористых горных породах. Цвет — темно-красный до черного. Черта — ярко-красная. Блеск — алмазный, а у темно-красных разновидностей — металлический. Твердость 2—2,5. Удельный вес — 8 и более. Спайность — довольно совершенная в одном направлении по призме. Излом — плоскозернистый.

Характерные и отличительные признаки. Ярко-красная черта, алмазный блеск, вкрапления. Частый спутник — сурьмяный блеск. При нагревании порошка в пробирке или в смеси с опилками железа образуется металлическая ртуть. По цвету и блеску киноварь очень похожа на реальгар, но отличается чертой ярко-красного цвета (у реальгара черта оранжевая) и большей твердостью.

Образуется гидротермальным путем вместе с сурьмяным блеском, флюоритом, кварцем, иногда марказитом и золотом.

Месторождения. На Украине, в Средней Азии, Западной Сибири. За рубежом: в Ю.-В. Китае, Испании (Альмаден — самое богатое как по запасам, так и по содержанию металла в руде), Италии, Югославии (Идрица), США, Перу, Канаде и Мексике.

Применение. Руда на ртуть. Ртуть при температуре от -39° до $+357^{\circ}$ — жидкость уд. веса 13,6. Легко растворяет золото, серебро и другие металлы. Это свойство, а также лечебные свойства ртути известны китайцам за 2500 лет до н. э. Растворы золота и других металлов в ртути называют амаль-

гамами. С помощью амальгамации извлекают мелкое золото из россыпных месторождений. Ртутные лампы являются источником ультрафиолетовых лучей. В электротехнике из ртути изготовляют аккумуляторы и выпрямители тока. Ее соединение $\text{Hg}(\text{CNS})_2 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ — гремучая ртуть — при ударах моментально взрывается. Окись ртути HgO (имеет ярко-красный цвет) служит для покраски подводных частей морских судов. Жидкая ртуть применяется при изготовлении физических и метеорологических приборов (термометров и барометров), а также в ртутно-паровых турбинах.



Рис. 32. Шестоватые кристаллы сурьмяного блеска со штрихами на гранях

Антимонит (сурьмяный блеск), или стибнит (Sb_2S_3). 74,1% Sb, остальное — сера. Примеси: золото, серебро и мышьяк. Система — ромбическая. Кристаллы игольчатого строения встречаются очень часто. Иголочки при заполнении трещин располагаются строго взаимно-параллельно и одновременно перпендикулярно к плоскостям трещины. Шестоватые и сильно вытянутые столбчатые кристаллы (рис. 32) встречаются значительно реже и могут располагаться в пространстве подчас совершенно случайно. Размеры кристаллов — до 300—500 мм, иногда достигают 1 м. Плавится при 550° .

Цвет — от свинцово-серого до стально-серого с вороненой побелалостью. Блеск — металлический до тусклого у выветренных разновидностей. Черта — черная. Твердость — 2 и больше; обычно царапается ногтем. Удельный вес — 4,5. Спайность — совершенная по удлинению. На естественной поверхности крупных кристаллов наблюдается продольная штриховка, а на плоскостях спайности — поперечная. Излом у игольчатых агрегатов — занозистый.

Характерные и отличительные признаки. Сурьмяный блеск имеет игольчатую и шестоватую форму

кристаллов, продольную штриховку, вороненую побежалость. Капля КОН окрашивается в желтый, а затем в оранжевый цвет. Если каплю убрать, то на ее месте появляется красное пятно.

По цвету и блеску похож на графит, молибденовый и свинцовый блеск, но от графита отличается голубоватым оттенком, не пишет и не жирный на ощупь, а от молибденового блеска тем, что не расщепляется на тонкие чешуйки; свинцовый блеск от антимонита отличается ступенчатым изломом.

Почти постоянным спутником является киноварь.

Образуется гидротермальным путем при низких температурах вместе с киноварью, флюоритом, кварцем, халцедоном, баритом.

Месторождения. В Средней Азии, на Урале, в Красноярском крае, в Восточной Сибири, Казахстане. За рубежом: в Китае, Мексике, Боливии, Японии.

Сурьмы в руде содержится 5—6%; наименьшее допустимое содержание 1—2%.

Применение. Руда на сурьму. Металлическая сурьма применяется в сплавах, из которых изготовляют типографский шрифт, подшипники, оболочки для электрокабелей и аккумуляторы. Соединения сурьмы используют при вулканизации каучука, для пропитки тканей, при производстве спичек, в медицине и стеклобойной промышленности. Вредными примесями являются мышьяк, цинк, свинец.

Аурипигмент (As_2S_3). Содержит 61% As, остальное сера. Механические примеси: глинистое вещество, марказит, сурьмяный блеск; изоморфные примеси — селен, ванадий и германий.

На поверхности земли окисляется в трехокись мышьяка и металлический мышьяк. Система — моноклинная. Образуется в виде чешуйчатых, пластинчатых, почковидных и шарообразных масс с радиально-лучистым строением. Кристаллы встречаются редко (в Якутии — размером до 60 см и весом до 30 кг).

Цвет — лимонно-желтый. Блеск — перламутровый. Твердость 1,5—2; легко чертится ногтем. Спайность — совершенная в одном направлении. Удельный вес — 3,5. Непрозрачен для рентгеновских лучей. Разлагается при 190—220°, плавится при 300—320°.

Характерные и отличительные признаки. Характерными признаками являются указанные выше цвет и блеск. Расщепляется на тонкие и неупругие чешуйки. При нагревании выше 60° краснеет, а при охлаждении восстанавливает прежний цвет. При растворении в азотной кислоте и царской водке выделяет серу. Легко растворяется в КОН.

Образуется гидротермальным путем вместе с реальгаром, марказитом, халцедоном, кварцем, иногда с золотом, сурьмяным блеском и другими сульфидами.

Месторождения. В Нахичеванской АССР, Якутии, Грузии. За рубежом: в Македонии, Турции, Японии.

Применение. При значительных скоплениях добывается как сырье для получения трехоксида мышьяка, а также используется в красильном деле и других производствах.

Реальгар, или сернистый мышьяк (AsS). Содержит 70,1% As, остальное — сера. Примеси пока не установлены. На свету медленно превращается в аурипигмент — порошок светло-оранжевого цвета. При электрическом освещении кристаллы растрескиваются и также превращаются в аурипигмент. Система — моноклинная.

В природе встречается в виде зернистых и землистых масс, налетов и корок оранжево-красного, реже темно-красного цвета с алмазным блеском. По цвету и блеску похож на киноварь, но отличается оранжевым цветом черты. Разлагается при 165°.

Месторождения и применение те же, что и аурипигмента.

§ 18. ОКИСЛЫ

Окислы железа, титана, марганца, хрома, алюминия, олова и многих других элементов составляют около 17% (по весу) минералов земной коры. Главная масса (12,7%) приходится на окись кремния SiO_2 в виде минерала кварца. Кварц представляет собой типичный окисел, но по внутреннему строению и применению он стоит в одном ряду с силикатами. Кроме того, анион $[\text{SiO}_4]^{4-}$ является обязательной и неотъемлемой частью минералов группы силикатов. Поэтому целесообразно рассмотреть окись кремния вместе со всеми силикатами.

На втором месте по распространению в земной коре стоят различные окислы железа; на их долю приходится 3,9%.

Окислы образуются магматическим, осадочным и метаморфическим путем или представляют собой продукты окисления и гидратации так называемых первичных минералов. Эти продукты образуются на поверхности земли или на небольшой глубине (до нижней границы грунтовых вод) при участии кислорода воздуха, а также кислорода и углекислого газа дождевой воды. В 1 л воды содержится 25—30 см³ газа, в том числе 30% O_2 , 10% CO_2 (а в воздухе — 0,03%) и 60% азота.

Общее строение окислов — зернистое, землистое и горошинное. Окрашены они обычно в бурый цвет различных оттенков до черного, в красный и желтый с различными оттенками и, как исключение, в белый. Твердость обычно высокая (5—9), реже — малая (1—3).

Окислы подразделяют на безводные и водные (гидроокислы),

содержащие ион водорода и гидроксильную группу (ОН)⁻¹, а также кристаллизационную¹ воду. Безводные окислы в свою очередь подразделяют на простые (состава RO и R₂O₃) и сложные (RR₂O₄). Самыми важными являются окислы железа, из которых выплавляют железо, используемое человеком с древнейших времен, т. е. с начала железного века. Окислы железа представлены железняками: магнитным, красным и бурым. С них и начнем рассматривать класс окислов.

Магнетит, или магнитный железняк (FeFe₂O₄). Название получил благодаря магнитным свойствам. Содержит 72,4% Fe, 27,6 O. Система — кубическая.

Примеси: титан, ванадий, алюминий, магний, марганец и хром. Разновидность титаномагнетит содержит титан, иногда ванадий.

Встречается магнетит в мелкозернистых и сплошных массах. Кристаллы (рис. 33) октаэдрической и редко ромбододекаэдрической формы образуют отдельные включения в кристаллических сланцах.

Цвет — черный. Черта — черная. Блеск — металлический, у окисляющегося магнетита — матовый. Твердость 5,5—6,5. Удельный вес близок

к 5. Излом — мелкораковистый. Обладает магнетитными свойствами, нередко с резко выраженной полярностью (подобно магнитной стрелке). При повышении температуры магнитные свойства снижаются и при 588° совершенно теряются, а при охлаждении снова восстанавливаются. Магнитные свойства усиливаются с увеличением избытка γ-Fe₂O₃ кубической системы.

Магнетит при 1145—1260° разлагается, а при 1538° плавится.

Характерные и отличительные признаки. Наиболее характерны для магнетита магнитные свойства. Он похож по внешнему виду и блеску на хромит, но отличается черной

¹ Различают еще конституционную воду, когда ионы H⁺ и OH⁻¹ входят в состав самого окисла.



Рис. 33. Кристаллы магнетита

чертой и магнитными свойствами. При окислении переходит в красный железняк — мартит.

Разновидность — титаномагнетит, т. е. магнетит с вростками ильменита (продукт распада твердого раствора).

Происхождение магнетита — магматическое, контактово-метаморфическое и метаморфическое.

Спутники: полевой шпат (ортоклаз), кварц, пироксены, кальцит, пирит, апатит, хромистый железняк, оливин, змеевик, мартит, лимонит и др.

Месторождения: титаномагнетита — Кусинское, а собственно магнетита — Магнитогорское, гора Благодать и гора Высокая на Урале, на западе Кольского п/о, в Азербайджане, в Горной Шории и в Минусинской котловине (Западная Сибирь), в Криворожском бассейне, в районе Курской магнитной аномалии, в Кустанайской области и т. д. За рубежом: в Швеции, США, Индии, В. и Ю. Африке и др.

Применение. Руда на железо.

Гематит, или красный железняк (Fe₂O₃). Содержит 70% Fe, остальное — кислород. Примеси: титан, закисное железо и магний. На поверхности земли неустойчив, присоединяет воду (гидратируется) и переходит в лимонит. Система — тригональная.

Встречается в виде мелкозернистых и редко — землистых масс. Очень редко образуется в виде скоплений листочков, чешуек и радиально-лучистых иголок. Кристаллы крупных размеров образуются редко. Октаэдры и ромбододекаэдры с диагональными штрихами на гранях кубической системы сохраняются и при окислении магнетита в мартит.

Цвет — черный, темно-синий, кирпично-красный и ярко-красный. Блеск — металлический до матового у землистых и окисленных разновидностей. Черта — вишнево-красная. Твердость — 5,5. Удельный вес близок к 5. Излом крупных зерен и кристаллов напоминает излом каменного угля.

Характерные и отличительные признаки. Обладает магнитными свойствами за счет уцелевших при окислении зерен магнетита. По металлическому блеску и черной окраске похож на магнетит и хромит, но отличается по черте.

Разновидности: мартит — ложная форма железного блеска по магнетиту. Образуется в результате окисления магнетита. Железный блеск в виде крупных кристаллов и зерен имеет сильный металлический блеск, окрашен в стально-серый цвет; железный блеск землистого строения носит название красной охры и образуется при окислении богатых железом хлоритов. Твердость охры — 1. Окрашена в ярко-красный цвет.

Гематит образуется метаморфическим путем из лимонита, вторичным — при окислении магнетита и контактно-метаморфическим путем. Кроме того, он образуется при разложении сили-

катов железа — оливина, пироксена и других минералов при избытке кислорода. При недостатке кислорода образуется магнитный железняк.

Спутники: кварц, апатит, кальцит, магнетит, лимонит и др.

Месторождения. Обычно встречается в верхних частях магнетитовых месторождений Криворожского бассейна, КМА, Урала, Казахстана и других районов.

Применение. Весьма важная руда на железо. Из общего количества железных руд, добываемых в СССР, на долю мартиновых руд приходится более 70%. Красная охра употребляется в качестве красной краски.

Бурый железняк. Иногда (с целью упрощения) формулу бурого железняка изображают в виде $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. В действительности же он представляет собой не минерал, а природную смесь некоторых минералов железа, кремния, алюминия, фосфора и ванадия, а также минералов глины.

Минералы железа представлены главным образом гётитом и лимонитом.

Гётит (HFeO_2). Содержит 89,9% Fe_2O_3 и 10,1% воды. Кристаллизуется в ромбической системе. Обычно встречается в виде землистых, горошинных, плотных, ноздреватых, реже — натечных масс со скорлуповатым и радиально-лучистым строением. Кристаллы — игольчатой формы. Цвет — ржаво-коричневый различных оттенков до смоляно-черного; порошковатых масс — охристо-желтый. Черта — бурая с красноватым оттенком. Блеск — матовый; у плотного — смоляной, у игольчатого — шелковистый. Твердость 4,5—5,5. Удельный вес — 4 и больше. Излом — землистый, неровный, у игольчатых масс — тонкозаноистый. При нагревании в пробирке до 180—280° теряет воду.

Характерные и отличительные признаки. Буро-красноватый оттенок черты. Образуется при окислении и гидратации железистых минералов: железняков, сидерита, пирита, халькопирита, железистой цинковой обманки, а также силикатов железа. Очень похож на лимонит, но отличается кристаллическим строением.

Образуется экзогенным и реже эндогенным путем.

Применение и месторождения — те же, что и для лимонита (см. ниже).

Лимонит ($\text{HFeO}_2 \cdot \text{aq}$). Содержит 85,6% Fe_2O_3 (59,8% Fe), остальное — вода. Это типичный аморфный минерал. Подобно гётиту содержит конституционную (входящую в состав молекулы) воду, а также воду, поглощенную (адсорбированную) самим веществом лимонита (гидрогётита).

Как гётит, образует землистые, плотные, ноздреватые и горошинные массы ржавого, бурого, реже черного и еще реже — желто-охристого цвета. Скопления природных смесей гидроокис-

лов железа (гётита, лимонита), кремнезема, глинистого вещества и других обычно называются бурыми железняками. Блеск — матовый, стеклянный до смоляного (у богатого водой лимонита). Твердость 4—5,5; у землистых разновидностей может снижаться до 1. Черта — желто-бурая.

Характерные и отличительные признаки. Желто-бурая черта. Легко растворяется в соляной кислоте (HCl); аморфное вещество. При нагревании в пробирке до 175—190° выделяет воду, которая оседает на стенках верхней части пробирки. Лимонит, как и гётит, при окислении железистых минералов образует ложные формы (псевдоморфозы) по пириту, сидериту и другим минералам. От гётита лимонит отличается содержанием большого количества адсорбированной воды, цветом черты и некристаллическим строением.

Лимонит образуется биохимическим и химически-осадочным путем в морях (на что указывают моллюски морских раковин в бурых железняках), озерах и болотах, а также при окислении и гидратации магнетитовых, красножелезняковых, сидеритовых и сульфидных месторождений железа, меди и цинка, слагая так называемые «железные шляпы». Такие «шляпы» бурых железняков часто содержат золото (Майкаин в Казахстане и др.).

Спутники гётита и лимонита: пиролюзит, магнетит, красный железняк, пирит, халькопирит, цинковая обманка, сидерит, кварц обычный и в виде горного хрусталя, золото и минералы, содержащие ванадий, фосфор, никель и кобальт.

Месторождения. Керченское в Крыму, Верхне-Синячинское, Алапаевское и Зырянское, Елизаветинское, Аятское, Комарово-Зигагинское, Бакальское, Учалинское, Орское, Халиловское, Казахстанская группа в Кустанайской, Актюбинской и Карагандинской областях, Тульское, Липецкое, Хоперское и Криворожское. За рубежом: в Швеции, Зап. Африке, Румынии, в Испании Марокко, Западной Германии, Испании, Алжире, Югославии, на островах Куба и Филиппин, в Индонезии.

Требования к рудам железа. Магнетитовые и мартиновые (красножелезняковые) руды должны содержать 46—50% железа, бурожелезняковые руды 37—45%, сидериты 30—36% (как низкоплавкие и самоплавкие руды). Содержание вредных примесей: серы не более 0,25%, а фосфора — не более 0,01—0,1%.

Хромит, или хромистый железняк (FeCr_2O_4). Постоянные изоморфные примеси: магний, замещающий закисное железо, алюминий и окисное железо, замещающее хром. Поэтому формулу хромита следует писать так: $(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})_2(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2\text{O}_4$ (формула FeCr_2O_4 относится к метеоритному хромиту). Хромит содержит 18—62% Cr_2O_3 , 0—18% FeO; 6—16% MgO, 0,33% Al_2O_3 , 2—30% Fe_2O_3 ; в незначительных количествах могут присутствовать

титан, ванадий, никель, кобальт и другие элементы. Система — кубическая.

Встречается хромит обычно в виде сплошных зернистых масс и округлых вкраплений различной густоты (рис. 34), а также в виде мелких октаэдрических кристаллов. Цвет — только черный. Черта — темно-бурая. Блеск — тускловатый металлический. Твердость — 5,5 и до 7,5. Удельный вес 4 — 5. Излом — мелкокоравистый. Температура плавления 1450—1850°; она тем ниже, чем меньше содержится хрома и больше железа.

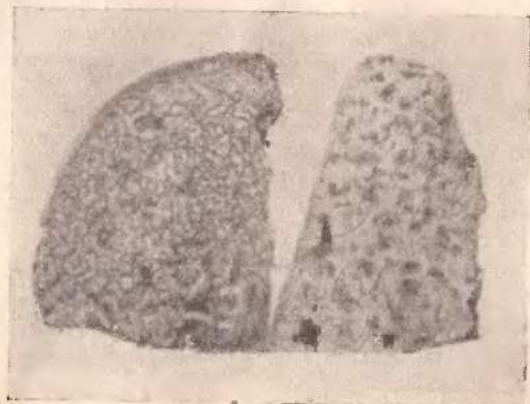


Рис. 34. Хромит в виде вкраплений («рябчик»)

Происхождение хромита только магматическое. Встречается он с оливином и его вторичным минералом — змеевиком, платиной и алмазами.

Характерные и отличительные признаки. По форме кристаллов, цвету и блеску хромит очень похож на магнетит, но отличается отсутствием магнитных свойств, бурой чертой и спутниками — оливином или змеевиком.

Месторождения. Сарановское, Алапаевское, Ключевское, Кемпирсайское на Урале. Уральский хребет таит в себе богатейшие запасы хромита. Небольшие месторождения известны в Армении, Азербайджане, Кузнецком Алатау, в Саянах и на Чукотке. За рубежом: в Африке, Албании, Турции и др.; США, Англия и Франция ввозят хромиты из других стран.

Применение. 50% мировой добычи хромитов используется черной металлургией для получения феррохрома с содержанием 65—70% Cr, стеллитов (хрома с кобальтом и вольфрамом или с кобальтом и молибденом), легированных сталей, огнеупор-

ных кирпичей (из хромита и хромитомagnesита). На огнеупоры расходуется 40% всей добычи, а остальные 10% используются в химической промышленности и при хромировании железных изделий. Каждая из названных отраслей промышленности предъявляет к хромитовым рудам особые требования. Металлургия потребляет руды с содержанием 37—40% Cr_2O_3 и больше при отношении $\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$, равном или больше 2,5. Огнеупорная и химическая промышленность довольствуется содержанием Cr_2O_3 от 32 до 35% при отношении главных окислов от 2,5 до 2 и меньше.

Пиролозит (MnO_2). Содержит 63% Mn, остальное — кислород. В древности пиролозит называли «мылом стекловаров», так как в те времена, да и в настоящее время его применяют для обесцвечивания стекла. MnO_2 обычно содержит механические примеси глинистых минералов, бурых окислов железа, окись кремния в виде мелких зерен кварца и тонкозернистый кальцит. Система — тетрагональная.

Встречается в виде землистых, сажистых, плотных и одновременно ноздреватых и горошинных масс. Кристаллы игольчатой и шестоватой формы встречаются очень редко и то в пустотах. Крупнокристаллические разновидности называют полианитом.

Цвет — черный или табачный. Черта соответствует окраске минерала. Твердость плотного пиролозита 5—6, землистого 1—2. Блеск — матовый и полуметаллический. Спайность — совершенная по призме (у шестоватых кристаллов).

Характерные и отличительные признаки. Землистого и горошиного строения. При нагревании с HCl выделяет газ хлор. При 550—650° восстанавливается в браунит Mn_2O_3 и бурет; при дальнейшем нагревании выше 940—1000° переходит в гаусманит Mn_3O_4 , т. е. происходит восстановление: $\text{Mn}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{+3} \rightarrow \text{Mn}^{+2}$. По строению пиролозит похож на боксит, но отличается темной окраской.

Образуется пиролозит коллоидальным и чисто биохимическим путем в прибрежных частях морей или вторичным путем при разложении силикатов и карбонатов марганца, слагая «марганцевые шляпы».

Спутники: лимонит, сидерит, каолин, кварц в виде песка, силикаты и карбонаты марганца (легко узнаются по нежно-розовой окраске).

Месторождения. К крупнейшим месторождениям СССР мирового значения относятся Никопольское и Чиатурское, затем идет Полуночное (на Северном Урале) и ряд других. За рубежом: в Индии, Западной Африке, Южно-Африканском Союзе и Бразилии.

Применение. Более 90% добытых марганцевых руд, существенной составной частью которых нередко является пиролюзит, идет на производство стали, «зеркального» чугуна, ферромарганца и перевода серы чугуна в доменный шлак в виде MnS . Кроме металлургической промышленности, потребителями руды являются также химическая, электротехническая, стекольная и ряд других отраслей промышленности.

В зависимости от области использования марганцевых руд требования, предъявляемые к их качеству, различны. В металлургии пригодность марганцевых руд окончательно устанавливается технологическими испытаниями. Химическая промышленность потребляет почти чистые пиролюзитовые руды с содержанием 85—88% MnO_2 ; при этом обращается внимание на механические примеси. Содержание Fe_2O_3 не должно превышать 1%, CaO — 2—3% и SiO_2 — 4%.

Боксит. Подобно бурому железню боксит представляет собой смесь минералов, в состав которой входят, кроме гидроокислов алюминия и железа, окислы магнетита, кварц и глинистые минералы.

Минералы алюминия — диаспор, бёмит и гидраргиллит. Диаспор и бёмит имеют одинаковый состав, но различаются внутренним расположением ионов кислорода. У диаспора ($HAIO_2$) оба кислорода играют одинаковую роль, тогда как у бёмита ($AlOOH$) один кислород входит в гидроксильную группу $(OH)^{-1}$. Кроме того, твердость бёмита 3,5, т. е. средняя, а диаспора 6,5—7. Твердость гидраргиллита такая же, как бёмита, или чуть меньше, но он содержит три гидроксильных группы $(OH)^{-1}$. Химическая формула гидраргиллита $Al(OH)_3$.

Диаспор и гидраргиллит (гиббсит) составляют главную массу боксита. От преобладания одного из них, а также других механических примесей и степени метаморфизма твердость боксита меняется от 1 до 3, иногда до 5. Названные минералы содержат изоморфные примеси трехвалентных металлов: марганца, хрома и галлия. Содержание Al_2O_3 в диаспоре 85%, в гидраргиллите — 65,4%; остальное — вода.

Боксит образует горошинные и землистые рыхлые и плотные массы кирпично-красного цвета различных оттенков — до розовато-фиолетового и фиолетового, очень редко — белого или зеленого цвета. Блеск — матовый. Черта не характерна, так как соответствует цвету боксита. Излом — землистый или ячеистый.

Характерные и отличительные признаки. Боксит, как и некоторые железнюки, имеет кирпично-красный цвет и землистое или горошинное строение. Светлоокрашенные разновидности боксита могут быть определены трехкратным прокали-

ванием с азотнокислым кобальтом $Co(NO_2)_2$, который окрашивает чистый Al_2O_3 в голубой цвет (реакция на алюминий).

Происхождение — осадочное и остаточное (продукт химического выветривания алюмосиликатов, главным образом полевых шпатов и нефелина).

Месторождения. Самое старое из отечественных месторождений — Тихвинское в Ленинградской области (диаспор-гидраргиллитовое), Красная Шапочка на Северном Урале (диаспоровое), в Каменском районе на Среднем Урале (гидраргиллитовое) и др.

Крупные месторождения за рубежом известны в штате Арканзас в США, в колониальных владениях Англии, Франции и Голландии, в Бразилии, Югославии, Индии, Венгрии и др.

В конце XIX в. алюминий относили к редким элементам; его годовая добыча выражалась в 100—200 т. В 1889 г. Д. И. Менделеву в Лондоне преподнесли весы из алюминия и золота. В то время 1 кг алюминия стоил 45 руб. золотом. Прошло полвека, и из алюминия стали изготовлять даже предметы кухонного обихода. Если в 1890 г. было выплавлено 193 т алюминия, то в 1953 г. — 2,1 млн. т.

Применение. Руда на алюминий, сырье на высокоглиноземистый огнеупор (температура плавления выше 2000°), поглотитель (адсорбент) при очистке нефти и растительных масел; используется также для получения глиноземистого цемента, краски и искусственного рубина. В химической промышленности находят применение маложелезистые светлоокрашенные и белые бокситы.

В руде должно быть не менее 45% Al_2O_3 ; отношение глинозема к кремнекислоте $\left(\frac{Al_2O_3}{SiO_2}\right)$ не менее 2,6; не более 10—15% SiO_2 ; до 20—25% Fe_2O_3 .

Корунд (Al_2O_3). Содержит 53,2% Al , остальное — кислород. Примеси: железо, хром, марганец и титан. Система — тригональная.

Встречается в виде вкрапленных зерен, боченко- и веретенообразных кристаллов, очень редко сплошными массами синевато-голубоватого или желтоватого цвета.

Разновидности прозрачных драгоценных корундов: рубин (красный), сапфир (синий), лейкосапфир, или «восточный алмаз» (водяно-прозрачный), «восточный топаз» (желтый), «восточный аметист» (фиолетовый), «восточный изумруд» (зеленый). Природные смеси окислов алюминия и железа называются наждаками.

Блеск — стеклянный или алмазный. Излом — мелкозернистый и неровный, в некотором направлении ровный. Твердость — 9. Удельный вес близок к 4. Спайностью корунд не обладает, но на-

блюдается раздельность или отдельность (вследствие многосложного двойникования) в одном направлении. Поверхность кристаллов и зерен отмечена штрихами.

Характерные и отличительные признаки. Исключительно большая твердость, штриховка на гранях, боченкообразная форма кристаллов, синевато-голубоватый оттенок являются наиболее характерными признаками этого минерала. Оттенком похож на дистен (кианит), но отличается твердостью, которая у дистена в двух направлениях резко отличная. Искусственный корунд плавится при 2040°. Очень устойчив на поверхности земли. В кислотах не растворяется.

Образуется корунд: магматическим путем (при пересыщении вулканического расплава — магмы — глиноземом), пегматитовым путем (при большом недосыщении остаточного расплава магмы кремнекислотой), метаморфическим путем (из боксита), на контакте магмы с известняками и в россыпях. Основное промышленное значение имеют месторождения контактового типа. Искусственным путем может быть получен из боксита и минералов группы дистена.

Спутники: пирит, дистен, андалузит, силлиманит, полевые шпаты, нефелин, кварц и его «разновидность» — горная порода кварцит, боксит, оливин и змеевик, глинистые минералы, прежде всего каолин, кальцит и слюда, а также им порода мрамор, гематит, магнетит, слюды и им подобные.

Месторождения. Семиз-Бугу и Акташское в Казахстане; Прииртяшское на Южном Урале, Обуховское в Западной Сибири, на Кольском п-ове, в Северной Карелии, на Украине (мало изучены), на Северном Кавказе, в Восточной Сибири. За рубежом: в Греции, Индии, Бирме, Таиланде, Турции и Канаде.

Применение. Благодаря высокой твердости и химической устойчивости используется в качестве абразива.

Корунд и наждак в виде сыпучих и сцементированных (в круги, диски, сегменты) зерен различной крупности используются при обдирке, шлифовке, полировке и доводке металлических, пластмассовых, каменных, деревянных и стеклянных изделий (в том числе и оптических стекол). Иногда зерна наклеивают на бумагу, которую называют наждачной.

Прозрачные разновидности, особенно рубин, применяют в точных и часовых механизмах в качестве подпятников, калиброванных пластинок (фильеров), а также ювелирных украшений.

Касситерит, или оловянный камень (SnO_2). Содержит 78,8% Sn, остальное — кислород. Изоморфные примеси: железо, тантал, ниобий и другие элементы. Могут присутствовать и тонкодисперсные включения окислов кремния, алюминия и др. Обычно встречается в виде вкрапленных зерен, кристаллов дипирамидальной

формы тетрагональной системы, очень редко — небольшие сплошные массы.

Цвет — коричневый до черного. **Блеск** — алмазный до металлического у черных разновидностей, а на свежем изломе — смоляной и одновременно жирноватый. **Твердость** 6—7. **Удельный вес** близок к 7. **Излом** — неровный, едва раковистый. Разлагается в восстановительной среде при 1127°, а плавится при 1625°.

Характерные и отличительные признаки. По цвету и блеску похож на вольфрамит, но отличается отсутствием спайности, некоторым жирноватым блеском на свежем изломе и реакцией на олово. Если на зерно оловянного камня нанести каплю соляной кислоты HCl и прикоснуться к нему цинковой палочкой, то выделяющийся атомарный водород восстанавливает ионы олова; при этом образуется налет металла.

Происхождение — гидротермальное, пневматолитовое и очень важное в промышленном отношении россыпное (составляет 70% мировой добычи).

Спутники: сернистые соединения железа-мышьяка, железа, железа-меди, иногда, цинка, свинца, очень редко графит и шеллит, вольфрамит, берилл, кварц, флюорит, полевой шпат, слюда (мусковит).

Месторождения. В Забайкалье, Якутии, Приморье, на Чукотском полуострове, в Казахстане, Средней Азии. За рубежом: в Боливии, Нигерии, Бельгийском Конго, Бирме, Малайской федерации, Индонезии, Англии.

Применение. Руда на олово. Металлическое олово весьма устойчиво, благодаря чему во многих случаях является незаменимым металлом.

Промышленное содержание олова в руде коренных месторождений 1—2% и больше, но может снижаться до 0,20—0,10%. В россыпях содержание олова может достигать 0,01—0,07% (100—700 г/т «песка»), однако добывать оловянный камень из россыпей значительно выгодней.

Руды олова подвергают обогащению и их концентраты с 40—50% металла идут в плавку.

§ 19. ГАЛОИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Галоидные минералы (общим числом около 100) представляют собой соли галоидно-водородных кислот или соединения со сложными анионными группами типа $[\text{AlF}_6]^{-3}$ и др.

Наибольшее распространение имеют хлориды и фториды. Они представлены галитом, сильвином, карналлитом, флюоритом и криолитом.

Из описанных здесь минералов хлориды очень легко растворяются в воде и с азотнокислым серебром практически мгновенно образуют творожистый осадок AgCl .

Химически чистые разновидности — бесцветные прозрачные, полупрозрачные, а содержащие примеси окрашены в синие, красные, фиолетовые и зеленые тона и редко в желтый цвет. Твердость обычно больше 2, но не больше 4. Удельный вес — от 1,6 до 3,25. Блеск — стеклянный или тускло-стеклянный.

Хлористые соединения образуются химически-осадочным путем в замкнутых водных бассейнах (озерах и заливах с узкой горловиной), а фтористые соединения — гидротермальным и пневматолитовым путем (при участии газов).

Хлориды находят применение в основном в химической промышленности. Соли калия широко применяются в сельском хозяйстве в качестве удобрения и в цветной металлургии при получении магния.

Фториды — флюорит и криолит — практически не растворяются в воде и обладают заметно большими по сравнению с хлоридами твердостью (3—3,5) и удельным весом (3—3,25), кроме того, они имеют резко отличные условия образования, а следовательно, и спутников.

Каменная и самосадочная соль, или галит (NaCl). Содержит 60,6% Cl , остальное — натрий. Примеси: глинистые вещества, окислы железа, свободные атомы натрия и газы, придающие соли синий и чисто белый цвет. Система — кубическая.

Встречается галит обычно в виде зернистых и сплошных масс, отдельных кубиков и «лодочек» из кубов в форме пустых внутри пирамидок (самосадочная соль).

Галит бывает прозрачный бесцветный, белый или полупрозрачный синий за счет свободных атомов натрия, редко красный различных оттенков. Синяя окраска исчезает под действием рентгеновских лучей и при нагревании до 200° . Блеск — стеклянный и тускло-стеклянный. Твердость — 2,5. Удельный вес 2,1—2,2. Спайность — совершенная в трех направлениях по кубу. Излом — зернистый; у отдельных кристаллов — проступенчатый. Каменная соль, побывавшая на поверхности, не имеет ребристых, выступающих частей и кажется как бы оплавленной; при этом блеск становится жирноватым. Вкус соленый. Обладает гигроскопичностью. Легко растворяется в воде. Одна капля раствора NaCl с таким же количеством азотнокислого серебра мгновенно образует белый творожистый осадок AgCl . Плавится при 770 — 800° , а кипит при 1413° .

Характерные и отличительные признаки. Соленый вкус и реакция на хлор. Окрашенные разновидности похожи на сильвин, но отличаются вкусом и полупрозрачностью.

Образуется химически осадочным путем вместе с солями калия и гипсом.

Месторождения: в Донбассе, в Чкаловской области,

на Северном Урале, в Иркутской области, в Прикарпатье. За рубежом: в Польше, Египте, Индии, США и др.

Кроме ископаемой или так называемой каменной соли, добывается самосадочная соль в озерах Эльтон и Баскунчак, в Аральском море, Сиваше и Гнилом море.

Применение. Химическая промышленность потребляет NaCl для получения едкого натра и хлора, а пищевая — в пищевой промышленности для консервирования скоропортящихся продуктов и получения холодильных смесей.

Сильвин (KCl). Содержит 52,5% K , остальное — хлор. Изоморфные примеси: бром (до 0,1%), незначительные количества цезия и рубидия. Из механических примесей присутствуют окислы железа и каменная соль, азот, гелий и другие газы. Система — кубическая.

Встречается сильвин обычно в виде пестрых непрозрачных зернистых масс белого, синего и красного цвета. Кристаллы в виде кубов с притупленными вершинами встречаются исключительно редко. Блеск — тускло-стеклянный. Твердость 1,5—2 и больше. Царапается ногтем с трудом, но режется ножом как стеариновая свеча. Удельный вес — около 2. Спайность — совершенная по кубу. Плавится при 770° , а кипит при 1416° . Как и NaCl , во влажном воздухе сыреет, т. е. обладает гигроскопичностью. Крупинка сильвина с каплей раствора PtCl_2 образует осадок $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$ фиолетового цвета. Вкус жгучесоленый, часто с горьковатым привкусом.

Характерные и отличительные признаки. Похож на галит, но отличается вкусом, притупленными вершинами кристаллов куба и реакцией на калий.

Происхождение месторождения и применение — см. минерал карналлит.

Карналлит ($\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Содержит 14,1% K , 8,7% Mg , 38,3% Cl , остальное — вода. Примеси: водород, гелий и метан (содержатся в сравнительно больших количествах), а также окислы железа, глинистые вещества и каменная соль. Изоморфные примеси: до 0,2% брома, до 0,01—0,02% рубидия, до 0,0002—0,0003% цезия.

Встречается в виде зернистых масс и очень редко образует кристаллы. Цвет — кирпично-красноватый с оранжевым оттенком. Блеск — тускло-стеклянный. На воздухе легко поглощает влагу и растворяется в ней. Твердость 2—3. Удельный вес — 1,6. Это самый легкий минерал среди галоидных соединений. Спайности нет. Излом зернистый. Вкус жгуче-горько-соленый (жгучий от калия, горький — от магния). При растворении в воде и при сверлении ножом скрипит, что объясняется освобождением газов. Очень легко растворяется в воде. При 167° разлагается на

KCl, MgCl₂ и H₂O. Растворяясь в кристаллизационной воде, образует пересыщенный раствор. Система — ромбическая.

Характерные и отличительные признаки. Характерными признаками являются: гигроскопичность, вкус, способность при нагревании выделять кристаллизационную воду и растворяться в ней.

Происхождение. Сильвин и карналлит, как и галит, образуются химически-осадочным путем в изолированных водных бассейнах.

Месторождения. Соликамское (Верхнекамское) на Северном Урале, Прикарпатское и в Средней Азии. За рубежом: в Западной Германии, Франции, Испании, США, Калифорнии, Палестине и др.

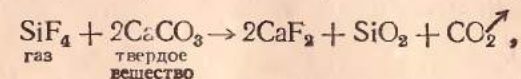
Применение. 90% всей добычи калийных солей потребляет сельское хозяйство в качестве удобрений (главным образом для корнеплодов — сахарной свеклы, картофеля и технических культур — подсолнечника), а 10% расходуется в химической промышленности для получения едкого кали KOH, поташа K₂CO₃, калийной селитры KNO₃, бертолетовой соли KClO₃, хромпика K₂Cr₂O₄, перманганата калия KMnO₄, бромистого и йодистого калия KBr и KI, а также металлического магния. Магний используется в чистом виде и в виде сплавов в оборонной промышленности.

Флюорит, или плавиковый шпат (CaF₂). Содержит 48,8 F, остальное — кальций. Примеси: хлор, магний, железо, иттрий и кадмий. Встречается обычно в виде сплошных масс и кристаллов в форме куба с ребром от 10 до 27 см и весом до 8—24 кг. Система — кубическая.

Окрашен в самые различные цвета и оттенки цветов спектра, полупрозрачный и прозрачный бесцветный. Блеск — стеклянный. Твердость — 4. Царапается иглой или ножом при нажиме. Удельный вес 3—3,25. Спайность — совершенная по октаэдру; обнаруживается при нагревании. Излом — своеобразно волнистый, струйчатый, раковистый. Бесцветный прозрачный плавиковый шпат пропускает тепловые лучи (инфракрасную часть спектра). Плавится при 1270—1357°.

Характерные и отличительные признаки. Форма кристаллов, исчезающая при 200—250°, а также полосчатое расположение окраски в одном куске. Прозрачные кристаллы куба похожи на галит, но отличаются нерастворимостью в воде и отсутствием вкуса. Прозрачные разновидности фиолетового цвета очень похожи на разновидность кварца — аметист, но отличаются незначительной твердостью. При нагревании с серной кислотой выделяет фтористый водород, который в присутствии влаги разъедает стекло.

Образуется флюорит гидротермальным путем непосредственно или путем замещения (метасоматоза) известняка по реакции:



а также за счет газов и химически-осадочным путем (ратовкит)¹.

Спутники: прежде всего кварц, сульфиды различных температур образования, чаще всего киноварь и сурьмяный блеск, кальцит, редко оловянный камень, вольфрамит, берилл, полевые шпаты, криолит и др.

Месторождения. В Советском Союзе месторождения сосредоточены в Забайкалье, Средней Азии и за полярным кругом. Большое значение имеют месторождения в Казахстане, Киргизии и Таджикистане. За рубежом: в США, Англии, Гренландии, Франции, Германии и Италии.

Применение. Главная масса флюорита (70% добычи) потребляется черной металлургией в качестве флюса при выплавке мартеновской стали. Он способствует понижению температуры плавления содержащегося в железной руде кварца, удалению кремния, серы и фосфора из металла и переводу их в шлак. Флюорита в руде должно быть не менее 85%, содержание же SiO₂ и BaSO₄ как вредных примесей должно быть наименьшим. Вторым важным потребителем является химическая промышленность, которая предъявляет более строгие требования к руде: CaF₂ должно содержаться не менее 98%, SiO₂ и CaO — не более чем по 1%, недопустимы свинец, барий и сера. Из плавикового шпата получают плавиковую кислоту, фтористый натрий для пропитки шпал (антисептик — средство против гниения) и искусственный криолит. В стекольной и керамической промышленности флюорит играет роль глушителя, т. е. вещества, вызывающего помутнение прозрачных стекол и эмалей.

Водяно-прозрачный плавиковый шпат применяется в оптике при изготовлении оптических линз и призм.

Криолит (Na₃AlF₆). Назван так за большое сходство с кусками льда², особенно, когда минерал опущен в волю. Криолит содержит 32,8% Na, 12,8% Al и 54,4% F. Система моноклиническая.

Примеси: окисное железо, кальций и вода — в темно-фиолетовых и уран — в черных разновидностях.

Криолит встречается в виде сплошных и пластинчатых масс и кристаллов псевдокубической формы со срезанными вершинами. Кристаллы встречаются очень редко. При нагревании до 560° переходит в кубическую разновидность.

¹ Землистая разновидность в доломитизированных известняках речки Ратовки у г. Вереи, Московской области.

² По-гречески криос — лед.

Цвет — водяно-прозрачный, белый, фиолетовый до черного. Блеск — тускло-стеклянный. Твердость 2,5—3. Удельный вес — около 3. Излом неровный. В воде бесцветный криолит почти не заметен, так как его показатель преломления ($N = 1,34$) близок к показателю преломления воды ($N = 1,33$).

Характерные и отличительные признаки. Растворяется в крепкой серной кислоте; бесцветные и прозрачные разновидности в воде почти невидимы. Кристаллы — слабо вытянутые кубы со срезанными вершинами. Обломок кристалла, введенный в пламя свечи, окрашивает его в красновато-желтый цвет.

Криолит образуется за счет газообразных веществ остаточных расплавов вместе с вольфрамитом, оловянным камнем, некоторыми сульфидами, плавиковым шпатом и другими минералами.

Месторождения. Пока имеется только одно месторождение промышленного масштаба в Ю. Гренландии.

Применение. Природный и искусственный криолит используется при электролизе алюминия.

§ 20. КАРБОНАТЫ

Карбонаты — это соли Ca, Mg, Fe, Mn, Na, Ba, Sr, Cu, Zп, Pb угольной кислоты. Общее число минеральных видов карбонатов — около 80. Наибольший промышленный интерес представляют: кальцит, магнезит, доломит, сидерит, малахит, азурит, цинковый шпат, манганокальцит, манганосидерит и родохрозит.

Карбонаты легко взаимодействуют со всеми кислотами на холоду или при слабом нагревании и выделяют углекислый газ CO_2 .

Карбонаты встречаются в природе в огромных массах, кроме малахита и азурита, чаще всего в виде пластов горных пород. Эти природные агрегаты состоят из зерен различной крупности, сплошных и реже — землистых и горошинных масс.

Окрашены карбонаты в светло-серый, кремоватый и белый цвет, редко — в черный или пестрый. Черта у черных разновидностей белая. Блеск — матовый; у крупнозернистых разновидностей — стеклянный и тускло-стеклянный. Твердость — средняя (3—4); легко чертятся ножом. Спайность — совершенная в трех направлениях по ромбоэдру под углом $72,5\text{--}75^\circ$; у крупных зерен она наблюдается в виде блестящих гладких плоскостей. Излом — косоступенчатый, но чаще зернистый. Удельный вес — около 2 и до 4. На поверхности земли карбонаты весьма устойчивы, кроме сидерита, родохрозита и манганокальцита, которые легко окисляются в лимонит и в окислы марганца — пиролюзит. Образуются осадочным, вторичным и реже гидротермальным путем.

В практической деятельности человека карбонаты находят широкое применение, особенно в металлургии.

Кальцит, или известковый шпат (CaCO_3). Содержит 56% CaO, 44% CO_2 .

Примеси: изоморфные — магний, марганец, железо; механические — глинистые и углистые вещества, бурые и красные окислы железа, кварцевый песок. Система — тригональная.

Кристаллы обычно состоят из нескольких сот повторяющихся простых форм, чаще всего в виде ромбоэдров, скаленоздров, призм и пинакоидов, а также образуют различной крупности зерна до плотных скрытокристаллических, землистых и горошинных масс.



Рис. 35. Исландский шпат (слева) и типс

Цвет — белый, серый различных оттенков до черного, розовый, зеленый и т. д., иногда — водяно-прозрачный. Окраска чаще распределяется в виде полос и разводов (у мрамора). Черта у черного кальцита — белая. Блеск — тускло-стеклянный, матовый и редко стеклянный (у исландского шпата). Твердость — 3 (является образцом — эталоном — твердости). Удельный вес близок к 3. На холоду кальцит бурно вскипает с кислотой, особенно в порошковатом состоянии.

Характерные и отличительные признаки. Бурно взаимодействует с кислотой на холоду. Совершенная спайность в трех направлениях под косым углом. Излом — косоступенчатый. Растворяется в слабой соляной кислоте. При 920° разлагается на известь CaO и двуокись углерода CO_2 . В вольтовой дуге CaO излучает слепящий белый свет (друмондов свет).

Разновидности:

1. Известковый шпат, окрашенный в светло-серые тона, полупрозрачный. Особого применения не имеет. Встречается в трещинах карбонатных пород.

2. Исландский шпат — бесцветный, прозрачный. Применяется в качестве поляризационных призм Николя в геологических микроскопах и других оптических приборах благодаря большому двойному лучепреломлению — удваиванию изображений (рис. 35).

3. Арагонит — полиморфная разновидность ромбической системы, белого цвета. Строение — параллельно-шестоватое, радиально-лучистое и горошинное и вместе с тем концентрически-скорлуповатое. При кипячении порошка кальцита в растворе азотнокислого кобальта $\text{Co}[\text{NO}_3]_2$ окрашивается в голубовато-синий цвет (отличие от кальцита).

Следующие разновидности состоят не из отдельных кристаллов и их зерен, а представляют собой агрегаты, огромные массы зерен. Это так называемые карбонатные горные породы.

4. Литографский камень — это кальцит плотного строения с раковистым изломом, окрашенный в зеленовато-сероватый цвет, химически-осадочного происхождения. Применяется в книгопечатании для получения оттисков.

5. Известняки — весьма многочисленная группа карбонатных пород, среди которых, в зависимости от происхождения и сложения, различают: органические и химически-осадочные разновидности. В числе известняков можно упомянуть следующие:

1) известняки-ракушечники, состоящие из целых и битых раковин морских животных;

2) оолитовые известняки, сложенные оолитами, скорлуповатого или радиально-лучистого строения;

Разновидностью известняков в сущности является и мел — порода снежно-белого цвета, землистого строения, состоящая из раковин микроорганизмов.

6. Известковые туфы, сложенные плотными или мелкокристаллическими карбонатами, выделившимися из вод, протекающих через известняки и теряющих CO_2 при выходе на поверхность, и пр.

Известняки широко используются в качестве флюсового и цементного сырья, в химической, строительной промышленности и пр.

Флюсовые, или, как их иначе называют, металлургические известняки должны содержать не более 4% MgO , не более 0,2—0,3% S , не более 0,05—0,10% P , не более 5% Al_2O_3 и SiO_2 .

Известняки для цементного производства должны содержать в необходимом количестве и пропорциях SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . Вредной примесью является сера и ее соединения.

Химическая промышленность потребляет по возможности чистые известняки, содержащие не менее 95% CaCO_3 и не более 1% MgCO_3 . Но лучшим сырьем является мел, содержащий 96—98% CaCO_3 . Известняки и мел используются при производстве соды по способу Леблана, карбида кальция (Ca_2C) для получения газосварочного газа ацетилена, а также при производстве стекла, сахара и т. д.

В сельском хозяйстве используются рыхлые и мягкие или

твердые молотые известняки для нейтрализации кислых (подзолистых) почв лесных районов.

7. Мрамор (рис. 36) образуется при кристаллизации (рекристаллизации) известняка в процессе метаморфизма. Окрашен в серые и темно-серые цвета или в цвета спектра. Окраска распределяется в виде полос и разводов. Применяется в качестве подольного, электроизоляционного и облицовочного материала.

8. Мергель представляет собой природную смесь землистого кальцита и глины (от 30 до 50%). Окрашен в светло-серые и кремовые цвета. Применяется в качестве природного цементного сырья.



Рис. 36. Мрамор

Происхождение кальцита — химически- и органически-осадочное, гидротермальное, метаморфическое и вторичное.

Спутники: отдельные песчинки кварца, фосфорита и глауконита, кварц, сульфиды свинца и других металлов, барит, золото, силикаты кальция, шеелит, гематит, полевые шпаты, нефелин, слюды и кварц при вторичном происхождении.

Месторождения. Исландский шпат известен по Нижней Тунгуске (правому притоку Енисея), в Черкесской АО (Чалык), в Средней Азии, в Крыму (у Байдарских ворот). За рубежом: на о-ве Исландия.

Месторождения известняков многочисленны на Украине, в Европейской и Азиатских частях РСФСР и других республиках Союза.

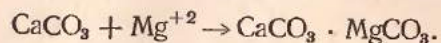
Мрамор добывают в Уфалейском районе на Среднем Урале и в Златоустовском районе на Южном Урале, в Хакасии, Забайкалье, Биробиджане, в Крыму (у Балаклавы) и т. д. Цветной

мрамор добывают в Грузии и Армении, в Карельской АССР. За рубежом: в Греции и Италии (Каррара).

Доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Доломит представляет собой пример двойного соединения. Содержит 30,4% CaO , 21,7% MgO *, остальное — CO_2 . Система — тригональная. Изоморфные примеси — железо, иногда марганец, изредка цинк, никель, кобальт и др. Часто встречающиеся кристаллы имеют ромбоэдрический облик. Агрегаты обычно кристаллически-зернистые, часто пористые, реже почковидные, ячеистые, шаровидные и др. Цвет — серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым, зеленоватым оттенком. Блеск — стеклянный. Твердость 3,5—4. Спайность — совершенная по ромбоэдру. Удельный вес 1,8—2,9.

Характерные и отличительные признаки. Доломит внешне очень сходен с кальцитом и сложной им породой — известняком, а также со светлоокрашенным сидеритом. Самым надежным отличием доломита является способность его слабо вскипать на холоду с кислотой (кальцит вскипает бурно, а сидерит вскипает при нагревании).

Образуется доломит как первичный осадок в водных соленосных бассейнах, а также при замещении ионов кальция ионами магния водных растворов (с MgSO_4 или MgCl_2) по реакции:



Известен также доломит гидротермального происхождения. **Месторождения.** Доломиты, как и известняки, широко распространены в природе. Промышленное значение имеют месторождения в Донбассе, на Урале, в Ленинградской области и на Днестре (в пределах Украины).

Спутники: кальцит, известняк, гипс, кварц, сульфиды.

Применение. Доломит используется в качестве огнеупорного материала и флюса, строительного камня и вяжущего вещества.

Магнезит (MgCO_3). Содержит 47,6% MgO , остальное — CO_2 . Изоморфные примеси: кальций, марганец и железо. При замещении магния железом наблюдаются постепенные переходы в сидерит. Механические примеси: окись кремния в виде опала и глинистые вещества. Система — тригональная.

В зависимости от происхождения и степени кристалличности различают кристаллический и «аморфный» (скрытокристаллический) магнезит. Первый образуется при действии на известняки и доломиты ионов Mg^{+2} горячих водных растворов (гидротерм), что подтверждается одновременным образованием сульфидов железа, меди и других металлов, кварца, кальцита и барита. Этот

* В металлургической практике к доломитам относят карбонатные породы с содержанием Mg более 17%.

магнезит состоит из крупных (до 10 мм) чередующихся зерен молочно-белого и серого цвета. По зернистости и окраске очень похож на мрамор, но на холоду не вскипает с кислотой. «Аморфный» магнезит образуется при действии гидротерм, содержащих угольную кислоту, на магнезиальные силикаты (оливин, змеевик) или представляет собой продукт выветривания тех же силикатов под действием угольной кислоты, кислорода воздуха и атмосферной воды. Этот магнезит резко отличается натёчным и почковидным строением на естественной поверхности, напоминающим цветную капусту. На изломе похож на фарфороподобную плотную массу снежно-белого цвета с явно выраженным раковистым изломом. Подобно кристаллическому магнезиту не вскипает на холоду с кислотой.

Спутники: оливин, змеевик, опал, халцедон, магнетит, гематит, тальк.

Блеск кристаллического магнезита стекловидный, «аморфного» — матовый. Твердость — 4 и 5, если содержит механическую примесь опала $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Спайность у кристаллического магнезита совершенная в трех направлениях по ромбоэдру, у «аморфного» же наблюдается только под микроскопом и то при больших увеличениях.

Магнезит, как и любой карбонат, разлагается (диссоциирует) при высоких температурах. Начало разложения 525—600°. Обожженный магнезит при 700—1000° называют каустическим; он содержит от 3 до 8% углекислоты. При обжиге до 1700° углекислота полностью улетучивается. Такой магнезит называют «намертво» обожженным, или металлургическим. Остаток после такого обжига — MgO — представляет собой искусственный минерал — периклаз.

Применение. Каустический магнезит используется при изготовлении огнестойкого цемента Сореля, асбестовых огнеупорных смесей, в бумажном, сахарном и резиновом производстве. Каустический магнезит изготавливается обычно из «аморфного» магнезита с содержанием железа менее 5%.

Металлургический магнезит является прекрасным огнеупором. Из него изготавливают огнеупорные кирпичи для мартеновских, цементных и других печей, работающих при высоких температурах; кроме того, его используют для наварки подин в смеси с мартеновским шлаком. Огнеупорные кирпичи изготавливают из чистого металлургического магнезита и из его смеси с хромитом или кварцитом. Соответственно этот кирпич называют магнезитовым, хромито-магнезитовым и форстеритовым¹. Металлургический магнезит может содержать до 5—8% Fe, до 7—8% SiO_2 , до 1,5—3% CaO .

¹ Периклаз MgO и кварцит SiO_2 при обжиге кирпича-сырца взаимодействуют с образованием нового минерала — форстерита Mg_2SiO_4 .

Месторождения. Кристаллического магнезита: на Южном Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке. За рубежом: в Австрийских Альпах, Маньчжурии (КНР), Корее и Канаде.

«Аморфного» магнезита: на Ю. Урале, в Казахстане. За рубежом: на острове Эвбея в Эгейском море, в Югославии, Салемское в штате Мадрас Индийской республики, в Трансваале, Австралии и США.

Сидерит, или железный шпат (FeCO_3). Содержит 62,1% FeO , в том числе 48,3% Fe , остальное — CO_2 . Изоморфные примеси: марганец, магний и кальций, а механические — глинистые и углстые вещества. Система — тригональная.

Образует мелкозернистые, плотные и землистые массы светлосерого цвета различных оттенков — почти до черного, бурого и ржаво-коричневого. Блеск обычно матовый, а крупнозернистого — тускло-стеклянный. Черта у темно-серых разновидностей белая. Твердость 3,5—4,5. Удельный вес — около 4. При нагревании с соляной кислотой энергично вскипает, а раствор бурет в присутствии FeCl_2 . Если к этому раствору прибавить каплю раствора красной кровяной соли $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, то образуется темно-синий осадок. Спайность в трех направлениях по ромбоэдру наблюдается у крупнозернистого сидерита. При 500—600° разлагается с выделением CO_2 . При окислении превращается в лимонит.

Характерные и отличительные признаки. Энергично вскипает при нагревании с HCl , а раствор синеет от прибавления капли $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ благодаря образованию турбибулевой сини.

Образуется при замещении (метасоматозе) ионов кальция, известняка или ионов магния доломита ионами закисного железа горячих водных растворов (гидротерм), химически-осадочным путем в восстановительной среде вместе с лимонитом и в окислительной среде вместе с пиролюзитом (Керченское месторождение).

Спутники: лимонит как продукт окисления сидерита, кварц, пирит, халькопирит, кальцит в виде известняка, доломит и др.

Месторождения. На Южном и Среднем Урале, на Керченском п-ове и в районе Курской Магнитной Аномалии. За рубежом: в Шотландии, Англии, Австрии, Испании, Германии, Алжире и Тунисе.

Применение. Высококачественная руда на железо при достаточно больших скоплениях и низком содержании фосфора и серы.

Малахит ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$). Содержит 71,9% CuO , в том числе 57,4% Cu , 19,9% CO_2 , 8,2% H_2O . Система — моноклинная.

Встречается малахит в виде натечных (почковидного строения), сплошных и землистых масс (рис. 37, а). На изломе наблюдается полосчатое строение в виде разводов (рис. 37, б). Обычно полосы состоят из волокнистых и тонкоигловчатых кристаллов,

причем волокна и иголочки располагаются перпендикулярно к полушаровидной поверхности почек малахита.

Цвет — яблочно-зеленый (в разрезе светло- и темно-зеленые полосы). Блеск малахита — матовый, а волокнистого и тонко-игловчатого — шелковистый. Твердость 3,5 — 4; легко чертится иглой. Излом — неровный. Удельный вес — около 4. На холо-

ду бурно вскипает в HCl и раствор окрашивается в зеленый цвет, а при добавлении избытка гидроксида аммония NH_4OH переходит в голубой. Порошок малахита при нагревании в пробирке выделяет воду и чернеет в результате разложения на CuO (черного цвета) и CO_2 .



Рис. 37. Малахит:
а — глыба; б — полированная поверхность

Характерные и отличительные признаки. Характерная окраска и реакция при нагревании в пробирке. Отличается от силикатов меди малой твердостью и легкой растворимостью в кислоте. Естественная почковидная поверхность напоминает кожу крокодила.

Образуется малахит вторичным путем на поверхности земли или на небольшой глубине в зоне окисления из халькопирита и других медьсодержащих минералов вместе с лимонитом и карбонатом свинца и цинка. Малахиту сопутствуют также золото, кварц, кальцит, барит и другие минералы.

Месторождения. Единственные в мире по богатству залежей Гумешевское (к. ю.-з. от г. Свердловска) и Меднорудяское (у г. Нижнего Тагила) месторождения разрабатываются с

XVIII в. и в настоящее время почти выработаны. В них были добыты глыбы от нескольких сот килограммов до 50—60 т. Из зарубежных месторождений можно отметить Катангу в Бельгийском Конго.

Применение. Плотные разновидности малахита используются как поделочный материал. Из огромнейшей глыбы, добытой в 1836 г. на Меднорудянском месторождении, были сделаны колонны Исаакиевского собора (высотой в 7 м); на них израсходовано до 20 т малахита. Из этого так называемого русского камня изготовлены вазы, шкатулки, доски столов Эрмитажа, стены одного из зал Зимнего дворца. Мелочь, как отходы производства, землистая разновидность малахита (медная зелень) и медная синь применяются в качестве весьма устойчивой краски.

Вкрапленные землистые разновидности малахита вместе с другими окисленными медными рудами служат рудой на медь.

§ 21. СУЛЬФАТЫ

Сульфаты являются солями серной кислоты металлов: Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, Cu, Pb, Zn и др. В природе встречается около 260 минералов этого класса. Рассмотрим соли Ba, Ca и Na.

Подразделяются сульфаты на безводные и водные. К безводным относят тяжелый шпат и ангидрит, а к водным — гипс и мирабилит. Все минералы этого класса, если они химически сравнительно чистые, — бесцветные и одновременно водяно-прозрачные.

Механические примеси в виде газов придают минералу чисто белый цвет; глинистые и битуминозные вещества обуславливают серую окраску различных оттенков до черного; окислы железа и некоторых других металлов окрашивают эти минералы в винно-желтые, голубоватые и красноватые тона. Все же преобладающим цветом является белый и светло-серый. Блеск — стеклянный с перламутровым отливом на плоскостях спайности. Спайность — совершенная в одном направлении. Твердость 2—3,5, причем у безводных — 3 и больше. Удельный вес — от 1,5 до 3,5, а у безводных больше. Сульфаты на поверхности земли представляют собой весьма устойчивые соединения, если не считать, что некоторые из них могут присоединять или терять кристаллизационную воду; образуются они в водных растворах.

Барит, или тяжелый шпат (BaSO_4). Содержит 65,7% BaO и 34,3% SO_3 . Изоморфные примеси: стронций и кальций, редко свинец и радий. Механические примеси: органические и глинистые вещества. Система — ромбическая.

Встречается барит в виде крупнотаблитчатых и пластинчатых, зернистых и землистых масс, реже образует толстошестоватые и своеобразно членистые скопления. Цвет — непрозрачный белый,

светло-серый, полупрозрачный винно-желтый, голубоватый, красноватый, редко бесцветный водяно-прозрачный. Блеск — стеклянный, а на плоскостях спайности — с перламутровым отливом. Спайность — совершенная в одном направлении и средняя — в другом. Излом — пластинчатый. Твердость 3—3,5, как у карбонатов; легко царапается иглой. Удельный вес 4,3—4,7. Среди аналогичных по виду белых и светлоокрашенных минералов является самым тяжелым. Разлагается при 1149° и растворяется в серной кислоте, но при сильном разбавлении водой раствор мутнеет вследствие выпадения осадка BaSO_4 .

Характерные и отличительные признаки. Большой удельный вес и совершенная спайность в одном направлении. По цвету и блеску похож на кварц, гипс, кальцит, магнетит и другие белые и светлоокрашенные минералы, но отличается от них почти в полтора-два раза большим удельным весом. К тому же кварц обладает очень большой твердостью (легко царапает стекло), гипс легко царапается ногтем, а карбонаты вскипают с кислотой.

Образуется барит гидротермальным путем вместе с кварцем, кальцитом, сульфидами свинца, цинка и других металлов, золотом, иногда сидеритом. Как исключение, имеют промышленное значение химически-осадочные месторождения и россыпи.

Месторождения. В Закавказье, в Туркмении, на Южном Урале, в Западной Сибири, Башкирии, Киргизии, Таджикистане, в Казахстане и Карелии. За рубежом: в Германии, США, Англии, Италии и Индии.

Применение. Белые разновидности барита используются в качестве краски с прекрасной кроющей способностью. При этом барит должен содержать не менее 92—95% BaSO_4 , не более 2—3% SiO_2 , 2—3,5% CaO и не более 0,5% Fe_2O_3 . При использовании барита в других областях примеси не учитываются.

Благодаря большому удельному весу барит применяется в качестве утяжелителя при бурении скважин, главным образом на нефть, как наполнитель при производстве бумаги, резины, линолеума, клеенки, пуговиц и т. п., используется также для глазурей, эмалей, очистки керосина, в пиротехнике для сигнальных ракет и цветных огней, в рентгентехнике (как вещество, не пропускающее рентгеновских лучей) в качестве защитной штукатурки и кашицы при просвечивании желудка, в кожевенном деле для удаления волос, при производстве стекла с большим показателем преломления и т. п.

Ангидрит (CaSO_4). Содержит 41,2% CaO и 58,8% SO_3 . Изоморфные примеси — стронций, а механические — глинистые и органические вещества, а также окислы железа. Система — ромбическая.

Встречается в виде зернистых, редко волокнистых и землистых масс. Кристаллы представляют исключительно редкое явление. Цвет — белый и серый различных оттенков, редко — до черного, а также голубоватый и красноватый. Белая и серая окраска очень часто распределяется пятнами и разводами, как у мрамора. Такой ангидрит, добываемый в Куйбышевской области, называют «жигулевским мрамором». Блеск — стеклянный и тускло-стеклянный, а на плоскостях спайности — с перламутровым отливом, как у барита и гипса. Спайность — совершенная в одном направлении и средняя в двух направлениях, поэтому спайные кусочки имеют вид кубиков. Излом — мелкозернистый. Твердость — такая же, как и у барита (3—3,5). Удельный вес 2,8—3. Растворяется в серной кислоте, но при разбавлении водой не мутнеет как барит. Во влажном воздухе на поверхности земли и до глубины 100—150 м постепенно присоединяет кристаллизационную воду, т. е. гидратируется, увеличиваясь в объеме до 33%. В этом отношении ангидрит неустойчив.

Характерные и отличительные признаки. По раскраске и строению похож на кальцит в виде мрамора, но не вскипает с HCl, и на гипс, но не царапается ногтем.

Образуется химически-осадочным путем при температуре выше 25—30° вместе с галитом, гипсом и солями калия и при процессах дегидратации гипса глубже 100—150 м, но выше зоны метаморфизма.

Применяется как составная часть цемента и как подолочный камень для изготовления чернильниц, статуэток и т. д.

Месторождения — см. галит, соли калия, гипс.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Содержит 32,5% CaO, 46,6% SO_3 , 20,9% H_2O . Механические примеси: глинистое и органическое вещество, окислы железа и кварцевый песок.

Гипс состоит из мелкозернистых (сахаровидных), редко — из волокнисто-игловатых масс и одиночных пластинчатых кристаллов и их сростков. Сростки бывают закономерные и случайные. Закономерные сростки образуют простые двойники, чаще в виде ласточкина хвоста, а случайные — шаровидные скопления, напоминающие иногда лепестки розы (рис. 38). Система — моноклинная.

Цвет химически чистого гипса — бесцветный водяно-прозрачный, часто белый, нежно-розовый, серый различных оттенков, редко — до черного. Блеск крупнозернистых кристаллов — стеклянный с перламутровым отливом на плоскостях спайности, мелкозернистых масс — матовый. Твердость — 2; легко чертится ногтем. Удельный вес — 2,3. Спайность — совершенная, параллельно второму пинакoidу. Расщепляется безопасной бритвой на неупругие пластинки толщиной в доли миллиметра.

При температуре 80—90° гипс начинает терять воду, при 140° переходит в полугидрат (алебастр), около 220° переходит в ангидрит, а между 400—750° превращается в «намертво» обожженный (безводный) гипс.

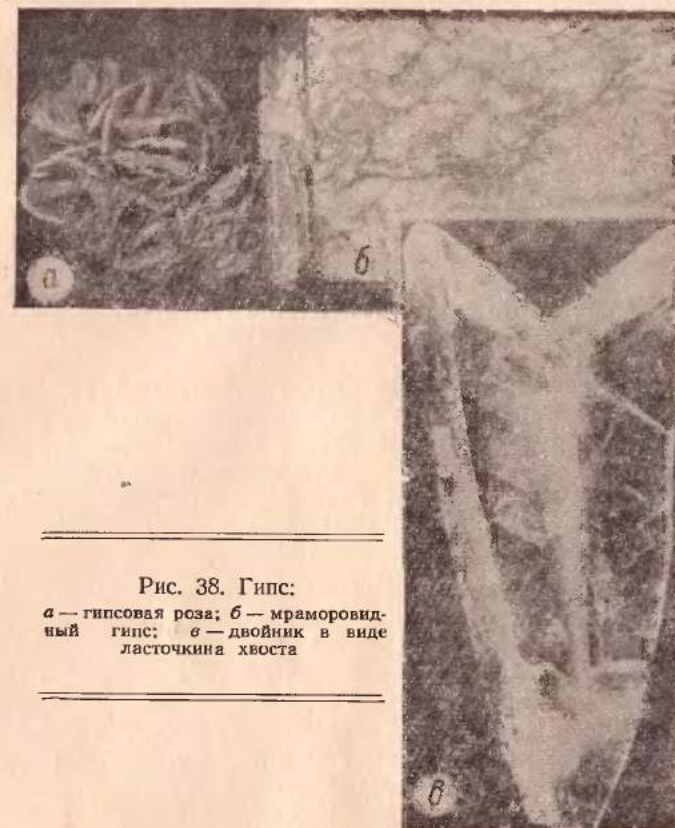


Рис. 38. Гипс:

а — гипсовая роза; б — мраморовидный гипс; в — двойник в виде ласточкина хвоста

Разновидности гипса: 1) алебастр — белого цвета, мелкозернистого (сахаровидного) строения; 2) селенит — лунный камень — волокнисто-игловатого строения, с лунно-голубоватым оттенком; 3) пойкилитовый гипс — содержит включения мелких зерен кварца в виде песка; изобилие включений не нарушает формы кристаллов и сплошности гипса.

Характерные и отличительные признаки. Белым цветом, блеском и сахаровидным строением гипс напоминает альбит, но в отличие от него имеет малую твердость; бесцветный и прозрачный гипс отличается от бесцветной слюды (муско-

вита) неупругими, непружинящими листочками; от кварца, кальцита и других сходных по окраске минералов он практически отличается способностью чертиться ногтем.

Гипс образуется при постепенной гидратации ангидрита, но чаще всего химически-осадочным путем из морской воды: при температуре ниже $25-35^{\circ}$ — вместе с галитом и солями калия; при температуре выше $25-35^{\circ}$ — вместе с ангидритом.

Месторождения. Гипс, как и ангидрит, встречается во всех месторождениях каменной соли и солей калия: в Донбассе, Чкаловской области, на Северном Урале, в Западном Приуралье, Башкирии, по всей Средней Азии, на Кавказе (в Дагестанской АССР), в Вологодской, Горьковской областях и других районах Советского Союза.

Применение. Обожженный гипс широко применяется в строительстве для скульптурных и лепных работ а также в медицине при накладке гипсовых повязок. Мраморовидный, кремоватый и волокнистый гипс употребляется как поделочный камень. Бесцветный и прозрачный гипс применяется в оптике (в качестве компенсатора).

Мирабилит, или глауберова соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Содержит 19,3% Na_2O ; 24,8% SO_3 ; 55,9% H_2O , а также примеси магния.

Система — моноклинная. Образует сплошные и редко игольчатые массы. В условиях сухого и жаркого лета теряет воду и превращается в снежно-белый порошок — тенардит Na_2SO_4 . При нагревании в пробирке выше 32° выделяет воду и при этом полностью растворяется в ней.

Кристаллы мирабилита сразу после выпадения из рассола, т. е. из пересыщенного водного раствора, — бесцветные и прозрачные. После лежания на воздухе они тускнеют, становятся полупрозрачными и покрываются белым порошком тенардита. Иногда наблюдаются оттенки голубоватого, желтоватого или зеленоватого цвета. Блеск свежего мирабилита — стеклянный, со временем сильно тускнеет и становится матовым. Твердость 1,5—2; как и гипс, царапается ногтем. Удельный вес 1,4—1,5. Спайность — совершенная в одном направлении. Вкус — горько-соленый; ощущение во рту охлаждающее.

Характерные и отличительные признаки. При нагревании в пробирке выделяет воду, в которой полностью растворяется. Очень низкий удельный вес. В летнее время теряет воду и превращается в снежно-белый порошок.

Месторождения. Залив Кара-Богаз-Гол, озера южного и северного побережий Каспийского моря, озера Кулундинской и Барабинской степи и Крыма. За рубежом: в США, Канаде, Аргентине и в других странах.

Мировой известностью пользуется месторождение залива Кара-Богаз-Гол.

Запасы мирабилита в этом заливе составляют более 6 млрд. т. Значительная часть соли выбрасывается прибоем на берег, где и добывается.

§ 22. ВОЛЬФРАМАТЫ

Вольфраматы — это соли вольфрамовой кислоты металлов Fe, Mn, Ca и очень редко Cu, Pb и Al. Наиболее широко распространены два весьма важных промышленных минерала: вольфрамит и шеелит, являющиеся основным источником получения вольфрама.

Вольфрам относят к редким металлам, хотя его запасы в земной коре в 7 раз превосходят запасы свинца.

Атомы и ионы вольфрама имеют такие же размеры, как и атомы и ионы молибдена, однако при эндогенных процессах изоморфных соединений эти элементы не дают, что объясняется химической средой образования и большим сродством вольфрама с кислородом, а молибдена — с серой.

Вольфрам — это металл черной металлургии, получивший широкое применение только в XX веке. 80—90% вольфрама расходуется на производство ферровольфрама, из которого изготавливают специальные стали (быстрорежущие, самозакаляющиеся, орудийные, жаростойкие) и сверхтвердые сплавы — стеллиты (до 50% вольфрама с никелем, кобальтом и хромом), являющиеся заменителями алмазов при бурении скважин на нефть, угли и т. п. Сплав вольфрама с 20% хрома употребляется вместо алмаза при изготовлении калиброванных пластинок (фильеров). В электротехнике используется сплав с осмием для изготовления нитей накаливания. Соли вольфрамовой кислоты также находят важное применение: пропитанная NaWO_4 ткань не горит, а искусственный CaWO_4 светится под действием рентгеновских лучей.

Вольфрамит $[(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4]$. Вольфрамит представляет собой промежуточный член изоморфного ряда — от ферберита (FeWO_4) до гюбнерита (MnWO_4). Если содержание Mn достигает 5,9%, то минерал относят к фербериту, если более 17,6% и до 23,4% — к гюбнериту. Вольфрамит содержит 76,5% WO_3 ; 60,6% W; 5,9—17,6% Mn и 7,4—19,1% Fe.

Встречается в виде включений неправильных зерен, очень редко — в виде кристаллов толстостолбчатой и призматической формы (длиной до 20 см). Система — моноклинная. Цвет — черный до темно-бурого и красновато-коричневого. Черта — темно-коричневая, как у темной цинковой обманки. Блеск — полуметаллический, алмазный до смоляного. Твердость 4,5—5,5. Удельный вес 6,7—7,5. Спайность — совершенная в одном направлении. На поверхности земли устойчив, благодаря чему образуются россыпи.

Характерные и отличительные признаки. По цвету и черте вольфрамит похож на цинковую обманку, но с HCl не выделяет сероводорода. Щепотка порошка с 2—3 каплями HCl и гранулированным оловом при нагревании на часовом стекле окрашивает раствор в синий, а затем в пурпуровый цвет. При нагревании в крепкой HCl разлагается и дает желтый осадок H_2WO_4 .

Образуется гидротермальным и в незначительных количествах пневматолитовым путем, а также накапливается в россыпях.

Месторождения. В СССР: в Забайкалье и Южном Урале. За границей: в Китае, Бирме, Индии.

Применение. Руда на вольфрам.

Шеелит (CaWO_4). Содержит 80,6% WO_3 ; 19,4% CaO . Иногда содержит изоморфные примеси: до 7% CuO и до 10% MoO_3 . На долю шеелита приходится 20—25% мировой добычи вольфрама.

Встречается, как и вольфрамит, в виде включений зерен грубо округлой формы и редко образует кристаллы (иногда весом более 900 г) дипирамидальной формы, близкой к октаэдрической. Система — тетрагональная.

Цвет — светло-серый с некоторой голубизной, коричневый, очень редко светло-зеленый в присутствии ионов меди. Блеск — алмазный, на свежем изломе — шелковистый. Твердость — 4,5. Удельный вес 5,8—6,2. Спайность — совершенная в четырех направлениях по октаэдру, причем на изломе наблюдается мелко-сетчатое строение, как у шелковой материи.

Характерные и отличительные признаки. Светло-серый шеелит очень похож на кварц¹ и кальцит, а в отдельных случаях — на полевой шпат — ортоклаз. От кварца отличается спайностью и малой твердостью, от полевого шпата — твердостью; кальцит же бурно вскипает с HCl. Порошок шеелита с HCl и гранулированным оловом при нагревании очень быстро синее.

Образуется шеелит гидротермальным путем и на контакте магмы с известняками при действии на последние летучих соединений вольфрама. Последний тип шеелита (контактово-метасоматический) наиболее интересен в промышленном отношении.

Спутники. Постоянными спутниками шеелита гидротермальных месторождений являются кварц и золото, а контактово-метасоматических — кальцит, кварц, сульфиды железа, железа-меди и молибдена, силикатов кальция, магния, оксидов железа и золота.

Месторождения. В Средней Азии, на Северном Кавказе и Южном Урале. За границей — в США.

¹ При разработке одного из месторождений Калбинского хребта на золото шеелит до 1938 г. вместе с кварцем выбрасывался в отвал.

Применение. Руда на вольфрам. На долю шеелита приходится 20—25% мировой добычи вольфрама.

§ 23. ФОСФАТЫ

К этой группе принадлежат соли фосфорной кислоты металлов Ca, Mg, Fe, Mn, реже Cu, Zn, Co, Ni, редких элементов и урана. Общее число минералов — около 350. Многие из них имеют важное промышленное значение. Приводим характеристику лишь апатита и фосфорита, имеющих огромное народнохозяйственное значение как сырье для производства фосфорных удобрений. В главной своей массе они обладают одним и тем же химическим составом и различаются только дополнительными анионами. Если к этому добавить и резко отличные условия образования, тогда станут понятными резкие различия между ними во внешнем облике.

Апатит. В зависимости от преобладания фтора или хлора различают фтор-apatит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и хлор-apatит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. Более обычен фтор-apatит. Обе разности сходны между собой по физическим признакам: 40,9—42,3% P_2O_5 , 3,8% F, 6,8% Cl, остальное — CaO. Изоморфные примеси: до 11% Sr, до 1% Ce и другие редкие земли (TR). Система — гексагональная.

Встречается апатит в виде зернистых масс и редко образует кристаллы шестигранной формы (рис. 39, а), как у берилла. Цвет обычно светло-зеленоватый, иногда с голубоватым оттенком, реже — винно-желтый и своеобразно золотистый, а также черный. Блеск — стеклянный, а на изломе — жирноватый, как бы оплавленный. Твердость — 5. Излом неровный и мелкораковистый, у зернистых масс — сахаровидный. Удельный вес — больше 3.

Характерные и отличительные признаки. Мелкозернистые массы светло-зеленоватого и голубоватого цвета; обладают типично сахаровидным строением. Такого же цвета кристаллы шестигранной формы со стеклянным блеском очень похожи на берилл, который отличается большей твердостью (8). Растворяется в кислотах: соляной, азотной и серной. Азотнокислый раствор апатита с молибденовокислым аммонием $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ дает на холоду желтый осадок.

Апатит образуется магматическим путем вместе с нефелином, щелочным пироксеном или с нефелином и магнетитом, а также контактово-метасоматическим путем вместе с кальцитом и слюдой-флогопитом (Слюдянка на западном берегу оз. Байкал).

Месторождения. В руде, добываемой на Кольском полуострове (Хибинские горы), содержится 39—93% апатита (в среднем около 75%). Это единственное в мире по запасам и качеству апатита месторождение. За рубежом месторождения

апатита имеются в Швеции, Испании, Южно-Африканском Союзе и некоторых других странах.

Фосфорит¹ ($\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6\text{CO}_3$). Механические примеси: кварц и глауконит в виде песка, глина и землистый кальцит (часто содержатся в значительных количествах).

Фосфорит встречается в виде желваков, а также шаровидной и овальной гальки², состоящей из песчано-глинистой массы зерен или иголочек с характерным радиально-лучистым строением (рис. 39, б). Иногда фосфориты имеют оолитовое строение.

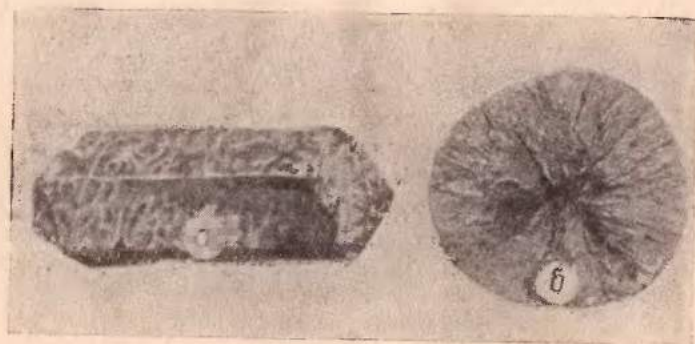


Рис. 39. Апатит:

а — кристалл; б — галька фосфорита (в разрезе)

Желваки окрашены обычно в серый, коричневый и черный цвет с матовым блеском, а шаровидные фосфориты Подолы имеют блестящую, как бы лакированную поверхность. Твердость агрегатов — от 2—3 до 5. Излом — зернистый, землистый и плоско-запозистый у фосфоритов с радиально-лучистым строением.

Характерные и отличительные признаки. Радиально-лучистое строение на изломе у шаровидных и овальных галек. Своеобразный буровато-коричневый и табачный цвет желваков с песчано-глинистым строением на изломе. Реакция на фосфор. Образуется биохимическим путем в морях; связан с известняками.

Спутники: кварц и глауконит в виде песка, кальцит в виде известняка и глинистые минералы.

Месторождения. Важнейшими как по запасам, так и по содержанию P_2O_5 являются месторождения, расположенные близ Актюбинска и на северном склоне хребта Каратау; кроме того, фосфориты добываются в Южнорусской впадине — от По-

¹ Многие авторы рассматривают фосфорит как разновидность апатита.

² Окатанные водным потоком или морским прибоем угловатые камни и их обломки.

долии (на западе Украины) до берегов Волги (в Саратовской области); на севере Курской области и до южных окраин Донбасса; в Московской и Кировской областях. За рубежом фосфориты имеются в США, Египте, Тунисе, Алжире, Марокко на побережье Средиземного моря.

Применение. Апатит и фосфорит главным образом (до 90%) используются для приготовления искусственных удобрений (суперфосфата и термофосфата); в химической промышленности — для получения фосфора, фосфорной и кремнефтористоводородной кислоты; в литейном производстве их добавляют к чугуны и бронзы для увеличения текучести металла при художественном литье.

В руде должно содержаться не менее 33—35% P_2O_5 ; не более 2% Fe_2O_3 , а сумма Fe_2O_3 и Al_2O_3 не должна превышать 3%.

§ 24. СИЛИКАТЫ

По количеству минералов (более 25%), а также в весовом отношении (около 88% массы земной коры до глубины в 16 км) первое место принадлежит силикатам.

По химическому составу силикаты представляют собой кислородные соединения и состоят из 10 основных химических элементов: кислорода, кремния, алюминия, окисного и закисного железа, кальция, магния, натрия, калия, водорода и титана. Они составляют 98,74% всей массы элементов земной коры, причем на долю кислорода и кремния приходится около 75%. Это показывает, что основой всех силикатов является кремнезем SiO_2 .

Ранее силикаты рассматривались как соли несуществующих (гипотетических) кислот H_4SiO_4 , H_2SiO_3 и т. д., тогда как многие силикаты по химическому составу, физическим свойствам и внутреннему строению не являются солями. Со времени применения рентгеновских лучей для исследования минералов стало возможным в деталях изучать строение их кристаллов.

Теперь нам достоверно известно, что в силикатах основной структурной единицей является анион кремневой кислоты $[\text{SiO}_4]^{4-}$, так называемый кремнекислородный тетраэдр, в котором ион кремния Si^{4+} симметрично окружен четырьмя ионами кислорода, которые располагаются как бы в вершинах тетраэдра. Кремнекислородные тетраэдры располагаются в кристаллической решетке силикатов в одиночку и группами. Группы бывают конечные и бесконечные. В конечные группы объединяется по 2, 3, 4 и 6 тетраэдров; 2 тетраэдра связываются одной вершиной. Через общий кислород (наподобие песочных часов) 3, 4 и 6 тетраэдров связываются в плоские кольца вершинами через два общих кислорода.

Бесконечные группы тетраэдров связываются в линию двумя вершинами через 2 общих кислорода, в плоскость — тремя вер-

шинами через 3 общих кислорода и в трехмерный каркас — всеми вершинами через 4 общих кислорода.

Из изложенного о внутреннем расположении кремнекислородных тетраэдров в силикатах следует, что существует пять основных структур (рис. 40):

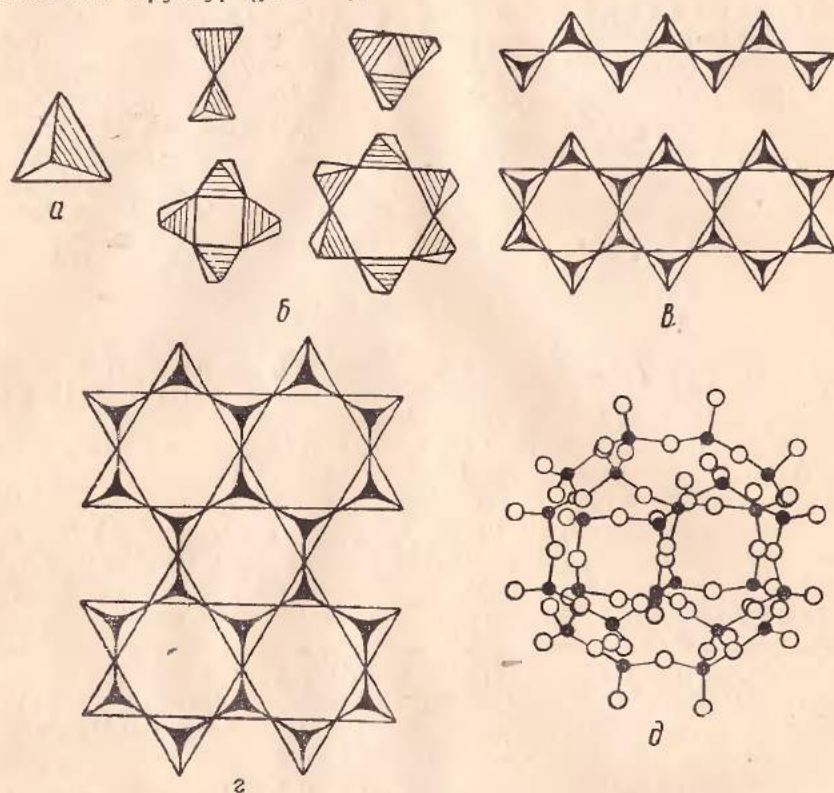


Рис. 40. Пять групп кремнекислородных тетраэдров:

а — изолированные одиночные; б — изолированные группы; в — одномерные (одинарные и двойные); г — двухмерные слои; д — каркасные

а) изолированные одиночные тетраэдры $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (оливин);
б) изолированные группы тетраэдров $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ (тортвейтит, волластонит, аксинит, берилл);

в) одномерные, вытянутые в одном направлении цепочки $[\text{SiO}_3]_n^{2-} = [\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$ (одинарные у пироксена-диопсида), $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_n^{6-}$ (двойные у амфибола-тремолита) и $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]$ — у волластонита.

г) двухмерные слои $[\text{Si}_2\text{O}_5]_n^{2-}$ (талк, слюды); у слюд четвертая часть Si замещена Al, поэтому анион будет иметь вид $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$;

д) трехмерные каркасы, напоминающие пчелиные соты $[\text{SiO}_2]^0 = [\text{Si}_4\text{O}_8]^0$ (кварц, тридимит и кристобалит).

При замещении $1/4$, $1/3$ или $1/2$ атомов четырехвалентного кремния атомами трехвалентного алюминия образуется добавочная свободная валентность кислорода, нейтрализуемая катионами K^{+1} , Na^{+1} или Ca^{+2} . При этом анионы имеют такой вид: $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{-1}$, $[\text{AlSi}_2\text{O}_6]^{-1}$ и $[\text{AlSiO}_4]^{-4}$ (например, ортоклаз, лейцит и нефелин).

Так как в последних двух типах силикатов ионы кремния частично замещаются ионами алюминия, то из общей группы силикатов можно выделить подгруппу алюмосиликатов. Эта подгруппа составляет 64% всех минералов земной коры.

Здесь необходимо лишний раз подчеркнуть справедливость утверждения акад. В. И. Вернадского о том, что Al в силикатах играет роль кислотного окисла. Правда, в некоторых случаях он является основным окислом. В этом факте нет противоречия, так как он лишний раз доказывает двойственную природу Al, его амфотерность.

Все кремнекислородные тетраэдры в кристаллической решетке силикатов «цементируются», связываются катионами Fe^{+2} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+1} , K^{+1} и других элементов. Связь осуществляется через свободные валентности кислорода, т. е. через активный кислород.

Силикаты встречаются в виде округлых (изометричных) зерен, иголочек, шестиков, столбиков чешуек, листочков и редко землистой массы. По окраске их можно подразделить на две большие группы: светлые и темные. Последние окрашены в грязно-зеленые тона до черного цвета. Черта, даже у черных, — белая, до светло-серой, иногда с некоторым зеленоватым оттенком. Блеск — стеклянный до матового, иногда перламутровый или шелковистый. Твердость обычно большая: 5—7, вторичных — от 1 до 3, редко больше. Удельный вес — больше 2, а иногда и 3. Спайность — или совершенная в одном или двух направлениях, или совсем отсутствует.

Происхождение большинства силикатов магматическое (до пегматитового), метаморфическое и вторичное.

Силикаты одного и того же происхождения встречаются вместе при условии соответствия химического характера среды. Например, свободная кремнекислота в виде кварца (магматического происхождения) не встречается вместе с такими недосыщенными SiO_2 силикатами, как оливин и нефелин. Если молекулы названных силикатов встретятся в вулканическом расплаве (магме), то они вступят в химическую реакцию и при этом образуют пироксен и полевой шпат — альбит.

В практической деятельности человека силикаты используют в качестве так называемых нерудных или неметаллических полез-

ных ископаемых и редко используют как руду на металл (берилл руда на бериллий).

Рассмотрим наиболее распространенные силикаты.

1. СИЛИКАТЫ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТЕТРАЭДРАМИ (оливин, циркон и группа дистена)

Оливин, хризолит, перидот ($\text{Mg, Fe}_2[\text{SiO}_4]$). Оливин назван по оливково-зеленому цвету; хризолит — старое название прозрачного топаза золотисто-желтого цвета, на который похожи некоторые разновидности оливина; перидот (искаженное арабское слово «фарида» — драгоценный зеленый камень).

Оливин, представляющий собой промежуточный член совершенного изоморфного ряда от форстерита (Mg_2SiO_4) до фаялита (Fe_2SiO_4), очень широко распространен в природе. Содержит 45—50% MgO , 8—12% FeO , реже — до 20%. Отношение $\text{Mg} : \text{Fe} = 16 : 1 \text{--} 2 : 1$. Изоморфные примеси: до 0,3% NiO , до 0,01% CaO . Система — ромбическая.

Под действием горячих водных растворов (гидротерм) и при выветривании оливин переходит в змеевик (серпентин), магнетит, сидерит, магнетит, красный железняк и опал. При окислении магнетита и гидратации красного железняка образуются месторождения бурых железняков с природной добавкой легирующих металлов никеля, кобальта и хрома (Орско-Халиловский район на Ю. Урале). Встречается в виде зернистых масс оливково (травяно)-зеленого цвета различных оттенков, а также прозрачный и полупрозрачный (просвечивает на глубину). Так как оливин чаще всего озмеевикован (серпентинизирован), то становится непрозрачным и окрашен в грязно-желто-зеленый цвет. Блеск свежего оливина — жирный и зерна на изломе кажутся как бы оплавленными; озмеевикованного — тускло-стеклянный и даже матовый. Твердость 7—6,5; у выветренного снижается до 4 и 5. Удельный вес — больше 3. Совершенная спайность наблюдается под микроскопом у кристаллов, образовавшихся при остывании магмы на поверхности земли. Излом у отдельных зерен мелко-зернистый, у агрегата — зернистый. Плавится при 1255—1400°. С увеличением FeO температура плавления понижается. В крепкой серной кислоте бурно растворяется с выделением студня (геля) SiO_2 .

Крайние члены изоморфного ряда встречаются в природе крайне редко и известны обычно как искусственные минералы, поэтому будем их рассматривать как разновидности.

Форстерит $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ состоит из бесцветных или коричневатых (цвета какао с молоком) округлых зерен. Твердость — 7. Плавится при 1890°. Как и оливин, разлагается в крепкой серной кислоте с выделением геля SiO_2 . В природе образуется на кон-

такте магмы с известняками. Искусственный форстерит получается при обжиге 57% металлургического магнезита MgO с 43% кварцита, почти полностью состоящего из SiO_2 . Кроме того, может быть получен при обжиге талька и магнезита.

Фаялит $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$. Содержание FeO достигает 76%. Система — ромбическая. Встречается в виде зернистых масс и отдельных кристаллов в вулканическом стекле (обсидиане). Окрашен в темно-желтый до зелено-черного цвета. Твердость 6,5—6. По мере увеличения содержания FeO твердость (от форстерита к фаялиту) понижается от 7 до 6, окраска темнеет и температура плавления понижается. Плавится при 1100—1255°. Растворяется в соляной кислоте с образованием геля SiO_2 . В искусственных условиях образуется в шлаках доменных и мартеновских печей.

Характерные и отличительные признаки оливина. Округлые зерна оливково-зеленого цвета с различным оттенком и жирным блеском. На изломе зерна кажутся как бы оплавленными. В крепкой серной кислоте оливин бурно разлагается с образованием студня (геля) окиси кремния.

Образуется оливин только магматическим путем вместе с хромитом и платиной, встречается в дуните, с пироксеном в перидотите, с самородным железом в метеорите (палассово железом под Красноярском). С кварцем оливин никогда не встречается, так как является его антагонистом. При разложении оливина постоянными спутниками являются: змеевик, «аморфный» магнетит, сидерит, магнетит, гематит и лимонит, а также опал — аморфная разновидность кварца.

Месторождения. Урал, Северный Кавказ, Закавказье. За рубежом: Норвегия, Новая Зеландия и другие страны.

Применение. Оливин в виде горной породы — дунита — начали применять в последнее время на металлургических заводах Советского Союза в качестве дунитового огнеупора. Лучшие озмеевикованные дуниты добываются в Нижне-Тагильском районе. Содержание в них FeO не превышает 7—8%; пригодные для этой цели дуниты могут содержать до 10—15% FeO .

Циркон ($\text{Zr}[\text{SiO}_4]$). Содержит 67,1% ZrO_2 (49,5% Zr), 32,9% SiO_2 . Примеси: всегда окись гафния — от 4 до 16%, окись тория — до 7, иногда до 12%, окись урана — до 1,5%, редкие земли (TR) — ниобий, тантал. Циркона в земной коре содержится в 50 раз больше, чем свинца. На поверхности земли весьма устойчив, а поэтому при механическом разрушении горных пород легко освобождается от включающих его минералов и переходит в россыпь. Система — тетрагональная.

Образуется в виде включений отдельных кристаллов, чаще всего в нефелине. Кристаллы — изометричные (дипирамидальной, почти октаэдрической формы) и в виде коротких столбиков. Окрашены кристаллы в коричневатый (какао с молоком), оранжевый

и желтый цвета. Блеск — алмазный. Твердость 7—8. Удельный вес — 4,7. Излом — неровный или мелкокоряковистый. Плавится при 2130°. Его разновидность — гиацит — прозрачного красного цвета, применяется в качестве драгоценного камня.

Характерные и отличительные признаки. Включения в нефелине дипирамидальных кристаллов октаэдрического вида или короткостолбчатых кристаллов призматически-дипирамидального вида.

Образуется магматическим путем с нефелином, биотитом, альбитом, апатитом, ортоклазом, а также накапливается в россыпях.

Месторождения. В СССР — Украина, Урал и другие районы. За рубежом — в Ю. Норвегии, на островах Цейлон и Мадагаскар, в США, Бразилии, Индии и Австралии.

Применение. Руда — на цирконий, торий, уран и редкие земли (ниобий и другие элементы). Сплав циркония с магнием применяют для бездымных вспышек. Чистый металл используют для легирования и раскисления стали. Цирконий соединяется с азотом и полностью освобождает сталь от вредных неметаллических включений в виде азотистых соединений (нитридов). В двигателях внутреннего сгорания употребляется в зажигательных свечах. Окись циркония используется в электропечах в качестве высокоогнеупорного кирпича и цемента. Температура плавления этого огнеупора — около 3000°. Стекло, содержащее 2,5% ZrO_2 , обладает жаростойкостью и кислотостойкостью. В эмалях играет роль глушителя (прозрачная масса стекла эмали становится белой).

Группа дистена представлена тремя минералами — дистеном, андалузитом и силлиманитом (Al_2SiO_5). Различаются они двумя видами алюминия. Один алюминий окружен шестью ближайшими кислородами; таким образом его координационное число равно 6. Алюминий второго вида обладает переменным координационным числом. У дистена это число одинаково с координационным числом алюминия первого вида, у андалузита оно равно 5, у силлиманита — 4. Эти различия резко проявляются в температурах разложения и превращения этих минералов в муллит¹.

Дистен превращается в муллит при 1100—1410°; при этом он увеличивается в объеме на 18%; андалузит разлагается при 1410—1530° и увеличивается в объеме на 5,4%, а силлиманит разлагается при 1550—1750° и увеличивается в объеме на 7,2%.

Дистен, или кианит ($Al_2[SiO_4]O$). Содержит 63,1% Al_2O_3 , 36,9% SiO_2 . Изоморфные примеси: до 1—2% Fe_2O_3 , иногда до 7% Cr_2O_3 . Система — триклинная. Образуется в виде столбчатых кристаллов (рис. 41) и неправильной формы зерен. Цвет —

¹ Муллит — искусственный минерал ($Al_6Si_2O_{13}$), образующийся в глиноземистых огнеупорах.

серый с голубоватым оттенком (просвечивает на глубину), иногда буроватый, желтоватый, реже — бесцветный и прозрачный, как кварц. Твердость: по длине — 4,5 и в перпендикулярном направлении — 6 и 7 (см. рис. 5). Блеск — стеклянный. Спайность — совершенная по первому пинакoidу. Удельный вес — более 3,5; он заметно больше, чем у двух других разновидностей Al_2SiO_5 .

Андалузит ($AlOAl[SiO_4]$). Содержание глинозема в нем то же, что и у дистена. В качестве примесей содержит окислы

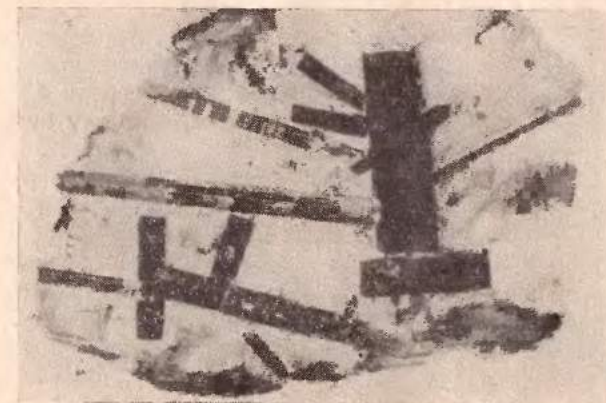


Рис. 41. Шестоватые кристаллы кианита (дистена)

железа Fe_2O_3 и углисто-глинистое вещество. В природе образует столбчатые кристаллы с характерным прямоугольным сечением. В этих сечениях углисто-глинистое вещество располагается в виде креста. Цвет — серый, желтый до бурого и красноватый. Блеск — стеклянный. Твердость 7—7,5. Излом — занозистый у игольчатых и шестоватых масс. Система — ромбическая.

Силлиманит ($AlO[AlSiO_4]$). Глинозема содержит такое же количество, как и два предыдущих минерала, и до 2—3% примесей — окислов железа. Встречается в виде спутанно-волоконистых, редко игольчатых и шестоватых масс серого и буроватого цвета со стеклянным блеском. Твердость — 7. Спайность — совершенная в одном направлении — наблюдается только под микроскопом.

Месторождения промышленного значения в Советском Союзе пока не найдены. Система — ромбическая.

Характерные и отличительные признаки группы дистена. Твердость дистена резко отличная в двух направлениях. Поперек минерал не царапается иглой, а в длину царапается. Для андалузита характерны прямоугольные поперечные сечения. Силлиманит обладает спутанно-волоконистым и игольчатым строением. Если прокаленный обломок минерала смочить

несколькими каплями азотнокислого кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ и снова сильно прокалить, то он окрасится в голубовато-синий цвет.

Минералы этой группы образуются метаморфическим путем за счет бокситов и богатых глиноземом глин вместе со слюдами, корундом, кварцем, полевыми шпатами и диаспором (входит в состав бокситов).

Месторождения. В Казахстане, на Южном Урале, севере Карельской АССР, в центре Кольского полуострова. За рубежом: в Индии, США.

Применение. Прежде всего — это сырье на высокоглиноземистый огнеупор, который получают в электропечах в результате разложения минералов в интервале температур $1100\text{—}1750^\circ$ и превращения их в муллит, который плавится при $1825\text{—}1850^\circ$. Он не разъедается кислотами и щелочами, поэтому широко применяется в стекловарных печах. Кроме огнеупора, из минералов группы дистена изготовляют запальные свечи к двигателям внутреннего сгорания, фарфоровые электроизоляторы, а в электропечах непосредственно получают сплав силумин.

При изготовлении огнеупора сырье должно содержать не менее 54% Al_2O_3 , не более 1—2% $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$. При изготовлении фарфора эта сумма не должна превышать 0,5—0,75%, а сумма окислов щелочей $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — не более 1—1,5%. При выплавке силумина содержание Al_2O_3 — не менее 58—59%, SiO_2 — не более 37%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ — не более 1,5%, а щелочей $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — не более 0,5%.

2. СИЛИКАТЫ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ ГРУППАМИ ТЕТРАЭДРОВ

Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Содержит 14,1% BeO, 19% Al_2O_3 , 66,9% SiO_2 . Система — гексагональная.

Примеси: до 7% окислов натрия, калия и лития, иногда до 3% окиси стронция (в воробьевите); в очень малых количествах содержит окись хрома, окрашивающую берилл в зеленый цвет, и другие окислы. Встречается только в шестигранных кристаллах¹ в виде включений и галек. Цвет обычно зеленый, синеголубоватый с зеленоватым оттенком цвета морской воды и розовый, иногда почти бесцветный. Непрозрачный, полупрозрачный (просвечивает на краях и на некоторую глубину) и реже — прозрачный зеленый, розовый или цвета морской воды. Первый называют изумрудом, второй — воробьевитом, а последний — аква Марином (рис. 42). Применяются в качестве драгоценных камней. В настоящее время изумруды ценятся дороже алмазов (бриллиантов). Блеск — стеклянный. Твердость 7,5—8. Излом — неровный и раковистый. Плавится при 1450° .

¹ Кристалл длиной 27 см и весом 2,5 кг, стоимостью в 43 000 руб. золотом, хранится в музее Ленинградского горного института. В США найдены кристаллы длиной до 2 м. Один кристалл (весом около 16 т) имеет в длину 5 м и 1,5 м в поперечнике.

Бериллия в земной коре в 10 раз больше, чем свинца, но он не дает больших скоплений в одном месте. Металл бериллий открыт в 1797 г. Изумруд — прозрачная зеленого цвета разновидность минерала берилла — известен более 5000 лет. Бериллий почти в таком же количестве содержится в геликоне $\text{Mn}_6[\text{BeSiO}_4]_6\text{S}_2$ и в большом количестве в хризоберилле BeAl_2O_4 (при дневном свете изумрудно-зеленый, а при искусственном освещении — малиновый).

Характерные и отличительные признаки. По цвету, блеску и форме кристаллов берилл очень похож на апатит, но отличается очень большой твердостью и с кальцитом не встречается.

Образуется пегматитовым и пневматолитовым путем вместе с полевым шпатом, кварцем, слюдой, флюоритом, вольфрамитом, арсенопиритом, молибденитом и касситеритом. Благодаря устойчивости встречается в большом количестве в россыпях.

Месторождения. На Урале и в Забайкалье. За рубежом: в Норвегии, Колумбии, Египте, Индии, Бразилии, Аргентине, Австралии, Албании, США, Ю. Африке.

Применение. Руда на металл бериллий, удельный вес которого 1,85, т. е. почти в полтора раза легче алюминия. Плавится при 1285° . Металлический бериллий употребляется в рентгеновских аппаратах вместо алюминия, так как он в 17 раз легче пропускает рентгеновские лучи. Является прекраснейшим раскислителем стали и ее легирующей добавкой. Из бериллиевой стали изготовляют пружины и рессоры, которые практически не знают усталости. Рессоры из углеродистой стали выдерживают 680—850 тыс. толчков, а бериллиевой — 14 млн. толчков. Сплавы бериллия с алюминием, магнием, медью и оловом находят широкое применение и в авиационной промышленности. Химические препараты бериллия с радием являются источником быстрых нейтронов и используются в производстве атомной энергии.

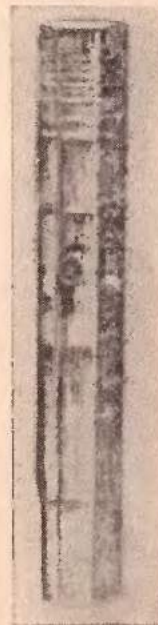


Рис. 42. Кристалл аквамарина (берилла)

3. СИЛИКАТЫ С НЕПРЕРЫВНЫМИ ЦЕПОЧКАМИ ТЕТРАЭДРОВ

(пироксены и амфиболы)

Непрерывные или бесконечно вытянутые в одном направлении цепочки тетраэдров бывают одинарные и двойные. Представите-

лем первых являются пироксены, а вторых — амфиболы. Вместе они составляют 17% (по весу) всех минералов земной коры и занимают второе место после полевых шпатов.

По химическому составу пироксены и амфиболы представляют собой железисто-магнезиальные соединения гипотетической метакремниевой кислоты. В противоположность оливину в рассматриваемых минералах, кроме закисного железа и окиси магния, большое значение приобретает кальций. У пироксенов отношение $\text{Ca}:\text{Mg} (\text{Fe}^{+2}) = 1:1$, у амфиболов оно равно 2:5. Некоторые разновидности содержат еще натрий, алюминий и окисное железо.

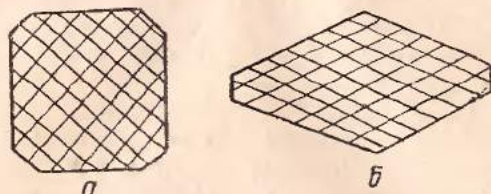


Рис. 43. Поперечные сечения пироксенов (а) и амфиболов (б) под микроскопом

Амфиболы отличаются от пироксенов присутствием дополнительных анионов в виде группы (ОН), иногда фтора и хлора. Это различие указывает на более низкотемпературное образование амфиболов в присутствии минерализаторов.

Пироксены и амфиболы обладают многими общими физическими свойствами, которые являются непосредственным результатом одинакового химического состава и одинакового расположения химических элементов в кристаллической решетке. Различные сочетания химических элементов дают разновидности пироксенов и амфиболов, о которых речь будет идти ниже. Рассмотрим пока общие физические свойства минералов.

Одиночные кристаллы обычно вытянуты в одном направлении и имеют вид столбиков, шестиков, иголочек и волокон. Поперечные сечения у пироксенов близки к прямоугольникам, у амфиболов — ромбы (рис. 43).

Кальциевые соединения окрашены в белый и светло-серый цвет, кальциево-магнезио-железистые — в зеленоватый, железисто-магнезиальные — в грязно-зеленый до черного и натрово-железистые — в темно-синий до черного. Блеск — стеклянный; у тонковолокнистых — шелковистый; у выветривающихся — тускло-стеклянный до матового.

В агрегатах строение параллельно-игольчатое и шестоватое, лучистое и зернистое. Хорошая спайность в двух направлениях наблюдается у очень крупных кристаллов и зерен. Твердость 5—6, редко снижается до 4,5 или повышается до 7. Излом —

занозистый у игольчатых и шестоватых кристаллов и неровный у зернистых. В природных условиях пироксены и амфиболы неустойчивы и со временем переходят в хлорит, тальк, асбест. Некоторые пироксены превращаются в волокнистый амфибол — уралит. Происхождение — магматическое и метаморфическое.

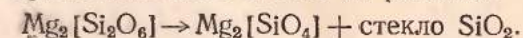
Особого применения не имеют (за некоторым исключением), но являются главнейшими породообразующими минералами.

Спутники: полевые шпаты, нефелин, кварц, слюды, иногда кальцит, магнетит, пирит и другие сульфиды, апатит, тальк, хлорит и магнезит.

Разновидность пироксенов:

1) Энстатит $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, бронзит $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ и гиперстен $(\text{Fe}, \text{Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ содержат различные количества FeO: первый — до 5%, второй — от 5 до 14%, последний — больше 14%. По мере увеличения FeO цвет меняется от белого и серого через зеленоватый и коричневатый с бронзовым отливом (при выветривании бронзита и превращении его в змеевик) до зелено-бурого и черного.

До 1140° энстатит переходит в клиноэнстатит¹, который при 1557° плавится incongruently, т. е. разлагается на форстерит (оливин) и кристобалитовое стекло по реакции:



Если энстатит быстро нагреть до 1450°, то он будет плавиться; бронзит плавится при 1380—1430°, а гиперстен при 1180—1320°. Образуются магматическим путем.

2) Диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ и геденберgit $\text{CaFe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ встречаются в виде толстостолбчатых, крупношестоватых кристаллов с радиально-лучистым расположением и сплошных крупнозернистых масс грязно-зеленого цвета различных оттенков до черного. Образуются контактово-метасоматическим путем и из расплавленного амфибола.

3) Авгит или глиноземистый пироксен $[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6] \cdot (\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Al}))$ образуется в виде зернистых масс или включений отдельных кристаллов темно-зеленого до почти черного цвета. Блеск — сильный стеклянный даже у выветривающегося авгита. Поперечные сечения — почти правильный восьмиугольник. Авгит, содержащий натрий, называют эгирином-авгитом, титан — титан-авгитом, хром — хром-авгитом.

Диалаг — это авгит с отдельностью (неспайностью) по первому пинакoidу.

4) Эгирин $\text{Na}^{+1}\text{Fe}^{+3}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ часто содержит примеси ванадия, бериллия, циркония и тория, поэтому может быть использован

¹ Клиноэнстатит образуется искусственным путем в твердом состоянии при изготовлении форстеритовых огнеупоров из кварцита и металлургического магнезита.

как руда на бериллий и радиоактивный элемент торий. Кристаллы длинностолчатые, шестоватые и игольчатые с глубокими штрихами по удлинению. Окрашен в чисто черный цвет. Блеск — стеклянный. Всегда встречается вместе с нефелином.

Последние три разновидности образуют изоморфные смеси.

5) Сподумен $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ — единственный пироксен, который не образует изоморфных смесей с минералами своей группы. Применяется в качестве руды на литий.

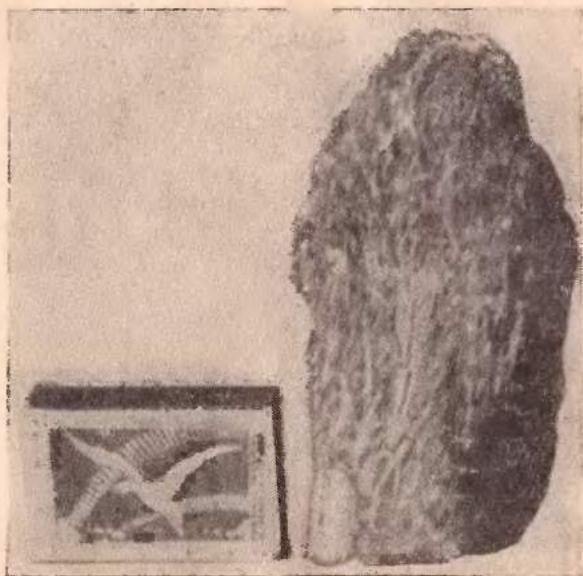


Рис. 44. Актинолит лучистого строения (из группы амфибола)

Месторождения известны в СССР, США и на юге Африки (о. Мадагаскар).

Разновидности амфибола:

1) В тремолите $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ и актинолите $\text{Ca}_2\text{Fe}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ магний и железо могут изоморфно замещать друг друга. Тремолит окрашен в белый и светло-серый цвет, а актинолит (рис. 44) — в зеленый различных оттенков. Оба встречаются в виде шестоватых, игольчатых и волокнистых (асбест) масс. Сплошные плотные массы войлочного строения (под микроскопом) называют нефритом (рис. 45). Он обладает очень большой вязкостью. Окрашен в белый и зеленоватый

цвет. Если нефрит состоит из роговой обманки (см. ниже), то он окрашен в своеобразный зеленый и темно-зеленый цвет и просвечивает по краям. Применяется в качестве поделочного камня, особенно в Китае.

Сплошные, явно параллельноволокнистые массы белого и светло-серого цвета называют амфиболовым асбестом. Применяется в химической промышленности в качестве прекрасного кислотоупорного материала. Из длиноволокнистого асбеста изготавливают огнестойкий текстиль.



Рис. 45. Нефрит (из группы амфибола)

2) Роговая обманка, как и авгит, представляет собой глиноземистый амфибол весьма непостоянного и переменного химического состава. Встречается она в магматических породах среднего по содержанию SiO_2 состава. Эти породы содержат незначительные количества SiO_2 в свободном состоянии в виде кварца. Кроме глинозема, роговая обманка содержит натрий и окисное железо. Роговая обманка с большим содержанием окисного железа окрашена в черный цвет и называется базальтической. Кристаллы образуют обычно округлые зерна темно-зеленого цвета, реже — столбики и призмы. Волокнистые разновидности называют роговообманковым асбестом.

Месторождения амфиболового асбеста: Сысертское (25% от массы горной породы) и в колчеданных залежах Белорецкого и Калатинского месторождений на Среднем Урале.

Нефрит распространен в Западном Китае, на о-ве Новая Зеландия, в Новой Каледонии и Тасмании; в Советском Союзе нефрит известен в Забайкалье и Средней Азии.

Волластонит $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$. Содержит в незначительных количествах натрий, магний, иногда закисное железо, от которого приобретает красноватый оттенок. Система — триклинная¹.

Образуется в виде игольчатых и шестоватых скоплений радиально-лучистого строения, реже листоватых масс (досча-

¹ В последнее время открыт новый ленточный тип кремнекислородного тетраэдра $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]^{10-}$. Поэтому формула волластонита будет: $\text{Ca}_4[\text{Si}_6\text{O}_{17}]\text{O}$ или CaSiO_3 .

тый шпат). Цвет — белый с сероватым оттенком. Блеск — стеклянный. Твердость 4,5—5. Удельный вес 2,8—2,9. Спайность в двух направлениях (совершенная и средняя) под углом 74° ; по величине угла близка спайности карбонатов ($72,5$ — 75°).

Разновидность — досчатый шпат; образуется в виде листовых агрегатов и пластинчатых кристаллов.

Характерные и отличительные признаки. Радиально-лучистое строение; спайность под углом в 74° , близкая к спайности карбонатов; с кислотами не вскипает, но разлагается в соляной кислоте с образованием студня (геля) SiO_2 . При нагревании выше 1200° переходит в псевдоволластонит, который плавится при 1540° .

Происхождение — типичное контактово-метаморфическое (как у группы дистена). Образуется на контакте магмы с известняками вместе с кальцитом, шеелитом, золотом, кварцем, молибденитом и некоторыми силикатами кальция — магнезия, кальция — железа.

Месторождения. Почти всегда встречается с минералами контактово-метасоматического происхождения на Урале, в Минусинской группе в Западной Сибири, в Средней Азии с шеелитом и т. д. Из зарубежных особого внимания заслуживает Санта-Фэ в Мексике (дает скопления в несколько тысяч кубических метров).

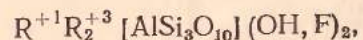
Применяется в тонкой керамике и в качестве «горной шерсти» (после плавления в электропечи), как теплоизоляционный и огнестойкий материал.

4. СИЛИКАТЫ С БЕСКОНЕЧНЫМИ ДВУХМЕРНЫМИ ТЕТРАЭДРАМИ (слюды и слюдоподобные минералы)

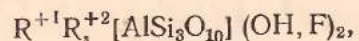
а) Слюды

Большое распространение в природе имеют слюды, которые составляют 4% (по весу) массы земной коры. С них и начнем рассматривать минералы, обладающие слоистым расположением кремнекислородных тетраэдров.

По химическому составу они представляют собой алюмосиликаты вида:



или



где R^{+1} — калий, редко литий, который замещает двухвалентные металлы благодаря близким размерам ионов;

R^{+2} — магний и железо, редко марганец;

R^{+3} — алюминий и железо, редко хром.

В зависимости от состава катиона $\text{R}^{+1}\text{R}_2^{+3}$ или $\text{R}^{+1}\text{R}_3^{+2}$ различают: алюминиевую слюду, или мусковит; магнезиальную, или флогопит; железисто-магнезиальную, или биотит, и литневые слюды: лепидолит и циннвальдит.

Благодаря одинаковому внутреннему строению слюды обладают многими общими физическими свойствами. Встречаются они в виде чешуйчатых, реже листовых и пластинчатых масс, а также кристаллов ложношестиугольного (псевдогексагонального) и ромбоидального вида. Размеры кристаллов иногда достигают $3,5$ и 7 м^2 , объем — $3,5 \text{ м}^3$ и вес — около 7 т . Слюды бывают бесцветные, водяно-прозрачные, полупрозрачные, светло-зеленоватые, дымчатые, бронзового цвета и черные. Блеск — перламутровый и смоляной у биотита. Твердость малая (от 3 — $2,5$ до 2). Спайность — весьма совершенная в одном направлении, благодаря чему слюды расщепляются на тончайшие (до $0,01 \text{ мм}$) гибкие и упругие чешуйки. Эти свойства, а также огнестойкость и большое электросопротивление широко используются в технике. Плавятся при 1150 — 1330° . При уменьшении окислов железа и увеличении окислов магния температура плавления повышается.

Характерные и отличительные признаки. Весьма совершенная спайность в одном направлении, расщепляемость на пластинки и чешуйки толщиной до $0,01 \text{ мм}$, перламутровый блеск, огнестойкость и очень плохая электропроводность. Светлые разновидности похожи на тальк, бронзовые — на вермикулит, а буро- и черно-зеленые — на хлорит. Однако названные минералы отличаются неупругими чешуйками и твердостью от 1 — $1,5$ до 2 , т. е. они легко чертятся ногтем, слюды же не чертятся или чертятся с трудом. На плоскостях спайности наблюдаются характерные фигуры удара и давления¹ в виде шестилучевой звезды. У фигур удара лучи располагаются параллельно граням шестиугольных кристаллов, у фигур давления — перпендикулярно.

Скопления промышленного значения образуются пегматитовым и пневматолитовым путем. В качестве породообразующих минералов слюды входят в состав магматических и метаморфических пород.

Постоянными спутниками являются кварц, полевые шпаты, нефелин, щелочные амфиболы и пироксены, плагиокловый шпат, апатит, кальцит, берилл, циркон и другие силикаты, кроме оливины.

Народы Индии и индейцы в Америке (до прихода туда европейцев) с древнейших времен начали применять слюду вместо

¹ Фигуры удара образуются при резком ударе по вертикально поставленной игле, а фигуры давления — при постепенном надавливании закругленным концом стержня.

стекла. В России слюду начали добывать на побережье Белого моря еще в XVI—XVII вв. и вывозили в Западную Европу, где ее называли московским стеклом.

Месторождения мусковита и флогопита. В Сибири: Восточные Саяны, Забайкалье, Якутия, Средний Урал, на севере Карелии, в западной и центральной частях Кольского полуострова, в Казахстане и на Украине. За рубежом: в Индии, США, Канаде, Китае и Бразилии. Месторождения литиевой слюды имеются на Урале, в Сибири и Казахстане, в Моравии и в рудных горах Чехословакии, на острове Утё близ Стокгольма, в США, Англии и на острове Гренландия.

Разновидности:

1) Мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ — бесцветный прозрачный и полупрозрачный серебристо-белого, дымчатого и светло-зеленоватого цвета. Тонкочешуйчатый мусковит, содержащий повышенное количество воды, называют серицитом. Плавится при 1260—1290°.

2) Флогопит $KMg_3[AlSi_3O_{10}](F, OH)_2$ — коричневато-золотистого и бронзового, а иногда черно-зеленоватого цвета с характерным перламутровым отливом. Иногда очень похож на мусковит, но под микроскопом очень легко отличим по двум почти сходящимся гиперболам; у мусковита они очень расходятся. Плавится при 1330°. Пламя свечи при рассматривании сквозь прозрачную пластинку имеет вид шестилучевой звезды¹.

3) Литиевые слюды — лепидолит $KLi_{1,5}Al_{1,5}(AlSi_8O_{10})(F, OH)_2$ и циннвальдит $KLiFeAl[AlSi_3O_{10}](F, OH)_2$ — окрашены в бледно-розовые и фиолетовые цвета. Встречаются в виде мелких чешуек площадью до одного-двух десятков квадратных миллиметров. Плавится лепидолит при 925—945°, циннвальдит — при 935—965°. Содержат лития до 6%.

4) Биотит $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ имеет черный, бурый цвет, иногда с зеленоватым, красноватым и другими оттенками. При выветривании превращается обычно в хлорит и золотистый вермикулит, а при подводном выветривании (гальмиролизе) на дне моря превращается в глауконит. Плавится при 1150—1240°.

Применение. Главная масса мусковита и флогопита (около 85—90%) используется в радио- и электротехнике. Остальное количество расходуется на вставку окон в печах и приборах, работающих при высокой температуре.

Литиевые слюды являются рудой на литий, который используют в аккумуляторах электрического тока для подводных лодок, в стекольной промышленности для получения опаловых и белых стекол и флинтгласа, в ядерной технике, в сигнальных ракетах и т. д.

¹ Явление астеризма.

б) Слюдopodobные минералы

К слюдоподобным минералам относят: вермикулит, тальк, каолин, хлориты, змеевик, глауконит и многие другие. Эти минералы представляют собой водные соединения, содержащие ионы водорода, гидроксильную группу и молекулы воды. Они образуются на поверхности или вблизи поверхности земли при воздействии атмосферных и грунтовых вод на силикаты и алюмосиликаты. Кроме того, слюдоподобные минералы могут образоваться при действии горячих водных растворов (гидротерм), несущих в себе угольную и кремниевую кислоты. Таким образом, слюдоподобные минералы являются продуктами превращения ранее образовавшихся первичных минералов. В дальнейшем эти минералы будем называть вторичными. У них много общих свойств не только между собой, но и со слюдами.

Встречаются обычно в виде чешуйчатых масс, что можно видеть невооруженным глазом или только под микроскопом. Окрашены в белый и зеленый цвет самых различных оттенков и даже почти черных. Блеск — серебристо-перламутровый, бронзово-перламутровый, шелковистый у волокнистых и тонкочешуйчатых разновидностей, восковой — у плотных и матовый — у землистых масс. Твердость обычно низкая (1—2, редко 3 и 4). Спайность совершенная в одном направлении и наблюдается невооруженным глазом или под микроскопом (у тонкочешуйчатых и землистых минералов).

Вермикулит $(Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3 [(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$. Химический состав изменяется в широких пределах, так как вермикулит образуется из флогопита и биотита, обладающих переменным составом. Изменчивость состава объясняется изоморфизмом их соединений.

Вермикулит отличается от слюд большим содержанием воды (от 8 до 18%), которая испаряется при нагревании. Так, при 100° теряется около 50%, а при 150, 250 и 800° происходит скачкообразное ее выделение. По мере потери воды вермикулит вспучивается ее парами, увеличиваясь в объеме в 14—25 раз. Изменение объема происходит в одном направлении (по кристаллографической оси c); при этом кусочки минерала приобретают вид червячков. Отсюда название минерала, которое произошло от латинского слова вермикулос — червячок.

Вермикулит встречается в виде чешуйчатых и пластинчатых масс (подобно биотиту и флогопиту). Цвет — золотисто-бурый и бронзовый. Блеск — перламутрово-золотистый, иногда жирноватый. После обжига цвет становится чисто золотистым или серебристым. Твердость 1—1,5; легко чертится ногтем. Удельный вес 0,6—0,9, т. е. меньше единицы, поэтому не тонет в воде. Благодаря большой пористости в 30—40 раз слабее проводит тепло,

чем асбест. По той же причине очень плохо проводит звук. Спайность — весьма совершенная в одном направлении.

Характерные и отличительные признаки. Вспучиваемость при нагревании; бронзовый цвет (как у пироксена-бронзита); малая твердость (у бронзита она равна 6); после обжига малая тепло- и звукопроводность; большая поглощательная способность.

Образуется вторичным путем при действии гидротерм на биотит и флогопит и при выветривании биотита.

Спутники: биотит, кварц и полевой шпат или флогопит, кальцит и апатит.

Месторождения. В СССР — Булдымское на Среднем Урале. За рубежом — Либби в США, в Австралии.

Применяется в качестве тепло- и звукоизоляционного материала в кабинах самолетов, при утеплении паропроводных труб и паровых котлов, для очистки нефти, текстиля, масел, а так же как поглотитель (адсорбент).

Каолин $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$. Входит в состав многих глин. Содержит примеси окислов железа, марганца и других металлов, а также органических веществ, присутствие которых придает минералу оттенок и цвет.

Чистый каолин — снежно-белого цвета, а содержащий механические примеси окислов железа — чисто желтого, фиолетового и зеленоватого (в виде полос и разводов). Органические вещества окрашивают каолин в серые цвета различных оттенков до темно-серого. Блеск — матовый и тускло-стеклянный. Твердость — 1. Спайность легко устанавливается по жирноватости на ощупь. При растирании между пальцами землистой массы каолина тончайшие чешуйки (размером в тысячные доли миллиметра) расщепляются на еще более тонкие и, скользя по плоскостям спайности, создают впечатление жирноватости. По условиям образования различают каолин первичный и вторичный.

Первичный каолин на ощупь жирноватый и одновременно шероховатый от ощутимых зерен кварца. Он образуется при выветривании полевых шпатов гранитов и гнейсов, которые всегда содержат зерна кварца размером до 1—3 мм в диаметре, и залегают на месте образования.

Вторичный каолин не содержит ощутимых зерен кварца, а поэтому на ощупь кажется только жирноватым. Этот каолин образуется при размыве первичных каолинов с последующим переносом во взвешенном состоянии текущими водами и отложением его в болотах, озерах и морях. При переносе (транспортировании) глинистых частиц в водной среде зерна кварца по дороге оседают на дно потока, образуя песчаные отмели и острова.

Каолин при нагревании теряет воду в три приема: при 550—560° поглощает тепло в связи с разрушением кристалличе-

ской решетки; при 950—960° начинает кристаллизоваться из аморфной массы в силлиманит, а при 1200—1250° превращается в муллит и аморфную кремнекислоту. В последних двух случаях процесс сопровождается выделением тепла.

Характерные и отличительные признаки. Похож на тальк и графит, однако у талька наблюдаются чешуйки невооруженным глазом и отсутствует реакция на Al, графит же окрашен в стально-серый и даже в черный цвет. В сухом виде каолин прилипает к языку. Если подышать на него, а затем понюхать, то ощущается особый запах глины. При двух-трехкратном прокаливании и смачивании азотнокислым кобальтом синет (реакция на алюминий). Пластичный; с водой образует тесто, способное сохранять приданную ему форму.

Образуется при выветривании алюмосиликатов — полевых шпатов, нефелина, слюд и других минералов. От полевых шпатов к слюдам способность к выветриванию понижается. При метаморфизме на больших площадях, который называют региональным, в присутствии щелочей (калия и натрия) и воды превращается в слюды (серицит, парагонит и затем мусковит) и полевые шпаты. При отсутствии щелочей каолин переходит в дистен, андалузит и силлиманит.

Спутники: кварц, полевые шпаты, слюды, минералы группы дистена и другие силикаты.

Месторождения. На Украине (свыше 150 месторождений), в Московской, Ленинградской, Воронежской областях, на Среднем Урале, в Восточной Сибири, Грузии, на Северном Кавказе, в Крыму. За рубежом: в Китае, Чехословакии, Польше, ГДР, ФРГ и др.

Применение. Основной областью применения каолина является керамическая промышленность (изготовление тонкой керамики — фарфора и фаянса). Каолин применяется также в качестве огнеупорного сырья, наполнителя при изготовлении бумаги, линолеума, клеенки, резины, мыла, красок (ультрамарины) и пр.

Вредными примесями являются окислы калия, натрия, кальция, магния, титана и железа. Они понижают температуру плавления каолиновых глин. Окислы железа на фарфоре и фаянсе дают выплавки и «мушки». Поэтому содержание железа не должно превышать 0,7—1%, а кварцевого песка — 0,1—1,5%.

Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ представляет собой крайний член изоморфного ряда. Вторым крайним членом является пирофиллит $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$, или $H_2Al_2Si_4O_{12}$, который при сильном нагревании расщепляется на тонкие листочки снежно-белого цвета. Пирофиллит похож на тальк и отличается только реакцией на алюминий.

Тальк образует чешуйчатые и листоватые массы с параллельным и плейчатопараллельным расположением, а также плотные массы. Система — моноклинная. Цвет серебристо-белый и светло-зеленоватый, т. е. цвета морской воды. Блеск — перламутровый у листоватого и шелковистый — у тонкочешуйчатого. Твердость — 1. Жирный на ощупь. Спайность весьма совершенная в одном направлении, причем листочки гибкие, но не упругие, и напоминают стружку воска или стеарина. Чистый тальк плавится при температуре около 1200°, а его природная смесь с магнезитом — при 1300—1400°. После прокаливании твердость приближается к 6.

Характерные и отличительные признаки. Похож на мусковит и пирофиллит¹, но первый нежирный на ощупь и обладает упругими, пружинистыми чешуйками, а пирофиллит дает реакцию на алюминий. Тальк при прокаливании с азотнокислым кобальтом розовеет.

Разновидности:

1) стеатит, или жировик, плотного сложения, окрашенный в серый цвет;

2) горшечный, или мыльный, камень; содержит примеси хлорита и других силикатов;

3) тальковый камень; содержит в большом количестве магнезит кремоватого цвета или хлорит серо-зеленоватого цвета; после механической обработки применяется в качестве огнеупорного кирпича;

4) агалит волокнистого строения.

Образуется тальк при действии горячих водных растворов с угольной кислотой на оливин и змеевик, безглиноземистые² пироксены и амфиболы, а также при действии тех же вод с кремнекислотой на доломит. В обоих случаях превращения происходят при высоком давлении.

Спутники: кварц, хлорит, серицит (мелкочешуйчатый мусковит), магнезит, доломит и минералы ультраосновных пород: оливин и его вторичный минерал — змеевик, пироксены или амфиболы.

Месторождения. На Урале, в Южной Осетии, Карелии, в Иркутской области, на Дальнем Востоке и в Средней Азии. За рубежом: в Китае (особенно в Маньчжурии), Франции, Италии, Германии, США, Канаде, Бразилии.

Тальк в основном применяется в молотом виде (тальковый порошок) и в виде кусков для электроизоляторов, кислото- и щелоч-

¹ Розовые пирофиллитовые сланцы Житомирской области в районе г. Овруча до 1930 г. принимались за тальковые.

² При действии на глиноземистые пироксены и амфиболы образуется хлорит.

лочноупорных кирпичей и плит, в тесаном виде в качестве огнеупорных кирпичей для металлургической и стекольной промышленности. Чистые разновидности используются в парфюмерии и в резиновой промышленности (для опудривания изделий), в качестве наполнителей, смазки подшипников машин, а также огнестойкой и светостойкой краски.

Серпентин, или змеевик $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Полированная поверхность змеевика с вкраплениями хромита напоминает кожу змеи.

Встречается обычно в виде сплошных масс, реже образует листоватые и волокнистые массы желтовато-зеленого (оливково-зеленого) и серебристо-белого цвета.

Блеск — матовый, восковой и шелковистый; на изломе у сплошных и плотных масс — жирноватый. Твердость 2,5—3. Излом — неровный, плоско-заноистый. Спайность — совершенная в одном направлении наблюдается только у листоватого змеевика — антигорита.

Разновидности:

1) Антигорит листоватого строения; по внешнему виду напоминает хлорит, но обладает менее совершенной спайностью. Блеск — стеклянный и жирноватый. Твердость — 3,5. Цвет — серый с некоторым синева-зеленоватым оттенком.

2) Хризотил-асбест — параллельно-волокнистого строения. Волокна располагаются перпендикулярно к плоскостям трещин в змеевике. Зеленовато-серебристого цвета с шелковисто-перламутровым блеском. Волокна кошатятся и превращаются в белый пух. Руками можно отщипать волокно толщиной 0,8 микрона (0,0008 мм), что, однако, не является пределом делимости (она может быть в 160—360 раз меньшей). Прочность волокна на разрыв намного превосходит прочность растительных волокон.

3) Офит, или благородный змеевик, — аморфный, опаловидного, плотного строения; просвечивает на глубину. Окрашен в бледно-зеленый, буровато-зеленый и зеленовато-белый цвет. Блеск — восковой. Твердость — 2. При нагревании выше 550° офит превращается в форстерит и стекло. При 1100° и выше стекло взаимодействует с форстеритом и частично (в зависимости от избытка кремнезема) превращается в энстатит.

Серпентин образуется при действии угольной кислоты и кремнекислоты гидротерм на оливин, магнезиальные пироксены, амфиболы, доломиты и доломитизированные известняки. Легче всего превращается в змеевик оливин и труднее всего — магнезиальный амфибол.

Переход оливина в змеевик сопровождается увеличением объема и появлением трещин в горной породе. В эти трещины проникают гидротермы и снова вызывают процесс серпентиниза-

ции. Процесс повторяется до тех пор, пока оливиновая порода (дунит) не превратится целиком в серпентин.

Месторождения. Первое место по запасам хризотил-асбеста занимает Средний Урал, а второе место — Восточные и Западные Саяны. За рубежом: в Канаде, Африке, Греции (о-в Кипр).

Применение. Серпентинизированный дунит применяется в качестве огнеупора, офит — в качестве поделочного камня, а хризотил-асбест, в зависимости от длины волокна, используют в качестве естественного огнестойкого и кислотоупорного материала, асбестового картона, тормозных лент для автомашин и кровельного материала (шифера и этернита).

Хлориты. Благодаря широкому изоморфизму обладают неопределенным и весьма изменчивым химическим составом.

Хлориты представляют собой водные алюмосиликаты, у которых магний изоморфно замещается закисным железом, алюминий — окисным (трехвалентным) железом, редко трехвалентным хромом, три магния — двумя алюминиями, а силиций кремнекислородных тетраэдров частично замещается алюминием.

Кристаллы псевдогексагональной формы встречаются редко; они обычно образуют мелкочешуйчатые, сплошные (тонкочешуйчатые — под микроскопом) и оолитовые массы.

Цвет — грязно-зеленый различных оттенков до черного и кирпично-красноватый. Блеск — перламутровый у крупночешуйчатых и матовый. Твердость 2—3. Весьма совершенная спайность в одном направлении наблюдается невооруженным глазом у крупных кристаллов и чешуек, а под микроскопом — у плотных разновидностей. Хлориты легко разлагаются соляной кислотой с образованием геля окиси кремния. Хлориты, богатые закисным железом, на поверхности земли окисляются и превращаются в бурый железняк.

Образуются хлориты метаморфическим путем и при выветривании железисто-магнезиальных и железистых силикатов из группы слюд, амфиболов и пироксенов. Наиболее легко выветривается биотит, труднее — амфибол и еще труднее — пироксен. Железистые хлориты образуются химически-осадочным путем в прибрежных частях моря вместе с сидеритом и пиритом.

Спутники хлоритов: биотит, амфиболы, пироксены, полевые шпаты, кварц, тальк, мусковит (в виде серицита), бурый железняк, красный железняк, сидерит, пирит, пиролюзит, магнетит и др.

Месторождения. Хлориты широко распространены в природе в виде кристаллических сланцев (талько-хлоритовых и талько-серицитовых), а также в виде железных руд: тюрингита и шамозита.

Последние две разновидности железистых хлоритов имеют большое промышленное значение в странах Западной Европы. Они, по сравнению с другими силикатами, богаты закисным железом и бедны кремнеземом.

Тюрингит $\text{Fe}_{3,5}^{+2}(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_{1,5}[\text{Al}_{1,5}\text{Si}_{2,5}\text{O}_{10}](\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержит 19,8—39,3% FeO, 7,2—31,7% Fe_2O_3 , 15,6—25,1% Al_2O_3 , 19,4—28,8% SiO_2 , 4,6—13,2% H_2O , а также 1,2% примесей пятиокси фосфора.

Образует сплошные скрытокристаллические массы оливково-зеленого или травяно-зеленого цвета. Блеск — матовый. Твердость 2—2,5. Легко разлагается в соляной кислоте с образованием геля кремнезема. Система — моноклиная.

Месторождения. Караджал в Центральном Казахстане. За рубежом: Тюрингия и Бавария.

Применение. Руда на железо. Выплавка стали производится томасовским процессом с целью удаления вредной примеси — фосфора.

Шамозит, или шамуазит $\text{Fe}_4^{+2}\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержит 34,3—42,3% FeO, 0—6% Fe_2O_3 , 13—20,1% Al_2O_3 , 22,8—29% SiO_2 , 10—13% H_2O . В качестве вредной примеси содержит 0,6—0,8% фосфора. Система — моноклиная.

Образуется в виде оолитовых или икроподобных масс серо-зеленого до черного цвета. Блеск — матовый или слабо-стеклянный. Твердость — 3. На поверхности земли легко окисляется и превращается в бурый железняк (подобно тюрингиту). Характеризуется резким преобладанием закисного железа над окисным и легко разлагается соляной кислотой с образованием геля кремнезема.

Месторождения. Имеется ряд месторождений на Урале. За рубежом: во Франции, Чехословакии.

Применяется в качестве самоплавкой, не требующей флюсов железной руды. Как и тюрингитовые руды, содержат большое количество фосфора.

Глауконит $\text{K}_1(\text{MgFe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Al})_{2-3}[\text{Si}_3(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержит 4—9,5% K_2O . Характеризуется значительным содержанием кремнезема и примесью лития. Система, вероятно, — моноклиная.

Встречается в виде рыхлых песчаных масс с зернами диам. от 0,1 до 1—2 мм. Отдельные песчинки, как это легко обнаруживается под микроскопом, представляют собой агрегаты большого числа мельчайших зерен.

Цвет обычно темно-зеленый до зеленовато-черного. Блеск — матовый и слабо-стеклянный. Твердость 2—3. Разлагается в крепкой соляной кислоте; при этом обесцвечивается и сохраняет форму зерен. При выветривании превращается в бурый желез-

няк. Образуется в прибрежных частях морей с известняками и фосфоритами.

Применяется в качестве удобрения, защитной краски и для смягчения воды.

5. СИЛИКАТЫ С БЕСКОНЕЧНЫМИ ТРЕХМЕРНЫМИ КАРКАСАМИ ТЕТРАЭДРОВ

Силикаты с каркасными решетками представлены полевыми шпатами, нефелином и многими другими алюмосиликатами, а также свободной кремнекислотой в виде кварца. Отношение суммы алюминия и кремния к кислороду у алюмосиликатов равно 1:2. На этом основании кварц отнесен к рассматриваемой группе минералов, хотя по химическому составу и относится к группе окислов; к тому же он и по своим химическим и физическим свойствам стоит ближе к силикатам, чем к окислам.

Кварц (SiO_2). Весьма устойчивое соединение в любых термодинамических условиях; составляет 12% (по весу) земной коры. Система — тригональная.

Обычно образуется в виде средне- и мелкозернистых рыхлых, сцементированных сплошных и плотных масс, а также вкрапленный вперемежку с полевыми шпатами и слюдами. Размер зерен — от долей до 2—5 мм. Кристаллы встречаются довольно часто в виде дипирамид с призмами, призм с ромбоэдрами и скаленоэдрами; на гранях призм очень часто наблюдаются поперечные штрихи (рис. 46). Размер кристаллов: длина — от нескольких сантиметров до 2,7 м, диаметр — до 2,5 м.

Химически чистый кварц бывает бесцветным водяно-прозрачным или же имеет светло-серый и молочно-белый цвет от включения газов и наличия сети трещин. Кварц, содержащий тонко распыленные примеси окислов железа, марганца и других элементов, а также включений тонкоигольчатых и волокнистых минералов, окрашен в самые различные цвета и оттенки цветов спектра. Блеск — стеклянный, жирноватый, тускло-стеклянный, редко восковой. Твердость — 7, а у некоторых разновидностей снижается до 5. Среди широко распространенных силикатов является самым твердым минералом. Излом — раковистый, неровный. Удельный вес — 2,65 для кристаллических разновидностей и 2,20 для аморфных. При действии фтористоводородной кислотой легко разлагается с выделением газообразного фтористого кремния SiF_4 .

Характерные и отличительные признаки. Высокая твердость, благодаря чему легко царапает стекло. Раковистый излом, жирный и стеклянный блеск. Окраска светло-серая и молочно-белая. По цвету похож на шеелит, кальцит, гипс, однако шеелит обладает средней твердостью, большим удельным

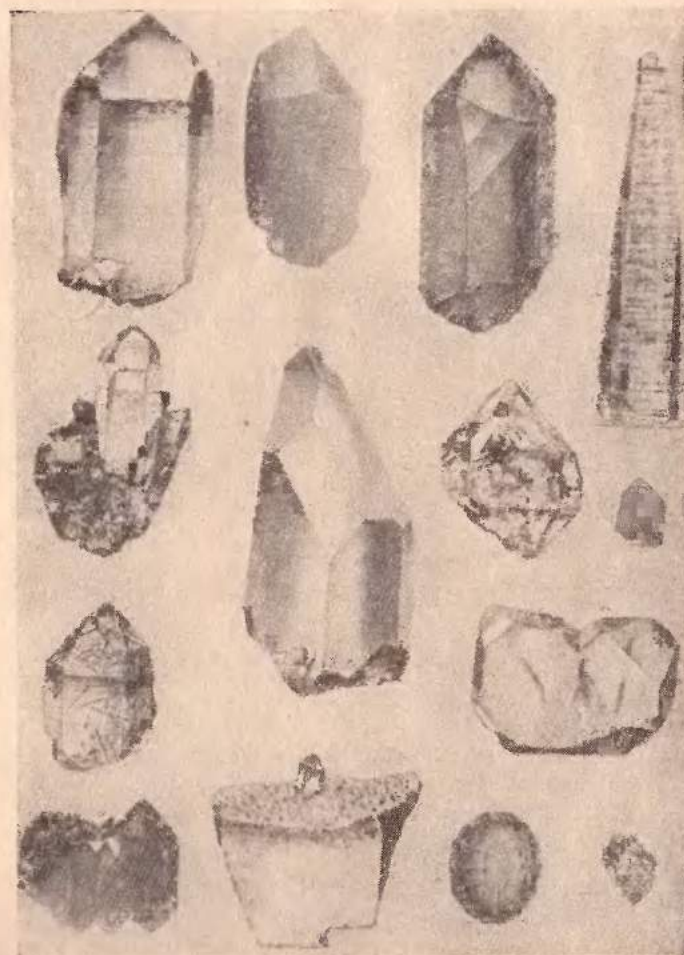


Рис. 46. Кристаллы кварца

весом и дает реакцию на вольфрам; кальцит бурно вскипает с кислотой, а гипс легко царапается ногтем.

Образуется магматическим, осадочным и метаморфическим путем вместе с полевыми шпатами, слюдами, сернистыми соединениями, золотом и др. С нефелином и оливином не встречается.

Кварц имеет большое количество разновидностей в зависимости от температуры образования, присутствия красящих веществ (хромофор), условий образования агрегатов зерен и т. д.

Главнейшие разновидности кварца:

1) Полиморфные модификации (многоформные разновидности) — это альфа-кварц¹, бета-кварц альфа- и бета-тридимит и альфа- и бета-кристобалит, которые различаются между собой положением пары кремнекислородных тетраэдров (рис. 47).

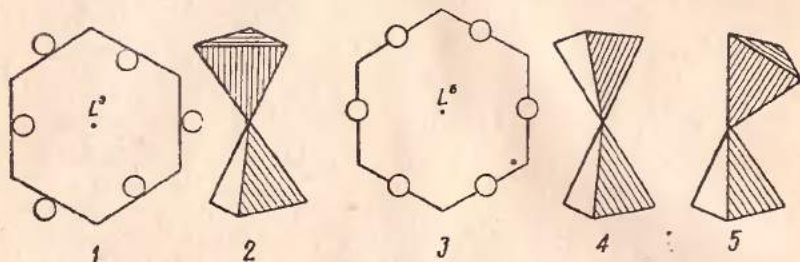


Рис. 47. Полиморфные разновидности кварца:
1 — α -кварц; 2 и 3 — β -кварц; 4 — β -тридимит; 5 — β -кристобалит

2) Прозрачные или полупрозрачные красиво окрашенные разновидности кристаллического кварца: горный хрусталь — бесцветный, прозрачный; аметист — прозрачный, фиолетового цвета; раухтопаз — полупрозрачный, дымчатого цвета; морион — полупрозрачный, черного цвета; цитрин — прозрачный, золотисто-желтого, лимонно-желтого цвета.

3) Разновидности скрытокристаллического кварца: халцедон (и кварцин) — волокнистый с радиально-лучистым строением; агат — это халцедон, иногда тонкозернистый кварц концентрически-полосчатого или параллельно-полосчатого строения; яшма — осадочное образование смеси тонкозернистого кварца, халцедона и окислов железа различных цветов, расположенных в виде полос и разводов; кремнь — это халцедон равномерной дымчато-пепельной окраски вместе с аморфной кремнекислотой; образуется в известняках в виде желваков (рис. 48); маршалит — землистая разновидность кварца в виде белого порошка; образуется при выветривании силикатов.

¹ Самая устойчивая разновидность кварца на поверхности земли.

Месторождения. В СССР: на Урале, в Забайкалье, на Алдане, Памире, Украине. За рубежом: в Бразилии, на о-ве Мадагаскар, в Швейцарских Альпах и др.

Применение. Прозрачное, красиво окрашенные разновидности находят применение в качестве полудрагоценных камней и поделочного материала. Горный хрусталь, обладающий пьезоэлектрическими свойствами, применяется в радиотехнике. Кварц в виде кварцевых песков используется в стекольной и керамической промышленности и как абразивный материал.

Кварциты сплошь состоят из сцементированных зерен кварца метаморфического образования. Применяется при производстве динасового огнеупора.

Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ является некристаллической, или аморфной, но в то же время и водной разновидностью кварца. Он представляет собой продукт разложения магнезиальных силикатов и прежде всего оливина, поэтому относится к вторичным минералам подобно тальку, каолину и т. п.

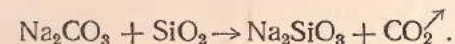


Рис. 48. Кремнь из группы кварца

Содержание воды в нем непостоянное, обычно не больше 1—5% и в отдельных случаях может достигать 34%. Кроме воды, содержит механические примеси — до 10—19% водных окислов (гидроокислов) железа, алюминия, марганца и органических веществ. С течением времени опал обезвоживается и превращается в халцедон и кварц. При нагревании до 100° и от 100 до 250° теряет основную массу воды; при температуре выше 250° теряет остальную воду.

Опал встречается в виде сплошных плотных, стекловидных, пористых и землистых масс.

Окрашен в полупрозрачный белый, слегка голубоватый, желтый, зеленый и перламутровый цвет. Блеск — восковой, жирноватый и перламутровый. На свету опалесцирует. Излом — мелкокорковистый неровный. Удельный вес 1,9—2,5. Твердость плотных стекловидных опалов 5—5,5, пористых — 1. Как и халцедон, легко растворяется в горячей щелочи калия и фтористоводородной кислоте. Обезвоженный нагреванием опал растворяется в соде (с шипением) по реакции:



Разновидности:

1) Благородный опал; обладает опалесценцией и применяется как драгоценный камень; происхождение вторичное.

2) Диатомит; органически-осадочного происхождения; образуется из рыхлых и слабо сцементированных панцирей диатомовых водорослей, скелетов радиолярий и игл морских губок. Содержит примеси глинистых минералов, тонких остроугольных обломков кварца и песчинок глауконита. Окрашен в белый или кремовато-желтоватый цвет. Очень пористый, а потому и очень легкий. Между пальцами легко растирается в нежный порошок. Прилипает к языку. Очень похож на писчий мел, но не вскипает с кислотой.

3) Трепел; химически-осадочного происхождения; состоит из аморфного кремнезема в виде шариков опала или халцедона диам. 0,0025—0,0050 мм. Остатков организмов (см. диатомит) почти не содержит. Трепел бывает двух видов: рыхлый, мучнистый, пористый, растирающийся между пальцами, или плотный, с трудом режущийся ножом. Цвет — белый, серый, желтый, красный и бурый до черного. Растворяется в кислотах лучше, чем диатомит.

4) Опока; осадочного происхождения; довольно твердый, очень легкий благодаря большой пористости минерал. Как и трепел, бывает двух видов: мягкий, как диатомит и трепел, и твердый. Твердая опока при ударах молотком колетса со звоном на мелкие остроугольные обломки с раковистым изломом. Цвет — серый, голубоватый, иногда черный. Удельный вес диатомитов, трепелов и опок колеблется в сравнительно широких пределах — от 0,9 — 1,2 до 1,9 — 2,2; в сухом виде — от 0,25 до 1.

Описанные разновидности опала применяются в качестве тепло- и звукоизолятора, поглотителя (адсорбента) газов (в противогазах), для очистки нефти, масел, сахара, наполнителя при изготовлении динамита и жидкого стекла, а также как полировочный материал.

Месторождения. В Поволжье, на Урале, в Закавказье, в Ленинградской, Смоленской, Курской областях, в Белоруссии, на Украине, в Молдавии. За рубежом: в Германии, Италии, Дании, США, Японии.

Полевые шпаты. Полевые шпаты представляют собой алюмосиликаты калия, натрия и кальция, изредка лития, рубидия, цезия, стронция и бария. По распространению составляют 60% (по весу) всех минералов земной коры, в том числе: магматического происхождения — 36%, метаморфического — 18% и осадочного — 6%. Кристаллизуются в моноклинной (ортоклазы) и триклинной системах (плагиоклазы).

Под действием горячих водных растворов (гидротерм) и агентов выветривания полевые шпаты превращаются в глины и каолины в условиях умеренного климата и латериты (красноземы) и бокситы в условиях тропического и субтропического климата.

Окрашены в белый, серый до темно-серого и красный цвет различных оттенков, редко зеленоватый и еще реже — бесцветный

водяно-прозрачный. Блеск — стеклянный. Твердость 6—6,5. Слабо царапают стекло. Спайность — в двух направлениях под прямым углом или весьма близком к нему. Излом — растянуто-ступенчатый или плоский. Удельный вес 2,6—2,7. Встречаются в виде мелко-, средне- и крупнозернистых вкраплений, разобщенных своими постоянными спутниками — кварцем и слюдой, реже — амфиболами, пироксенами и оливином. Иногда образуются сплошные массы огромных размеров, так называемых пегматитовых жил. Кристаллы столбчато-призматической формы встречаются редко. Характерны закономерные срастания — двойники.

По углу между плоскостями спайности и по химическому составу полевые шпаты подразделяют на ортоклазы и плагиоклазы, т. е. на прямоколющиеся и косоколющиеся.

По химическому составу ортоклазы представляют собой калий-натриевые, а плагиоклазы — натриево-кальциевые полевые шпаты. В пределах каждой подгруппы наблюдаются явления изоморфизма, т. е. образование кристаллов смешанного состава в виде твердого раствора. У первой подгруппы смешанные кристаллы образуются при высокой ¹, а у второй — при любой температуре. Ортоклазы и плагиоклазы также дают смешанные кристаллы, но ограниченного состава. Ортоклазы могут содержать до 35% плагиоклаза (30% альбита и 5% анортита). По мере повышения температуры количество плагиоклаза возрастает. Плагиоклазы часто содержат от 5 до 15% ортоклаза.

Быстрое и скачкообразное падение температуры магмы приводит к скачкообразному изменению химического состава одного и того же кристалла плагиоклаза и появлению зонарного строения.

Главная масса полевых шпатов образуется магматическим путем, вдвое меньшая часть — метаморфическим и незначительная часть — осадочным. Магматические полевые шпаты представлены горными породами — гранитами ², гранито-гнейсами, пегматитами ³ и лабрадоритами ⁴. Пегматиты кристаллизуются в самый последний период остывания магмы из остаточного расплава; наряду с полевым шпатом содержат драгоценные камни и редкие элементы.

Граниты и гранито-гнейсы используют в виде бута, щебня и в обесанном виде — при строительстве зданий, технических и гидротехнических сооружений. Эти горные породы очень широко

¹ При низкой температуре плагиоклаз выделяется с образованием вросков.

² Природный агрегат, содержащий 58—62% полевого шпата, 29—32% кварца, остальное — биотит и другие минералы темного цвета.

³ Состоит из очень крупных сплошных масс полевого шпата. Кварц может даже отсутствовать.

⁴ Сплошь состоит из темно-серого плагиоклаза — лабрадора.

распространены в природе, но главными добывающими районами Советского Союза являются: Карелия и Кольский п-ов, Украина (от Житомира до Днепропетровска и Запорожья) и Урал, особенно Средний и Южный. Эти районы дают 80% добычи.

Пегматиты представляют большой промышленный интерес не только как источник сырья для фарфоро-фаянсовой и стекольной промышленности, но и как источник добычи драгоценных камней, редких и радиоактивных элементов. Пегматитовые керамические полевые шпаты обладают относительно невысокой температурой плавления (1100—1350°) и после затвердевания превращаются в прозрачное стекло. Если к такому стеклу добавить кварца и каолина, то оно мутнеет и становится молочно-белым. Это свойство используют для получения фарфора, фаянса, эмалей, глазурей, молочно-белого стекла и электроизоляционного фарфора. Полевые шпаты должны содержать не более 0,2—0,5% окислов железа, не более 0,3—1% окиси кальция, а сумма окислов калия и натрия должна быть не менее 14—10% (в том числе окиси натрия не более 2—5%).

Лабрадориты применяют для внутренней и внешней облицовки зданий, для колонн, постаментов, памятников и т. п. сооружений. В полированном виде он окрашен в темно-серый и черный цвет, иногда с травянисто-зелеными разводами и темно-голубыми и перламутрово-зелеными переливами. Лучший лабрадор с переливами добывается в районе Житомира и Радомысли. Кроме того, лабрадор известен возле Черкасс и Новомиргорода. Житомирские, или так называемые волынские лабрадориты используются для внутренних нужд страны и являются предметом экспорта в страны Западной Европы.

Подгруппа ортоклаза и ее разновидности. Спайность — совершенная в двух направлениях по первому и второму пинаконду под прямым углом. Обычно имеет красный цвет различных оттенков, светло-серый и редко зеленый с голубоватым оттенком. При нагревании до 900° переходит в разновидность — санидин. При 1170° плавится инконгруэнтно, т. е. разлагается на лейцит (заместитель ортоклаза) и стекло. При 1450° плавится в стекло. Очень часто образует простые двойники — закономерные сращения из двух кристаллов и многосложные двойники, пересекающиеся почти под прямым углом. Излом — проступенчатый.

Разновидности:

1) Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$ — красного цвета различных оттенков, реже светло-серого цвета; образуется при температуре ниже 900°, а при более высоких переходит в санидин.

2) Микроклин $K[AlSi_3O_8]$ — имеет цвет ортоклаза, причем на плоскостях спайности (на одноцветном поле) наблюдаются просвечивающие на глубину более светлые линзовидной формы места. Образуется ниже температуры образования ортоклаза.

Микроклин зеленого цвета с голубоватым оттенком называют амазонитом или амазонским камнем. Он содержит окиси рубидия до 1,4% и окиси цезия до 0,2%.

3) Адуляр и санидин — водяно-прозрачные и бесцветные. Первый образуется гидротермальным, а второй — магматическим путем при излиянии магмы на дневную поверхность. Адуляр и санидин имеют одинаковый состав: $K[AlSi_3O_8]$.

4) Пегматит (письменный гранит) представляет эвтектическую смесь 74% ортоклаза (микроклина или амазонита) и 26% кварца. Кварцевые вроски напоминают по форме восточные письма (см. рис. 23). Взаимное расположение вросток кварца (рядов решетки и оптических направлений) строго параллельное, что легко обнаруживается под поляризационным микроскопом по одновременному угасанию всех вросток.

5) Лунный камень и солнечный камень (авантюрин) являются разновидностями ортоклаза и плагиоклаза. Лунный камень обладает нежно-голубым отливом, а солнечный камень — искристо-золотистым благодаря тонкочешуйчатым включениям железного блеска.

Подгруппа плагиоклаза и ее разновидности. Эта подгруппа представляет пример естественного неограниченного изоморфного ряда от альбита $Na[AlSi_3O_8]$ до анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Первый член плавится при 1100—1250°, а второй — при 1500—1550°. Примеси: калий, барий, стронций, закисное и окисное железо. Спайность — совершенная в двух направлениях, как у ортоклаза, но под углом в 86—87°, поэтому излом косоступенчатый. Окрашены в белый и серый цвет различных оттенков до темного (лабрадор).

По содержанию кремнекислоты плагиоклазы подразделяют на три группы: кислые, средние, основные.

По названию, а значит и по нахождению в природе различают шесть разновидностей минералов смешанного состава: альбит, олигоклаз (мало отличается по углу спайности от альбита), андезин, лабрадор, битовнит, анортит.

Альбит обычно снежно-белого цвета, сахаровидного строения. Олигоклаз — светло-серого цвета с тонкой двойниковой штриховкой на гранях. Андезин — светло-серого цвета; всегда находится вместе с зеленым амфиболом. Лабрадор — темно-серого и одновременно травянисто-зеленого (оливкового) цвета с темно-голубыми и зелено-перламутровыми переливами. Битовнит и анортит окрашены в серый, красноватый и зеленоватый цвет, редко — в белый, бывают и бесцветные.

Наиболее точная классификация плагиоклазов дана русским ученым Е. С. Федоровым, который подразделил их на сто номеров по процентному содержанию анортитовой молекулы.

Нефелин $Na[AlSiO_4]$ 33,28% Al_2O_3 , 16% Na_2O , 43,8% SiO_2

Примеси: до 5—20% K_2O ; 0,5—7% CaO ; до 0,01% Ga_2O_3 ; до 0,01—0,1% BeO и Fe_2O_3 . На поверхности земли переходит в каолин и другие водные алюмосиликаты. Система — гексагональная.

Кристаллы встречаются очень редко и то в пустотах. Обычно нефелин образуется в виде неравномернотермических крупных масс, разобленных апатитом или альбитом, биотитом, ортоклазом, игольчатым и шестоватым щелочным пироксеном — эгирином. Не встречается вместе с кварцем, так как представляет собой недосыщенное кремнекислотой соединение и в случае отсутствия кварца играет роль заместителя полевого шпата — альбита. Окрашен в серый цвет с желтоватым, красноватым и зеленоватым оттенком. Красноватый оттенок создает фон и распределяется жилками, а другие оттенки — пятнами. Блеск — стеклянный и жирноватый. Твердость — 5—6. Спайность — совершенная в одном направлении у сероватого и отсутствует у нефелина с жирноватым блеском. Излом — неровный с жирноватыми пятнышками блеска. Легко разлагается в кислотах. Плавится при 1170—1248°.

Разновидность красновато-серого цвета обладает жирным блеском и называется элеолитом (масляным камнем).

Характерные и отличительные признаки. Жилковатая и пятнистая окраска, жирноватый блеск и совместное нахождение с эгирином и цирконом или апатитом.

Месторождения. Кольский п-ов, Ю. Урал, Украина, Саянский хребет в Предбайкалье.

Применяется при производстве соды, бутылочно-зеленого стекла, свободного глинозема для получения алюминия, иногда — как удобрение.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Бетехтин, Минералогия, Гостеолтехиздат, 1956.
2. А. Г. Бетехтин и др., Курс месторождений полезных ископаемых, Гостоптехиздат, 1946.
3. Дж. Д. Дэна, Э. С. Дэна, Ч. Пэлач, Г. Берман, К. Фрондель, Система минералов, т. I, 1950—1951; т. II, 1953—1954, перев. с англ., Изд. иностранной литературы.
4. Г. А. Кащенко, Основы металловедения, Metallurgizdat, 1949.
5. В. Д. Кузнецов, Кристаллы и кристаллизация, Госиздат техн.-теор. литературы, 1954.
6. М. Ломоносов, О слоях земных, Гостеоллиздат, 1949.
7. Е. К. Лазаренко, Курс минералогии, Гостехиздат Украины, 1951.
8. Г. М. Попов, И. И. Шафрановский, Кристаллография, Гостеолтехиздат, 1955.
9. И. И. Танатар, Теоретические основы учения о рудных месторождениях, Гостехиздат Украины, 1950.
10. В. В. Тихомиров и В. Е. Хаин, Краткий очерк истории геологии, Гостеолтехиздат, 1956.
11. А. С. Уклонский, Минералогия, Гостоптехиздат, 1940.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Авгит (глиноземистый пироксен) 125
 Агалит 134
 Агат 140
 Адуляр 145
 Акварин 123
 Актинолит 126
 Акцессорные (второстепенные) минералы 48
 Алебастр 109
 Аллотропизм 39
 Аллохроматический цвет 59
 Алмаз 63
 Альбит 41
 Альфа-железо 39, 67
 Альфа-кварц 140
 Альфа-сера 62
 Амазонит 145
 Амальгама 80
 Аметист 140
 Аморфизация 18
 Аморфный 11
 Аморфный магнетит 102
 Амфиболы 123
 Ангидрит 107
 Андалузит 120
 Андезит 145
 Анизотропность 11
 Анортит 41
 Антигорит 135
 Антимонит 81
 Апатит 113
 Арагонит 100
 Аргентит 78
 Арсенипирит 76
 Асбест роговообманковый 127
 Аурипигмент 82

Б

Балласы 65
 Барит (тяжелый шпат) 106
 Безводные окислы (простые и сложные) 83
 Бёмит 90
 Берилл 122

Бесконечные группы тетраэдров 115
 Бета-кварц 140
 Бета-кристобалит 140
 Бета-сера 62
 Бета-тридимит 140
 Биотит 130
 Благородный опал 141
 Боксит 90
 Борт 64
 Бриллиант 64
 Бронзит 125
 Бура 15
 Бурый железняк 86

В

Вермикулит 131
 Видманштеттовы фигуры 67
 Вид симметрии 24
 Возгонка 16
 Волластонит 127
 Вольфраматы 111
 Вольфрамит 111
 Воробьевит 123
 Восточный алмаз (лейкосапфир) 91
 — аметист 91
 — изумруд 91
 — топаз 91
 Вторичные минералы 53
 Вторичный каолин 132
 Второстепенные (акцессорные) минералы 48
 Высшая категория кристаллов 24

Г

Газовая (пневматолитовая) стадия 50
 Галенит 77
 Галит 94
 Галоидные соединения 93
 Гамма-железо 39, 67
 Гексагональная сингония 25
 Гексагональный тип 26
 Гематит 85
 Генезис 46
 Геометрическая форма 27
 Геосинклиналь 55
 Гётит 86
 Гипс 108
 Гипсовый шпатель 54
 Гониометр (угломер) 38
 Горные породы 47
 Горный хрусталь 140
 Горшечный (мыльный) камень 134
 Горячеводный (гидротермальный) 48, 50

Гиббсит 90
 Гидатометасоматоз 50
 Гидраргиллит 90
 Гиперстен 125
 Гипс 108
 Гипсовый шпатель 54
 Гониометр (угломер) 38
 Горные породы 47
 Горный хрусталь 140
 Горшечный (мыльный) камень 134
 Горячеводный (гидротермальный) 48, 50
 Градецентрированный куб 43
 Грани пирамидальные 34
 — призматические, пинакоидальные (конечные) 34
 Грань (масштабная) единичная 35
 Группа дистена 120
 Графит 65
 Глауберова соль (мирабилит) 110
 Глаукоцит 137

Д

Двойная пирамида (дипирамида) 33
 Двугранный с параллельными гранями (пинакоид) 33
 Двугранный с пересекающимися гранями (диэдр) 33
 Двукружный угломер 38
 Дендрит 9, 10
 Диаграмма изоморфизма 41
 Диаспор 90
 Диатомит 142
 Диалаг 125
 Динамометаморфизм 55
 Дипирамида 30, 33
 Дистен 120
 Доломит 102
 Диэдр 30, 33
 Доматические (конечные) грани 34
 Досчатый шпат 127
 Друза 57
 Друмондов свет 99
 Дунит 119

Е

Единичная (масштабная) грань 35

Ж

Железные шляпы 54
 Железный блеск 85
 Железный шпат (сидерит) 104
 Железо 66
 Жировик (стеатит) 134

З

Закон постоянства двугранных углов 37
 Закрытая простая форма 28, 33
 Затравка 17
 Земная кора 46
 Зеркально-поворотная ось 20
 Змеевик (серпентин) 118, 135
 Золото 67
 Золото-серебро 41, 43

И

Идиоохроматический цвет 59
 Известковый шпат (кальцит) 99
 Известняк 100
 Излом занозистый 61
 — землистый 61
 — зернистый 61
 — ступенчатый 61
 — раковистый 61
 Изолированные тетраэдры 116
 Изоморфизм 40
 Изумруд 123
 Инверсия 20
 Индексы 29, 35
 Инконгруэнтное плавление 125
 Интрузивные и эффузивные горные породы 48
 Инфильтрационные месторождения 54
 Исландский шпат 99

К

Кальцит 99
 Каменная соль (галит) 94
 Каолин 132
 — первичный и вторичный 132
 Карат 63, 64
 Карбонадо 65
 Карбонаты 98
 Карналлит 95
 Касситерит (оловянный камень) 92
 Каустический магнетит 103
 Квадратная (тетрагональная) сингония 22
 Кварц 138
 Кианит 120
 Киноварь 80
 Класс симметрии 24
 Клиноэктастит 124
 Когенит 66
 Конечные группы тетраэдров 115
 Конечные (пинакоидальные) грани 34
 Конкреции 57
 Контактный метаморфизм 55
 Копьевидный граник (скаленоздр) 31, 33
 Коренное золото 68, 69

Корунд 91
Косоугольная (триклинная) сингония 22
Красный железняк 85
Кремень 140
Кремнекислородный тетраэдр 115
Криолит 97
Кристалл 9, 10
Кристаллит 9, 10
Кристаллическая решетка 13
Кристаллография 5
Кристаллографическая форма 27
Кристаллографические оси 25, 29
Кубическая сингония 24
Кубический тип 26

Л

Лабрадор 145
Лейкосапфир 91
Лепидолит 130
Ликвидус 41
Линейные параметры 35
Лимонит 86
Литографский камень 100
Лунный камень (селенит) 145

М

Магма 47
Магматический тип 47
Магнитный железняк (магнетит) 84
Магнезит кристаллический 102
Магнезит аморфный 102
— каустический 103
— металлургический 103
Малахит 104
Марганцевые шляпы 54
Марказит 74
Мартит 85
Маршалит 140
Масштабная грань 35
Медная зелень 106
— синь 106
Медный колчедан 74
— блеск 75
Медь 71
Мел 100
Мергель 101
Местный метаморфизм 55
Метеоритное железо 67
Метаморфизм 55
— контактный 55
— региональный 55
— термальный 55
Метаморфический тип 54
Микроклин 144
Минераграфия 5
Минералогия 5
Минеральные тела:
гипотермальные 50

мезотермальные 50
эпигетермальные 50
Мирабилит (глауберова соль) 110
Модификаторы 15
Модификация 37
Молибденит (молибденовый блеск) 77
Моноклинная (однонаклонная) сингония 22
Моноклинный 39
Моноэдр 30, 33
Морион 140
Мочевина 15
Мрамор 101
Муллит 120
Мусковит 130
Мыльный (горшечный) камень 134
Мышьяковый колчедан 76

Н

Наждак 91
Несимметричная дипирамида (трапезоэдр) 33
Нефелин 145
Низшая категория кристаллов 22

О

Общая форма 28
Одногранник (моноэдр) 30, 33
Однозначная установка 34
Одномерные группы тетраэдров 116
Однонаклонная (моноклинная) сингония 22
Однородность 112
Окаменелое дерево 51
Окислы 83
Октаэдр 32, 33
Оливин (хризолит, перидот) 118
Олигоклаз 41
Оловянный камень (касситерит) 92
Оолит 58
Опал 141
Опока 141
Ортоклаз 144
Осадочный (экзогенный) тип 52
Осевые единицы (линейные параметры) 35
Осевые углы 35
Основная форма 34
Ось симметрии 19
Открытая простая форма 28, 33
Офит, или благородный змеевик 135

П

Парагенезис 55
Параллелипипед 12
Параметр 29
Параметры линейные (осевые единицы) 35

— числовые 35
Пегматитовые жилы 49
Пегматитовая стадия 48
Пегматиты 49, 144, 145
Пентагондодекаэдр 32, 33
Перекошенный шестигранник (ромбоэдр) 31, 33
Первичный каолин 132
Перидот (хризолит, оливин) 118
Петрография 5
Пинаконт 30, 33
Пинакоидальные грани 34
Пирамида 30, 33
Пирамидальные грани 34
Пирит 73
Пироксены 123
Пирролизит 89
Плавиковый шпат (флюорит) 96
Плавление инконгруэнтное 125
Платина 69
Плоскость симметрии 21
Пневматолитовая стадия 50
Побежалость 59
Поваренная соль 94
Подгруппа алюмосиликатов 117
— ортоклаза 144
— плагиоклаза 145
Полевые шпаты 142
Полиморфизм 38
Порфиновые выделения 48
Порядок оси симметрии 19
Призма 30, 33
Призматические грани 34
Примитивный кристаллик 15
Производные формы 34
Простая ось симметрии 19
Простая форма 27, 30, 31, 32
Псевдоморфоза 51
Псевдохроматический 59

Р

Раухтопаз 140
Реальгар 83
Регенерация 17
Региональный метаморфизм 55
Рекристаллизация 16
Рентгеновские лучи 43, 44
Ретикулярная плотность 17
Роговая обманка 127
Роговообманковый асбест 127
Ромбическая сингония 22
Ромбододекаэдр 32, 33
Ромбоэдр 31, 33
Россыпи аллювиальные 53
делювиальные 53
аллювиальные 53

Россыльное золото 68
Ртуть 80
Рубин 91
Рудное золото 68
Русский камень (малахит) 104

С

Самоограняемость 11
Самидин 145
Сапфир 91
Свинцовый блеск 77
Связи Ван-дер-Ваальса 45
Сегнетовая соль 16
Селенит (лунный камень) 145
Сера 62
Серебро 70
Сернистые соединения 72
Серпентин (змеевик) 118, 135
Сидерит (железный шпат) 104
Силикаты 115
Силлиманит 120
Сильвин 95
Символ грани 36
— простой формы 36
Симметрия 18
Сингония 25
Система 26
Скаленоздр 31
Скарновые месторождения 55
— минералы 55
Сложная ось симметрии 19, 20
— форма 28
Слюды 28
Солитус 41
Солнечный (лунный) камень 145
Спайность 60
Сподумен 126
Спонтанная кристаллизация 17
Стагмиты 58
Сталактиты 58
Стеатит (жировик) 134
Стибит 81
Структура гексаэдрическая 43, 44
— додекаэдрическая 43, 44
— октаэдрическая 43, 44
— призматическая 43, 44
Сублимация 16
Сульфаты 106
Сульфиды 72
Сурьмяный блеск 81
Сфалерит 78
Сферолит 58

Т

Тальк 133
Тальковый камень 134
Твердость минерала 61
Твердый раствор 40, 43

Теллурическое железо 67
 Теодолитный угломер 38
 Теория параллелоэдров 43
 Термальный метаморфизм 55
 Тетрагональная (квадратная) сингония 22
 Тетраэдр 31, 32, 33
 — кремнекислородный 115
 Тип гексагональный 26
 — грани 34
 — кубический 26
 Типы минералообразования:
 магматический (эндогенный) 47
 осадочный (экзогенный) 52
 метаморфический 54
 Типы связей:
 металлическая, или атомная 45
 неметаллическая, или ковалентная (гомополярная) 45
 ионная, или гетерополярная 45
 Титаномагнетит 85
 Трапецоэдр 31
 Тремолит 126
 Трепел 142
 Трехмерные каркасы тетраэдров 117
 Триклинная (косугольная) сингония 22
 Тригональная (треугольная) сингония 22
 Трубки взрыва 65
 Тюрингит 137
 Тяжелый шпат (барит) 106
 У
 Угломеры: прикладной и отражательный, однокружный и двухкружный или теодолитный 38
 Установка кристаллов 34
 Ф
 Фигуры травления 21
 Фильеры 64
 Флогопит 130
 Флюорит (плавиковый шпат) 96
 Форстерит-файялит 118
 Фосфаты 113
 Фосфорит 114

Х

Халцедон 140
 Халькозин 75
 Халькопирит 74
 Хлориты 136
 Хризоберилл 122
 Хризолит (оливин, перидот) 118
 Хризотил-асбест 135
 Хромистый железняк 87
 Хромит 87
 Хромит метеоритный 87

Ц

Центрированный куб 43
 Центр симметрии 19
 Циннвальдит 130
 Цинковая обманка 78
 Циркон 119
 Цитрин 140

Ч

Частная форма 28
 Четырехгранник (тетраэдр) 32, 33

Ш

Шамозит 137
 Шеелит 112
 Шестиугольная (гексагональная) сингония 22
 Шляпы:
 гипсовые 54
 железные 54
 марганцевые 54

Э

Эгирин 125
 Электрум 68
 Элементы симметрии 18
 Элементарный куб 43
 Энантиотропный 39
 Эндогенный 47
 Эндогидатогенный 51
 Экзогенный 52
 Экзогидатогенный 51
 Энстатит 125

Я

Яшма 140

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
15	12 св.	рис.	стр.	Корр.
22	Табл. 1 графа 3, 10 сн.	$L^2 = 1$ или $aP = 2$	$L^2 > 1$ или $L^2 = 1, aP = 2$	Ред.
43	9 сн.	{hkio}	{hkīo}	Авт.
44	4 сн.	справа	слева	»
54	13 сн.	$\neq Na_2SO_4 + \frac{MgCl_2}{зимой}$	$\neq Na_2SO_4 + MgCl_2$ зимой	Считч.
59	23 сн.	цвета	света	»
66	23 св.	выплавки	разливки	Авт.
92	23 сн.	кальцит и слагаемая им порода мрамор	кальцит и его разновидность — горная порода мрамор	»
95	2—3 сн.	При растворении в воде и при сверлении	При сверлении	»
108	23 св.	дегидратации	дегидратации	»
116	7 сн.	волластонит, аксинит,	аксинит,	»
117	6 св.	N^{+1}	Na^{+1}	»
125	13—14 сн.	$[(Si, Al)_2O_6] \times$ $\times (Ca (Mg, Fe^{+2}Al))$	$Ca (Mg, Fe^{+2}Al) \times$ $\times [(Si, Al)_2 O_6]$	»

Заказ 1612