

Е. В. КОПЧЕНОВА

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ ШЛИХОВ
И РУДНЫХ
КОНЦЕНТРАТОВ



Е. В. КОПЧЕНОВА

С 2000 302

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ ШЛИХОВ
И РУДНЫХ
КОНЦЕНТРАТОВ

2876



МОСКВА
«НЕДРА»
1979



Копченова Е. В. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., «Недра», 1979. 247 с.

Книга содержит описание лабораторных методов изучения россыпей. В первом разделе изложена общая схема минералогического анализа шлихов и рудных концентратов. Описаны методы разделения шлихов на фракции, основанные на различии физических свойств минералов (размер зерен, плотность, магнитность и др.), и определения минералов по оптическим свойствам с помощью простейших химических реакций, люминесценции в ультрафиолетовых и катодных лучах и другими более сложными методами. Рассмотрены ассоциации минералов в россыпях. В конце первого раздела даны таблицы для определения минералов по фракциям, полученным в процессе предварительного разделения шлихов. Во втором разделе работы приведено описание минералов шлихов.

Книга рассчитана на широкий круг геологов и минералогов, проводящих шлиховые изыскания и изучение россыпей.

Табл. 29, ил. 56, список лит. — 119 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Россыпные месторождения привлекают внимание геологов, так как являются важным источником минерального сырья. Среди обширной литературы, посвященной россыпям, в свое время имелись обстоятельные руководства, касающиеся как геологии россыпей (Рейборн, Мильнер, 1933; Билибин, 1955, Озеров, 1959; Захарова, 1969, 1974; Кухаренко, 1961; Ложкин, 1962; «Геология россыпей», 1965 и др.), так и методов лабораторного изучения шлихов и рудных концентратов (Чуева, 1950; Копченова, 1951; Юшко, Боришанская, 1955). В настоящее время, к сожалению большая часть указанных трудов является библиографической редкостью. Между тем шлиховые изыскания по-прежнему широко используются в практике геолого-поисковых и разведочных работ. Для проведения этих работ необходимы методические руководства по изучению россыпей.

Настоящая книга содержит описание лабораторных методов минералогического исследования шлихов и диагностики минералов россыпей, а также характеристику шлиховых минералов. При составлении ее учтены новые данные, полученные со времени опубликования прежних руководств автора в 1940 и 1951 годах.

Книга рассчитана на широкий круг геологов и минералогов, занимающихся изучением россыпей.

Автор приносит искреннюю благодарность Н. А. Соловьевой, по инициативе которой книга подготовлена к изданию, и сотрудникам ВИМСа Г. А. Семеновой и Л. А. Гусевой за помощь в подготовке рукописи к печати.

ВВЕДЕНИЕ

Шлихами называют концентраты минералов большой плотности, получаемые при отмывке водой природных рыхлых отложений. Почти все ценные в промышленном отношении минералы россыпей обладают сравнительно большой плотностью и при промывке рыхлых горных пород оказываются в шлихе.

По степени отмывки легких минералов обычно выделяют серые и черные шлихи. Концентраты, недостаточно полно отмывые и содержащие большое количество кварца, полевых шпатов и других легких минералов, в большинстве случаев имеют серую окраску и в промышленности называются серыми шлихами. При полной отмывке легких минералов концентраты называют черными шлихами.

Шлиховой метод опробования и разработок широко применяется в золото-платиновой промышленности. С давних пор золото и платина добывались главным образом из россыпей. Однако первые работы по детальному изучению шлихов наиболее интересных россыпей Урала, Сибири и других районов СССР были проведены лишь после Октябрьской революции.

В настоящее время концентраты минералов россыпей используются как сырье для получения золота, платины, олова, тантала, ниобия, вольфрама, ртути и других редких элементов.

Шлиховые изыскания необходимы также при проведении геолого-поисковых и разведочных работ. Этот вид опробования при незначительных затратах и примитивном оборудовании позволяет определить минеральный состав горных пород района. Многолетний опыт показал, что изучение шлихов часто является наиболее точным методом при поисках многих полезных ископаемых. Шлиховое опробование незаменимо в районах с незначительным обнажением коренных горных пород.

Анализ шлихов часто применяется также при изучении коренных плотных горных пород. Для этого породу дробят, отмывают водой и получают «искусственный» шлих. Сопоставление результатов анализа искусственных шлихов коренных пород изучаемого района с минеральным составом россыпей позволяет судить об источнике тяжелого минерала в россыпях и о дальности его перемещения.

Важное значение имеет шлиховое опробование при разведке на нефть. Выявленные при этом постоянные ассоциации тяжелых минералов позволяют проводить детальную и точную корреляцию осадочных отложений на значительных площадях. При проведении региональной геологической съемки попутное шлиховое опробование может дать ценные указания на рудоносность рай-

она, и теперь оно обычно составляет неотъемлемую часть любой геологической съемки.

Минеральный состав россыпей определяется особенностями вещественного состава и строения горных пород, в результате разрушения которых формировались россыпи. Большое значение при этом имеют характер и интенсивность процессов разрушения первичных пород и образования обломочного материала, а также изменение последнего при перемещении, отложении и эпигенетических преобразованиях.

При изучении шлихов необходимо иметь в виду, что внешний вид минералов россыпей, в силу особенностей образования последних, часто резко отличается от вида минералов коренных месторождений. При образовании россыпей происходит естественная сортировка минералов по плотности, твердости, хрупкости и другим физическим свойствам. При перемещении водными потоками многие минералы легко окатываются и в той или иной степени теряют свойственные им кристаллические формы.

Неустойчивые в химическом отношении минералы покрываются с поверхности пленкой вторичных продуктов изменения. Последнее явление особенно часто наблюдается на сульфидах. Так, пирит в аллювиальных отложениях почти всегда покрывается сплошной пленкой лимонита, а галенит превращается в церуссит, отлагающийся обычно по тонким трещинам спайности минерала.

При изучении искусственных шлихов определение минералов часто затрудняется отсутствием форм кристаллов, нарушаемых при дроблении, и наличием сростков, иногда составляющих значительную часть шлиха.

РАЗДЕЛЕНИЕ ШЛИХОВ НА ФРАКЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

ОБЩАЯ СХЕМА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ШЛИХОВ

В полевых условиях для определения минералов шлихов приходится пользоваться наиболее простыми методами анализа, не требующими применения сложных приборов. Минералы определяются главным образом по внешнему виду (окраске, блеску и форме зерен), плотности и с помощью простейших химических реакций.

При анализах искусственных шлихов из дробленых проб определение минералов часто затруднено плохой сохранностью кристаллических форм, нарушаемых при дроблении горной породы. В этом случае приходится чаще прибегать к определению оптических свойств и химического состава минералов.

Иногда в лаборатории поступают шлихи недостаточно хорошо отмытые, содержащие большое количество кварца, полевых шпатов и других легких минералов. Эти шлихи перед анализом предварительно отмывают («доводят»), пользуясь старательским лотком, небольшим железным ковшом, алюминиевой или фарфоровой чашкой. Доводку шлиха производят в большом тазу или в ведре. Шлих высыпают в железный ковш (или чашку) и погружают ковш в воду. Встряхиванием взмучивают шлих, и осторожно наклонив ковш, смывают легкие минералы. Даже при очень тщательной отмывке часть тяжелых минералов смывается вместе с легкими. Особенно легко смываются частицы минералов, имеющих пластинчатую или удлиненную форму. Поэтому после первой промывки оставшийся в ковше шлих переносят в небольшую фарфоровую чашку, а легкие минералы, находящиеся на дне таза или ведра, вторично отмывают в ковше. Выделенные после второго отмывания тяжелые минералы присоединяют к основной массе отмытого шлиха. Затем шлих высушивают и взвешивают.

Минералогический анализ шлиха состоит из двух существенно различных этапов: предварительное разделение шлиха на фракции и определение минералов.

В состав шлиха обычно входит большое число различных минералов, многие из которых весьма сходны по внешнему виду. Очень часто наиболее интересные в промышленном или поисковом отношении минералы присутствуют в шлихе в относительно малых количествах и не могут быть обнаружены без предварительного выделения их из общей массы минералов. Разделение

Шлих, содержащий минеральные зерна различной крупности, перед анализом должен быть рассеян на ситах, так как неравномернозернистый материал не дает полного разделения минералов магнитом, электромагнитом и тяжелыми жидкостями. Кроме того, ситовой анализ позволяет определить процентное соотношение минералов в классах различной крупности. Если количество шлиха велико и для анализа приходится отбирать среднюю пробу, то ее необходимо отбирать после рассеивания, так как не исключена возможность, что средняя проба, отобранная из шлиха, содержащего зерна различной крупности, будет значительно отличаться от среднего состава всего шлиха.

Рассеивание обычно производят на наборе стандартных сит. Отношение размеров отверстий смежных сит является модулем шкалы набора стандартных сит. В США и Англии размеры отверстий сит измеряются в мешах. Число меш равняется числу отверстий в линейном дюйме, т. е. 25,4 мм сетки. Число меш увеличивается с уменьшением размера отверстий. По шкале Тейлора используют сита с модулем $\sqrt[4]{2} = 1,4$ от 2,36 мм (8 меш) по 0,104 мм (150 меш) и далее с модулем $\sqrt[4]{2} = 1,189$ от 0,104 мм по 0,043 мм (325 меш).

В СССР отверстия сита начиная с 2,5 по 1 мм имеют модуль $\sqrt[10]{10} \cong 1,26$, а сита с более мелкими отверстиями соответствуют модулю $\sqrt[20]{10} \cong 1,12$. Величина отверстий некоторых наиболее часто употребляемых сит приведена в табл. 2.

При минералогическом анализе обычно пользуются ситами с размером отверстий 2; 1; 0,5 и 0,25 мм. При рассеивании колонку сит составляют таким образом, чтобы верхнее сито было самым крупным, а под ним помещались сита с постепенно уменьшающимся диаметром отверстий. Шлих высыпают в верхнее сито, и колонку сит встряхивают до тех пор, пока не закончится разделение. После этого сита разъединяют, взвешивают классы, оставшиеся на ситах, и каждый класс упаковывают в отдельный пакет, на котором пишут название месторождения, номер образца, класс крупности и массу.

Часто при подготовке шлиха к анализу пользуются только одним ситом с размером отверстий 1 мм. Тогда крупный класс содержит зерна минералов размером более 1 мм. Если шлих рассеивался на нескольких ситах, то имеется несколько крупных классов, например от 0,25 до 0,5 мм, от 0,5 до 1 мм и > 1 мм. Крупные классы разделяют магнитом и просматривают под бинокулярном. Выделенные минералы определяют с помощью паяльной трубки или обычными методами шлихового анализа, описанными в настоящей работе и применяемыми для мелких зерен. Результаты определения также вносят в табл. 1.

Размеры отверстий сит (Берлинский, 1975)

США				Англия		Интернациональная ассоциация стандартов (ISA), мм	СССР, ГОСТ 3584—73, мм
Шкала Тейлора		ASTM		BS 410—1949			
мм	отверстий на 1 дюйм (меш)	мм	отверстий на 1 дюйм (меш)	мм	отверстий на 1 дюйм (меш)		
3,962	5	4,0	5	3,353	5	4,0	—
3,327	6	3,36	6	—	—	—	—
2,794	7	2,83	7	2,812	6	2,8	2,5
2,362	8	2,38	8	—	—	—	—
1,961	9	2,0	10	2,057	8	2,0	2,0
1,651	10	1,68	12	1,676	10	—	1,6
1,397	12	1,41	14	1,405	12	1,4	1,25
1,168	14	1,19	16	1,204	14	—	—
0,991	16	1,00	18	1,003	16	1,00	1,00
0,833	20	0,84	20	0,853	18	—	0,80
0,701	24	0,71	25	0,699	22	0,71	0,70
0,495	32	0,50	35	0,500	30	0,50	0,50
0,295	48	0,297	50	0,295	52	0,35	0,315
0,208	65	0,21	70	0,211	72	0,25	0,20
0,147	100	0,149	100	0,152	100	0,125	0,125
0,104	150	0,105	140	0,104	150	0,09	0,100
0,074	200	0,074	200	0,076	200	—	0,080
0,061	250	0,063	230	0,064	240	0,063	0,063
0,043	325	0,044	325	0,053	300	0,045	0,045
0,038	400	0,037	400	0,044	350	—	0,040

ОТБОР СРЕДНЕЙ ПРОБЫ

Если масса шлиха или мелкого класса после ситового разделения превышает 12—15 г, то для анализа отбирают среднюю пробу. При отборе средней пробы необходимо соблюдать определенные предосторожности для того, чтобы проба действительно соответствовала среднему составу всего образца. Сокращение пробы до массы, необходимой для анализа, имеет исключительно важное значение, так как исследование неправильно взятой пробы не может дать хороших результатов даже при самом тщательном анализе ее.

Существуют различные методы сокращения проб, описанные в соответствующих руководствах (Глаголев, 1941; Годэн, 1946; Копченова, 1951; «Методическое руководство...», 1963; Коц, Разумная, 1970; Берлинский, 1975).

Наиболее простым является метод квартования, не требующий специального оборудования и потому наиболее широко распространенный. При квартовании хорошо перемешанную пробу шлиха высыпают через воронку на большое стекло или на лист плотной гладкой бумаги. Образующийся конус шлиха с помощью другого стекла или гладкой деревянной линейки выравнивают

в плоский круг одинаковой толщины и делят крестообразно на четыре части. Две противоположные четверти берут для средней пробы; их тщательно перемешивают и квартуют дальше до тех пор, пока не получают пробу нужной массы.

Средняя проба, полученная методом квартования, часто значительно отличается по составу от всего шлиха. Многие исследователи считают, что методом квартования большой пробы шлиха с малой концентрацией ценного минерала весьма трудно получить надежную среднюю пробу для анализа.

Применение специальных приборов для сокращения пробы позволяет более точно выделить среднюю пробу из большей массы

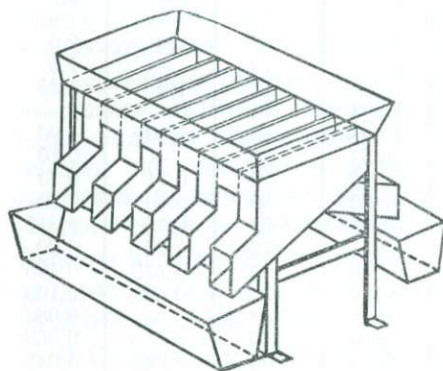


Рис. 1. Схема делителя Джонса

шлиха. Наиболее часто для сокращения проб применяют делитель Джонса, состоящий из ряда желобков одинакового размера, имеющих наклонные днища и разгружающихся в разные стороны (рис. 1). Изготавливают делители различных размеров. Их используют для разделения как большого количества шлиха, так и небольших проб массой 2—3 г. Применяются также и другие приборы для сокра-

щения проб, описание которых имеется в работах А. А. Глаголева (1941), И. П. Плаксина (1947) и др.

Масса средней пробы шлиха, употребляемой для минералогического анализа, зависит в первую очередь от содержания определяемых минералов и от крупности шлиха. Чем меньше в шлихе ценного минерала, тем большее количество шлиха должно подвергаться изучению, иначе может случиться, что при сокращении в конечную пробу не попадет ни одного зерна определяемого минерала, и в результате анализа получится представление о полном отсутствии его в шлихе.

При анализе шлихов навеска для минералогического изучения часто берется без каких-либо теоретических расчетов, на основании практических наблюдений. В работах В. А. Новикова (1970) и А. Ф. Ли (1948) приводятся теоретические расчеты массы средней пробы, обеспечивающей надежные результаты минералогического анализа.

А. Ф. Ли считает, что степень сокращения пробы зависит от следующих факторов: 1) содержания определяемого минерала в шлихе; 2) крупности зерен минералов; 3) плотности определяемого минерала; 4) погрешности анализа.

Истинное содержание минерала в шлихе обычно бывает неизвестным и не может точно учитываться при сокращении шлиха.

При теоретических расчетах приходится пользоваться предполагаемым содержанием минерала в шлихе. Размеры зерен шлиха определяются просеиванием через сита. Средняя проба шлиха для минерала высокой плотности должна быть больше, чем для минерала низкой плотности. Погрешность или допустимая ошибка анализа является величиной заданной.

При минералогическом анализе шлихов погрешность сокращения часто является общей ошибкой анализа. По аналогии с погрешностями, допускаемыми при химическом анализе, А. Ф. Ли считает, что при содержании, например, вольфрамита, касситерита и других ценных минералов в шлихах до 0,2% точность можно принять равной $\pm 30\%$, а при содержании 1% и выше — равной $\pm 15\%$. Тогда, принимая во внимание в среднем 100-кратную концентрированность минералов в шлихах, при пересчете на исходный материал в первом случае истинное содержание будет 14 или 26 г/т вместо 20 г/т, а во втором случае — 85 или 115 г/т вместо 100 г/т.

Теоретические расчеты приводят А. Ф. Ли к выводу, что для шлиха, содержащего ценного минерала 2000 г/т, при погрешности анализа 30% и плотности минерала 7 (касситерит), средняя проба для анализа может быть вычислена по формуле

$$q = 35d^3,$$

где q — масса средней пробы; d — наибольший диаметр зерен шлиха.

Проверка этой формулы на искусственных смесях магнетита, граната, ильменита и касситерита показала, что она с успехом может быть использована при отборе средней пробы для количественного минералогического анализа шлихов.

Масса средней пробы для анализа шлихов различной крупности, вычисленная по формуле А. Ф. Ли, для зерен размером до 0,3 мм равняется 0,9—1 г; для фракции с наибольшим размером зерен 0,5 мм равняется 4,4—5 г; с наибольшим размером зерен 1 мм — 35 г. Во всех случаях навеску для анализа меньше 1 г брать не рекомендуется. При малых количествах ценных минералов в шлихе навеску средней пробы сильно увеличивают.

Массу средней пробы для качественного анализа определяют в зависимости от минерального состава шлиха. Если шлик содержит много магнитных минералов (это устанавливается приблизительно по виду шлиха), для анализа берут среднюю пробу мелкого класса (—1,0 мм) массой не менее 15—20 г. Для шлихов с небольшим количеством магнитных минералов берут среднюю пробу 8—10 г. Если в шлихах определяют очень редко встречающийся минерал, то для анализа используют большое количество шлиха (100 г и более).

Среднюю пробу взвешивают и массу записывают по схеме, данной в табл. 1.

МАГНИТНАЯ СЕПАРАЦИЯ

Каждый минерал, помещенный в магнитное поле, вследствие магнитной индукции намагничивается. Для характеристики магнитных свойств минералов обычно пользуются магнитной восприимчивостью χ , характеризующей интенсивность намагничивания минерала.

Атомы любого тела состоят из положительно заряженного ядра, вокруг которого по орбитам вращаются отрицательно заряженные электроны, создающие вокруг себя магнитные поля. В зависимости от расположения электронных орбит в атоме их магнитные поля могут усиливать, ослаблять или нейтрализовать друг друга. В отсутствие внешнего магнитного поля магнитные поля атомов и молекул обычно скомпенсированы и тело нейтрально. Если такое тело попадает во внешнее магнитное поле, то магнитные поля атомов и молекул ориентируются определенным образом и тело намагничивается.

Объемная магнитная восприимчивость тела χ_0 , характеризующая способность тела намагничиваться, равна отношению интенсивности намагниченности тела I к напряженности внешнего поля H

$$\chi_0 = \frac{I}{H}.$$

Удельная магнитная восприимчивость χ тела представляет отношение объемной магнитной восприимчивости χ_0 к плотности d тела

$$\chi = \frac{\chi_0}{d}.$$

Все вещества по магнитным свойствам делятся на две группы: 1) диамагнитные вещества, которые намагничиваются отрицательно и уменьшают напряженность магнитного поля, для них $I < 0$ и $\chi < 0$; 2) парамагнитные вещества, которые намагничиваются положительно и усиливают напряженность магнитного поля. Для них $I > 0$ и $\chi > 0$.

Многие минералы обладают постоянной магнитностью. Однако существуют такие минералы, магнитные свойства которых изменяются в широких пределах. К последним относится группа амфиболов, пироксенов, оливина и подобных им минералов, представляющих изоморфную смесь магнезиальных и железистых силикатов, причем один и тот же минерал может быть отнесен к фракциям различной магнитности в зависимости от количества железа, входящего в его состав.

Магнитная восприимчивость минералов, по данным А. С. Поваренных (1957) и А. А. Кухаренко (1961), приведена в табл. 3.

Удельная магнитная восприимчивость минералов χ

Минерал	$\chi \cdot 10^{-6}$	Минерал	$\chi \cdot 10^{-6}$
Графит	-6,2	Платина (поли- ксен)	+10-25***
Апатит	-2,64	Шпинель (плео- наст)	+10-25
Антимонит	-1,9	Пироп железистый	10-20 ***
Ангидрит	-1,6	Гроссуляр	10-20 ***
Сфалерит	-1,2	Сфен	10-22 ***
Алмаз	-0,49	Диоксид-геденбер- гит	15-25 ***
Кварц	-0,46	Фергюсонит	16,0
Топаз	-0,42	Сфалерит желези- стый	10-25
Висмутин	-0,38	Монацит	18,9
Кальцит	-0,38	Актинолит	15-25 ***
Галенит	-0,38	Оливин	15-35 ***
Корунд	-0,34	Роговая обманка	19-23
Целестин	-0,34	Гётит	21-25
Барит	-0,31	Эпидот	23,9
Флюорит	-0,28		(15-40) ***
Серебро	-0,21	Пироп-альмандин	21-50
Золото	-0,14	Турмалин (шерл)	25-31
Медь	-0,09	Пирролюзит	25-32
Касситерит	-0,08*	Биотит	28-45
Дистен	+0,01	Пироксены желе- зистые	26-130
Киноварь	+0,2-1,9 **	Роговые обманки железистые	38-130***
Пирит	+0,21	Оливин железистый	45-80 ***
Халькопирит	+0,4-7,0 **	Анрадит	51-93
Шпинель	+0,62	Альмандин	51-120
Берилл	+0,68	Лепидомелан	55-80
Кобальтин	+0,92	Хромшпинелиды	53-125
Доломит	+0,92	Сидерит	56-64 **
Марказит	+1,0-4,0	Вольфрамит желе- зистый	66-95
Мусковит	+1,0-4,0	Родонит	127
Турмалин (эльбаит)	+1,0-9,0	Ильменит	113-271 *
Смитсонит	+1,4-2,2	Гематит	172-290
Рутил	+2,0-15,0***	Пирротин	1500-6100
Скаполит	+2,5-2,7	Ферроплатина	2000-7000 ***
Арсенопирит	+3,3-8,0	Магнетит	20,00-80,000
Флогопит	+5,0-8,0		
Молибденит	+8,5		
Малахит	+8,5-15,0		
Диоптаз	+8,8		
Азурит	+10,5-19,0**		
Турмалин (желези- сто-магнезиальный)	+10-22		

* Вероятны более высокие значения.

** Приведенные значения представляются завышенными.

*** Наиболее вероятные пределы колебаний.

Полное разделение с помощью электромагнитной сепарации возможно лишь для минералов, значительно отличающихся по величине магнитной восприимчивости.

Магнитная сепарация минералов производится с помощью постоянных магнитов и электромагнитов различной конструкции. Постоянные магниты изготовляют из ферромагнитных сплавов, обладающих высокой остаточной намагниченностью. Для выделения сильномагнитных минералов очень удобны постоянные магниты РМЧ и Сочнева.

Ручной магнит с чехлом РМ4 (рис. 2) предназначен для сухой или мокрой сепарации и выделения сильномагнитных минералов. Прибор состоит из дюралюминиевого чехла, в котором может перемещаться цилиндр из магнитного сплава СПМ-16 (магник), укрепленный на стержне. Верхняя часть стержня проходит через отверстие в крышке чехла. На стержень навинчивается пластмассовая ручка, состоящая из двух частей с внутренней гайкой. Держась за ручку, можно передвигать магнит из нижнего рабочего положения в верхнее — нерабочее, когда он находится на расстоянии 30 мм от днища чехла. Разделяемая смесь минералов располагается тонким слоем на листе плотной бумаги. Держась за чехол прибора, в котором магнитный цилиндр находится у дна, касаются им минералов. Магнитные минералы притягиваются к внешней стороне днища чехла. Переносят прибор на другой лист, передвигают магнит в крайнее верхнее положение, после этого магнитные минералы отделяются от магнита и падают на бумагу. Повторяют операцию до полного выделения магнитных минералов.

Прибор позволяет выделять несколько фракций сильномагнитных минералов с различной магнитной восприимчивостью.

Для этого регулируют положение магнита в чехле с помощью пластмассовой ручки и закрепляют его на различном расстоянии от днища.

Если в шлихе имеется много магнитных минералов, то при разделении они могут увлекать с собой также и некоторое количество немагнитных. В этом случае магнитную фракцию обрабатывают магнитом еще раз и немагнитный остаток присоединяют к немагнитной фракции.

Очень удобен для выделения магнитных минералов постоянный многополюсный магнит конструкции А. Я. Сочнева (1948). Он

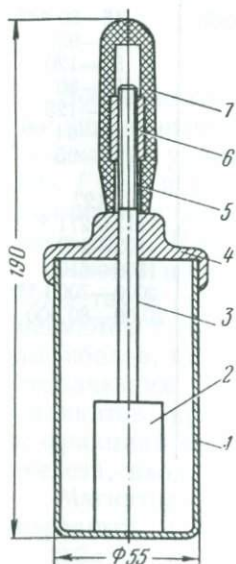


Рис. 2. Магнит РМЧ.

1 — чехол; 2 — цилиндр из магнитного сплава; 3 — шток;
4 — крышка; 5 — внутренняя часть ручки; 6 — гайка;
7 — пластмассовая ручка

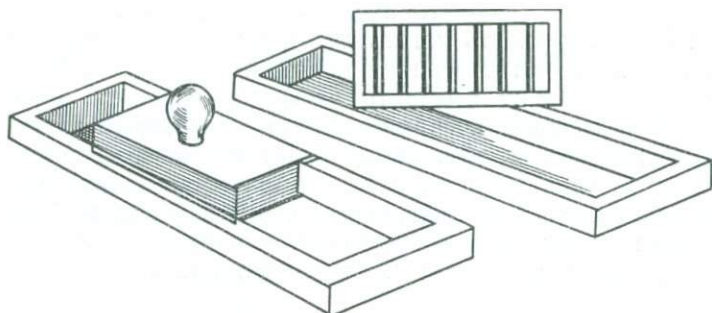


Рис. 3. Многополюсный магнит А. Я. Соичева

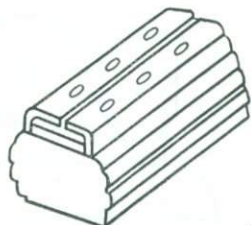


Рис. 4. Магнит типа С-5 конструкции А. Я. Соичева

состоит из деревянной или алюминиевой прямоугольной рамки, заклеенной снизу тонкой целлофановой пленкой, и якоря — магнита, вмонтированного в деревянный или алюминиевый корпус с ручкой (рис. 3). Якорь при помощи выступов свободно передвигается в рамке и легко вынимается из нее. Для отделения магнитных минералов магнитом в рамке слегка касаются шлиха, рассыпанного тонким слоем на стекле или плотной бумаге, магнитные минералы притягиваются в пленке. После этого магнит перемещают на другое стекло, сдвигают якорь в противоположную сторону и вынимают его из рамки. Магнитные минералы осыпаются на стекло. Повторяют обработку до полного выделения магнитных минералов. Для удаления механически захваченных зерен немагнитных минералов перед сбрасыванием магнитной фракции якорь в рамке несколько раз слегка передвигают в горизонтальном положении, держа магнит высоко над шлихом. Немагнитные минералы при этом осыпаются обратно в шлих.

Другой магнит типа С-5 (рис. 4), предложенный А. Я. Соичевым, изготовлен из сплава «Магнико». Он имеет четыре рабочих поверхности, позволяющих последовательно отбирать четыре фракции минералов различной магнитной восприимчивости: ферромагнитную (магнетитовую), среднемагнитную (хромит-ильменитовую); слабомангнитную (монацитовую) и немагнитную.

Для разделения минералов в лабораториях употребляют электромагнитные сепараторы различной конструкции: УЭМ-1Т, МВЭМ, СИМ-1, системы Окунева и др. (Коц, Разумная, 1970; «Методическое руководство ...», 1963; Берлинский, 1975).

В современных лабораторных электромагнитах можно регулировать напряженность магнитного поля путем изменения силы тока в обмотках или изменения положения полюсов. Это позволяет последовательно выделять несколько фракций минералов различной магнитной восприимчивости. Некоторые электромагниты снабжены двумя движущимися лентами, позволяющими вести непрерывную сепарацию большого количества шлиха (рис. 5).

Все минералы по их магнитным свойствам можно разделить на четыре группы: 1) сильномагнитные, притягивающиеся обычным постоянным магнитом; 2) среднемагнитные, отделяющиеся

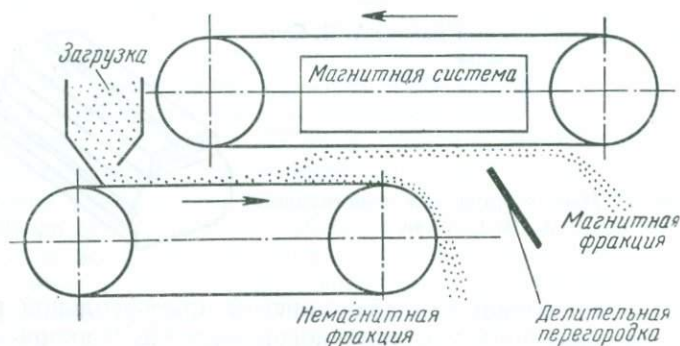


Рис. 5. Схема магнитного сепаратора непрерывного действия (Деркач, Дацюк, 1947)

электромагнитом при небольшой силе тока; 3) слабомагнитные, отделяющиеся электромагнитом при большой силе тока, и 4) немагнитные (табл. 4).

Крупность зерен шлиха имеет большое значение при магнитном разделении. Слабомагнитные минералы в крупных осколках не притягиваются магнитом незначительной напряженности магнитного поля, в то время как мелкие зерна притягиваются легко. Однако при разделении очень мелких шлихов, благодаря силам сцепления, немагнитные минералы увлекаются вместе с магнитными и полного разделения практически добиться невозможно. При величине зерен меньше 0,2 мм сепарацию приходится проводить в несколько приемов, так как при первом разделении вместе с магнитными минералами увлекается много немагнитных. В этом случае чистота разделения может быть повышена, если сепарацию проводить в воде или спирте, так как в жидкости сила сцепления минералов уменьшается и полнота отделения увеличивается. Для этого шлик погружают в таз с водой и отделение минералов магнитом проводят под водой.

Кроме размеров минеральных зерен, на полноту магнитной сепарации оказывают влияние также их форма и форма полюсов электромагнита.

Классификация минералов по магнитным свойствам

Сильно-магнитные	Средне-магнитные	Слабо-магнитные	Немагнитные		
Железо Магнетит Титано-магнетит Платина магнитная	Амфиболы (темные) Биотит Блом-страндин-приорит Вольфрамит Гематит Гранаты (темные) Ильменит Колумбит-танталит Лимонит Пикотит Пироксены (темные) Пиролозит Псиломелан Самарскит Турмалин (темный) Ферберит Фергюсонит Хромит Эпидот Эшинит	Амфиболы (светлые) Браннерит Гадолинит Гранаты (светлые) Ксенотим Монацит Ортит Пироксены (светлые) Пирохлор Сфен Турмалин (светлый) Шпинели (светлые)	Азурит Аксинит Алмаз Анатаз Андалузит Антимонит Апатит Арсенопирит Аурипигмент Ахроит Бадделейт Барит Бенитоит Берилл Бисмутит Браунит Брукит Ванадинит Везувиан Висмутин Вульфенит Галенит Гессит Гюбнерит Золото	Иридомин Касситерит Кианит Киноварь Клинодоизит Кобальтин Коруид Малахит Медь Молибденит Олово Палладий Перовскит Пирит Пироксен (бесцветный) Платина Распит Реальгар Рутил Свинец Серебро Сидерит Силлиманит Смитсонит	Сподумен Ставролит Сфалерит Топаз Торианит Торит Фенакит Флюорит Халькозин Халькопирит Хризоберилл Церуссит Циркон Цоизит Шеелит Шпинель Эвклаз

Полученные магнитные и электромагнитные фракции взвешивают и массу их записывают по схеме, данной в табл. 1, а неэлектромагнитную фракцию разделяют по плотности с помощью тяжелых жидкостей.

РАЗДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПО ПЛОТНОСТИ

Разделение обычно производят в тяжелых жидкостях, значительно реже в тяжелых сплавах. При отсутствии тяжелых жидкостей и сплавов можно пользоваться отмыванием легких минералов водой на концентрационных столах и других обогащательных приборах (Коц, Разумная, 1970; «Методическое руководство...», 1963).

При погружении в тяжелую жидкость смесей минералов различной плотности минералы, плотность которых меньше плотности жидкости, всплывут на поверхность и образуют легкую фракцию, а минералы, имеющие плотность большую, чем

у жидкости, опустятся на дно и составят тяжелую фракцию. Минералы, близкие по плотности к жидкости, будут находиться во взвешенном состоянии.

Быстрота и точность разделения зависят от вязкости употребляемой жидкости, от крупности и формы зерен разделяемой смеси минералов и от разностей плотностей минералов и жидкости. Мелкие зерна минералов даже при легкоподвижных жидкостях разделяются с большим трудом и для полноты отделения требуется продолжительное отстаивание или применение центрифугирования.

Жидкость, употребляемая для разделения минералов по плотности, должна: 1) обладать достаточно большой плотностью; 2) быть прозрачной и по возможности бесцветной; 3) не вступать в химические реакции с разделяемыми минералами и не разлагаться при работе; 4) легко концентрироваться и разбавляться каким-либо растворителем; 5) быть дешевой и легко приготовляемой.

Обычно употребляют следующие жидкости, в большей или меньшей степени удовлетворяющие перечисленным требованиям.

Бромформ CHBr_3 — легкоподвижная бесцветная жидкость. Плотность чистого бромформа равняется 2,9; у технического реактива плотность изменяется от 2,65 до 2,8. Температура кристаллизации бромформа $+8,5^\circ \text{C}$, температура кипения около 150°C . Растворяется в спирте, эфире и бензоле. При работе с бромформом для промывания выделенных фракций удобнее всего пользоваться метиловым или этиловым спиртом (денатуратом), так как из спиртового раствора бромформ легко выделить. Для этого смесь спирта с бромформом взбалтывают с 5—6 объемами воды и полученную молочно-белую эмульсию оставляют в покое на несколько часов. Спирт смешивается с водой, а тяжелый бромформ опускается на дно и может быть отделен с помощью делительной воронки.

Бромформ ядовит, и все работы с ним проводят в вытяжном шкафу или в хорошо проветриваемом помещении.

Жидкость Туле (водный раствор двойной соли $\text{K}_2\text{HgI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) — бледно-желтая жидкость с плотностью 3,19—3,20. Жидкость Туле ядовита. Она разрушается в присутствии металлов и сульфидов и поэтому для разделения шлихов, содержащих золото, платину и сернистые минералы (пирит, галенит и др.), или вовсе не употребляется, или употребляется с большой осторожностью: допускается быстрое разделение в разбавленной жидкости с плотностью не более 2,8—2,9.

Четырехбромистый ацетилен (тетрабромэтан) $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$. Бесцветная или желтоватая жидкость с плотностью 2,97—3,00. Температура замерзания около 0°C , температура кипения около 151°C . Более вязок, чем бромформ и иодистый метилен. Растворяется в эфире, бензоле, ацетоне.

Иодистый метилен (CH_2I_2) — желтая легкоподвижная жидкость с плотностью 3,33. Температура кристаллизации 5°C ; температура кипения 180°C . Растворяется в бензоле, эфире, ксилоле и толуоле. Сильно ядовит; разлагается при действии солнечного света.

Жидкость Сушина — Рорбаха (водный раствор двойной соли двуиодистой ртути и двуиодистого бария $\text{HgBaI}_4 \times n\text{H}_2\text{O}$). Желтая жидкость с плотностью 3,5 растворяется в воде и слабых водных растворах иодистого калия. Для получения жидкости меньшей плотности на поверхность концентрированного раствора наливают воду и оставляют в покое до тех пор, пока не закончится диффузия. При неаккуратном разбавлении жидкость быстро разлагается с выделением красной двуиодистой ртути.

Жидкость Клайна (концентрированный водный раствор боровольфрамата кадмия $2\text{Cd}(\text{OH})_2 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$) — желтая, разлагающаяся на свету жидкость с плотностью 3,36. Легко разбавляется водой.

Жидкость Клеричи (водный раствор двойной соли малонокислого и муравьинокислого таллия $\text{CH}_2(\text{COO})_2\text{Tl}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) — бледно-желтая жидкость. При комнатной температуре плотность концентрированного раствора жидкости 4,27, при нагревании она увеличивается до 5,0. При комнатной температуре жидкость химически инертна.

Жидкость Клеричи имеет ряд преимуществ перед другими тяжелыми жидкостями — она обладает большой плотностью, химически достаточно инертна, легко смешивается с водой в любых соотношениях и может быть сконцентрирована простым упариванием на водяной бане.

Известны и другие тяжелые жидкости: М-44 (концентрированный раствор иодистого цинка и иодистого бария) и М-45 (раствор иодистого бария и иодистого кадмия). Обе жидкости имеют плотность 2,9, но они менее прозрачны и более вязкие, чем бромформ.

Наиболее часто при шлиховом анализе пользуются бромформом или жидкостью Туле.

Разделение минералов по плотности с помощью тяжелых жидкостей можно проводить в стаканах, чашках или в специальных воронках. При работе с последними расходуется меньше тяжелой жидкости. Различными исследователями предложено большое число делительных воронок разных конструкций, описание которых дано в работе Э. М. Бонштедт (1939).

Разделение шлихов тяжелыми жидкостями удобно проводить в воронках, изображенных на рис. 6. Воронка имеет притертую пробку. На конец ее надевают каучуковую трубку с зажимом. Многолетний опыт работы показал, что стеклянные притертые краны воронок при массовом разделении шлихов легко портятся и что значительно удобнее работать с каучуковой трубкой и зажимами.

Одновременно проводится 5—8 разделений. В делительную воронку наливают 10—15 мл бромформа, всыпают шлик и, тщательно перемешав, закрывают пробкой и оставляют в покое до тех пор, пока не закончится разделение, т. е. все легкие минералы всплывут вверх, а тяжелые опустятся на дно. Когда разделение закончится, открывают притертую пробку и, осторожно открыв зажим, раздельно сливают тяжелую и легкую фракции в воронки с фильтрами. После того как бромформ совершенно стечет, воронки переносят в другие склянки (чтобы не смешивать бромформ со спиртом) и минералы на фильтрах промывают

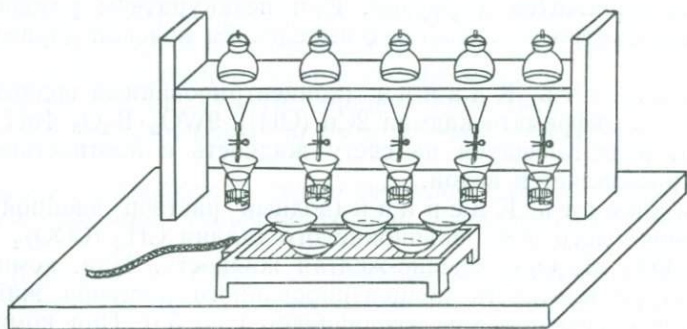


Рис. 6. Аппаратура для разделения минералов в тяжелых жидкостях

2—3 раза спиртом. Часть легкой фракции, оставшаяся в делительной воронке, смывают спиртом и присоединяют к легкой фракции на фильтре. Промытые фракции вместе с фильтром помещают в фарфоровые чашки, высушивают и взвешивают.

При работе с бромформом необходимо помнить, что он сильно испаряется. Склянки и делительные воронки с бромформом нужно закрывать пробками.

Если легкая фракция не представляет интереса для изучения (определение берилла на производят), то в целях экономии бромформа ее собирают на один фильтр из нескольких образцов.

При отсутствии воронок разделение шликсов можно проводить в обычных фарфоровых чашках или небольших стеклянных стаканах. Разделяемый шлик всыпают в чашку, наливают тяжелую жидкость и перемешивают. Через несколько минут основную массу легкой фракции сливают в воронку с фильтром, в чашку наливают новую порцию тяжелой жидкости и повторяют сливание до полного отделения легкой фракции. После этого выделившиеся фракции промывают и высушивают.

При работе с тяжелыми жидкостями следят за тем, чтобы посуда была тщательно высушена, иначе даже незначительные количества влаги будут смешиваться с жидкостью и уменьшать ее плотность. Отфильтрованную жидкость вновь употребляют для разделения шлихов. Смесь бромформа со спиртом разделяют (см. с. 18). Водные растворы жидкости Туле концентрируют упариванием на водяной бане.

Для полноты разделения тонкозернистых шлихов можно воспользоваться центрифугированием в тяжелых жидкостях.

Тяжелая фракция после разделения бромформом или жидкостью Туле может содержать много различных минералов, для разделения которых иногда пользуются тяжелыми сплавами. В качестве тяжелых сплавов употребляют соли, имеющие большую плотность и невысокую температуру плавления. К таким солям относятся: азотнокислое серебро (AgNO_3 , температура плавления 198°C , плотность 4,1), азотнокислая закись ртути (HgNO_3 , температура плавления около 70°C , плотность 4,1), хлористый свинец (PbCl_2 , температура плавления 498°C , плотность 5,0). Недостатками хлористого свинца являются высокая температура плавления и плохая растворимость в воде.

Все перечисленные сплавы разлагаются в присутствии сульфидов и не могут применяться для разделения шлихов, содержащих пирит, галенит и другие сернистые минералы. Наиболее отвечающим требованиям шлихового анализа сплавом является азотнокислое серебро.

В промышленности для разделения минералов по плотности иногда употребляют тяжелые водные суспензии галенита, барита или ферросилиция. Плотность тяжелых суспензий достигает 3,5. Разделение производится в воронках специальной конструкции при постоянном помешивании. Полное разделение происходит только при крупных размерах минеральных зерен.

Тяжелые суспензии не пользуются широким применением при шлиховом анализе главным образом из-за мелкозернистости большинства шлихов. Кроме того, выделенные фракции загрязняются суспендированным минералом, затрудняющим определение их минерального состава.

Для гравитационного разделения минералов А. И. Берлинским (1975) предложен метод магнитогидростатической сепарации (МГС-сепарации). Сущность этого метода основана на увеличении плотности парамагнитных жидкостей (раствора солей марганца, никеля, кобальта, железа, редких земель) в неоднородном магнитном поле. Немагнитные минералы в утяжеленной жидкости расслаиваются по величине их плотности.

Сепаратор МГС-1 предназначен для разделения немагнитных минералов по их плотности от 2,5 до 7,5 г/см³ в искусственно утяжеленной жидкости.

РАЗДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

Такое разделение проводится в электрическом поле высокой напряженности. Частицы минералов в электрическом поле соприкасаются с заряженным электродом (например, вращающимся барабаном). При этом проводники получают от последнего одноименный с ним заряд и отталкиваются от электрода, а непроводники (диэлектрики) получают малый заряд и практически не отталкиваются. При вращении электрода минералы с различной электропроводностью двигаются по разным направлениям.

Т а б л и ц а 5

**Классификация минералов по электропроводности
(Берлинский, 1975)**

Хорошие проводники	Средние и слабые проводники	Непроводники	
Антрацит	Антимонит	Алмаз	Мусковит
Арсенопирит	Биотит	Альбит	Нефелин
Галенит	ожеженный	Апортит	Оливин
Гематит	Бурый железняк	Апатит	Полевой шпат
Графит	Висмутый	Бадделейт	Роговая обманка
Золото	блеск	Барит	Сера
Ильменит	Вольфрамит	Бастнезит	Силлиманит
Ковеллин	Гранат	Берилл	Сподумен
Колумбит	(ожеженный)	Биотит	Ставролит
Магнетит	Гюбнерит	Волластонит	Турмалин
Манганит	Каолинит	Гиперстен	Флюорит
Молибденит	Касситерит	Гипс	Целестин
Пирит	Киноварь	Гранат	Циркон (слабо-ожеженный)
Пирролюзит	Корунд	(светлый)	
Пирротин	Лимонит	Диопсид	Шеелит
Платина	Сидерит	Кальцит	Шпинель
Рутил	Смитсонит	Каменная соль	Эпидот
Серебро	Стибнит	Карналлит	
Танталит	Сфалерит	Кварц	
Тетраэдрит	Тунгстит	Кианит	
Титаномагнетит	Фаялит	Клейофан	
Халькозин	Хромит	Ксенотим	
Харькопирит	Циркон (сильно-ожеженный)	Магнезит	
		Монацит	

По поведению в электрическом поле минералы делятся (табл. 5) на хорошие проводники (сульфиды, сульфосоли, самородные металлы), средние и слабые проводники (окислы и гидроокислы) и непроводники (силикаты, карбонаты, фосфаты и др.). Минералы первых двух групп в современных электрических сепараторах легко отделяются от минералов третьей группы. Минералы первой и второй группы разделяются менее успешно.

При электрической сепарации большое значение имеет состояние поверхности минералов. Налеты и пленки окислов, солей, пыли изменяют электропроводность минералов. Поверхностная

влага ухудшает процесс сепарации. Перед сепарацией разделяемую смесь минералов хорошо просушивают, отделяют от пыли и классифицируют по крупности.

Для разделения минералов в настоящее время используют электрические сепараторы различной конструкции («Методическое руководство ...», 1963; Коц, Разумная, 1970; Берлинский,

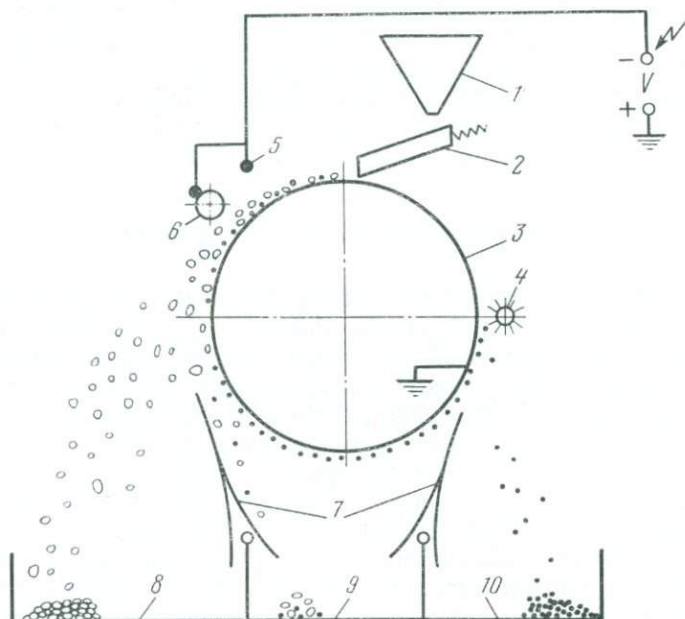


Рис. 7. Схема электростатического сепаратора ПС-1 (Берлинский, 1975).

1 — бункер; 2 — вибрлоток; 3 — вращающийся электрод; 4 — щетка; 5 — коронирующий электрод; 6 — отклоняющий электрод; 7 — экранящие плоскости; 8—10 — приемники фракций: 8 — проводящей, 9 — промежуточной; 10 — непроводящей

1975). Наиболее часто применяют сепараторы ПС-1, ЭС-1 и др. Для сепарации небольших навесок от 0,02 до 3,0 г предложен электростатический прибор МЭП-1.

Схема электростатического сепаратора ПС-1 приведена на рис. 7.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ

Для разделения минералов с помощью этого метода смесь минералов погружают в жидкость, диэлектрическая проницаемость которой выше проницаемости одного из минералов, но ниже диэлектрической проницаемости другого минерала. Сепарация

проводится в специальном приборе ДСК (Берлинский, 1975) в жидком диэлектрике, обладающем низкой электропроводностью. В жидкость погружены специальные электроды, соединенные с источником переменного тока. При этом минералы с диэлектрической проницаемостью, более высокой, чем у жидкости, притягиваются к электродам, а с более низкой — отталкиваются от них.

Диэлектрическая проницаемость минералов-диэлектриков изменяется от 3 до 20. В качестве жидких диэлектриков употребляют смеси четыреххлористого углерода (224) и метилового спирта (33,7) или керосина (2,00) и нитробензола (37,9).

Иногда при подготовке минералов россыпей к анализу применяют и другие методы разделения.

ФЛОТАЦИОННЫЙ МЕТОД СЕПАРАЦИИ

Этот метод основан на различной смачиваемости поверхности частиц минералов водой (Коц, Разумная, 1970; Берлинский, 1975). В воде, содержащей пузырьки воздуха, плохо смачиваемые минералы прилипают к пузырькам и всплывают с ними на поверхность, образуя пену, а хорошо смачиваемые минералы тонут. Флотационным методом разделяются лишь тонкозернистые шлихи, крупность которых измеряется от 0,01 до 0,2—0,3 мм. Смачиваемость поверхности минералов можно изменять с помощью специальных флотационных реагентов.

Флотационные свойства минералов часто зависят от условий образования, минерального состава шлихов и других причин. В связи с изложенными причинами флотацию нельзя рекомендовать в качестве массового метода разделения минералов россыпей.

Некоторые минералы иногда можно отделять по форме зерен, различию в коэффициенте трения и зарядке при трении. Разделение производят на наклонной качающейся плоскости («Методическое руководство ...», 1963; Коц, Разумная, 1970; Берлинский, 1975). На сепараторе трения СТ возможно разделить пирит и арсенопирит, барит и циркон, турмалин и эпидот и некоторые другие смеси минералов (Берлинский, 1975).

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ФРАКЦИЙ

В результате предварительной обработки шлих разделяется на несколько фракций, возможный минеральный состав которых приведен в табл. 6. Каждую фракцию отдельно просматривают под биноклем и присутствующие во фракции минералы определяют по внешнему виду, плотности, оптическим и химическим свойствам, пользуясь при этом таблицами 20—27.

При отборе зерен минералов под бинокляром очень удобно пользоваться оптическим микросепаратором ГРАН-1, позволяющим отбирать отдельные зерна крупностью от 0,1 до 1 мм. Изучаемая смесь минералов располагается кольцевой дорожкой на медленно вращающемся диске в поле зрения биноклярного микроскопа МБС-1. Зерна отбирают при помощи стержня, снабженного двумя иглами. Одной иглой зерна перемещают и перевертывают; другая игла имеет в центральной части полой канал, по которому насосом нужное зерно засасывается в приемник.

При этом автоматически подсчитывается число отобранных зерен. Аппарат значительно ускоряет и облегчает процесс отбора минералов.

Большую помощь при определении минералов оказывает сравнение их с коллекцией заведомо известных минералов шлихов. Такие коллекции удобно хранить в мелких пробирках в специальном ящике. Можно также приготовить постоянную коллекцию, укрепив минералы в пихтовом бальзаме или на поверхности проявленной фотопленки.

Для определения минералов часто используют также методы катодной люминесценции, спектрального и рентгенометрического изучения и определения радиоактивности минералов. Непрозрачные минералы иногда исследуют в отраженном свете. Для определения прозрачных минералов, содержащих церий и другие редкоземельные элементы, применяют спектроскопический окуляр, позволяющий наблюдать характерный спектр поглощения.

Если при изучении шлихов не производят полного минералогического анализа, а определяют лишь один-два минерала, то общая схема анализа сокращается в зависимости от свойств определяемых минералов. Так, при определении только касситерита или шеелита взвешивают и изучают под бинокляром лишь тяжелую фракцию, в которой минерал должен полностью сконцентрироваться при разделении шлиха, при определении вольфрамита — только электромагнитную фракцию.

Для примерной количественной характеристики, позволяющей судить о соотношении минералов, составляющих шлик, при просмотре под бинокляром, кроме качественной диагностики, визуально определяют также примерное процентное содержание минералов в различных фракциях. Результаты определения записывают по схеме, данной в табл. 1.

Учитывая количественную характеристику шлиха (см. табл. 1) (масса промытой породы; масса шлиха, навески для анализа и выделенных фракций и процентное содержание минерала во фракциях), можно определить примерное содержание минерала в породе. Содержание ценных промышленных минералов в россыпях принято вычислять в граммах на тонну (г/т) или на кубометр (г/м³) промытой породы.

Немагнитная тяжелая фракция (плотность >2,9)				
Непрозрачные	Прозрачные			
	бесцветные, белые, серые	зеленые и синие	желтые и бурые	красные и фиолетовые
Простые и сложные окислы Ампагабент Браунит Лейкоксен Лопарит Торианит Карбонаты Бисмутит	Бенитоит Волластонит Кианит Клиноцоизит Мусковит Силлиманит Топаз Циркон Цоизит Эвклаз	Везувиан Диоптаз Кианит Топаз Циркон Цоизит Эвклаз	Везувиан Ксантофиллит Топаз Торит Уранофан Фенакит Циркон	Везувиан Фенакит Циркон Цоизит (тулит)

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Плотность многих минералов является достаточно постоянной величиной и с успехом может быть использована при определении этих минералов. Существует много различных методов определения плотности при минералогических анализах. Наиболее часто пользуются следующими из них: 1) погружением в тяжелые жидкости; 2) определением с помощью бюретки; 3) определением с помощью пикнометра и микропикнометра; 4) микроскопическим определением по М. М. Василевскому.

Определение плотности минералов погружением их в тяжелые жидкости различной плотности. Этот простой и удобный метод позволяет быстро определить плотность минерала (хотя бы с относительно небольшой точностью) и широко применяется при шлиховом анализе. Для определения плотности в лаборатории необходимо иметь выбор тяжелых жидкостей, приведенных в табл. 7.

При наличии достаточного количества жидкости Клеричи (Туле), добавляя ее водой, возможно приготовить набор растворов с плотностью, отличающейся на 0,1 (табл. 8). Такой набор дает возможность определять плотность минералов с точностью до 0,05. Приготовленные растворы сохраняют постоянной свою плотность в течение года и более.

Количество воды, добавляемой к концентрированной жидкости Клеричи (Туле), определяют по формуле

$$V_2 = V_1 \frac{d_1 - D}{D - d_2},$$

Электромагнитная тяжелая фракция				Магнитная фракция (сильномагнитные минералы)	Легкая фракция (плотность <2,9)
Минералы средней магнитности		Минералы слабой магнитности			
непрозрачные	прозрачные	непрозрачные	прозрачные		
			Хлориты Цоизит Эпидот		

где V_1 и d_1 — объем и плотность концентрированной жидкости; V_2 и d_2 — объем и плотность воды; D — плотность приготовленного раствора.

Плотность растворов, вычисленная по формуле, может несколько отличаться от истинной плотности полученной жидкости, но отклонения эти весьма незначительны.

Таблица 7

Набор тяжелых жидкостей

Тяжелая жидкость	Плотность
Бромформ CHBr_3	2,8
Жидкость Туле $\text{K}_2\text{HgI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3,2
Иодистый метилен CH_2I_2	3,33
Жидкость Сушина—Рорбаха $\text{HgBaI}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3,45
Жидкость Клеричи $\text{CH}_2(\text{COO})_2\text{Tl}_2 \cdot \text{HCOOTl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4,27

Растворы хранятся в небольших пробирках объемом 2—3 мл, с притертыми, хорошими корковыми или каучуковыми пробками (рис. 8). Для определения плотности минерала в мелких зернах вполне достаточно иметь 0,5—1 мл тяжелой жидкости.

Зерно минерала, отобранное из шлиха, погружают в жидкость. Затонувший или всплывший минерал извлекают из жидкости с помощью препаровальной иглы или пинцета, обмывают водой или другим растворителем, сушат на фильтровальной бумаге

Исходные объемы тяжелых жидкостей и воды
для приготовления 10 мл раствора определенной плотности

Плотность тяжелого раствора	Объем тяжелой жидкости, мл	Объем воды, мл	Плотность тяжелого раствора	Объем тяжелой жидкости, мл	Объем воды, мл
Жидкость Клеричи			3,1	6,42	3,58
			3,0	6,12	3,88
4,27	10	—	2,9	5,81	4,19
4,1	9,48	0,52	2,8	5,51	4,49
4,0	9,18	0,82	Жидкость Туле		
3,9	8,87	1,13		10	—
3,8	8,56	1,44	3,2	9,54	0,46
3,7	8,26	1,74	3,1	9,09	0,91
3,6	7,95	2,05	3,0	8,18	1,82
3,5	7,65	2,35	2,8	7,27	2,73
3,4	7,34	2,66	2,6	6,37	3,63
3,3	7,04	2,96	2,4	5,45	4,55
3,2	6,73	3,27	2,2		

и погружают в следующий раствор, стремясь подобрать жидкость, в которой минерал находится во взвешенном состоянии (плотность минерала равна плотности этой жидкости), или два раствора, в одном из которых минерал тонет, а в другом всплывает (плотность минерала находится между плотностями данных жидкостей).

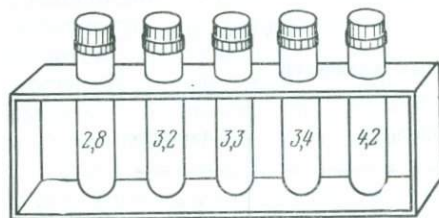


Рис. 8. Набор тяжелых жидкостей.
2,8 — 4,2 — плотность жидкостей

Плотность минерала можно определить и другим способом. Для этого нужно иметь две жидкости — концентрированную и растворитель. Наливают тяжелую жидкость в узкий высокий стакан и погружают туда

кусочек минерала, который всплывает на поверхность. Постепенно приливают легкую жидкость, тщательно перемешивая до тех пор, пока минерал не будет находиться во взвешенном состоянии. Тогда плотность минерала равняется плотности жидкости, для определения которой существует много методов. Для быстрого определения плотности жидкости весьма удобно пользоваться набором индикаторов — кусочков минералов или стекол определенной плотности. Погружая их в жидкость, выбирают индикатор, находящийся во взвешенном состоянии и имеющий одинаковую с жидкостью плотность.

Плотность можно определить путем измерения показателя преломления жидкости на рефрактометре. Она изменяется про-

порционально концентрации жидкости (Бонштедт, 1939; Ильинский, 1975).

Если необходимо произвести более точное определение плотности, пользуются другими, более сложными методами.

Определение плотности минералов с помощью бюретки. Этот метод основан на определении объема воды, вытесняемой минералом при погружении его в бюретку, мерный цилиндр или градуированный сосуд с водой.

Для определения плотности по этому методу требуется значительное количество минерала: от 5 до 10 г при работе с бюреткой объемом 10—12 мл и от 20 до 50 г при работе с бюреткой объемом 25—50 мл.

Для определения плотности в бюретку, укрепленную в штативе, наливают 5—7 мл воды, предварительно прокипяченной и охлажденной до комнатной температуры. Отмечают начальный объем воды в бюретке *a*. Взвешивают 5—10 г минерала, отобранного от шлиха, и всыпают в бюретку. Осторожным постукиванием по стенкам бюретки удаляют пузырьки воздуха, приставшие к зернам минерала, и отмечают новое показание бюретки *b*. Объем минерала равняется *a*—*b*. Плотность минерала определяется по формуле

$$D = \frac{P}{V} = \frac{P}{a - b},$$

где *D* — плотность минерала *P* — масса минерала; *V* = *a* — *b* — объем минерала.

Для определения плотности с помощью бюретки отбирают минерал из крупной фракции; наличие мелких зерен минерала затрудняет удаление пузырьков воздуха из бюретки.

Определение плотности минералов с помощью пикнометра. Этот метод дает наиболее точные результаты.

Массу минерала определяют взвешиванием на аналитических весах, а для определения объема пользуются пикнометром, представляющим собой маленькую стеклянную колбочку с притертой пробкой, имеющей капиллярное отверстие (рис. 9).

Работа с пикнометром проводится следующим образом. Тщательно вымытый с высушенный пикнометр взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Масса его равна *P*₁. Пикнометр наполняют водой, предварительно прокипяченной и охлажденной до комнатной температуры. При наполнении пикнометра водой следят чтобы в нем не оставалось пузырьков воздуха; для этого наливают воды столько, чтобы капля ее выступала над горлышком пикнометра; затем быстрым движением закрывают



Рис. 9. Пикнометр

пикнометр пробкой. Пикнометр ставят на фильтровальную бумагу и быстро, но тщательно вытирают воду обрывками фильтровальной бумаги, стараясь не прикасаться к пикнометру пальцами. Затем скрученным жгутиком фильтра удаляют из капилляра воду до метки на горлышке пикнометра и взвешивают пикнометр.

Повторяют взвешивание 2—3 раза. Масса пикнометра с водой равна P_2 . После этого выливают воду, пикнометр высушивают, помещают в него отобранный минерал и взвешивают. Масса пикнометра с минералом равна P_3 .

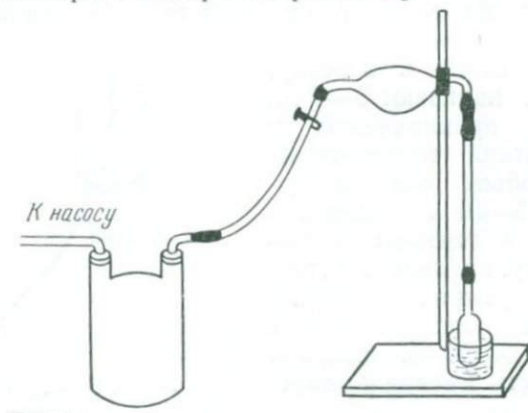


Рис. 10. Установка для определения плотности минералов

Далее наливают в пикнометр немного воды (объем минерала и воды не должен превышать $2/3$ объема пикнометра) и присоединяют его к насосу, как указано на рис. 10. Для этого пробку пикнометра вынимают. С помощью небольшого отрезка каучуковой трубки присоединяют горлышко пикнометра к стеклянной трубке с расширением, которая сообщается через промывную склянку с водоструйным насосом, и откачивают воздух из пикнометра. Внутри его создается разреженное пространство, понижающее температуру кипения воды. Для полного удаления пузырьков воздуха воду необходимо прокипятить, для чего достаточно погрузить пикнометр в воду, нагретую до $60-70^\circ$. Когда отделение пузырьков воздуха закончится, закрывают зажим на каучуковой трубке и выключают насос. После этого разъединяют прибор с насосом и осторожно впускают воздух в пикнометр. Охлаждают пикнометр до комнатной температуры, наполняют водой и взвешивают, соблюдая предосторожности, указанные при взвешивании пикнометра с водой. Масса пикнометра с минералом и водой равна P_4 .

Таким образом, весь процесс определения плотности сводится к взвешиваниям массы пустого пикнометра — P_1 , пикнометра с водой — P_2 ; пикнометра с минералом — P_3 , пикнометра с минералом и водой — P_4 . Пользуясь результатами этих взвешиваний, вычисляют:

1) массу образца $P = P_3 - P_1$; 2) массу воды полного пикнометра, равную $P_2 - P_1$; 3) массу воды, помещающейся над минералом, равную $P_4 - P_3$; 4) массу воды, вытесненной минералом, равную $(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)$; 5) объем минерала $V = \frac{(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}{d_t}$, где d_t — плотность воды при температуре взвешивания; 6) плотность минерала $D = \frac{P}{V} = \frac{(P_3 - P_1) d_t}{(P_2 - P_1) - (P_4 - P_3)}$.

Все взвешивания нужно проводить при одинаковой температуре. Изменения плотности воды в зависимости от температуры приведены в табл. 9.

Таблица 9

Плотность воды при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	Плотность воды	$t, ^\circ\text{C}$	Плотность воды	$t, ^\circ\text{C}$	Плотность воды
0	0,999868	12	0,999525	24	0,997326
1	0,999927	13	0,999404	25	0,997074
2	0,999968	14	0,999271	26	0,996813
3	0,999992	15	0,999126	27	0,996542
4	1,000000	16	0,998970	28	0,996262
5	0,999992	17	0,998802	29	0,995973
6	0,999968	18	0,998623	30	0,995676
7	0,999929	19	0,998433	31	0,995369
8	0,999876	20	0,998232	32	0,995054
9	0,999809	21	0,998021	33	0,994731
10	0,999728	22	0,997799	34	0,994399
11	0,999632	23	0,997567	35	0,994059

Часто при изучении шлихов приходится иметь дело с малыми количествами минерала, недостаточными для определения плотности с помощью обычного пикнометра. В этом случае пользуются микропикнометром Ф. В. Сыромятникова (1930), который позволяет провести определение плотности при наличии 0,1—0,3 г минерала.

Упрощенный микроскопический метод определения плотности малых количеств минералов (10—15 мг) предложен М. М. Василевским (1960). Калиброванную запаянную с одного конца стеклянную трубку с внутренним диаметром 1—3 мм (в зависимости от крупности зерен минерала и величины навески) монтируют вертикально в поле зрения микроскопа при горизонтальном положении тубуса. Трубку заполняют до определенного уровня какой-либо подвижной, хорошо смачивающей жидкостью. Положение мениска отмечают на шкале окуляр-микрометра микроскопа. Затем через микроворонку в трубку засыпают навеску минерала и отмечают новое положение мениска. Зная внутренний диаметр трубки, по разности отсчетов определяют объем жидкости, соответствующий объему испытуемого минерала. По величине навески и определенному объему минерала вычисляют плотность

Плотность минералов

Минерал	Плотность	Минерал	Плотность
Янтарь	1,05—1,09	Хлоритоид	3,2—3,6
Опал	1,9—2,3	Авгит	3,2—3,6
Графит	2,09—2,23	Торбернит	3,2—3,7
Гарниерит	2,3—2,8	Гидрогётит	3,2—4,4
Серпентин	2,5—2,7	Геденбергит	3,22—3,6
Микроклин	2,54—2,57	Силлиманит	3,23—3,25
Ортоклаз	2,56—2,58	Аксинит	3,25—3,30
Халцедон	2,60—2,64	Цоизит	3,25—3,36
Кордиерит	2,60—2,66	Дюмортьерит	3,25—3,36
Альбит	2,60—2,69	Диоптаз	3,27—3,38
Скаполит	2,60—2,75	Сфен	3,29—3,56
Кальцит	2,6—2,8	Жадент	3,3—3,4
Хлорит	2,6—3,45	Гранат	3,30—4,30
Берилл	2,63—2,91	Везувиан	3,34—3,44
Кварц	2,65—2,66	Клиноцоизит	3,35—3,38
Биотит	2,7—3,1	Эпидот	3,35—3,38
Апортит	2,75—2,76	Рамзант	3,38—3,43
Флогопит	2,75—2,95	Гиперстен	3,4—3,5
Мусковит	2,76—3,1	Аурипигмент	3,4—3,5
Волластонит	2,78—2,91	Топаз	3,4—3,6
Пренит	2,8—3,0	Эгириин	3,4—3,60
Доломит	2,8—3,0	Реальгар	3,4—3,6
Ангидрит	2,8—3,0	Родонит	3,40—3,75
Лепидолит	2,8—3,3	Лампрофиллит	3,44—3,53
Тремолит	2,9—3,0	Хризоберилл	3,5—3,84
Лазулит	2,9—3,1	Шпинель	3,5—4,1
Магнезит	2,9—3,1	Сфалерит	3,5—4,2
Эритрин	2,95—3,10	Лейкоксен	3,5—4,5
Холмквистит	2,95—3,11	Псиломелан	3,5—4,7
Фенакит	2,96—3,00	Кианит	3,56—3,67
Турмалин	2,98—3,2	Флоренсит	3,58—3,75
Аннабергит	3,0	Стронцианит	3,6—3,8
Актинолит	3,0—3,2	Бенитоит	3,65
Лепидомелан	3,0—3,2	Ставролит	3,65—3,77
Роговая обманка	3,0—3,5	Азурит	3,7—3,8
Оливин	3,0—3,5	Сидерит	3,78—3,89
Ортит	3,0—4,2	Уранофан	3,81—3,96
Ксантофиллит	3,01—3,1	Анатаз	3,82—3,95
Флюорит	3,01—3,25	Брукит	3,84—4,08
Эвклаз	3,05—3,10	Малахит	3,9—4,10
Отенит	3,05—3,25	Целестин	3,95—4,0
Глаукофан	3,1—3,2	Корунд	3,95—4,10
Скородит	3,1—3,3	Перовскит	3,97—4,04
Энстатит	3,1—3,3	Циркон	3,98—4,86
Бустамит	3,1—3,4	Гадолинит	4,0—4,65
Сподумен	3,13—3,20	Хромит	4,0—4,9
Андалузит	3,16—3,20	Пирохлор	4,03—4,36
Гельвин	3,16—3,36	Пикотит	4,08—4,10
Апатит	3,17—3,23	Фаялит	4,1
Диопсид	3,2—3,38	Халькопирит	4,1—4,3
Бронзит	3,2—3,5	Смитсонит	4,1—4,5
Алмаз	3,2—3,5	Рутил	4,18—4,25

Минерал	Плотность	Минерал	Плотность
Гётит	4,2—4,3	Арсенопирит	5,9—6,2
Повеллит	4,2—4,5	Кобальтин	6,0—6,5
Барит	4,3—4,7	Пироморфит	6,0—7,1
Адамин	4,31—4,43	Англезит	6,1—6,4
Теннантит	4,4—5,4	Вульфенит	6,3—7,0
Ксенотим	4,45—4,59	Висмутин	6,4—6,5
Ильменит	4,5—5,0	Шмальтин	6,4—6,8
Торит	4,5—5,0	Церуссит	6,46—6,57
Браннерит	4,5—5,43	Уранинит	6,6—10,6
Антимонит	4,52—4,62	Ванадинит	6,66—7,10
Пирротин	4,58—4,64	Гюбнерит	6,7—7,5
Делоренцит	4,7	Вольфрамит	6,7—7,5
Молибденит	4,7—4,8	Касситерит	6,8—7,1
Пирролюзит	4,7—5,0	Цинк	6,9—7,2
Поликраз-эвксенит	4,7—5,0	Олово	6,97—7,37
Бломстрандин	4,7—5,04	Бисмутит	7,0—7,4
Лопарит	4,75—4,90	Железо	7,0—7,8
Браунит	4,75—5,04	Миметезит	7,1—7,2
Ильменорутил	4,8—5,6	Аргентит	7,2—7,4
Борнит	4,9—5,2	Галенит	7,4—7,6
Гематит	4,9—5,3	Ферберит	7,49
Монацит	4,9—5,5	Киноварь	8,0—8,2
Эшинит	4,93—5,17	Торианит	8,0—9,7
Бастнезит	4,948	Гессит	8,31—8,45
Пирит	4,95—5,20	Петцит	8,7—9,2
Бадделейт	5,0—6,02	Медь	8,8—8,9
Колумбит-танталит	5,15—8,2	Палладий-антимо- нид	9,5
Магнетит	5,16—5,18	Висмут	9,8
Тетраэдрит	5,4	Серебро	10,1—11,1
Прустит	5,5—5,6	Палладий	10,8—11,97
Халькозин	5,5—5,8	Свинец	11,2
Самарскит	5,6—5,8	Платина	14—19
Фергюсонит	5,8	Золото	15,6—19,3
Трипунит	5,8	Иридий	19,3—21,12
Крокоит	5,8—6,2	Осмистый иридий	19,3—21,12
Шеелит	5,8—6,2		
Эшвегит	5,87		

минерала. По данным М. М. Василевского, метод позволяет проводить определение плотности с точностью до 0,02 — 0,03.

Плотность минералов, встречающихся в шлихах, приведена в табл. 10.

Плотность шлиха можно использовать при количественном определении шлиховых минералов. В этом случае плотность определяется с помощью бюретки или другого градуированного сосуда. При наличии в шлихе преимущественно одного полезного ископаемого (касситерита, танталита, циркона) содержание его достаточно точно определяется по плотности шлиха. Присутствие других тяжелых минералов уменьшает точность определения содержания полезного ископаемого по плотности шлиха.

Существуют и другие методы определения плотности минералов, описанные в работах «Удельный вес минералов и методы его определения» (1969), «Определение плотности минералов» (Ильинский, (1975).

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Люминесцентный анализ основан на способности минералов светиться под действием ультрафиолетовых, рентгеновских и катодных лучей. Это свечение бывает различным по окраске и интенсивности (Василькова, Горобец, 1969). Химически чистые соли обычно не обладают люминесценцией, но даже незначительные примеси посторонних соединений могут вызывать свечение. Люминесценция минералов зависит от характера примесей. К химическим элементам, вызывающим свечение, относятся редкоземельные металлы, марганец, хром, уран и др. Некоторые минералы светятся вполне определенным цветом. Большая часть минералов люминесцирует различным цветом в зависимости от состава посторонних примесей, от расположения этих примесей в кристаллической решетке минерала и от ряда других физико-химических свойств люминесцирующего объекта. Теория люминесценции кристаллов рассмотрена в работе А. С. Марфунина (1975). Люминесцентный анализ применяется при определении алмаза, шеелита, циркона, флюорита, апатита и других минералов.

Специальная аппаратура позволяет проводить определение минералов в шлихах люминесцентным методом как в лаборатории, так и в полевых условиях.

В качестве источника ультрафиолетовых лучей в последнее время используют осветитель ОИ-18 с фильтром УФС-3. Можно пользоваться и другими приборами — люминесцентным стереоскопическим микроскопом ЛЮСАМ-Р1, прибором «Шеелит-2» и др. Для катодного и рентгеновского люминесцентных анализов применяют катодные (УКЛ-1) и рентгеновские приборы различных конструкций.

Наиболее часто встречающиеся в шлихах люминесцирующие минералы приведены в табл. 11.

Таблица 11

Люминесцирующие минералы (Кухаренко, 1961)

Минерал	Люминесценция			Процент люминесцирующих минералов
	Ультрафиолетовые лучи	Катодные лучи	Рентгеновские лучи	
Аксинит	Красная	—	—	—
Алмаз	Голубая, зеленая, фиолетовая	Голубая, сине-фиолетовая	Голубая	100
Англезит	Желтая, красная	Голубая	—	70

Минерал	Люминесценция			Процент люминесцирующих минералов
	Ультрафиолетовые лучи	Катодные лучи	Рентгеновские лучи	
Апатит	Розовая, красная, фиолетовая	Желтая, голубая, фиолетовая	Желтая, голубая, зеленая	90
Барит	Розовая, желтая, белая	Фиолетовая, белая	Зеленая	80
Берилл	Фиолетовая	Голубая	Желтая	50
Волластонит	Слабая розово-желтая	Желтая	—	50
Гроссуляр	Слабая желто-зеленая, красная	Оранжевая	—	13
Кальцит	Красная, желтая	Красная	Красная	100
Кварц	—	Синяя, розовая	—	60
Кианит	Слабая красная	Красная	—	45
Корунд	Красная, голубая	Красная, желтая, фиолетовая	—	70
Магнезит	Белая, голубая, красная	Голубая, красная	—	40
Малакон	Желтая	Желтая	—	80
Миметезит	Желтая	—	—	56
Молибденит	—	Зеленоватая	—	30
Отенит	Зелено-желтая	Зелено-желтая	—	100
Пироморфит	Желтая	—	—	65
Повеллит	Голубая, желтая	Желтая	—	70
Полевые шпаты	Различные цвета	Различные цвета	—	—
Рамзаит	Слабая серовато-зеленая	—	—	60
Родонит	—	Красная	—	—
Смитсонит	Голубая, белая, розовая	Красная, оранжевая	—	50
Сподумен	Красная, розовая, голубая	Желтая, белая	—	60
Стронцианит	Белая, желтая, зеленая, красная	Красная	—	85
Сфалерит	Желтая	Желтая	—	13
Сфен	—	Голубая	—	50
Топаз	Желтая, зеленая, красная	Красная, голубая, синяя	—	18
Торит	Слабая зеленая	—	—	30
Тремолит	Слабая желтая	Желто-зеленая	—	50

Минерал	Люминесценция			Процент люминесцирующих минералов
	Ультрафиолетовые лучи	Катодные лучи	Рентгеновские лучи	
Турмалин	—	Красная	—	10
Флюорит	Фиолетовая	Фиолетовая, голубая, зеленая	Зеленая	100
Целестин	Белая, желтая, розовая	—	—	25
Церуссит	Желтая, белая	Голубая	—	85
Циркон	Желтая	Желтая, голубая	Зеленая, желтая	99
Циртолит	Слабая зеленоватая, розовая	Зеленая, желтая, розовая	—	70
Шеелит	Бледная оранжевая, желтая, голубая	Голубая	Голубая	100
Шпинель	Красная	Красная	—	30

МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Плёночные реакции

Для определения минералов в полевых условиях обычно широко используют простейшие химические реакции. Однако отбор мелких зерен минералов из шлиха для химических реакций часто представляет большие трудности. Значительно более удобно пользоваться пленочными реакциями, позволяющими проводить определение минерала без предварительного выделения его из шлиха. Применение пленочных реакций основано на образовании на поверхности минерала тонкой окрашенной пленки при обработке его определенными реактивами.

Наиболее известной и широко применяемой пленочной реакцией является образование налета металлического олова на касситерите при обработке его соляной кислотой на цинковой пластинке. Описание этой реакции приведено в разделе «Простейшие химические реакции».

Для определения *шеелита* шлих на предметном стекле смачивают соляной кислотой и прибавляют незначительное количество хлористого олова. Шеелит при такой обработке покрывается синей пленкой, отличающей его от других минералов.

Наиболее надежным методом определения *танталита* и *колумбита* в шлихах является пленочная реакция, основанная на выделении голубовато-серой пленки на поверхности тантало-ниобатов при обработке их расплавленным пиросульфатом калия; при последующем кипячении с серноокислым раствором таннина голубовато-серая пленка превращается в оранжево-желтую.

Реакция на танталит-колумбит проводится следующим образом. Шлих всыпают в фарфоровый тигель и прибавляют такое количество кристаллического пиросульфата калия, чтобы после его расплавления все зерна шлиха свободно плавали в жидкости. Осторожно нагревают тигель на горелке до полного расплавления $K_2S_2O_7$. После этого продолжают нагревание еще несколько минут до тех пор, пока расплав не приобретает отчетливое желтое окрашивание вследствие частичного разложения исследуемых минералов. Сплав охлаждают и растворяют в горячей разбавленной H_2SO_4 . Кислоту сливают, несколько раз промывают шлих водой и осторожно высушивают. Танталит-колумбит покрывается голубовато-серой пленкой, отчетливо выделяющейся на черной поверхности этих минералов.

При такой обработке расплавленным пиросульфатом калия *ильменит* приобретает сероватую побежалость, резко отличающуюся от пленки тантало-ниобатов; вольфрамит и губнерит покрываются тонкой сероватой пленкой, иногда трудно отличимой от пленки колумбита.

Для отличия пленок, образующихся на колумбите и вольфрамите, шлих, содержащий покрытые пленкой минералы, помещают в тигель и заливают горячим 1%-ным раствором таннина и 5%-ной H_2SO_4 . Нагревают раствор до кипения, сливают его, промывают шлих разбавленной H_2SO_4 и затем несколько раз горячей во ой и осторожно высушивают. Голубовато-серая пленка тантало-ниобатов после обработки таннином превращается в оранжево-желтую или красноватую. Иногда эта пленка располагается на поверхности минерала неравномерным слоем, образуя местами более интенсивно окрашенные участки.

Вольфрамовое соединение таннина окрашено в буро-черный цвет. При обработке вольфрамита раствором таннина серая пленка превращается в буро-черную, совершенно незаметную на поверхности вольфрамита. После обработки вольфрамит резко отличается от колумбита и других тантало-ниобатов.

В. А. Новиков (1945) предлагает пленочные реакции для определения минералов свинца, висмута, молибдена и ванадия.

Для минералов свинца автор пользуется реакцией образования желтой пленки иодида свинца при обработке минерала раствором иодистого калия. При обработке 5%-ным раствором KI *англезит* покрывается пленкой без нагревания; *церуссит*, *вульфенит*, *ванадинит*, *пироморфит* и *крокоит* — только после предварительного нагревания их с серной кислотой (1 : 1). Сульфиды свинца (*галенит*, *буланжерит*) покрываются желто-зеленой пленкой при кипячении с насыщенным раствором иода в 5%-ном растворе KI .

Все минералы свинца при обработке цинком и соляной кислотой покрываются серой пленкой металлического свинца, которая иногда может привести к ошибкам при определении касситерита методом восстановления до металлического олова. Свинцовая

пленка при кипячении с раствором иода в иодистом калии окрашивается в желтый цвет.

Для определения вторичных минералов висмута (*бисмутит*) В. А. Новиков пользуется образованием черно-бурой пленки иодистого висмута при обработке минерала 5%-ным раствором иодистого калия в серной кислоте (1 : 10) при комнатной температуре. Черно-бурая пленка обесцвечивается при прибавлении аммиака.

Кислый раствор хирина или цинхонина реагирует с минералами висмута, образуя оранжевую пленку. Реактив для реакции готовится раствором 1 г хирина или цинхонина в 100 мл HNO_3 (1 : 150) при нагревании; после охлаждения к раствору прибавляют 2 г KI. К минералу, предварительно обработанному иодистым калием и затем обесцвеченному аммиаком, прибавляют раствор хирина. Через 3—5 мин при комнатной температуре минерал покрывается оранжевой пленкой.

Для получения пленочной реакции на берилле предложен хинализарин (Jedwab, 1957). Зерна минерала нагревают с расплавленным Na_2CO_3 в никелевой ложке или в спирали платиновой проволоки и затем охлаждают. В пробирку помещают несколько кристаллов хинализарина, 2—3 мл воды и минерал, обработанный содовым расплавом, кипятят около 1 мин. Промывают под сильной струей воды до полного исчезновения хинализарина. Берилл интенсивно и равномерно окрашивается в устойчивый синий цвет. Кварц при этом не окрашивается. Полевые шпаты окрашиваются неравномерно в бледно-фиолетовый цвет, исчезающий в воде приблизительно через час; при этом вода мутнеет и становится фиолетовой.

Предложены пленочные реакции для некоторых тантало-ниобатов и редкоземельных минералов, основанные на прокаливании минералов в токе водорода в специальном приборе (Новиков, 1964).

Химическая природа пленочных реакций различна. Наиболее часто пленка появляется при восстановлении некоторых химических соединений до металла (при обработке минерала соляной кислотой на цинковой пластинке) или при образовании трудно-растворимых окрашенных соединений на поверхности минерала (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

Пленочные реакции

Минерал	Реактивы	Результат реакции
<i>Восстановление до металла</i>		
Минералы олова		
Касситерит	Соляная кислота + цинк	Светло-серый металлический налет — «оловянное зеркало»

Минерал	Реактивы	Результат реакции
Минералы свинца		
Церуссит Англезит Вульфенит Пироморфит Ванадинит	Соляная кислота + цинк	Темно-серая, иногда синевато-серая пленка, которая при нагревании с раствором иодистого калия окрашивается в желтый цвет (PbI_2)
Минералы висмута		
Висмутит Базобисмутит	То же	Свинцово-серая пленка, которая при нагревании с раствором иодистого калия чернеет BiI_3)
Минералы меди		
Азурит Малахит	То же	Медно-красная пленка, часто с синевато-черной побелостью
Минералы сурьмы		
Антимонит	Соляная кислота на цинковой пластинке в присутствии платины	Черный рыхлый налет металлической сурьмы

Образование труднорастворимых окрашенных соединений

Минералы вольфрама

Шеелит	Соляная кислота при кипячении	Желтый налет вольфрамовой кислоты, растворяющийся в NH_4OH
	Соляная кислота + металлическое олово или хлористое олово при нагревании	Синяя пленка низшего окисла вольфрама
	Сплавление со смесью хлористого кальция и хлористого натрия	Пленка $CaWO_4$ ярко люминесцирующая в катодных лучах голубым светом
	Насыщенный раствор KOH и $Ba(OH)_2$ при кипячении	Серая пленка вольфрамата бария

Минерал	Реактивы	Результат реакции
Вольфрамит Гюбнерит	Пиросульфат калия ($K_2S_2O_7$) в расплавленном состоянии	Серая пленка
Минералы молибдена		
Молибденит	Сплавление со смесью хлористого кальция и хло- ристого натрия	Пленка $CaMoO_4$, ярко лю- минесцирующая в катодных лучах желтоватым или зеле- новато-желтым светом
Повеллит Вульфенит Молибденит Чиллагит	Соляная кислота + ме- таллическое олово	Мало устойчивая зелено- вато-синяя пленка
Вульфенит	Насыщенный раствор фе- нилгидразина в разбавлен- ной серной кислоте (1 : 10) при кипячении	Синевато-серая пленка
Повеллит Молибдит	То же, без нагревания в течение 5—10 мин	Синяя пленка
Минералы сурьмы		
Антимонит	Едкий калий, 5%-ный рас- твор	Оранжево-красная пленка сульфосоли сурьмы
Минералы свинца		
Англезит	Иодистый калий, 5%-ный раствор без нагревания	Желтая пленка иодида свинца
Церуссит Вульфенит Ванадинит Пироморфит Кроконт	Серная кислота (1 : 1) при нагревании, затем 5%-ный раствор иодистого калия	То же
	Соляная кислота при комнатной температуре	Белая пленка хлористого свинца
Галенит Буланжерит	Насыщенный раствор иода в 5%-ном растворе иоди- стого калия	Желтая пленка иодида свинца
Минералы висмута		
Бисмутит Базобисмутит	5%-ный раствор иодисто- го калия в серной кислоте (1 : 10)	Черно-бурая пленка иоди- стого висмута, обесцвечиваю- щаяся при добавлении ам- миака

Минерал	Реактивы	Результат реакции
Бисмутит Базобисмутит	Кислый раствор цинхонина или хинина с иодистым калием (1 г цинхонина растворяют в 100 мл HNO_3 (1 : 150) при нагревании; после охлаждения прибавляют 2 г KI)	Оранжевая пленка

Минералы ванадия

Ванадинит Тюямунит	Смесь анлина с равным объемом концентрированной соляной кислоты	Черная пленка
-----------------------	---	---------------

Минералы титана

Ильменит	Пиросульфат калия ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$) в расплавленном состоянии	Сероватая побежалость
----------	--	-----------------------

Минералы тантала и ниобия

Танталит-колумбит	То же	Голубовато-серая пленка, окрашивающаяся в оранжево-желтый цвет в растворе таннина в 5%-ной серной кислоте
-------------------	-------	---

Минералы бериллия

Берилл	Расплавленный Na_2CO_3 , затем раствор хинализарина в воде	Ярко-синяя пленка
--------	--	-------------------

Простейшие химические реакции

Для химического определения шлиховых минералов обычно пользуются капельными реакциями, позволяющими проводить анализ при наличии одного-двух зерен минерала диаметром 0,1—0,2 мм. Капельные реакции при аккуратном и точном их проведении и соблюдении предосторожностей, уничтожающих вредное влияние посторонних примесей, являются наиболее удобным методом химического анализа при малых количествах минерала.

Капельные реакции могут выполняться двумя различными способами. По первому способу капля испытуемого раствора смешивается с каплей реактива на белой фарфоровой пластинке или

в маленькой фарфоровой чашке. По второму способу капли двух растворов смешиваются на куске фильтровальной бумаги.

Учитывая большую чувствительность капельных реакций, для проведения их необходимо употреблять возможно более чистые реактивы и посуду и перед определением всегда проверять чистоту реактивов. Для капельных реакций на бумаге пользуются обеззоленными фильтрами. Для проведения химического анализа минерал переводят в растворимое состояние. Если минерал растворяется в кислотах, то обычно растворителем служит кислота или царская водка (смесь трех объемов HCl и одного объема HNO_3). Для растворения несколько зерен минерала помещают на предметное стекло или в маленькую фарфоровую чашку, прибавляют 3—4 капли кислоты и осторожно подогревают на спиртовой горелке. Сульфиды обычно растворяют в HNO_3 , так как в HCl они не растворяются.

Если минерал не растворяется в кислотах, его сплавляют с содой (Na_2CO_3), едким щелочами (KOH или NaOH), пиросульфатом калия ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$) или со смесью соды и селитры (5 частей NaCO_3 и 1 часть KNO_3). Перед сплавлением минерал растирают в маленькой агатовой ступке вместе с плавнем. Сплавление с содой или со смесью соды и селитры проводят в платиновой ложке или в спирали толстой платиновой проволоки. Для получения спирали платиновую проволоку обматывают 3—4 раза вокруг спички или острия карандаша. Сплавление с пиросульфатом калия можно проводить не только в платиновой, но также в фарфоровой или стеклянной посуде. Для сплавления с KOH или NaOH удобнее всего пользоваться стеклянными пробирками, так как платина сильно разрушается в процессе плавки со щелочами. Количество плавня должно превышать количество минерала в 5—6 раз. Если минерала очень мало, то во избежание потерь его можно не растирать в ступке.

Процесс предварительной подготовки минерала к реакции имеет большое значение для точности определения, так как часто позволяет подобрать оптимальные условия и удалить элементы, мешающие определению. Особенно часто для этой цели применяют сплавление со смесью соды и селитры и выщелачивание сплава водой. После такой обработки в водный раствор переходят As , P , Mo , Cr , V , W , Mn . В нерастворимом остатке находятся Fe , Ni , Co , Ti , Bi , Cu , Pb , Ag , Au , Sn , Ta , Nb , частично Mn . Таким образом, в процессе предварительной подготовки к анализу разделяются элементы, мешающие определению при совместном присутствии в растворе.

Для фильтрования незначительных количеств жидкости обычно пользуются методом Геммеса. Для этого раствор помещают на часовое стекло или в фарфоровую чашку и рядом с ним кладут сложенную вчетверо и смоченную каплей воды полоску фильтровальной бумаги размером 4×20 мм. Бумагу прижимают к стеклу пипеткой и, наклонив стекло, приводят жидкость в со-

прикосновение с бумагой. (С помощью резиновой груши или резиновой трубки, закрытой с одного конца стеклянной палочкой, предварительно удаляют воздух из пипетки). Раствор фильтруют через бумагу и собирают в капиллярную трубку пипетки.

Соляная кислота применяется обычно для диагностики карбонатов. Однако этот простой, имеющийся в каждой лаборатории реактив, с успехом можно использовать для обнаружения большого числа различных минералов. Для изучения поведения минерала в соляной кислоте требуется минимальное количество его. Несколько мелких зерен помещают на предметное стекло и прибавляют одну каплю концентрированной соляной кислоты. Результаты реакции при необходимости можно наблюдать под лупой. По изменениям минерала в процессе растворения судят о его химическом составе. Так, густые темно-бурые подтеки вокруг минерала указывают на присутствие в его составе окисленного марганца; минералы, содержащие железо, окрашивают раствор в желтый цвет; при растворении ванадатов появляется густая

Т а б л и ц а 13

Результаты обработки минералов соляной кислотой

Результаты обработки	Минерал
Растворение с выделением сероводорода	Сульфиды: антимонит, пирротин, гельвин, сфалерит
Выделение хлора и окрашивание раствора в темно-бурый цвет	Минералы марганца: пепломелан, пиролизит, браунит
Растворение с образованием желтого или бурого раствора	Минералы железа: гётит, гидрогётит, сидерит, ярозит
Окрашивание раствора в вишнево-красный цвет	Ванадаты: ванадинит, тюямунит, карнотит
Выделение желтого осадка WO_3	Вольфраматы: шеелит, вольфрамит, гюбнерит, штольцит
Выделение объемистого белого осадка $PbCl_2$	Минералы свинца: англезит, церуссит, ванадинит, вульфенит
Выделение студенистого осадка SiO_2	Силикаты*: диоптаз, волластонит, хризоколла, каламин
Образование синих разводов при выпаривании	Молибдаты: повеллит, вульфенит

* Растворяются с трудом.

вишнево-красная окраска, которая постепенно бледнеет и становится зеленоватой; минералы свинца вспучиваются и покрываются белой пленкой хлористого свинца; молибдаты после осторожного выпаривания капли кислоты оставляют синие разводы.

Изменения минералов в процессе растворения в соляной кислоте приведены в табл. 13.

Описание простейших химических реакций приведено ниже. Большая часть этих реакций описана в работах Н. С. Тананаева (1950), Ф. Файгля и В. Ангера (1976), Ф. П. Тредвелла, В. Т. Голл (1946), Е. В. Копченовой и В. Н. Карюкиной (1969).

БАРИЙ Ва

Барит $BaSO_4$.

1. **Определение с родизонатом натрия.** Это определение основано на образовании красно-бурого родизоната бария в нейтральных растворах бариевых солей. Подобную реакцию с родизонатом дают соли стронция и тяжелых металлов.

Открытие Ва проводится следующим образом. Несколько зерен минерала сплавляют с большим избытком соды. Сплав растворяют в воде для удаления SO_4^{2-} , отфильтровывают нерастворимый остаток и растворяют его на фильтре в нескольких каплях HCl . Нейтрализуют раствор содой до слабо кислой реакции и переносят каплю его на фильтровальную бумагу. Наносят на сырое пятно каплю родизоната натрия. Присутствие Ва вызывает красное окрашивание.

Реактивы. Сода Na_2CO_3 .

HCl , 10%-ный раствор.

Родизонат натрия $\begin{array}{c} CO-CO-CO-Na \\ | \qquad \qquad \qquad || \\ CO-CO-CO-Na, \end{array}$ водный раствор.

2. **Окрашивание пламени** Сульфат бария с трудом улетучивается в пламени, но если кристалл барита предварительно смочить HCl , можно отчетливо заметить зеленую окраску, свойственную солям Ва.

Реакция проводится следующим образом. Исследуемые зерна минерала аккуратно истирают в маленькой агатовой ступке или на предметном стекле. Чистую платиновую проволоку накаливают в пламени горелки и, окунув в химически чистую концентрированную HCl , погружают в порошок минерала, который прилипает к мокрой проволоке. После этого вносят проволоку в несветящуюся пламя горелки. Ва окрашивает пламя в зеленый цвет, который более отчетливо наблюдается после продолжительного прокалывания.

3. **Определение с хроматом или бихроматом калия** в присутствии уксусной кислоты. Подобную

реакцию дают свинец, висмут, серебро и другие тяжелые металлы.

От прибавления родного раствора реактива к уксуснокислому раствору бария выпадает желтый осадок BaCrO_4 или BaCr_2O_7 .

4. **Определение с разбавленной серной кислотой.** Определению мешает присутствие кальция, стронция, свинца.

Прибавление капли разбавленной серной кислоты к раствору, содержащему барий, вызывает образование плотного белого осадка BaSO_4 .

БЕРИЛЛИЙ Ве

Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, **гельвин** $\text{Mn}_4 [\text{BeSiO}_4]_3\text{S}$, **эвклаз** $\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8[\text{OH}]_2$, **хризоберилл** BeAl_2O_2 , **фенакит** Be_2SiO_4 , **гадолинит** $\text{Y}_2\text{Fe}^{+2}\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$.

1. **Определение с хинализарином.** Слабо щелочной раствор Ве при прибавлении к нему разбавленного спиртового или щелочного раствора хинализарина окрашивается в синий цвет. Присутствие аммонийных солей мешает определению. Соли Mg также дают с хинализарином синее окрашивание.

Открытие Ве производят следующим образом. Два-три зерна минерала сплавляют с содой, сплав растворяют в нескольких каплях воды и к полученному раствору прибавляют две-три капли раствора хинализарина. Присутствие Ве вызывает синее окрашивание раствора.

Реактивы. Сода Na_2CO_3 .

Хинализарин, насыщенный спиртовой раствор.

БОР В

Турмалин.

1. **Определение с хинализарином.** Многие оксиантрихионы растворяются в концентрированной H_2SO_4 с образованием окрашенных растворов, цвет которых изменяется от прибавления борной кислоты. Изменение цвета обусловлено, очевидно, образованием внутрикompлексного сложного эфира борной кислоты.

Для открытия бора наиболее часто применяется хинализарин (1, 2, 5, 8-тетраоксиантрахион). Реакции мешают фториды, нитраты, ферроцианиды и ванадаты.

Определение проводят следующим образом. Два-три зерна минерала сплавляют с содой в ушке платиновой проволоки. Твердый сплав помещают в фарфоровый тигель и прибавляют к нему три-четыре капли раствора хинализарина. Присутствие бора вызывает изменение окраски хинализарина из фиолетовой в синюю. Реакция очень чувствительна и специфична, но лишь в отсутствии указанных соединений.

Реактивы. Хинализарин, 0,01%-ный раствор в концентрированной H_2SO_4 .

Сода.

Тюямунит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{VO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, **ванадинит** $\text{Pb}_5[\text{VO}_4]_3\text{Cl}$.

1. Растворение в соляной кислоте. При осторожном растворении на предметном или часовом стекле ванадатов в концентрированной соляной кислоте в первый момент появляется густая вишнево-красная окраска, которая постепенно исчезает и раствор окрашивается в зеленоватый цвет.

2. Определение с купферомом. Определение основано на образовании бурого осадка при прибавлении купферона к солям ванадия в слабо сернокислой среде. Соли Sr, Mo, Co, Fe, Ti и Sn дают окрашенные осадки с купферомом и поэтому мешают определению. При отсутствии этих элементов реакция достаточно чувствительна и специфична для V.

Определение проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в четырех-пяти каплях H_2SO_4 в пробирке при нагревании. Полученный раствор нейтрализуют тремя-четырьмя каплями аммиака до слабо кислой реакции и прибавляют три-четыре капли купферона. Избыток купферона вредит определению. Присутствие V вызывает образование красно-бурого осадка.

Реактивы. H_2SO_4 концентрированная.

Купферон, 6%-ный водный раствор.

3. Определение с перекисью водорода. Кислые растворы солей ванадиевой кислоты окрашиваются в буровато-красный цвет от прибавления к ним H_2O_2 . Окрашивание зависит от образования надванадиевой кислоты. Избыток H_2O_2 разрушает красную окраску.

Открытие V с H_2O_2 мешают соли церия, молибдаты, хроматы, иодиды, бромиды и большие количества Cu, Ni, Co и других металлов, дающих окрашенные соли. Ti в условиях реакции дает желтое окрашивание, которое может быть обесцвечено путем прибавления фторидов щелочных металлов, образующих комплексный фтористый титан.

Открытие V проводится следующим образом. Два-три зерна минерала растворяют в нескольких каплях H_2SO_4 при нагревании, прибавляют несколько капель воды и одну каплю H_2O_2 . Присутствие V вызывает красное или розовое окрашивание.

Реактивы. H_2SO_4 концентрированная.

H_2O_2 , 3%-ный раствор.

4. Определение с анилином. Соли пентавалентного ванадия в кислых растворах окисляют анилин с образованием сине-зеленых продуктов окисления. Низшие окислы ванадия этой реакции не дают и поэтому должны быть предварительно окислены кипячением с концентрированной HNO_3 . Избыток азотной кислоты не разрушает анилина (Тананаев, 1950; Юшко, 1971).

Подобную реакцию дают хроматы, хлораты, гипохлораты и перманганаты.

Открытие ванадия производят на фильтровальной бумаге следующим образом: два-три зерна минерала растворяют на часовом стекле в двух-трех каплях царской водки. Выпаривают раствор для удаления соляной кислоты почти досуха, прибавляют две капли HNO_3 и еще раз выпаривают. Растворяют остаток в двух каплях HNO_3 . На фильтровальную бумагу наносят каплю раствора анилина и в середину пятна добавляют каплю испытуемого раствора. Присутствие ванадия вызывает медленное образование сине-зеленого пятна. Подогревание ускоряет реакцию.

Реактивы. Царская водка.

HNO_3 концентрированная.

Солянокислый раствор анилина — смесь анилина с равным объемом концентрированной HCl .

ВИСМУТ Bi

Висмутовый блеск Bi_2S_3 , висмутит $\text{Bi}_2[\text{CO}_3][\text{OH}]_4$.

1. Определение с цинхонином и иодистым калием. Определение основано на образовании оранжево-красного осадка двойного иодида висмута и цинхонина от прибавления цинхонина и KI к раствору висмутовых солей в слабокислой среде.

Свинец в условиях реакции дает желтый осадок PbI_2 , растворяющийся при разбавлении испытуемого раствора водой. Ртуть дает бледный зеленовато-желтый осадок, не мешающий определению висмута, если количество ртути в растворе превышает количество висмута не более чем в 70 раз. Хром дает бурый осадок, ванадий образует желтый, переходящий в бурый осадок, молибден дает беловатую муть.

Реакция проводится следующим образом. Одно маленькое зерно минерала растворяют в пробирке при кипячении в трех-четыре капли H_2SO_4 (1 : 1). Раствор нейтрализуют аммиаком до слабокислой реакции и затем прибавляют несколько капель цинхонина и такое же количество капель KI . Присутствие Bi вызывает образование оранжево-красного осадка.

Реактивы. Цинхонин или алкалоидные остатки, 1%-ный водный раствор.

KI , 2%-ный водный раствор.

H_2SO_4 (1 : 1).

NH_4OH .

Для определения Bi в присутствии Sg и V смесь минералов сплавляют с содой и селитрой, сплав выщелачивают водой и отфильтровывают. При этом Bi остается в осадке, а Sg и V переходят в раствор. Осадок растворяют в нескольких каплях H_2SO_4 и далее определяют как обычно. При соблюдении перечисленных условий, реакция является вполне специфичной для Bi .

2. Реакция с нодистым калием. Минерал растворяют в соляной кислоте (1 : 1), прибавляют несколько капель 2%-ного раствора нодистого калия. Образуется черный осадок BiI_3 , растворяющийся в избытке реактива с образованием тонкодисперсного оранжево-желтого осадка KBiI_4 .

3. Определение методом восстановления до металла. Зерно висмутита растворяют в концентрированной HCl и к полученному раствору прибавляют кусочек металлического олова или цинка. В присутствии Bi выделяется темно-серый осадок металлического висмута.

Реактивы. HCl (1 : 1).

Zn или Sn металлические.

4. Определение по окрашиванию пламени. При прокаливании висмутовых минералов висмут окрашивает пламя в зелено-голубой цвет.

ВОЛЬФРАМ W

Вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, **шеелит** CaWO_4 .

1. Определение с роданином В. Соли W, а также Sb , Mo , Hg , Au , Ta и Bi изменяют окраску водного раствора роданина В из красной в фиолетовую.

При анализе шлихов вольфрамит и шеелит трудно принять за минералы, содержащие перечисленные металлы, мешающие определению W. Поэтому реакция может применяться без опасений.

Открытие W производится следующим образом. Вольфрамит сплавляют в платиновой ложке или в спирали платиновой проволоки с четверным по объему количеством соды и одним-двумя маленькими кристаллами селитры. Зеленовато-голубая окраска сплава указывает на присутствие Mn. Сплав растворяют в небольшом количестве воды и нерастворимый остаток отфильтровывают. Водный раствор в пробирке нейтрализуют HCl до слабо кислой реакции по лакмусу и прибавляют к нему 1—2 мл раствора роданина. В присутствии W розовая окраска роданина В переходит в фиолетовую. При незначительных количествах W рекомендуется сравнивать окраску испытуемого раствора со слабо подкисленным раствором роданина В.

При анализе шеелита минерал не сплавляют, а растворяют в двух-трех каплях HCl , затем нейтрализуют раствор двумя-тремя каплями NH_4OH и прибавляют несколько капель роданина В. Розовая окраска роданина В переходит в фиолетовую.

Реактивы. Раствор 0,01 г кристаллического роданина В в 100 мл воды.

HCl .

NH_4OH .

2. Определение с металлическим оловом. Несколько зерен минерала растворяют в HCl при нагревании; если минерал не растворяется (вольфрамит), его предварительно сплавляют с содой. К кислому раствору прибавляют небольшой кусочек олова и нагревают до кипения. Присутствие W вызывает синее окрашивание в результате образования «вольфрамовой сини». Подобная синяя окраска может появиться в этих условиях также от V и Mo. Кроме того, Nb дает более светлую голубую окраску, Ti фиолетовую.

Реактивы. HCl концентрированная.

Олово металлическое.

3. Определение в шеелите с помощью пленочной реакции. Шлих помещают на предметное или часовое стекло, прибавляют несколько капель концентрированной HCl и нагревают 10—15 с. На крупных зернах шеелита после этого можно заметить желтый налет вольфрамовой кислоты. К теплomu раствору прибавляют небольшой кристаллик или несколько капель раствора SnCl₂. Все зерна шеелита при этом покрываются синим налетом «вольфрамовой сини».

Реактивы. HCl концентрированная.

SnCl₂ — кристаллическое или 5%-ный раствор его в концентрированной HCl. При отсутствии двуххлористого олова можно пользоваться металлическим оловом. Для этого 0,5 г олова растворяют при нагревании в 10 мл HCl; для быстроты растворения рекомендуется прибавлять каплю 4%-ного раствора CuSO₄.

ЖЕЛЕЗО Fe

Гётит HFeO₂, **гидрогётит (лимонит)** HFeO₂·aq, **гематит** Fe₂O₃, **магнетит** Fe²⁺Fe³⁺O₄, **ильменит** FeTiO₃, **хромит** FeCr₂O₄, **пирит** FeS₂.
Окисное железо Fe³⁺.

1. Определение с роданистым калием или аммонием. Соли трехвалентного железа дают с роданидами в кислом растворе кроваво-красное роданистое железо.

Определению мешают фосфаты, арсенаты, фториды, оксалаты и соли других органических кислот, дающие с Fe³⁺ устойчивые комплексные соединения. Ртутные соли вызывают образование роданистой ртути Hg(CNS)₂. При отсутствии указанных солей реакция обладает большой чувствительностью.

Определение проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют на часовом стекле в нескольких каплях HCl. К полученному раствору прибавляют каплю KCNS, от чего он окрашивается в красный цвет, интенсивность которого зависит от количества Fe³⁺. Если минерал не растворяется в кислоте, то его предварительно сплавляют с содой и сплав растворяют в HCl.

Реактивы. KCNS, 3%-ный водный раствор.

HCl, 10%-ный раствор.

2. **Открытие с железистосинеродистым калием.** Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HCl. Если минерал не растворяется в кислотах, его сплавляют с содой и сплав растворяют в HCl. Каплю кислого раствора наносят на фильтровальную бумагу и помещают на нее кристалл $K_4[Fe(CN)_6]$. По мере растворения кристалла вокруг него образуется синее кольцо.

Реактивы. HCl.

Сода.

Желтая кровяная соль $K_4(Fe(CN)_6)$, 3%-ный водный раствор. Закисное железо Fe^{2+} .

Открытие с железосинеродистым калием. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HCl. Если минерал не растворяется в кислоте, его сплавляют в ушке платиновой проволоки с $K_2S_2O_7$ и затем растворяют в HCl. Раствор не должен содержать HNO_3 и других окислителей. Каплю полученного раствора наносят на фильтровальную бумагу и прибавляют одну-две капли $K_3[Fe(CN)_6]$. Присутствие Fe^{2+} вызывает образование синего осадка (турбулева синь).

Реактивы. $K_2S_2O_7$.

HCl (1 : 1).

Красная кровяная соль $K_3(Fe(CN)_6)$, 10%-ный водный раствор.

ЗОЛОТО Au*

Самородное золото Au.

Открытие с хлористым оловом. Одно зерно золота растворяют в царской водке и полученный раствор осторожно выпаривают досуха. К сухому остатку прибавляют каплю воды и каплю раствора $SnCl_2$. Присутствие золота вызывает образование пурпурового осадка коллоидального Au и $Sn(OH)_2$ (кассиев пурпур). Осадок растворяется в NH_4OH с образованием красноватого раствора.

Реактивы. Царская водка.

$SnCl_2$ — (см. с. 51, вольфрам).

КОБАЛЬТ Co

Кобальтин $CoAsS$, шмальтин $CoAs_2$.

1. **Определение с роданистым аммонием и ацетоном.** Соли кобальта в кислом растворе дают с роданидами в присутствии ацетона синее окрашивание, обусловленное образованием соединения комплексного роданида $(NH_4)_2[Co(CNS)_4]$ с ацетоном.

Соли окиси железа дают с роданидами красное роданистое железо, маскирующее окраску роданида кобальта. Для устране-

* Много качественных химических реакций на золото приведено в «Руководстве по химическому анализу платиновых металлов и золота» (1965).

ния вредного влияния трехвалентного железа к раствору прибавляют фтористый аммоний или пирофосфат натрия, связывающие Fe^{3+} в устойчивые комплексные соединения. Никелевые соли мешают определению только тогда, когда количество их превышает количество кобальта более чем в 100 раз.

Соли меди дают с роданидами красно-бурую роданистую медь $Cu(CNS)_2$. Окраска, вызываемая роданидом меди, уничтожается прибавлением $NaHSO_3$ или H_2SO_3 .

Определение проводят следующим образом. Несколько зерен минерала растворяют в пяти-шести каплях царской водки при нагревании, раствор нейтрализуют NH_4OH до слабокислой реакции, прибавляют несколько кристаллов NH_4CNS и пять-шесть капель ацетона. Присутствие кобальта вызывает образование синего окрашивания. В случае присутствия Fe^{3+} и Cu^{2+} перед прибавлением ацетона в раствор вводят несколько капель пирофосфата натрия и сернистой кислоты до полного обесцвечивания раствора и выпадения белого осадка. После обесцвечивания к раствору прибавляют еще несколько кристаллов NH_4CNS и встряхивают с ацетоном.

При обесцвечивании раствора нужно избегать прибавления избытка пирофосфата натрия, разрушающего синюю окраску.

Реактивы. Царская водка.

NH_4OH .

NH_4CNS кристаллический.

Ацетон.

Пирофосфат натрия $Na_4P_2O_7$, насыщенный раствор ($Na_4P_2O_7$ получают из $NaHPO_4$ нагреванием в фарфоровом тигле до плавления). SO_2 или $NaHSO_3 + H_2SO_4$.

2. Определение по окрашиванию перлов. В присутствии кобальта перлбуры или фосфорной соли окрашивается в чистый синий цвет в окислительном и восстановительном пламени.

МАРГАНЕЦ Mn

Пирролюзит MnO_2 , **псиломелан** $mMnO \cdot MnO_2 \cdot H_2O$, **браунит** $Mn^{2+}Mn^{3+}O_3$, **гюбнерит** $MnWO_4$.

1. Открытие по окраске сплава. Сплав минерала с содой и селитрой окрашивается в присутствии Mn в голубовато-зеленый цвет.

2. Определение с надсернокислым аммонием. Одно-два зерна минерала растворяют в трех-четыре капли концентрированной H_2SO_4 . Гюбнерит и другие нерастворимые в кислотах минералы сплавляют с содой и селитрой и сплав растворяют в H_2SO_4 . Прибавляют две-три капли $AgNO_3$ и несколько мелких кристаллов надсернокислого аммония. Все соли марганца окисляются с образованием иона MnO_4^- , окрашивающего раствор в фиолетовый цвет.

Реактивы. H_2SO_4 концентрированная.

AgNO_3 10%-ный водный раствор.

Надсерноокислый аммоний $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, кристаллический.

3. **О п р е д е л е н и е в п с и л о м е л а н е и п и р о л ю - з и т е.** Минерал растворяется в концентрированной HCl с выделением хлора и окрашивает при этом раствор в темно-бурый цвет.

МЕДЬ Cu

Самородная медь Cu , халькозин Cu_2S , халькопирит CuFeS_2 , малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$, азурит $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$.

1. **Открытие с аммиаком.** Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях азотной кислоты или царской водки и к раствору прибавляют избыток аммиака до резкого запаха. В присутствии меди раствор окрашивается в синий цвет.

В минералах, содержащих железо, одновременно выпадает бурый осадок гидроокислов железа, после осаждения которого на дне пробирки, можно отчетливо наблюдать синюю окраску раствора.

2. **Открытие с железистосинеродистым калием.** Реакция, основанная на образовании краснобурого осадка $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Реакции мешает присутствие солей Fe^{3+} , Zn , Ag , Pb , Th , Mo , редких земель и уранила, дающих осадки с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Однако реакция может применяться для определения меди, так как медные минералы по внешнему виду резко отличаются от минералов, содержащих упомянутые соли. Железо перед определением Cu может быть удалено из раствора осаждением NH_4OH .

Для определения Cu в халькопирите одно-два зерна минерала растворяют в царской водке и прибавляют NH_4OH до появления резкого запаха. Отфильтровывают выделившийся бурый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Синяя окраска фильтрата указывает на присутствие Cu . Если минерала очень мало, то синяя окраска плохо заметна. Тогда кипятят фильтрат для удаления NH_4OH и затем прибавляют каплю HCl (1:1) и каплю раствора $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Образуется красно-бурый осадок $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Минералы, не содержащие Fe , растворяют в HCl , прибавляют к раствору каплю воды и каплю $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Присутствие Cu вызывает образование красно-бурого осадка $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Реактивы. HCl .

HNO_3 .

NH_4OH .

Железистосинеродистый калий $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, 2%-ный водный раствор.

3. **Определение с пиридином и роданистым аммонием по Спакю.** Реакция основана на образовании зеленого хлопьевидного осадка $(\text{CuPy})_2(\text{CNS})_2$ от прибавления пиридина и роданистого аммония или калия к нейтральному раствору солей меди. Реакция очень чувствительна и достаточно специфична.

Определение проводят следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в четырех-пяти каплях царской водки в пробирке при нагревании. Раствор нейтрализуют аммиаком до нейтральной или слабокислой реакции и прибавляют несколько капель пиридина и такое же количество NH_4CNS . Выпадает зеленый хлопьевидный осадок. Избыток пиридина растворяет выделяющийся осадок, поэтому его следует прибавлять осторожно.

При малых количествах меди чувствительность реакции может быть еще увеличена путем встряхивания полученного осадка с несколькими каплями хлороформа. При этом $(\text{CuPy})_2(\text{CNS})_2$ вытягивается в хлороформ, сообщая ему интенсивное ярко-зеленое окрашивание.

Реактивы. Царская водка.

NH_4CNS , 5%-ный водный раствор.

Пиридин.

Хлороформ.

МОЛИБДЕН Mo

Молибденит MoS_2 , повеллит CaMoO_4 вольфенит PbMoO_4 .

1. Определение с ксантогенатом калия. В кислом растворе молибдаты соединяются с ксантогенатом калия с образованием интенсивного красного окрашивания или темно-красных маслянистых капель комплексного соединения $\text{MoO}_3[\text{SC}(\text{SK})(\text{OC}_2\text{H}_5)_2]$. Реакция очень чувствительна и специфична для молибдена.

Определение проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала сплавляют с содой в ушке платиновой проволоки, сплав растворяют в трех-четырех каплях HCl (1 : 1) и к полученному слабокислому раствору прибавляют кристаллик ксантогената калия. Мо окрашивает раствор в красный цвет.

Реактивы. Сода.

HCl (1 : 1).

Ксантогенат калия, кристаллический.

2. Реакция с соляной кислотой. Молибдаты растворяют в нескольких каплях соляной кислоты. Молибденит растворяют в азотной кислоте, выпаривают раствор досуха и остаток растворяют в соляной кислоте. При выпаривании солянокислого раствора сухой остаток окрашивается в густой синий цвет (молибденовая синь).

3. Определение с роданистым калием и хлористым оловом. Солянокислые растворы Мо окрашиваются от KCNS в желтый цвет, который от прибавления капли раствора SnCl_2 переходит в красный вследствие восстановления молибдена до трехвалентного и образования комплексного соединения $\text{K}_3[\text{Mo}(\text{CNS})_6]$.

Трехвалентное железо образует с KCNS кроваво-красное роданистое железо, исчезающее от прибавления SnCl_2 или другого восстановителя. Присутствие W вызывает образование синего

окрашивания, мешающего определению Mo. Определению Mo с KCN и SnCl_2 мешают также соли ртути, фосфаты и органические кислоты, образующие с молибденом устойчивые комплексные соединения.

Открытие проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в двух-трех каплях HNO_3 при нагревании. Выпарив кислоту досуха, остаток растворяют в двух-трех каплях HCl при нагревании. Полученный раствор переносят на фильтровальную бумагу путем промокания и прибавляют к нему каплю раствора KCN. Присутствие железа вызывает образование красного пятна (если нет Fe^{3+} — пятно желтое). При прибавлении капли SnCl_2 красная окраска роданистого железа исчезает, но на месте ее появляется карминно-красное пятно $\text{K}_3[\text{Mo}(\text{CNS})_6]$.

Реактивы. HNO_3 .

HCl .

KCN, 3%-ный раствор.

SnCl_2 , 15%-ный раствор.

МЫШЬЯК As

Арсенопирит FeAsS , кобальтин CoAsS , реальгар AsS , аурипигмент As_2S_3 .

1. Определение с молибденовокислым аммонием. Соединения мышьяка так же, как и соединения фосфора, дают желтый кристаллический осадок с молибденовокислым аммонием. Открытие As проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HNO_3 , к полученному раствору прибавляют каплю воды и кристаллик молибденовокислого аммония и нагревают до кипения. Присутствие As вызывает образование желтого кристаллического мышьяково-молибденового аммония.

Реактивы. HNO_3 .

Молибденовокислый аммоний, кристаллический.

2. Восстановление до металла. Определение основано на выделении черного осадка металлического мышьяка при восстановлении мышьяковых солей хлористым оловом в кислой среде. Реакция протекает только в сильно кислой среде и ускоряется при нагревании.

Подобную реакцию дают соли ртути, но по Файглю ртуть может быть удалена путем прокаливания после превращения мышьяка в пирарсенаты. Также восстанавливаются Sb, Bi, Te. Чувствительность реакции снижается, если в растворе присутствуют окрашенные соли.

Определение проводится следующим образом. Два-три зерна минерала растворяют в нескольких каплях концентрированной HNO_3 при нагревании в фарфоровом тигле. Для удаления избытка HNO_3 , мешающей определению As с SnCl_2 , раствор выпаривают досуха, но не прокаливают, так как мышьяк летуч. Остаток

растворяют в двух-трех каплях HCl (1 : 1) при нагревании и к раствору прибавляют кристалл хлористого олова. Присутствие мышьяка вызывает бурое окрашивание раствора и постепенное выпадение черного осадка.

Реактивы. HNO₃ концентрированная.

HCl (1 : 1).

SnCl₂ кристаллическое.

НИКЕЛЬ Ni

Аннабергит Ni₃[AsO₄]₂·8H₂O.

1. Определение с диметилглиоксимом. Соли никеля с диметилглиоксимом в аммиачном растворе образуют красный осадок или окрашивание раствора. Реакции мешают закисное железо, платина, палладий, кобальт, медь, марганец и большие количества окислителей.

Определение проводят следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях царской водки при нагревании. Каплю полученного раствора наносят на фильтровальную бумагу, нейтрализуют несколькими каплями аммиака и прибавляют каплю 1%-ного спиртового раствора диметилглиоксима. Красное окрашивание указывает на присутствие Ni.

Эта реакция может быть проведена не только на бумаге, но также в растворе. Для этого к раствору минерала прибавляют небольшой избыток аммиака до слабого запаха и немного кристаллического диметилглиоксима и нагревают до кипения. Присутствие даже незначительных количеств никеля вызывает образование красного карминно-красного осадка.

Реактивы. Царская водка.

NH₄OH.

Диметилглиоксим, 1%-ный спиртовой раствор.

Ниобий Nb.

(См. тантал)

Олово Sn.

КАССИТЕРИТ SnO₂

1. Определение касситерита восстановлением до металла на цинковой пластинке. Для определения касситерита наиболее часто пользуются реакцией восстановления на цинковой пластинке; при этом обычно отмечается, что другие минералы такой реакции не дают. Однако проведенные нами опыты показали, что церуссит, висмутит, англезит и некоторые другие минералы также могут восстанавливаться до металла.

Открытие проводится следующим образом. Зерна касситерита помещают на цинковую пластинку или кусочек гранулированного цинка и прибавляют несколько капель HCl (1 : 1). Вследствие восстановления SnO₂ до Sn зерна касситерита покрываются блестящим металлическим налетом. Эта реакция не всегда удается

с первого раза, некоторые разности касситерита восстанавливаются только после повторной обработки их соляной кислотой при нагревании на цинковой пластинке.

Металлический налет может быть удален с зерен касситерита. Для этого их погружаю на одну-две минуты в концентрированную HCl; налет металлического олова растворяется, и минерал принимает прежний вид. Церуссит и бисмутит, которые иногда можно принять за касситерит, при удалении налета растворяются в HCl вместе с металлом.

2. **О п р е д е л е н и е с к а к о т е л и н о м.** Соли двухвалентного олова окрашивают водный раствор какотелина в фиолетовый цвет, переходящий в щелочной среде в голубой. Так как какотелин реагирует только с солями Sn^{2+} , четырехвалентное олово перед определением должно быть восстановлено. Солянокислые растворы ниобия, урана, вольфрама, молибдена, ванадия, хрома и титана после восстановления также окрашивают водный раствор какотелина в фиолетовый цвет. Реакция очень чувствительна.

При анализе шлихов касситерит можно принять по внешнему виду за многие минералы, например циркон, монацит, сфен, рутил. Поэтому для открытия касситерита лучше всего пользоваться реакцией восстановления до металлического олова и определение с какотелином употреблять лишь для проверки зерен, покрывшихся металлическим налетом.

Определение проводится следующим образом. Зерно минерала, покрытое металлическим налетом, выделившимся в результате восстановления, растворяют на стекле в нескольких каплях концентрированной HCl и к полученному раствору прибавляют несколько капель водного раствора какотелина. В присутствии олова появляется фиолетовое окрашивание.

Реактивы. HCl.

Какотелин, насыщенный водный раствор.

ОСМИЙ Os

Осмистый иридий Os, Ir.

О п р е д е л е н и е. Не растворяется даже в царской водке.

ПАЛЛАДИЙ Pd

Самородный палладий Pd.

О п р е д е л е н и е с и о д и с т ы м к а л н е м. Минерал растворяют в нескольких каплях царской водки, выпаривают досуха и прибавляют несколько капель воды, каплю HCl и каплю раствора KI. В присутствии Pd выпадает черный хлопьевидный осадок PdI_2 , растворимый в избытке KI. Платина в этих условиях окрашивает раствор в красный цвет.

Реактивы. Царская водка.

HCl

KI, 2%-ный раствор.

ПЛАТИНА Pt

Самородная платина Pt.

Открытие с иодистым калием. Раствор в царской водке выпаривают досуха; к остатку прибавляют две-три капли HCl и еще раз выпаривают. Остаток растворяют в нескольких каплях воды, прибавляют каплю H₂SO₄ и кристаллик KI. В присутствии Pt раствор окрашивается в красный цвет.

Реактивы. Царская водка.

HCl

H₂SO₄.

KI кристаллический.

РТУТЬ Hg

Киноварь HgS.

Определение в киновари. Несколько крупинок соды расплавляют в ушке платиновой проволоки и полученным раскаленным шариком соды касаются кристалла киновари. Минерал разрушается с выделением мелких капель металлической ртути, легко наблюдаемых под бинокуляром.

СВИНЕЦ Pb

Галенит PbS, церуссит PbCO₃, свинец Pb.

Открытие с иодистым калием. Один маленький кристалл галенита растворяют в трех-четырех каплях концентрированной HNO₃ при нагревании. Выпаривают раствор досуха, прибавляют две-три капли концентрированной HCl и еще раз выпаривают. Церуссит и другие растворимые минералы растворяют в соляной кислоте и выпаривают. Сухой остаток растворяют при нагревании в двух-трех каплях воды, охлаждают и к холодному раствору прибавляют кристаллик KI. Присутствие Pb вызывает образование желтого чешуйчатого осадка PbI₂.

Реактивы. HNO₃ концентрированная.

HCl концентрированная.

KI кристаллический.

СЕ А S

Сульфиды.

Определение с хлористым барием. Одно-два зерна минерала растворяют в двух-трех каплях азотной кислоты при нагревании. Прибавляют две капли воды и каплю BaCl₂. В присутствии серы выпадает мелкокристаллический белый осадок или белая муть BaSO₄.

Реактивы. HNO₃ концентрированная.

BaCl 2%-ный водный раствор.

СЕРЕБРО Ag

Самородное серебро Ag, гессит Ag₂Te.

Образование хлористого серебра. Минерал растворяют в одной-двух каплях HNO₃, к полученному раствору

прибавляют две-три капли воды и одну каплю HCl. Присутствие Ag вызывает образование белого творожистого осадка AgCl, легко растворяющегося в NH₄OH. AgCl на свету разлагается и темнеет.

Реактивы. HNO₃ концентрированная.

¶ HCl (1 : 5).

СУРЬМА ¶ Sb

Антимонит Sb₂S₃.

1. **Определение с родамином В.** Соли пятивалентной сурьмы изменяют красный цвет водного раствора родамин В в фиолетовый или синий с одновременным выпадением тонкого осадка.

Определение проводится в солянокислой среде. Небольшие количества Fe не мешают открытию. Хлориды ртути, золота, таллия и висмута, а также молибдаты и вольфраматы в кислом растворе дают подобную цветную реакцию. По внешнему виду минералы, содержащие перечисленные соединения, едва ли могут быть ошибочно приняты за антимонит, и поэтому реакция без опасения может применяться при анализе антимонита.

Открытие Sb проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях концентрированной HNO₃ при нагревании. Выпаривают досуха, прибавляют одну-две капли HCl и еще раз выпаривают. Растворяют в HCl, нейтрализуют аммиаком до слабокислой реакции и прибавляют 1 мл раствора родамин В. Присутствие Sb вызывает изменение красной окраски реактива в фиолетовую. При малых количествах сурьмы полученную окраску удобно сравнивать с окраской слабо подкисленного раствора родамин В.

Реактивы. Родамин В. 0,01 г красителя растворяют в 100 мл воды.

HNO₃ концентрированная.

HCl концентрированная.

NH₄OH.

2. **Восстановление до металла.** Все соли сурьмы восстанавливаются водородом (в момент выделения) до металлической Sb. Если проводить восстановление в присутствии платины, то Sb выделяется на платине в виде черного осадка. As, Bi и Te в этих условиях также восстанавливаются до черного металла, Sn — до светло-серого.

Открытие проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HNO₃ при нагревании. Выпаривают HNO₃, прибавляют две-три капли HCl и снова выпаривают. Выпаривание с HCl повторяют три раза для полного удаления HNO₃. Полученный солянокислый раствор переносят на цинковую пластинку, погружают в раствор кусочек платиновой проволоки, чтобы платина касалась цинка, и прибавляют две-три капли концентрированной HCl. Через 10—30 мин на платиновой проволоке появляется черный налет Sb.

Реактивы. HNO_3 .

HCl .

Zn металлический.

Платиновая проволока.

3. Определение антимонита с KOH . Одно-два зерна антимонита нагревают с двумя каплями KOH . Минерал растворяется с образованием оранжево-красного осадка сурьмяной оксисульфосоли.

Реактивы. KOH , 20%-ный раствор.

ТАНТАЛ Ta И НИОБИЙ Nb

Танталит-колумбит $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$, **самарскит** $(\text{Y}, \text{Er} \dots)_4[(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_7]_3$, **фергюсонит** $(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{U} \dots)(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})\text{O}_4$.

1. Открытие с помощью пленочной реакции (см. с. 39).

2. Открытие с таннином. Тантал и ниобий в серно- или солянокислом растворе образуют с таннином окрашенные осадки. Осадок, образованный танталом, имеет серно-желтый цвет; соединения ниобия обладают киноварно-красной окраской. При одновременном присутствии тантала и ниобия осадок имеет промежуточную окраску, приближающуюся или к красному, или к желтому цвету в зависимости от соотношения тантала и ниобия.

Открытию мешает присутствие вольфрама, образующего с таннином буро-черный осадок, и большие количества кремнезема, гидролиз которого может маскировать окраску осадка соединений тантала и ниобия. В присутствии вольфрама определение Ta и Nb может быть проведено только после предварительного отделения вольфрама с помощью насыщенного раствора углекислого аммония. Присутствие в растворе титана при соответствующих условиях проведения реакции не мешает определению.

Реакцию проводят следующим образом: 1—2 мг тонко растертого минерала сплавляют в фарфоровом тигле с шестикратным количеством пиросульфата калия. Сплав охлаждают и после этого растворяют в 1 мл горячей 5%-ной серной кислоты, содержащей 1% таннина. Раствор нагревают до кипения. В присутствии Ta и Nb выпадает хлопьевидный осадок, окрашенный в желтый или оранжево-красный цвет в зависимости от его состава.

Реакцию необходимо проводить в горячем растворе. При охлаждении и продолжительном отстаивании иногда образуется бурая муть или выпадает небольшой грязно-бурый осадок даже в отсутствие Ta и Nb.

Реактивы. Пиросульфат калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ или кислый сернокислый калий KHSO_4 . Сернокислый раствор таннина. Готовится растворением при нагревании 1 г таннина в 100 мл 5%-ной H_2SO_4 . При охлаждении выделяется буроватый избыток таннина. Перед употреблением раствор нагревают до полного растворения мути

(почти до кипения). Рекомендуется пользоваться свежеприготовленным раствором, так как при продолжительном стоянии и многократном кипячении раствор делается бурым и не годится для реакции.

ТЕЛЛУР Те

Петцит (Ag, Au)₂Te, **гессит** Ag₂Te.

1. Восстановление до металла с помощью SnCl₂. Соли теллура при восстановлении выделяют черный осадок металлического Te, точно так же, как соли Sb, Bi и As.

Зерно минерала растворяют в двух-трех каплях HCl при нагревании. Если минерал в HCl не растворяется, его растворяют в HNO₃, выпаривают досуха и прибавляют две-три капли HCl. К полученному солянокислому раствору прибавляют кристалл SnCl₂. Соединения Te восстанавливаются до металлического теллура, который выделяется в виде черного осадка.

Реактивы. HCl.

HNO₃.

SnCl₂ кристаллическое.

2. Определение теллура с реагентом «Антразо». Органическое соединение «Антразо» (антрахинон-1-азо-4-диметиланилин), предложенное В. И. Кузнецовым (1940) для открытия олова, использовано С. С. Боришанской (1947) для качественного определения теллура. Солянокислый раствор «Антразо», окрашенный в красный цвет, с четырехвалентным теллуром образует сине-фиолетовый осадок. Для реакции применяется фильтровальная бумага, пропитанная раствором «Антразо» и высушенная.

Открытие проводят следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в трех-четырех каплях царской водки при нагревании и к раствору прибавляют одну каплю воды. Наносят каплю полученного раствора на реактивную бумагу «Антразо». Присутствие теллура вызывает образование сине-фиолетового пятна.

Подобную реакцию дают Bi и Sb. Для отличия этих элементов еще влажное сине-фиолетовое пятно смачивают каплей раствора NaNO₂. При этом пятно теллура исчезает и восстанавливается розовая окраска бумаги, пятна Bi и Sb не изменяются. Для ускорения реакции рекомендуется нанести на пятно по капле раствора нитрита с обеих сторон бумаги.

Реактивы. Царская водка.

Реактивная бумага «Антразо». Способ приготовления: 0,05—0,1 г свободного основания «Антразо» растворяют в 100 мл нагретого этилового спирта в присутствии двух-трех капель HNO₃; этим теплым раствором пропитывают полоски фильтровальной бумаги и высушивают ее.

Нитрит натрия NaNO₂, 0,5%-ный раствор.

ТИТАН Ti

Ильменит FeTiO_3 , **анатаз** TiO_2 , **рутил** TiO_2 , **брукит** TiO_2 , **сфен** $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$.

Определение с перекисью водорода. Одно маленькое зерно минерала сплавляют в ушке платиновой проволоки с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ и сплав растворяют в пробирке в нескольких каплях H_2SO_4 (1 : 1). К полученному раствору прибавляют одну каплю 3%-ной H_2O_2 . Образование желтой надтитановой кислоты указывает на присутствие Ti.

Определению титана мешает присутствие хрома, ванадия, молибдена и фтора. Для отделения Cr, V и Mo от титана исследуемый минерал сплавляют со смесью соды и селитры, сплав растворяют в небольшом количестве воды. При этом Cr, V и Mo переходят в водный раствор, а Ti остается в нерастворимом остатке. Остаток отфильтровывают, промывают водой, растворяют в H_2SO_4 и прибавляют H_2O_2 , как указано выше.

Реактивы. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$.

H_2SO_4 (1 : 1).

H_2O_2 , 3%-ный раствор.

Сода Na_2CO_3 .

Селитра KNO_3 .

ТОРИЙ Th

Торианит $(\text{Th}, \text{U})\text{O}_2$, **торит** ThSiO_4 .

Определение с тороном. Желто-оранжевый раствор торона (орто-арсенофенолазо-2нафтол-3,6дисульфоновая кислота) в присутствии тория становится розовым или малиново-красным. Мешает присутствие циркония, титана, больших количеств редкоземельных элементов, фтора, сульфатов, арсенатов и органических веществ.

Несколько зерен минерала растворяют в соляной кислоте или сплавляют с содой и сплав растворяют в HCl. К раствору прибавляют 1—2 капли торона. В присутствии тория желто-оранжевая окраска реактива изменяется в розовую, при высоком содержании тория — в малиново-красную.

Реактивы. Торон, 0,1%-ный водный раствор.

HCl.

Сода Na_2CO_3 .

УРАН U

Уранинит UO_2 , **уранофан** $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Открытие с железистосинеродистым калием. Соединения шестивалентного урана образуют бурый осадок $\text{K}_2\text{UO}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Открытию мешают соединения железа (Fe^{3+}), меди, титана, хрома и молибдена, дающие окрашенные осадки с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Одно-два зерна минерала растворяют на предметном стекле в двух-трех каплях азотной кислоты. К полученному раствору прибавляют каплю воды и каплю раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. В присутствии урана появляется красновато-бурый осадок. Реакцию можно проводить и на фильтровальной бумаге.

Реактивы. HNO_3 .

$K_4[Fe(CN)_6]$, 2%-ный водный раствор.

ФОСФОР Р

Апатит $Ca_5[PO_4]F$, монацит $(Ce, La...)PO_4$, ксенотим YPO_4 .

1. Открытие с молибденовокислым аммонием. Два-три зерна апатита растворяют в нескольких каплях HNO_3 и к полученному раствору прибавляют кристаллик молибденовокислого аммония. Присутствие фосфора вызывает образование желтого осадка фосфоромолибдата аммония. Подобную реакцию дают As и SiO_2 .

Нерастворимые в кислотах монацит и ксенотим сплавляют с KOH или смесью 5 ч. Na_2CO_3 и с 1 ч. KNO_3 ; сплав растворяют в HNO_3 и прибавляют молибденовокислый аммоний.

Реактивы. HNO_3 .

Молибденовокислый аммоний кристаллический.

2. Открытие с молибдатом аммония и бензидином. По Файгелю, фосфаты образуют с молибдатами в кислом растворе желтую комплексную соль фосфорномолибденовой кислоты $H_7[P(Mo_2O_7)_6]$. Эта соль легко окисляет бензидин с образованием синих продуктов восстановления молибденовой кислоты и окисления бензидина. Реакция очень чувствительна. Разбавленные растворы фосфатов, которые с молибдатом не дают заметного желтого осадка, отчетливо реагируют с бензидином.

Подобную реакцию с молибденовокислым аммонием могут давать арсенаты и силикаты, но прибавление винной кислоты к раствору молибдата препятствует образованию синей окраски от As и SiO_2 . В присутствии винной кислоты реакция характерна только для фосфора.

Открытие Р проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HNO_3 на часовом или предметном стекле при нагревании. Нерастворимые в кислоте минералы сплавляют с KOH и сплав растворяют в HNO_3 . Полученный кислый раствор путем промакивания переносят на фильтровальную бумагу и на мокрое пятно наносят каплю молибдата аммония и каплю уксусно-кислого раствора бензидина. После этого фильтровальную бумагу держат некоторое время над склянкой с аммиаком. По мере нейтрализации кислоты пятно окрашивается в синий цвет, интенсивность которого зависит от количества фосфора, присутствующего в растворе.

Большие количества железа при нейтрализации раствора аммиаком дают бурое пятно гидроокиси железа, маскирующей синюю окраску. В этом случае синяя окраска фосфора более отчетливо выступает на обратной стороне фильтровальной бумаги.

Реактивы. Раствор бензидина. 0,05 г основного или солянокислого бензидина растворяют в 10 мл концентрированной уксусной кислоты и разбавляют водой до 100 мл.

Раствор молибдата аммония. 5 г реактива растворяют в 100 мл холодной воды, полученный раствор смешивают с 35 мл HNO_3 (плотность 1,2) и прибавляют 2,6 г винной кислоты.

HNO_3 плотность 1,2.

KOH .

NH_4OH .

ФТОР F

Флюорит CaF_2 , топаз $\text{Al}_2[\text{SiO}_4] [\text{F}, \text{OH}]_2$.

1. Определение с циркон-ализарином. Солянокислые растворы хлористого циркония окрашивают ализарин-сульфокислый натрий в густой красно-фиолетовый цвет. Прибавление фторидов к такому раствору разрушает циркон-ализариновое соединение с образованием бесцветного комплексного аниона $[\text{ZrF}_6]^{2-}$ и желтого ализарина.

Большие количества сульфатов, фосфатов, арсенатов и оксалатов также разрушают циркон-ализариновое соединение, давая с цирконом комплексные ионы или осаждая его.

Реакция не отличается особенной чувствительностью и может быть проведена только при наличии достаточного количества минерала. 10—15 зерен минерала сплавляют с содой в платиновой ложке или в спирали платиновой проволоки. Сплав растворяют в нескольких каплях воды и отфильтровывают нерастворимый остаток. Фильтрат подкисляют HCl и прибавляют 0,5 мл циркон-ализаринового раствора. Присутствие F вызывает изменение красно-фиолетовой окраски раствора в желтую.

При малых количествах фтора изменение окраски наступает спустя некоторое время. В этом случае окраску удобно наблюдать путем сравнения испытуемого раствора с подкисленным разбавленным раствором циркон-ализарина.

Реактивы. $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$. 1 г соли растворяют в 250 мл воды. Ализарин-рот. 1 г реактива растворяют в 100 мл этилового спирта, отфильтровывают нерастворимый остаток и к фильтрату прибавляют еще 150 мл спирта. Перед употреблением смешивают 3 ч. раствора $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$ с 2 ч. раствора ализарина. Реактив должен иметь красно-фиолетовую окраску.

Na_2CO_3 .

HCl (1 : 1).

Хромит FeCr_2O_4 , **пикотит** $(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Cr})_2\text{O}_4$.

1. **Определение с азотнокислым серебром**
Несколько зерен минерала сплавляют со смесью соды и селитры в ушке платиновой проволоки. Сплав растворяют в воде и отфильтровывают нерастворимый остаток. Водный раствор, имеющий бледно-желтую окраску, подкисляют уксусной кислотой и прибавляют к нему две-три капли AgNO_3 . Присутствие Cr вызывает образование красно-бурого осадка Ag_2CrO_4 .

Реактивы. Смесью соды с селитрой (5 ч. Na_2CO_3 и 1 ч. KNO_3).

Уксусная кислота, 5%-ная.

AgNO_3 , 3%-ный раствор.

2. **Определение с дифенилсемикарбазидом.** При прибавлении дифенилсемикарбазида к кислым растворам хроматов образуется синее соединение неизвестного состава. Подобную реакцию дает дифенилкарбазид, образующий с хроматами фиолетовые соединения. Ртутные соли и молибдаты мешают определению, давая с дифенилсемикарбазидом в кислом растворе синие и фиолетовые соединения.

Определение Cr проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала сплавляют в ушке платиновой проволоки со смесью соды и селитры. Сплав растворяют в воде и отфильтровывают нерастворимый остаток. К фильтрату, содержащему Cr, прибавляют большой избыток H_2SO_4 до сильнокислой реакции и затем несколько капель дифенилсемикарбазида. Присутствие Cr вызывает синее окрашивание раствора.

Реактивы. Сода с селитрой (5 ч. Na_2CO_3 и 1 ч. KNO_3).

H_2SO_4 концентрированная.

Дифенилсемикарбазид, 1%-ный спиртовой раствор.

ЦИНК Zn

Сфалерит ZnS , **смитсонит** ZnCO_3 , **адамин** $\text{Zn}_2[\text{AsO}_4][\text{OH}]$.

1. **Определение с железистосинеродистым калием.** При прибавлении раствора железистосинеродистого калия к солям цинка образуется голубовато-белый $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Определению мешает присутствие железа, кобальта, меди, никеля, урана, ванадия, титана и молибдена, дающих с $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ окрашенные осадки. Свинец и кадмий дают сходные с $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ белые осадки.

Железо может быть удалено осаждением капель NH_4OH перед прибавлением $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. В присутствии свинца реакцию нужно проводить в сильнокислой среде, так как $\text{Pb}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ растворяется в кислоте.

Цинк открывают следующим образом. Одно-два зерна минерала растворяют в трех-четырех каплях концентрированной HCl при нагревании и к полученному раствору добавляют одну каплю

$K_4[Fe(CN)_6]$. Присутствие Zn вызывает образование голубовато-белого осадка $Zn_2[Fe(CN)_6]$.

Если минерал содержит железо, то его необходимо удалить перед прибавлением $K_4Fe(CN)_6$. Для этого к раствору, полученному при растворении минерала в HCl , прибавляют избыток NH_4OH , и выделившийся бурый осадок $Fe(OH)_3$ отфильтровывают. Фильтрат подкисляют и прибавляют одну каплю $K_4[Fe(CN)_6]$.

Реактивы. HCl концентрированная.

$K_4[Fe(CN)_6]$, 2%-ный раствор.

NH_4OH .

ЦИРКОНИЙ Zr

Циркон $ZrSiO_4$, бадделит ZrO_2 .

1. **Определение с ализарином.** При прибавлении к солям циркония спиртового раствора ализарина образуется красно-бурый осадок. Открытию мешает присутствие фторидов, сульфатов, фосфатов, вольфраматов и некоторых органических оксикислот, так как все эти соединения дают с цирконием устойчивые комплексы и удаляют ионы циркония из раствора.

Несмотря на большое число анионов, мешающих открытию Zr , реакция может быть использована для определения циркона, потому что в условиях шлихового анализа циркон едва ли может быть ошибочно принят за минералы, содержащие перечисленные анионы.

Определение Zr проводится следующим образом. Одно-два зерна минерала сплавляют с содой, сплав растворяют в нескольких каплях 10%-ной HCl . Каплю полученного раствора переносят на фильтровальную бумагу и прибавляют каплю раствора ализарина. Спустя несколько секунд появляется красно-бурый хлопьевидный осадок, не исчезающий от прибавления капли 3%-ной HCl .

Реактивы. HCl , 10%-ная и 3%-ная.

Ализарин. К насыщенному спиртовому раствору продажного ализарин-рота прибавляют по каплям HCl до появления чисто желтой окраски раствора. После этого разбавляют равным объемом спирта и фильтруют.

При определении химического состава минералов помимо капельных реакций нередко используют также приемы кристаллоскопического анализа. В этом случае определение элементов проводится с помощью соответствующих реактивов путем получения кристаллических осадков, которые изучаются далее под микроскопом. Состав их определяют по окраске, форме и оптическим свойствам выделившихся кристаллов. Методы кристаллоскопического анализа в применении к исследованию шлихов и рудных концентратов описаны в руководствах М. Н. Чуевой (1950) и А. А. Кухаренко (1961). Наиболее специфические кристаллоскопические реакции предложены для открытия мышьяка, сурьмы, свинца, кобальта и других металлов.

При анализе некоторых минералов с успехом можно применить спектроскопический окуляр, позволяющий наблюдать спектр абсорбции исследуемого минерала и по полосам поглощения в соответствующих частях спектра определять присутствие некоторых элементов. Так, присутствие церия в монаците вызывает две полосы поглощения в желтой и зеленой частях спектра. В спектре циркона отмечаются узкие полосы поглощения в красной, желтой, синей и фиолетовой частях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПО ОПТИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Кристаллоскопические методы диагностики минералов широко используются в практике минералогических исследований. При изучении минералов шлихов и рудных концентратов наиболее часто применяют иммерсионный метод, позволяющий проводить определение оптических свойств минеральных зерен, помещенных в оптически изотропную среду с определенным показателем преломления. Основы иммерсионного метода наиболее обстоятельно изложены в руководствах Б. В. Татарского (1965), Г. Б. Бокия (1948), Е. Ларсена и Г. Бермана (1965). Оптические свойства прозрачных минералов описаны в работах В. Н. Лодочникова (1974), А. Н. Винчелл и Г. Винчелл (1967).

Для приготовления иммерсионного препарата небольшое зерно минерала помещают на предметное стекло и, осторожно надавливая другим стеклом, дробят в мелкие осколки. Часть раздробленного минерала помещают в середине другого предметного стекла и покрывают небольшим покрывным стеклом, получающимся из обычных покровных стекол путем разрезания их на 4 или 9 частей. Такие маленькие покровные стекла снижают расход иммерсионных жидкостей и значительно удобнее для работы. Затем под покровное стекло впускают каплю жидкости с определенным показателем преломления. Полученный иммерсионный препарат помещают на столик микроскопа и изучают оптические свойства минерала.

Часто беглое рассмотрение препарата позволяет выявить основные оптические свойства минерала. Минералы кубической сингонии оптически изотропны и свойства их постоянны во всех направлениях. Минералы других сингоний анизотропны и показатели светопреломления их изменяются в зависимости от направления хода лучей в кристалле от некоторого наибольшего своего значения n_g до наименьшего значения n_p .

Для определения оптических свойств минералов иногда изготовляют прозрачные или полированные шлифы из зерен минералов, цементированных пихтовым бальзамом или другим цементом. Оптические свойства минерала позволяют установить принадлежность его к той или иной группе минералов.

Для определения показателей преломления прозрачных минералов пользуются набором жидкостей с опре-

деленными показателями преломления и с помощью эффекта Бекке подбирают жидкости к показателям n_1 и n_2 , близкими к n минерала.

Д в у п р е л о м л е н и е, или сила двойного лучепреломления, равняется разности ($n_g - n_p$). При определении двупреломления в препарате с иммерсионной жидкостью необходимо учитывать, что при дроблении минерала часто получаются осколки различной толщины и вследствие этого интерференционная окраска минерала в препарате может существенно отличаться от окраски в шлифе. Рекомендуется пользоваться очень мелкими осколками минерала.

О п т и ч е с к и о д н о о с н ы е и д в у о с н ы е м и н е р а л ы. К оптически одноосным относятся кристаллы тригональной, тетрагональной и гексагональной сингонии. Эти кристаллы имеют одно изотропное сечение, по которому луч света проходит без разложения.

Оптически двуосные кристаллы, к которым относятся минералы ромбической, моноклинной и триклинной сингонии, имеют два изотропных сечения.

П л е о х р о и з м называется изменение окраски анизотропных минералов в зависимости от направления хода луча в кристалле, связанное с неодинаковым поглощением света в разных направлениях. В одних случаях наблюдается изменение цвета окраски, в других — только ее интенсивности. Для некоторых минералов (например, турмалин) плеохроизм отчетливо наблюдается даже при изучении шлихов под бинокляром.

Для удобства определения минералов шлихов по их оптическим свойствам составлены табл. 14—15. Минералы расположены по величинам показателей преломления.

Т а б л и ц а 14

Изотропные минералы

Цвет	$n < 1,55$	$n > 1,70$	
Бесцветные	Опал Флюорит	Алмаз Шпинель	
Окрашенные	Флюорит Янтарь	Алмаз Гельвин Гранаты Джалмаит Красная шпинель Льюисит Малакон Ортит	Перовскит Пикотит Пирохлор Ромент Сфалерит Цейлонит Эшвегенит

Анизотропные минералы

Оптический знак	$n < 1,60$	$n 1,60-1,70$	$n 1,70-1,78$	$n > 1,78$
-----------------	------------	---------------	---------------	------------

Бесцветные и белые

Одноосные, положительные	Кварц	Гемлинит Горсейксит Фенакит	Бенитоит(n_o) Ксенотим	Бенитоит (n_e) Касситерит Циркон Шеелит
Одноосные, отрицательные	Берилл Доломит (n_e) Кальцит (n_e) Магнезит (n_e) Скаполит	Апатит Доломит (n_o) Кальцит (n_o) Сидерит (n_e) Смитсонит (n_e) Турмалин	Корунд Магнезит (n_o)	Сидерит (n_o) Смитсонит (n_o)
Двуосные, положительные	Альбит Ангидрит (n_p)	Аргидрит (n_g) Барит Диопсид Оливин Силлиманит Сподумен Топаз Целестин Эвклаз Энстатит	Диаспор Цоизит	Англезит Клиноцоизит Монацит
Двуосные, отрицательные	Лепидолит Микроклин Мусковит Ортоклаз Стронцианит (n_p)	Аксинит Андалузит Бустамит Волластонит Стронцианит (n_g) Тремолит	Кианит	Бадделит Фаялит Церуссит

Зеленые и синие

Одноосные, положительные		Диоптаз	Бенитоит (n_o)	Бенитоит (n_e) Касситерит Циркон
Одноосные, отрицательные	Берилл	Апатит Смитсонит (n_e) Турмалин	Везувиан Корунд (сапфир)	Анализ Вульфенит Смитсонит (n_o) Штольцит

Оптический знак	$n < 1,60$	$n 1,60-1,70$	$n 1,70-1,78$	$n > 1,78$
Двуосные, положительные	Гарнеерит Торбернит Хлорит	Антофиллит Барит Диопсид Жадент Оливин Силлиманит Сподумен Топаз Эвклаз Энстатит	Авгит Геденбергит Хлоритонд Хризоберилл Цоизит	Азурит Клиноцоизит Монацит Скародит
Двуосные, отрицательные	Биотит Кордиерит Серпентин Хлорит	Аксинит Актинолит Андалузит Аннабергит Глаукофан Лазулит Малахит (n_p) Оливин Роговая обманка Холмквистит	Адамин Гиперстен Кианит Эгирин Эпидот	Малахит (n_g)
Красные, розовые и фиолетовые				
Одноосные, положительные	Кварц (аметист)	Фенакит	Ксенотим	Касситерит Киноварь Рутил Торит Циркон
Одноосные, отрицательные		Апатит Турмалин	Везувиан Корунд (рубин)	Анаказ Ванадинит
Двуосные, положительные	Хлорит	Барит	Цоизит (тулит)	Клиноцоизит Крокоит Монацит Сфен Эритрин
Двуосные, отрицательные	Лепидолит	Аксинит Андалузит Волластонит Холмквистит	Родонит	Реальгар
Желтые и бурые				
Одноосные, положительные		Фенакит Флоренсит	Бастнезит (n_o) Ксенотим	Бастнезит (n_e) Касситерит Повеллит Рутил Торит Циркон Шеелит

Оптический знак	$n < 1,60$	$n 1,60-1,70$	$n 1,70-1,78$	$n > 1,78$
Одноосные, отрицательные	Берилл	Сидерит (n_e) Смитсонит (n_e) Турмалин	Везувиан Коруид	Анализ Бисмутосферит Ванадинит Вульфенит Миметезит Пироморфит Сидерит (n_o) Смитсонит (n_o) Штольцит
Двуосные, положительные		Антофиллит Барит Оливин Пренит Силлиманит Сподумен Топаз Эвклаз Энстатит	Авгит Диаспор Ставролит Лампрофиллит Торолит	Аурипигмент Брукит Клиноцоизит Монацит Распит Сфен Трипугит
Двуосные, отрицательные	Биотит Корднерит Лепидолит Мусковит Отенит Флогопит	Аксиинит Андалузит Биотит Волластонит Оливин Ксантофиллит Лепидомелан Роговая обманка Уранофан	Гиперстен Ортит Эпидот	Бадделит Рамзаит Фаялит Церуссит

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ МИНЕРАЛОВ

Для обнаружения радиоактивных минералов, встречающихся в шлихах, применяют радиометрический и радиографический методы.

Радиометрические методы основаны на измерении интенсивности α -, β - и γ -излучений, испускаемых радиоактивным веществом в единицу времени. Для измерения радиоактивности применяют радиометры различных типов. Радиоактивность определяют сравнением интенсивностей излучения навески минерала или концентрата и стандартных эталонов, измеряемых в одинаковых условиях на тех же приборах.

Радиометрические методы позволяют оценивать общую радиоактивность минералов и определять ее природу, выделяя урановые, урано-ториевые и ториевые минералы.

Описание радиометрических методов анализа и приборов приведено в соответствующих руководствах («Радиометрический метод поисков и разведки урановых руд», 1957).

Радиографический метод основан на способности радиоактивных веществ действовать на фотоэмульсию подобно свету и вызывать почернение пленки после проявления. Метод этот применяется главным образом для выяснения характера распределения радиоактивности в рудах и горных породах. При использовании его для шлихов зерна минералов закрепляют на стекле с помощью желатина или клея. Для этого на чистое предметное стекло, размеры которого определяются количеством анализируемого шлиха (9×12 см или больше), наносят тонкий слой раствора желатина. После подсыхания пленки желатина высыпают на стекло шлик и разравнивают его тонким слоем, по возможности в одно зерно. Полученный препарат покрывают фотопластинкой такого же размера, обращенной светочувствительным слоем вниз, и осторожно зажимают зажимами. Препарат с фотопластинкой выдерживают в темноте определенное время — от нескольких часов до 15—20 сут, в зависимости от радиоактивности минерала и чувствительности пластинки. Затем фотопластинку снимают и проявляют. Зерна радиоактивных минералов оставляют черный след на радиограмме и при повторном совмещении ее с препаратом легко могут быть обнаружены и выделены для определения.

При диагностике минералов, выделенных из концентратов, часто приходится пользоваться более сложными методами, выполняемыми в стационарных лабораториях. К таким методам относятся спектральный, рентгеноспектральный, количественный химический, рентгенометрический, ИКС, термический и др. Если первые три метода позволяют уточнить химический состав изучаемого минерала, то рентгенометрический анализ дает возможность определять кристаллическую структуру минерала и, сравнивая ее с эталонами, диагностировать минерал.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ШЛИХОВОЙ АНАЛИЗ

Точность количественного определения шлиховых минералов зависит, с одной стороны, от правильности отбора шлиховых проб в поле, с другой стороны — от метода лабораторной обработки шлиха. Не касаясь в настоящей работе вопроса полевого шлихового опробования, отметим лишь, что промывка шлихов, предназначенных для количественного анализа, должна проводиться с особой тщательностью и может поручаться только опытным промывальщикам. Неаккуратная промывка в ковшах или лотках часто приводит к потере редких минералов. Если в россыпи присутствует незначительное количество тяжелых минералов, необходимо увеличивать объем промываемой породы для получения достаточного количества шлиха, так как малая масса шлиха отражается на точности анализа и не может полностью охарактеризовать минеральный состав россыпи как в количественном, так и в качественном отношении.

Примерная количественная характеристика шлиха определяется при изучении шлиха под бинокляром. Однако часто ориентировочного количественного подсчета бывает недостаточно для полной характеристики шлиха и приходится прибегать к более точному количественному анализу.

В связи с большой разнородностью свойств исследуемых минералов россыпей и различием целей количественного определения минералов, нельзя рекомендовать универсальные методы количественного минералогического анализа концентратов. В одних случаях необходимо провести количественное определение нескольких или всех присутствующих минералов с относительно небольшой точностью, в других — определить содержание одного минерала с максимальной точностью. Метод анализа зависит от целей исследования. В каждом отдельном случае приходится выбирать метод, позволяющий сконцентрировать минерал в какой-либо одной, по-возможности мономинеральной фракции.

Обычно для количественного определения минерала шлих рассеивают на ситах, и после соответствующей предварительной обработки из крупных классов минерал отбирают под бинокляром и взвешивают, а в мелких классах определяют его процентное содержание путем подсчета числа зерен минерала, встречающихся среди 800—1000 зерен фракции.

Для количественного определения касситерита, циркона и других неэлектромагнитных минералов можно рекомендовать указанную ниже последовательность операций.

1. Шлих, поступающий в лабораторию, взвешивают, рассеивают на ситах с диаметром отверстий 2,0; 1,0 и 0,5 мм и все полученные классы взвешивают.

2. Весь класс +2,0 мм просматривают под бинокляром. Касситерит отбирают и взвешивают. Масса касситерита в классе +2,0 мм обозначается через a .

3. Из класса 1,0—2,0 мм квартованием отбирают среднюю пробу массой 20 г, обрабатывают ее магнитом, электромагнитом и тяжелой жидкостью. Из тяжелой неэлектромагнитной фракции касситерит отбирают под бинокляром и взвешивают.

Масса касситерита во всем классе 1,0—2,0 мм равна

$$B = \frac{b \cdot b_1}{20},$$

где b — масса касситерита в средней пробе, г;

b_1 — масса класса 1,0—2,0 мм, г;

20 — навеска для анализа, г.

4. Из класса 0,5—1,0 мм отбирают пробу массой 10 г и обрабатывают ее так же, как и предыдущую. Касситерит отбирают и взвешивают.

Масса касситерита во всем классе 0,5—1,0 мм равна

$$B = \frac{b \cdot b_1}{10},$$

где v — масса касситерита в средней пробе, г;

v_1 — масса класса 0,5—1,0 мм, г;

10 — навеска для анализа, г.

5. Из класса — 0,5 мм квартованием отбирают среднюю пробу 5 г, обрабатывают ее магнитом, электромагнитом и тяжелой жидкостью. В тяжелой неэлектромагнитной фракции содержание касситерита определяют подсчетом числа зерен его, встречающихся среди 1000 зерен фракции. Если размеры зерен касситерита и сопровождающих его минералов различны, при подсчете вводят приблизительную поправку.

При вычислении процентного содержания касситерита необходимо учитывать плотность сопровождающих минералов. Для этого число зерен каждого из присутствующих минералов умножают на плотность и, узнав таким образом массовые соотношения минералов, определяют процентное содержание касситерита в тяжелой фракции.

Масса касситерита в классе — 0,5 мм равна

$$Г = \frac{g \cdot g_1 \cdot g_2}{5 \cdot 100},$$

где g — содержание касситерита в тяжелой фракции, %;

g_1 — масса тяжелой фракции, г;

g_2 — масса класса — 0,5 мм, г;

5 — навеска для анализа, г.

При подсчете зерен в классе — 0,5 мм можно пользоваться сетчатыми окулярами А. А. Глаголева (1941) или другими приборами-счетчиками, употребляемыми в минералогических лабораториях.

6. Общая масса касситерита в шлихе определяется путем суммирования массы его в отдельных классах;

$$W = A + B + G.$$

Результаты минералогического анализа, проведенного этим методом, достаточно близко совпадают с химическим определением SnO_2 в шлихе (Копченова, 1940).

Некоторые разности касситерита, содержащие железо, электромагнитны.

При наличии электромагнитного касситерита общий ход количественного анализа усложняется. В этом случае придется отбирать касситерит из электромагнитной фракции. При подсчете зерен касситерита можно пользоваться обработкой всего шлиха соляной кислотой на цинковой пластинке, но при этом нужно помнить, что кроме касситерита, металлическим налетом на цинке покрываются англезит, вульфенит, церуссит и бисмутит.

А. А. Кухаренко (1957; 1961) предлагает объемно-весовой метод количественного минералогического анализа шлихов и концентратов. Сущность этого метода заключается в подсчете под бинокулярным микроскопом определенного числа зерен средней

фракции ситового анализа и определении числа зерен каждого из присутствующих в ней минералов. Количественное содержание минералов во фракции выражается в объемных процентах, а количество каждой фракции — в весовых процентах; это позволяет выразить содержание минерала по отношению ко всей изучаемой пробе в объемно-весовых процентах.

При отборе средней пробы из малых навесок шлиха А. А. Кухаренко (1957) рекомендует следующий быстрый и удобный способ: предварительно отситованную фракцию шлиха высыпают на предметное стекло бинокля и тщательно перемешивают кисточкой. Затем при помощи кисти материал располагают узкой полочкой (дорожкой) по всей длине предметного стекла. Далее кисточкой разделяют полученную дорожку на две части, сметая материал через равные интервалы попеременно то вправо, то влево. Все левые (или правые) части объединяют, перемешивают, делают новую дорожку и снова квартовуют, начиная при этом квартование с конца дорожки, противоположного первому приему. Указанный процесс продолжают до тех пор, пока не получится узкая и достаточно редкая (шириной в одно зерно) дорожка, представляющая среднюю пробу фракции, подвергаемой подсчету.

При некотором навыке квартование и приготовление средней пробы занимает не более 5 мин.

Детальное описание методов разделения и количественного определения минералов титано-циркониевых россыпей приведено С. Н. Цымбалом и Ю. А. Полкановым (1975).

Для быстрого ориентировочного количественного определения неэлектромагнитных минералов можно воспользоваться плотностью неэлектромагнитной части шлиха. Но этот метод дает хорошие результаты лишь при наличии в шлихе одного ценного тяжелого минерала: присутствие других тяжелых минералов понижает точность определения. Однако даже при содержании нескольких тяжелых минералов быстрое определение плотности дает предварительные указания на ценность шлиха и позволяет выделить наиболее интересные образцы для точного анализа. Определение плотности производится в бюретке объемом 10—15 мл (см. с. 31).

Для количественного определения в шлихах шеелита, циркона, флюорита, апатита и других люминесцирующих минералов можно пользоваться люминесцентным анализом.

АССОЦИАЦИИ МИНЕРАЛОВ В РОССЫПЯХ И МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ

Знакомство с геологическим строением района, подвергающегося шлиховому опробованию, обычно значительно облегчает определение минерального состава шлиха. Разнообразие минералов, присутствующих в шлихах, зависит от характера горных пород, в результате разрушения которых образовалась россыпь.

Хромит, оливин, пикотит связаны с ультраосновными и основными породами. При разрушении сланцев, гнейсов и других метаморфических пород в россыпь попадают: кианит, андалузит, силлиманит, ставролит, сфен, корунд, шпинель. К продуктам разрушения гранитных интрузивов, особенно приконтактной их зоны, приурочены: касситерит, вольфрамит, танталит—колумбит, монацит, ксенотим, циркон.

Парагенезис минералов коренных горных пород, питающих россыпь, обычно определяет возможность нахождения в ней того или иного минерала. Не исключена возможность, что очень редкие минералы не будут обнаружены при шлиховом опробовании. Поэтому определение другого, более обычного минерала, постоянно сопутствующего редкому, делает поиски последнего более успешными. Такие минералы-спутники или минералы-индикаторы, указывающие на присутствие другого более редкого минерала, можно подобрать почти для всех редко встречающихся минералов.

Минерал-спутник не должен быть слишком распространенным, иначе он не будет характеризовать минеральной ассоциации, и не должен быть слишком редким и трудно определяемым. При выборе минерала-спутника необходимо учитывать геологические условия образования россыпи. В элювиальных и делювиальных отложениях, расположенных в непосредственной близости от коренного месторождения, ассоциация минералов будет близка к парагенезису минералов коренных пород.

Устойчивость минералов в россыпях и дальность перемещения их от коренных месторождений зависят от химических и физических свойств этих минералов. Галенит, арсенопирит и другие сульфиды легко окисляются и подвергаются химическому разрушению. Танталит-колумбит, вольфрамит и другие минералы

Т а б л и ц а 16

Миграционная способность минералов россыпей (Кухаренко, 1961)

Малая	Умеренная	Высокая
Киноварь	Магнетит	Хромшпинелиды
Арсенопирит	Апатит	Ильменит
Вольфрамит	Сфен	Гематит
Пирит	Альмандин	Лейкоксен
Шеелит	Ставролит	Осмистый иридий
Оливин	Анатаз	Топаз
Авгит	Монацит	Рутил
Гиперстен	Кианит	Турмалин
Барит	Касситерит	Платина
Гроссуляр-андрадит	Андалузит	Циркон
Флюорит	Золото	Корунд
Роговая обманка	Лимонит	Алмаз
Диопсид		
Колумбит		
Актинолит		
Эпидот		

Минеральные ассоциации в россыпях

Минерал	Материнская порода	Сопровождающие минералы
Золото	Кварцевые жилы среди самых разнообразных горных пород * Скарны и другие контактово-метаморфические породы Конгломераты	Кварц (полупрозрачный, молочного-белый или серый) Пирит (часто золотоносный), галенит, сфалерит и другие сульфиды, платина Шпинель, гранат, циркон, монацит, магнетит, ильменит, иногда шеелит, флюорит, касситерит, гессит и другие теллуриды (в зависимости от характера материнских пород)
Платина	Основные и ультраосновные породы: норит, габбро, перидотит, дунит, серпентинит	Магнетит, ильменит, хромит, оливин, пикотит, иридий осмий, корунд, циркон, золото
Алмаз	Кимберлит	Оливин, хромдиопсид, пироп, перовскит
	Перидотит-дунит	Хромшпинелиды, платина, осмистый иридий, ильменит, магнетит
Касситерит	Граниты и связанные с ними жилы, гнейсы, пегматиты, грейзены	Кварц, топаз, турмалин, флюорит, пирит, арсенопирит, сфалерит, молибденит, вольфрамит, шеелит, апатит, лепидолит
Колумбит-танталит	Пегматитовые жилы, граниты	Касситерит, вольфрамит, берилл, ильменит, магнетит, рутил, гранат, турмалин, сподумен, лепидолит, самарскит и другие тантало-ниобаты. Иногда циркон и ксенотим
Вольфрамит	Граниты, пегматитовые жилы (редко)	Касситерит, шеелит, пирит, молибденит, галенит, колумбит-танталит, топаз, турмалин, апатит, флюорит
	Скарны, кварцевые жилы	Шеелит, касситерит, магнетит
Шеелит	Пегматитовые и рудные жилы в гранитах и гнейсах Контактово-метаморфические породы (скарны)	Турмалин, касситерит, топаз, флюорит, апатит, молибденит, вольфрамит, золото, лимонит Халькопирит, гранаты, пироксены, амфиболы, железный блеск, розовый ортоклаз, везувиан, молибденит, касситерит
Монацит	Граниты, гнейсы, аплиты, пегматиты	Ильменит, магнетит, рутил, гранат, турмалин, ставролит, ксенотим, кианит, силлиманит, золото, алмаз
Корунд, рубин, сапфир	Кристаллические известняки и доломиты. Граниты, гнейсы, слюдяные сланцы, хлоритовые сланцы	Турмалин, шпинель, аметист, топаз, берилл, магнетит, гематит, андалузит, кианит, силлиманит, диаспор, гранат, циркон, слюда, хлориты

обладают достаточно высокой химической устойчивостью, но весьма хрупки, быстро измельчаются, истираются и уносятся с глинистым материалом.

Кроме того, устойчивость минералов в россыпях зависит также от климатических условий, скорости эрозионного процесса и геолого-морфологических особенностей района.

По мере удаления от питающих россыпь выходов коренных пород ассоциация минералов в ней постепенно изменяется, так как более легкие минералы отделяются от тяжелых, легко разрушающиеся — исчезают.

Относительная миграционная способность некоторых минералов россыпей приведена в табл. 16.

Выбор минерала-спутника может быть сделан только после предварительного изучения достаточно большого количества шлихов, характеризующих минеральный состав россыпи. Так, для платины и металлов платиновой группы спутниками обычно являются хромит, пикотит и оливин; топаз и лепидодолит часто бывают спутниками касситерита.

При проведении шлихового опробования и картирования местности весьма существенное значение имеет изучение типоморфных особенностей минералов в россыпях. Формы кристаллов, их окраска, химические элементы-примеси и другие свойства многих минералов определяются условиями их образования. В процессе разрушения коренных месторождений, переноса рыхлых отложений и формирования россыпей типоморфные особенности минералов часто сохраняются и могут являться указанием источника минерала в россыпях.

Результаты изучения типоморфизма касситерита, циркона и других минералов в рыхлых отложениях могут оказать существенную помощь производственным геологическим организациям, проводящим поиски и разведку новых месторождений.

В табл. 17 приведены наиболее ценные полезные ископаемые россыпей с указанием возможных материнских пород и сопровождающих минералов. При шлиховом опробовании района и изучении распространения того или иного минерала среди сопровождающих минералов выбирают один или несколько минералов-спутников, которые могут изменяться в зависимости от условий образования россыпи.

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ (описание по фракциям)

Описание минералов, разделенных в процессе обработки шлиха на фракции, сведено в табл. 18—25. Во всех таблицах минералы располагаются как и в сводной габл. 6 по химическому составу. Некоторые минералы, имеющие непостоянный химический состав, обладают непостоянными физическими свойствами и поэтому помещены в нескольких таблицах.

Непрозрачные минералы немагнитной фракции

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Висмут Bi Тригональная	Серебряно-белый	9,8	Встречается лишь в виде включений в бисмутите	Растворяется в кислотах, дает реакции на висмут
Золото Au Кубическая	Золотисто-желтый	19,3	Неправильные окатанные зерна и тонкие пластинки. Часто в форме дендритов. Отличается малой твердостью	Растворяется только в царской водке
Медь Cu Кубическая	Медно-красный	8,8—8,9	Неправильные окатанные пластинки или древовидные образования	В HCl не растворяется, растворяется в HNO ₃ . Раствор дает реакцию на Cu
Олово Sn Тетрагональная	Серый	6,97—7,37	Мелкие неправильные пластинки и округлые зерна. Редкий	Растворяется в HCl. При обработке HNO ₃ выделяется белый налет метаоловянной кислоты
Осмистый иридий Ir, Os Тригональная	Оловянно-серый	19,3—21,12	Неправильные плоские зерна, иногда с заметной штриховкой на гранях. Редкий	Не растворяется даже в царской водке
Палладий Pd Кубическая	Серебряно-белый, стально-серый	10,84—11,97	Неправильные зерна. Редкий	Растворяется в царской воде
Платина Pt Кубическая	Светло-серый, белый	14,0—19,0	Окатанные, округлые или сплюснутые зерна	Растворяется только в царской водке. Дает реакцию на Pt
Свинец Pb Кубическая	Свинцово-серый	11,4	Неправильные окатанные пластинки и мелкие округлые зерна, легко сплюсчивающиеся при надавливании	Растворяется в HCl и HNO ₃ при нагревании. Раствор дает реакцию на Pb с KI
Серебро Ag Кубическая	Серебряно-белый, серый	10,1—11,1	Неправильные зерна и окатанные пластинки, часто с поверхности покрываются черным налетом. Редкий	Легко растворяется в HNO ₃ . Раствор с NH ₄ Cl дает белый осадок AgCl
Тантал Ta Кубическая	Серовато-желтый	11,2	Мелкие блестящие кубические кристаллы и зерна неправильной формы. Редкий	—
Цинк Zn Гексагональная	Серовато-белый	6,9—7,2	Мелкие неправильные зерна Хрупкий. Редкий	Растворяется в HCl. Горит синим пламенем
Антимонит (стибнит) Sb ₂ S ₃ Ромбическая	Свинцово-серый	4,5—4,6	Шестоватые зерна или неправильные вытянутые пластинки. Спайность совершенная по удлинению кристаллов. Редкий	В HCl растворяется с выделением H ₂ S; в HNO ₃ растворяется с выделением Sb ₂ O ₃ . Дает реакцию на Sb
Аргентит Ag ₂ S Кубическая	Свинцово-серый, черный	7,2—7,4	Несовершенные кубические кристаллы, дендриты. Редкий	Растворяется в HNO ₃ с выделением серы. Дает реакцию на Ag
Арсенопирит (миспикель) FeAsS Моноклинная	Серебряно-белый, стально-серый	5,9—6,2	Пластинчатые кристаллы или вытянутые, скошенные ромбовидные с поперечной штриховкой на гранях. Часто неправильные зерна. Иногда с поверхности покрываются черным налетом, затрудняющим определение	Растворяется в HNO ₃ с выделением серы. Раствор дает реакцию на As

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Борнит Cu_5FeS_4 Кубическая	Темный, медно-красный с пестрой побелостью	4,9—5,2	Угловатые обломки, неправильные слабо окатанные зерна. Редкий	Растворяется в HNO_3 и царской водке с выделением серы. Раствор дает реакцию на Cu и Fe
Висмутин Bi_2S_3 Ромбическая	Свинцово-серый, оловянно-белый	6,4—6,5	Шестоватые, игольчатые кристаллы. Редкий	Растворяется в HNO_3 . Раствор дает реакцию на Bi
Галенит (свинцовый блеск) PbS Кубическая	Свинцово-серый	7,4—7,6	Прямоугольные пластинки, мелкие кубы или зерна с характерной ступенчатой поверхностью, образующейся вследствие совершенной спайности по кубу. Иногда покрыт с поверхности налетом церуссита. Встречается лишь вблизи коренных выходов	Растворяется в HNO_3 . Дает реакцию на Pb
Киноварь HgS Тригональная	Красная	8,0—8,2	Неправильные окатанные зерна, имеющие иногда округлую форму. Блеск алмазный, жирный, черта красная. Обычно прозрачный, изредка непрозрачен. Редкий	В кислотах не растворяется. Растворяется в царской водке и смеси HCl с H_2O_2 . При соприкосновении с раскаленным шариком соды выделяет металлическую ртуть
Кобальтин $CoAsS$ Кубическая	Серебряно-белый, серый	6,0—6,5	Неправильные зерна. Редкий	В HNO_3 растворяется с выделением S и As_2O_3 . Раствор дает реакцию на Co и As

Лаурит RuS_2 Кубическая	Железно-черный	6,99	Мелкие октаэдры или неправильные зерна. Редкий	—
Марказит FeS_2 Ромбическая	Бронзово-желтый	4,85—4,90	Радиально-волокнистые, шаровидные конкреции, натечные, гроздевидные образования, реже таблитчатые и копьевидные кристаллы	Растворяется в HNO_3 и царской водке при нагревании с выделением серы. Раствор дает реакцию на Fe^{3+}
Молибденит MoS_2 Гексагональная	Свинцово-серый	4,7—4,8	Шестиугольные пластинки или чешуйки неправильной формы с весьма совершенной спайностью по (0001). Редкий	Растворяется в HNO_3 . Дает реакцию на Mo
Палладий—антимонид Pd_3Sb	Серебряно-белый, серый	9,5	Мелкие неправильные зерна. Редкий; обнаружен в платиновых россыпях	—
Пирит FeS_2 Кубическая	Латуно-желтый	4,9—5,2	Кубы или пентагон-додекаэдры (пиритоздры) со штриховкой на гранях. Окатанные или остроугольные зерна. С поверхности часто покрыт бурыми налетами лимонита	Растворяется в HNO_3 и царской водке при нагревании с выделением серы. Раствор дает реакцию на Fe^{3+}
Прустит Ag_3AsS_3 Тригональная	Красный	5,5—5,6	Неправильные угловатые зерна. Очень редкий	Разлагается в HNO_3 с выделением серы и As_2O_3 . Дает реакцию на Ag и As
Сперрилит $PtAs_2$ Кубическая	Оловянно-белый	10,5—10,7	Мелкие кубические кристаллы. Редкий	В кислотах и царской водке не растворяется. На раскаленной докрасна платиновой пластинке мелкие зерна минерала расплавляются с выделением As_2O_3 и губчатой платины

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Тениантит $Cu_{12}As_4S_{13}$ Тетраэдрит $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ Кубическая	Серый	4,4—5,4	Тонкозернистые агрегаты, обломки кристаллов, неправильные зерна	Разлагается HNO_3 с выделением порошковой серы и окислов сурьмы и мышьяка. Дает реакцию на Cu, As и Sb
Халькозин Cu_2S Ромбическая	Свинцово-серый, черный	5,5—5,8	Обычно неправильные зерна. Редкий	Растворяется в HNO_3 . Окрашивает пламя в голубой цвет. Дает реакцию на Cu
Халькопирит $CuFeS_2$ Тетрагональная	Латунно-желтый	4,1—4,3	Неправильные угловатые зерна с раковистым изломом	Растворяется в HNO_3 и царской водке с выделением серы. Раствор дает реакцию на Cu и Fe
Шмальтин $CoAs_2$ Кубическая	Стально-серый, оловянно-белый	6,4—6,8	Обломки кристаллов, тонкозернистых агрегатов, неправильных зерен. Иногда с поверхности покрывается розовыми примазками эритрина. Редкий	Растворяется в HNO_3 . Розовый раствор дает реакции на Co и As
Гессит Ag_2Te Кубическая	Свинцово-серый, стально-серый	8,31—8,45	Неправильные зерна. Редкий	Растворяется в HNO_3 . Дает реакции на Ag и Te
Креннерит $AuTe_2$ Ромбическая	Серебряно-белый	8,35	Призматические кристаллы с вертикальной штриховкой или неправильные зерна. Редкий	Разлагается в HNO_3 с выделением бурого осадка Au. Дает реакции на Te и Au
Петцит $(Ag, Au)_2Te$ Ромбическая	Свинцово-серый, черный	8,7—9,2	Неправильные зерна. Редкий	Растворяется в HNO_3 . Дает реакции на Ag, Au и Te

Сильванит $AgAuTe_4$ Моноклинная	Светло-серый, серебристо-белый	7,9—8,3	Древовидные дендриты, столбчатые или неправильные зерна. Редкий	Разлагается в HNO_3 с выделением бурого осадка Au. Дает реакции на Ag, Au и Te
Ампангабит (Y, Er, U, Fe^{2+} , Th) ₂ ·(Nb, Ta, Ti) ₂ O ₁₈ ? Ромбическая?	Светло-бурый до темно-бурого	3,35—4,97	Неправильные зерна, часто неравномерно окрашенные. Редкий	Радиоактивный. Разлагается в кислотах. Дает реакции на Ta и Nb
Браунит $Mn^{2+}Mn^{3+}O_3$ Тетрагональная	Буровато-черный, серый	4,75—5,0	Неправильные зерна. Блеск полуметаллический. Редкий	В HCl растворяется с выделением Cl. Сплав с содой окрашен в зеленый или голубой цвет. Дает реакцию на Mn
Лейкоксен $TiO_2 \cdot nH_2O$	Белый, желтоватый, бурый, зеленоватый	3,5—4,5	Округлые фарфоровидные зерна. Блеск тусклый. Часто выделяется в виде пленки на ильмените и тогда попадает в слабомагнитную фракцию	В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti
Лопарит (Na, Ce, Ca) (Nb, Ti)O ₃ Кубическая	Черный	4,75—4,90	Мелкие кубические кристаллы, двойники кристаллов, обломки. Очень редкий	В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакции на Nb и Ti
Торианит (Th, U)O ₂ Кубическая	Черный	8—9,7	Хорошо сохранившиеся или слегка окатанные кристаллы кубической формы. Реже неправильные окатанные зерна. Блеск от металлического до тусклого. Просвечивает в тонких краях. Очень редкий	Радиоактивный
Бисмутит $Bi[CO_3][OH]_4$ Аморфный	Белый, серый, грязно-зеленый, желтый	7,0—7,4	Шестоватые или неправильные окатанные зерна. В центре зерна часто сохраняются серые включения сернистого или самородного висмута. Непрозрачный, иногда в мелких осколках прозрачен. Блеск матовый. Редкий	В кислотах растворяется с выделением CO_2 . Дает реакцию на Bi

Прозрачные минералы немагнитной фракции

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Алмаз С Кубическая	Бесцветный, бледноокрашенный	3,2—3,5	Октаэдры или более сложные формы кубической сингонии, грани часто изогнуты; реже окатанные кристаллы. Блеск алмазный, жирный	Прозрачный (темные разности непрозрачны). $n = 2,41—2,48$. Изотропный, иногда имеет аномалии	—
Аурипигмент As_2S_3 Моноклинная	Желтый	3,4—3,5	Тонкие чешуйчатые кристаллы или мягкие листочки с неровными краями. Редкий	Полупрозрачный. $n_g = 3,0$; $n_m = 2,8$; $n_p = 2,4$. Двуосный, положительный	Растворяется в HNO_3 и KOH . Дает реакции на As и S.
Киноварь HgS Тригональная	Красный, буроватый	8,0—8,2	Неправильные окатанные, иногда округлые зерна. Блеск алмазный, жирный; черта красная. Редкий	Прозрачный до просвечивающего. $n_e = 3,27$; $n_o = 2,91$. Одноосный, положительный	В кислотах не растворяется; при соприкосновении с расплавленным шариком соды выделяет металлическую ртуть
Реальгар AsS Моноклинная	Красный	3,4—3,6	Окатанные зерна с жирным блеском. Редкий	Прозрачный до просвечивающего. $n_g = 2,61—2,70$; $n_m = 2,59$; $n_p = 2,46—2,54$. Двуосный, отрицательный	Растворяется в HNO_3 и KOH . Дает реакции на As и S

Сфалерит (цинковая обманка) ZnS Кубическая	Бурый, желтый, красный, зеленый	3,5—4,2	Неправильные зерна с ясно выраженной спайностью. Блеск алмазный, жирный. Встречается лишь около коренных месторождений	Прозрачный или просвечивает. $n = 2,37—2,47$. Изотропный	Растворяется в HCl и HNO_3 с выделением H_2S . Раствор дает реакцию с $K_4[Fe(CN)_6]$ на Zn
Флюорит CaF_2 Кубическая	Фиолетовый, зеленый, желтый, бесцветный	3,18	Неправильные зерна, сохраняющие иногда следы кубической или октаэдрической формы. Блеск стеклянный. Часто окраска распределяется неравномерными пятнами	$n = 1,434$. Изотропный	—
Анализ TiO_2 Тетрагональная	Синий, бурый, желтый, зеленоватый, черный	3,82—3,95	Остроугольные дипирамиды или плоские пластинки с характерной штриховкой. Блеск металлоидный, алмазный	Просвечивающий, иногда прозрачный. $n_o = 2,554—2,564$; $n_e = 2,489—2,497$. Двупреломление высокое. Одноосный, отрицательный. Плеохроичный	В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti
Бадделейт ZrO_2 Моноклинная	Бурый, черный, желтый, бесцветный	5,0—6,02	Таблитчатые кристаллы или окатанные зерна. Блеск стеклянный, жирный. Редкий	$n_g = 2,20$; $n_m = 2,19$; $n_p = 2,13$. Двупреломление высокое. Двуосный, отрицательный	В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Zr

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Брукит TiO_2 Ромбическая	Бурый, желтый, серый	3,87—4,08	Плоские пластинки или призмы с тонкой штриховкой, расположенной параллельно удлинению кристалла. Блеск полуметаллический, жирный	Прозрачный, иногда просвечивающий. $n_g = 2,644-2,827$; $n_m = 2,586$; $n_p = 2,541-2,681$. Двупреломление очень высокое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti
Джалмаит $(U, Ca, Pb, Bi, Fe) \cdot (Ta, Nb, Ti, Zr)_3O_9 \cdot nH_2O$ Кубическая	Бурый	5,75—5,88	Мелкие октаэдры или неправильные зерна. Редкий	$n = 1,97$. Изотропный	Радиоактивный
Диаспор Al_2O_3 Ромбическая	Белый, желтый, серый	3,3—3,5	Призматические кристаллы. Редкий	$n_g = 1,750$; $n_m = 1,722$; $n_p = 1,702$. Двупреломление высокое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется
Касситерит (оловянный камень) SnO_2 Тетрагональная	Бурый, бесцветный, красный, черный	6,8—7,1	Неправильные окатанные зерна, поверхность которых часто покрыта трещинами и мелкими углублениями. Реже призматические кристаллы, оканчивающиеся квадратной пирамидой. Иногда	$n_e = 2,093$; $n_o = 1,997$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный. Темные разности иногда плеохроичны	В кислотах не растворяется. На цинковой пластинке с HCl восстанавливается до металлического олова, которое дает реакцию с какотелином
			коленчатые двойники. На гранях призмы часто наблюдается штриховка. Изредка плотные, волокнистые или концентрически слоистые разности, сходные со структурой дерева (деревянистое олово). Блеск алмазный, жирный. Часто окраска распределяется полосами или неправильными пятнами		
Корунд Al_2O_3 Тригональная	Белый, серый, синий, красный, желтый	3,95—4,10	Бочковидные или призматические, окатанные кристаллы, неправильные зерна; иногда плоские таблички со штриховкой. Блеск стеклянный, алмазный	$n_o = 1,765-1,771$; $n_e = 1,759-1,763$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный	В кислотах не растворяется
Льюизит $(Ca, Na, Fe)_2(Sb, Ti)_2O_6 \cdot (F, OH, O)$ Кубическая	Бурый, бесцветный	4,9	Очень мелкие октаэдры. Редкий	$n = 2,20$. Изотропный	—
Перовскит $CaTiO_3$ Кубическая	Белый, желтый, бурый, черный	3,97—4,04	Окатанные кристаллы кубической формы. Грани часто покрыты штриховкой. Редкий	n около 2,38. Изотропный, иногда аномально двусный	Растворяется в кипящей H_2SO_4 . После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Пироклор (Na, Ca...) ₂ (Nb, Ti...) ₂ O ₆ ·(OH, F) Кубическая	Бурый, красный, желтый	4,03—4,36	Мелкие октаэдры или неправильные зерна. Блеск жирный до стеклянного. Иногда радиоактивный. Редкий	$n = 1,96—2,02$. Изотропный	В HCl не растворяется. В H ₂ SO ₄ при кипячении выделяет белый осадок. После сплавления с K ₂ S ₂ O ₇ дает реакцию на Nb и Ti
Ромеит (Ca, Na, Mn) ₂ Sb ₂ O ₆ ·(F, OH, O) Кубическая	Желтый, красный	4,7—5,1	Мелкие кристаллы кубического или октаэдрического облика. Редкий	$n = 1,83—1,87$. Изотропный	В кислотах не растворяется
Рутил TiO ₂ Тетрагональная	Красный, бурый, желтый, черный	4,18—4,25	Призматические, шестоватые кристаллы с вертикальной штриховкой граней; коленчатые двойники или неправильные окатанные зерна. Блеск алмазный, металлический	$n_e = 2,889—2,903$; $n_o = 2,606—2,616$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный. Иногда плеохроичен	В кислотах не растворяется. После сплавления с K ₂ S ₂ O ₇ дает реакцию на Ti
Торолит SnTa ₂ O ₇ Моноклинная?	Золотисто-желтый, бурый	7,6—7,9	Таблитчатые кристаллы с хорошей спайностью. Редкий	$n = 2,38—2,52$. Двупреломление очень высокое. Двусосный, положительный	В кислотах не растворяется
Хризоберилл BeAl ₂ O ₄ Ромбическая	Зеленый, желтый	3,5—3,84	Окатанные, плоские зерна. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,753—1,758$; $n_m = 1,747—1,749$; $n_p = 1,744—1,747$. Двупреломление низкое. Двусосный, положительный. Плеохроичный	То же
Шпинель MgAl ₂ O ₄ Кубическая	Красный, голубой, зеленый, бесцветный	3,5—4,1	Окатанные октаэдры, реже неправильные зерна. Блеск стеклянный, матовый	$n = 1,715—2,000$. Изотропный	То же
Азурит Cu ₃ [CO ₃] ₂ [OH] ₂ Моноклинная	Синий	3,7—3,9	Неправильные зерна. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,838$; $n_m = 1,758$; $n_p = 1,730$. Двупреломление высокое. Двусосный, положительный	Растворяется в HCl с выделением CO ₂ . Дает реакцию на Cu
Бастнезит (Ce, La, Pr) [CO ₃]F Тригональная	Желтый, бурый	4,47—5,18	Окатанные зерна. Редкий	$n_e = 1,818—1,824$; $n_o = 1,717—1,722$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, положительный; слабый плеохроизм	Растворяется в HCl с шипением
Доломит CaMg[CO ₃] ₂ Тригональная	Сероватобелый	2,8—3,0	Таблитчатые обломки кристаллов, ограниченные поверхностями спайности, неправильные угловатые или слабоокатанные зерна	$n_o = 1,679—1,702$; $n_e = 1,500—1,514$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный	В HCl без нагревания растворяется слабо, при нагревании вскипает

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Магнезит $MgCO_3$ Тригональная	Белый	2,9—3,1	Угловатые или окатанные обломки кристаллов, ограниченные плоскостями спайности, тонкозернистые или скрытокристаллические агрегаты	$n_o = 1,700—1,726$; $n_e = 1,509—1,527$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный	В HCl растворяется лишь при нагревании
Малахит $Cu_2[CO_3](OH)_2$ Моноклинная	Зеленый	3,9—4,10	Неправильные зерна натеchnого, радиально-лучистого или концентрически-скорлуповатого строения. Блеск стеклянный, алмазный. Редкий	$n_g = 1,909$; $n_m = 1,875$; $n_p = 1,655$. Двупреломление очень высокое. Двусный, отрицательный. Плеохроичный	Растворяется в HCl с выделением CO_2 . Раствор дает реакцию на Cu
Сидерит $FeCO_3$ Тригональная	Серый, бурый	3,78—3,89	Неправильные угловатые пластинки с совершенной спайностью, иногда округлые зерна (сферолиты). Блеск стеклянный, перламутровый. Легко окисляется и покрывается налетом лимонита	$n_o = 1,851—1,875$; $n_e = 1,612—1,634$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный	Растворяется при нагревании в HCl с выделением CO_2 . Раствор дает реакцию на Fe

Смитсонит $ZnCO_3$ Тригональная	Белый, сероватый, зеленоватый	4,1—4,5	Неправильные окатанные зерна. Редкий	Полупрозрачный. $n_o = 1,849$; $n_e = 1,621$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный	Растворяется в HCl с шипением. Дает реакцию на Zn
Стронцианит $SrCO_3$ Ромбическая	Белый, зеленоватый, желтоватый	3,6—3,8	Обломки кристаллов, волокнистых или тонкозернистых агрегатов	Полупрозрачный. $n_g = 1,668$; $n_m = 1,667$; $n_p = 1,520$. Двупреломление высокое. Двусный, отрицательный	В кислотах растворяется с вскипанием. Смоченный соляной кислотой окрашивает пламя в красный цвет
Церуссит $PbCO_3$ Ромбическая	Белый, серый, желтый, бесцветный	6,4—6,6	Обычно окатанные зерна; реже сохраняет кристаллические формы. Изредка двойники прорастания, имеющие звездчатую форму. Блеск алмазный. Редкий	$n_g = 2,078$; $n_m = 2,076$; $n_p = 1,804$. Двупреломление высокое. Двусный, отрицательный	Растворяется в HCl с выделением CO_2 . Раствор дает реакцию на Pb
Ангидрит $CaSO_4$ Ромбическая	Белый, голубоватый, сероватый	2,8—3,0	Таблетчатые или призматические кристаллы, их обломки и неправильные зерна без признаков окатанности. Редкий	$n_g = 1,614$; $n_m = 1,575$; $n_p = 1,570$. Двупреломление высокое. Двусный, положительный	В HCl растворяется слабо; порошок разлагается при кипячении в H_2SO_4
Англезит $PbSO_4$ Ромбическая	Бесцветный, белый, сероватый	6,1—6,4	Обычно в виде налетов и корок на галените, в результате разложения которого он образуется. Редкий	$n_g = 1,894$; $n_m = 1,883$; $n_p = 1,877$. Двусный, положительный	Растворяется лишь при нагревании в H_2SO_4 . Растворяется в KOH

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Барит $BaSO_4$ Ромбическая	Белый, голубоватый, желтый	4,3—4,7	Прямоугольные толстые пластинки с совершенной спайностью по (010), слабо окатанные. Блеск стеклянный, перламутровый	$n_g = 1,648$; $n_m = 1,637$; $n_p = 1,636$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется. Смоченный в HCl окрашивает пламя в зеленый цвет. Дает реакцию на Ba
Вульфенит $PbMoO_4$ Тетрагональная	Желтый, бурый, серый	6,3—7,0	Неправильные зерна, реже таблитчатые и пирамидальные кристаллы. Блеск алмазный, жирный. Редкий	$n_o = 2,40—2,45$; $n_e = 2,28—2,31$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный	В HCl медленно растворяется, покрываясь белой пленкой $PbCl_2$
Крокоит $PbCrO_4$ Моноклинная	Оранжево-красный	5,8—6,2	Обломки — призматических или шестоватых кристаллов; агрегаты тонкозернистых выделений. Блеск алмазный до жирного. Редкий	Полупрозрачный. $n_g = 2,66$; $n_m = 2,37$; $n_p = 2,31$. Двупреломление очень высокое. Двусный, положительный. Плеохроичный	При нагревании в HCl разлагается и покрывается с поверхности зерен белым рыхлым налетом $PbCl_2$
Повеллит $CaMoO_4$ Тетрагональная	Желтый, бурый, серый	4,2—4,5	Неправильные угловатые или окатанные зерна, тонкозернистые или землистые частицы. Редкий	Прозрачен лишь в тонких обломках. $n_e = 1,978—1,984$; $n_o = 1,967—1,974$. Двупреломление низкое. Одноосный, положительный	Разлагается при нагревании в HCl и HNO_3 . Дает реакцию на Mo
Распит $PbWO_4$ Моноклинная	Буровато-желтый	Около 8	Таблитчатые кристаллы, неправильные зерна с алмазным блеском. Редкий	$n_g = 2,30$; $n_p = 2,27$. Двупреломление высокое. Двусный, положительный	Разлагается HNO_3 . Дает реакции на Pb и W. В HCl покрывается белой пленкой $PbCl_2$
Целестин $SrSO_4$ Ромбическая	Бесцветный, белый, голубоватый, буроватый	3,90—4,00	Обломки кристаллов, угловатые или частично окатанные зерна	$n_g = 1,631$; $n_m = 1,624$; $n_p = 1,622$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется; смоченный HCl окрашивает пламя в розово-красный цвет
Шеелит $CaWO_4$ Тетрагональная	Молочно-белый, желтый, зеленоватый	5,8—6,2	Обычно неправильные окатанные зерна, изредка сохраняются дипирамидальные кристаллы. Блеск стеклянный, алмазный	$n_e = 1,937$; $n_o = 1,920$. Двупреломление среднее. Одноосный, положительный	В HCl растворяется с выделением желтой WO_3 , которая от приобавления капли $SnCl_2$ переходит в синюю «вольфрамовую синь»
Штольцит $PbWO_4$ Тетрагональная	Зеленый, серый, бурый	7,87—8,13	Пирамидальные кристаллы или неправильные зерна. Редкий	$n_o = 2,27$; $n_e = 2,19$. Двупреломление высокое. Одноосный, отрицательный	Разлагается HNO_3 . Дает реакции на Pb и W. В HCl покрывается белой пленкой $PbCl_2$
Адамин $Zn_2[AsO_4][OH]$ Ромбическая	Желтый, зеленый, розовый	4,31—4,43	Обломки кристаллов и неправильные зерна. Редкий	$n_g = 1,763—1,773$; $n_m = 1,742—1,744$; $n_p = 1,708—1,722$. Двупреломление высокое. Двусный, отрицательный	В кислотах растворяется. Дает реакции на Zn и As

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Аннабергит $Ni_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$ Моноклинная	Зеленый	3,0	Тонкозернистые плотные или землистые агрегаты. Редкий	$n_g = 1,687-1,690$; $n_m = 1,658-1,660$; $n_p = 1,622-1,624$. Двупреломление высокое. Двуосный, отрицательный	Растворяется в кислотах. Дает реакции на Ni и As
Апатит $Ca_5[PO_4]_3[F, Cl]$ Гексагональная	Зеленый, голубой, белый, желтый	3,17—3,23	Окатанные, призматические или округлые зерна. Часто сохраняются гексагональные призмы. Поверхность зерен обычно неровная, матовая. Блеск стеклянный	$n_o = 1,632-1,667$; $n_e = 1,630-1,664$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный	Растворяется в кислотах. Раствор в HNO_3 дает реакцию на P
Ванадинит $Pb_5[VO_4]_3Cl$ Гексагональная	Желтый, бурый, красный	6,66—7,10	Неправильные хрупкие зерна, изредка сохраняются призматические кристаллы с углублениями на концах. Редкий	$n_o = 2,370-2,505$; $n_e = 2,318-2,423$. Двупреломление высокое. Одноосный, отрицательный	В кислотах растворяется. Дает реакции на Pb и V
Гамлинит $SrAl_3[PO_4][HPO_4][OH]_6$ Тригональная	Бесцветный, бурый	3,16—3,28	Кристаллы, их обломки и окатанные гальки в алмазных россыпях. Редкий	$n_e = 1,630-1,638$; $n_o = 1,620-1,629$. Двупреломление низкое. Одноосный, положительный. Плеохроичный	—

Гартит $SrAl_3[PO_4][SO_4][OH]_6$ Тригональная	Розовый, красный	3,2—3,5	Окатанные гальки в алмазных россыпях. Редкий	$n_e = 1,640$; $n_o = 1,626$. Одноосный, положительный	—
Горсейксит $BaAl_3[PO_4][HPO_4][OH]_6$ Тригональная	Белый, бурый	3,1	Окатанные микрокристаллические гальки в алмазных россыпях. Редкий	$n_m = 1,625$. Одноосный, положительный	—
Миметезит $Pb_5[AsO_4]_3Cl$ Гексагональная	Бурый, желтый, зеленый	7,1—7,2	Обломки призматических кристаллов, скрытокристаллические зерна с алмазным или жирным блеском. Редкий	$n_o = 2,10-2,13$; $n_e = 2,09-2,12$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный	В HCl разлагается, выделяя $PbCl_2$
Отенит $Ca(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$ Ромбическая	Желтый	3,05—3,25	Тонкие чешуйчатые агрегаты кристаллов, отдельные чешуйки с неровными краями. Редкий	$n_g = 1,576-1,606$; $n_m = 1,573-1,600$; $n_p = 1,550-1,590$. Двупреломление невысокое. Двуосный, отрицательный. Плеохроичный	Растворяется в кислотах. Дает реакции на U и P. Радиоактивный; ярко люминесцирует
Пироморфит $Pb_3[PO_4]_3Cl$ Гексагональная	Желтый, бурый, зеленоватый	6,0—7,1	Обломки призматических кристаллов и их агрегатов. Неправильные зерна, часто окатанные. В сростках с галенитом и церусситом	Часто полупрозрачный. $n_o = 2,06$; $n_e = 2,05$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный. Иногда плеохроичный	В HNO_3 растворяется полностью; в HCl — частично, покрывается белой пленкой $PbCl_2$. Дает реакцию на P

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Скородит $Fe^{3+}[AsO_4] \cdot 2H_2O$ Ромбическая	Зеленый, бурый	3,1—3,3	Обломки кристаллов, неправильные скрытокристаллические или плотные землистые зерна. Редкий	$n_g = 1,765—1,850$; $n_m = 1,77—1,80$; $n_p = 1,738—1,810$. Двупреломление высокое. Двуосный, положительный	Растворяется в кислотах. Дает реакции на Fe и As
Торбернит $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 12H_2O$ Тетрагональная	Зеленый	3,2—3,7	Обломки таблитчатых кристаллов, тонкие чешуйки с перламутровым блеском. Редкий	$n_o = 1,590—1,592$; $n_e = 1,576—1,582$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный. Плеохроичный	В кислотах растворяется. Дает реакции на Cu и U. Радиоактивный
Эритрин $Co_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$ Моноклинная	Красный, розовый	2,95—3,10	Угловатые или слабо окатанные тонкозернистые агрегаты. Редкий	$n_g = 1,681—1,701$; $n_m = 1,660—1,663$; $n_p = 1,622—1,629$. Двупреломление высокое. Двуосный, положительный. Плеохроичный	Растворяется в кислотах. Розовый раствор дает реакции на Co и As
Андалузит $Al_2[SiO_4]O$ Ромбическая	Белый, розовый, зеленоватый	3,16—3,20	Неправильные окатанные или угловатые зерна, окатанные удлиненные призмы. Очень часто содержит включения углистого вещества, слюды или магнетита. Хиастолит содержит симметрично	$n_g = 1,639—1,647$; $n_m = 1,638—1,644$; $n_p = 1,629—1,640$. Двупреломление низкое. Двуосный, отрицательный. Иногда плеохроичен	В кислотах не растворяется
			расположенные включения углистого вещества, образующие крест в поперечном разрезе призмы. Блеск стеклянный		
Бенитоит $BaTi[Si_3O_9]$ Тригональная	Голубой, красный, бесцветный	3,65	Неправильные зерна, реже ромбоэдрические кристаллы. Редкий	$n_e = 1,804$; $n_o = 1,757$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный. Плеохроичный	Растворяется только в HF
Везувиан $Ca_{10}Al_4(Mg, Fe)_2 \cdot [(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH, F)_4]$ Тетрагональная	Бурый, зеленый	3,34—3,44	Призматические или неправильные окатанные зерна. Блеск стеклянный. Обычно немагнитный, но изредка обладает слабыми магнитными свойствами	$n_o = 1,705—1,732$; $n_e = 1,701—1,726$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный	В HCl разлагается частично
Волластонит $Ca_3[Si_3O_9]$ Триклинная	Белый, серый, бурый	2,78—2,91	Призматические кристаллы, округлые и таблитчатые окатанные зерна. Редкий	$n_g = 1,631—1,635$; $n_m = 1,623—1,633$; $n_p = 1,616—1,621$. Двупреломление среднее. Двуосный, отрицательный	В соляной кислоте разлагается с выделением SiO_2
Диоптаз $Cu_6[Si_6O_{18}] \cdot 6H_2O$ Тригональная	Зеленый	3,28—3,35	Обломки коротко столбчатых кристаллов или окатанные зерна. Редкий	$n_e = 1,697—1,709$; $n_o = 1,644—1,658$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный	В кислотах разлагается с выделением студенистого SiO_2 . В растворе дает реакцию на Cu

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Кианит (дистен) $Al_2[SiO_4]O$ Триклинная	Голубой, белый, серый, иногда бесцветный	3,5—3,7	Окатанные призматические кристаллы, ланцетовидные, округлые или прямоугольные пластинки с весьма совершенной спайностью по $\{100\}$. Зерна минерала часто покрыты мелкими трещинами. Блеск стеклянный, перламутровый	$n_g = 1,729$; $n_m = 1,722$; $n_p = 1,714$. Двупреломление низкое. Двуосный, отрицательный	В кислотах не растворяется
Клиноцоизит $Ca_2Al_3Si_3O_{12}[OH]$ Моноклинная	Бесцветный, серый, желтый, зеленый, розовый	3,35—3,38	Неправильные угловатые или окатанные зерна, изредка сохраняются призматические кристаллы. Редкий	$n_g = 1,734$; $n_m = 1,729$; $n_p = 1,724$. Двупреломление низкое. Двуосный, положительный	В кислотах не растворяется
Ксантифиллит $Ca(Mg, Al)_{2-2}[Al_2Si_2O_{10}][OH]_2$ Моноклинная	Желтый, зеленый	3,0—3,1	Чешуйчатые агрегаты, окатанные обломки кристаллов. Редкий	$n_g = 1,661$; $n_m = 1,660$; $n_p = 1,649$. Двупреломление низкое. Двуосный, отрицательный	В горячей HCl частично разлагается
Мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$ Моноклинная	Бесцветный, желтоватый или зеленоватый	2,76—3,10	Пластинчатые псевдогексагональные кристаллы или тонкие чешуйки с весьма совершенной спайностью. Блеск стеклянный, перламутровый	$n_g = 1,588—1,615$; $n_m = 1,582—1,611$; $n_p = 1,552—1,572$. Двупреломление высокое. Двуосный, отрицательный	В кислотах не растворяется
Силлиманит $Al[AlSiO_5]$ Ромбическая	Зеленоватый, серый, бесцветный	3,23—3,25	Призматические, удлиненные, иногда волокнистые агрегаты кристаллов, реже неправильные зерна. Блеск стеклянный	$n_g = 1,677—1,684$; $n_m = 1,658—1,660$; $n_p = 1,657—1,661$. Двупреломление высокое. Двуосный, положительный	В кислотах не растворяется
Сподумен $LiAl[Si_2O_6]$ Моноклинная	Белый, зеленоватый, розовый	3,13—3,20	Окатанные призматические или пластинчатые кристаллы. Редкий	$n_g = 1,675—1,681$; $n_m = 1,66—1,67$; $n_p = 1,651—1,668$. Двупреломление высокое. Двуосный, положительный. Плеохроичный	В кислотах не растворяется
Топаз $Al_2[SiO_4][OH, F]_2$ Ромбическая	Желтый, серый, зеленоватый, бесцветный	3,4—3,6	Обычно хорошо окатанные эллипсоидальные зерна, часто с шероховатой поверхностью. Иногда окатанные кристаллы призматической формы с тонкой штриховкой по вертикальным граням. Блеск стеклянный	$n_g = 1,617—1,638$; $n_m = 1,610—1,631$; $n_p = 1,607—1,629$. Двупреломление низкое. Двуосный, положительный	В кислотах не растворяется. После сплавления с содой дает реакцию на F

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Торит (оранжит) ThSiO_4 Тетрагональная	Бурый, желтый, оранжевый	4,8—5,4	Мелкие окатанные зерна. Блеск стеклянный, жирный. Редкий	$n = 1,63—1,82$. Изотропный	В HCl растворяется с выделением студенистого кремнезема. Радиоактивный
Уранофан $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{Si}_2\text{O}_7] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Ромбическая	Желтый	3,81—3,96	Агрегаты тонкоигловчатых кристаллов, скрытокристаллические плотные или землистые зерна. Редкий	$n_g = 1,665—1,676$; $n_m = 1,660—1,670$; $n_p = 1,640—1,650$. Двупреломление невысокое. Двусный, отрицательный. Плеохроичный	В кислотах разлагается, оставляя гель SiO_2 . Дает реакцию на U . Радиоактивный
Фенакит BeSiO_4 Тригональная	Желтый, бесцветный	2,96—3,0	Окатанные ромбоэдрические кристаллы или линзовидные зерна. Встречается вместе с другими минералами Be . Редкий	$n_e = 1,670$; $n_o = 1,654$. Двупреломление среднее. Одноосный, положительный	В кислотах не растворяется
Циркон ZrSiO_4 Тетрагональная	Бесцветный, реже розовый, желтый, бурый, зеленый	3,98—4,86	Обычно хорошо сохранившиеся кристаллы — тетрагональная призма, оканчивающаяся тетрагональной пирамидой, или более сложные формы. Иногда окатанные прозрачные зерна или неправильные обломки. Блеск алмазный	$n_e = 1,968—2,015$; $n_o = 1,923—1,960$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный	В кислотах не растворяется. После сплавления с содой дает реакцию на Zr
Цоизит $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$ Ромбическая	Белый, серый, зеленоватый	3,25—3,36	Окатанные призматические кристаллы или неправильные зерна. Редкий	$n_g = 1,702—1,706$; $n_m = 1,696—1,702$; $n_p = 1,696—1,700$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется
Эвклаз $\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8[\text{OH}]_2$ Моноклинная	Зеленый, голубой, бурый, бесцветный	3,05—3,10	Окатанные зерна неправильной или призматической формы. Иногда пластинки по спайности. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,671$; $n_m = 1,655$; $n_p = 1,652$. Двупреломление высокое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется

Непрозрачные минералы средней магнитности

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Осмистый иридий Ir, Os Тригональная	Оловянно-белый до серого	19,3—21,12	Неправильные зерна, по виду сходные с платиной. Редкий	Не растворяется в кислотах и царской водке
Платина магнитная Pt Кубическая	Светло-серая	14,0—19,0	Окатанные, сплюснутые зерна, иногда шаровидные. С поверхности обычно покрывается бурими налетами гидроокислов железа	Растворяется только в царской водке. Дает реакцию на Pt
Гематит Fe ₂ O ₃ Тригональная	Стально-серый; в землистых разностях красноватый	4,9—5,3	Неправильные осколки, плоские пластинки с пересекающейся штриховкой граней или неправильные окатанные зерна. Блеск металлический, иногда матовый; в тонких осколках просвечивает красным цветом	Растворяется при нагревании в концентрированной HCl. Раствор дает реакцию на Fe
Гётит—гидрогётит HFeO ₂ — HFeO ₂ ·aq Ромбическая	Бурый, охристо-желтый	3,2—4,4	Неправильные или округлые зерна, часто псевдоморфозы по пириту, магнетиту и гематиту. Блеск матовый	Легко растворяется в HCl с образованием желтого раствора, дающего реакцию на Fe
Ильменит (титанистый железняк) FeTiO ₃ Гексагональная	Железо-черный	4,5—5,0	Неправильные, округлые или угловатые зерна; иногда плоские кристаллы в виде шестиугольных пластинок со скошенными краями. Блеск металлический, полуметаллический	В HCl растворяется с трудом. Сплавляется с K ₂ S ₂ O ₇ , раствор сплава дает реакцию на Ti
Ильменорутил (Ti, Nb, Fe)O ₂ Тетрагональная	Черный, бурый	4,8—5,6	Обломки призматических кристаллов, остроугольные или окатанные зерна. Редкий	В кислотах не растворяется. После сплавления с K ₂ S ₂ O ₇ дает реакции на Ti, Nb и Fe
Пикотит (Mg, Fe) (Al, Cr, Fe) ₂ O ₄ Кубическая	Зеленовато-бурый, кофейно-бурый	4,08—4,10	Очень мелкие, неправильные зерна, иногда сохраняют форму октаэдров. Блеск стеклянный, матовый. От просвечивающего до непрозрачного	Сплавляется с содой. Раствор сплава дает реакцию на Cr
Пирролюзит MnO ₂ Ромбическая	Черный, стально-серый с синеватым оттенком	4,7—5,0	Неправильные зерна; хрупкие, землистые агрегаты. Блеск полуметаллический, матовый. Редкий	Растворяется в HCl. Дает реакцию на Mn

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Псиломелан (вод) $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Железо- черный	4,4—4,7	Неправильные зерна, иногда натечной формы. Блеск полуметаллический, матовый. Редкий	Растворяется в HCl. Дает реакцию на Mn
Танталит—колумбит (Fe, Mn) (Ta, Nb) ₂ O ₆ Ромбическая	Серовато- черный, буровато- черный	5,15—8,20	Призматические или тонко-таблитчатые кристаллы, иногда оканчивающиеся остроконечной пирамидой. Сердцевидные двойники. Часто сростки таблитчатых кристаллов. Неправильные зерна. Непрозрачный, иногда по краям просвечивает. $n_g = 2,25—2,43$; $n_m = 2,28—2,45$; $n_p = 2,14—2,26$. Редкий	Дает реакции на Ta и Nb
Тантало-ниобаты сложного состава: самарскит, фергюсонит, блонстрандин, хлопинит и др.	Бархатисто- черный, бурый	4,9—5,9	Неправильные зерна, реже кристаллы. Блеск стеклянный, смоляной. Непрозрачны или слабо просвечивают. $n = 2,11—2,25$. Редкие	Дают реакцию на Ta и Nb. Радиоактивные
Хромит FeCr_2O_4 Кубическая	Черный, буровато- черный	4,0—4,9	Октаэдры, иногда несколько окатанные; на гранях наблюдаются углубления и пустоты. Неправильные зерна. Блеск металлический, полуметаллический; иногда просвечивает в краях	Сплавляется с содой. Раствор сплава дает реакцию на Cr
Вольфрамит (Fe, Mn)WO ₄ Ферберит FeWO_4 Моноклинная	Черный, буровато- черный	6,7—7,5	Таблитчатые кристаллы с совершенной спайностью по (010) или неправильные, иногда призматические зерна. Отличается характерными красноватыми внутренними рефlekсами. Блеск полуметаллический; иногда просвечивает	В HCl почти не растворяется; в H ₂ SO ₄ частично растворим. После сплавления со смесью соды и селитры дает реакцию на W. Содовый сплав окрашен в зеленый или голубой цвет от Mn

Прозрачные минералы средней магнитности

Таблица 21

Название состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Амфиболы (актинолит, антофиллит, роговая обманка) Сложные силикаты Fe, Mg, Ca, Na, Al Моноклинная, ромбическая	Зеленый, бурый, черный	2,85—3,30	Удлиненные зерна с ясно выраженной спайностью по удлинению; иногда неправильно окатанные зерна. Блеск стеклянный до матового	$n_g = 1,653—1,690$; $n_m = 1,615—1,690$; $n_p = 1,584—1,661$. Двупреломление высокое. Двуосные, оптически положительные и отрицательные. Темные разности плеохроичны	—
Биотит $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$ Моноклинная	Бурый, черный	2,7—3,1	Пластинчатые кристаллы с весьма совершенной спайностью по базопинаккиду (001). При надавливании иглой расщепляются по спайности на более тонкие пластинки. Блеск стеклянный, перламутровый	Прозрачен в различной степени до непрозрачного. $n_g = n_m = 1,60—1,66$; $n_p = 1,56—1,60$. Двупреломление высокое. Оптически отрицательный. Плеохроичный	—
Гранаты: андрадит, пироп,grossуляр и др. $A_3B_2[SiO_4]_3$, где A = Ca, Mg, Fe ²⁺ , Mn B = Al, Fe ³⁺ , Cr ³⁺ , Mn ³⁺ , Ti Кубическая	Красный, бурый, желтый, зеленый, черный	3,3—4,3	В шлихах обычно хорошо сохраняет кристаллическую форму (ромбододекаэдры); реже неправильные зерна с раковистым изломом. Блеск стеклянный	$n = 1,705—2,000$. Изотропны, но иногда дают аномальное двупреломление	В кислотах почти не растворяется

Пироксены: авгит, эгирин, гиперстен, геденбергит Сложные силикаты Mg, Fe, Ca, Na, Al Моноклинная, ромбическая	Зеленый, бурый, черный	3,1—3,6	По внешнему виду сходны с амфиболами, но спайность по удлинению выражена менее отчетливо	$n_g = 1,660—1,825$; $n_m = 1,654—1,810$; $n_p = 1,651—1,775$. Двупреломление высокое. Двуосные, оптически положительные и отрицательные. Плеохроизм слабый	То же
Турмалин (Na, Ca) (Mg, Al) ₆ [Si ₆ Al ₃ B ₃ (O, OH) ₃₀] Тригональная	Бурый, темно-зеленый, черный, иногда темносиний	2,98—3,20	Удлиненные кристаллы, часто с ясно выраженной тригональной призмой, иногда оканчивающейся гранями ромбоэдра. Поперечное сечение призмы часто имеет форму сферического треугольника. На гранях призмы обычна вертикальная штриховка. Блеск стеклянный	$n_o = 1,624—1,692$; $n_e = 1,615—1,679$. Двупреломление среднее или высокое. Одноосный, отрицательный. Сильный плеохроизм, особенно в бурых разностях; от бурого до желтого, от темно-зеленого до лилово-розового	В кислотах не растворяется. Дает реакцию на В
Флогопит $KMg_3[Si_3AlO_{10}][F, OH]_2$ Моноклинная	Бурый	2,7—2,95	По внешнему виду сходен с биотитом	$n_g = n_m = 1,565—1,606$; $n_p = 1,535—1,562$. Двуосный (почти одноосный). Отрицательный. Плеохроичный	—
Эпидот $Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}[OH]$ Моноклинная	Зеленый, бурый	3,35—3,38	Неправильные угловатые зерна, иногда окатанные. Блеск стеклянный	$n_g = 1,735—1,785$; $n_m = 1,730—1,765$; $n_p = 1,720—1,740$. Двупреломление высокое. Двуосный, отрицательный	В HCl не растворяется

Непрозрачные минералы слабой магнитности

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Ампангабент (Y, Er, U, Fe, Ca, Th) ₂ ·(Nb, Ta, Ti) ₇ O ₁₈ ? Ромбическая	Светло-бурый, черный	3,35—4,97	Неправильные или окатанные зерна, иногда покрытые с поверхности зеленовато-серым налетом. Редкий	В кислотах не растворяется. После сплавления дает реакции на U и Ti
Браннерит (U, Ca, Fe...) ₂ Ti ₂ O ₆ ? Моноклинная?	Черный	4,5—5,43	Округлые зерна или призматические кристаллы. Редкий	В кислотах не растворяется. После сплавления дает реакции на U и Ti
Делоренцит (Y, U, Fe)Ti ₂ O ₆ ? Ромбическая	Черный	4,7	Неправильные зерна. Редкий	В кислотах не растворяется. После сплавления дает реакции на U и Ti. Радиоактивный
Поликраз—эксенит Эшинит (Y, Ce, Ca, U...) (Ti, Nb, Ta...) ₂ O ₆ Фергюсонит (Y, Er, Ce, U...) (Nb, Ta, Ti)O ₄ Ромбическая, тетрагональная	Черные, темно-бурые	4,5—5,5	Неправильные зерна или обломки кристаллов, окатанных в разной степени. Редкие	В кислотах не растворяются. После сплавления дают реакции на U и Ti. Радиоактивные
Уранинит UO ₂ Кубическая	Черный	6,6—10,6	Слегка окатанные кубические кристаллы. Редкий	Растворяется в HNO ₃ . Дает реакцию на U. Сильно радиоактивный
Гадолинит Y ₂ Fe ²⁺ Be ₂ Si ₂ O ₁₀ Моноклинная	Черный, буроватый, зеленоватый	4,0—4,65	Тонкопризматические, слегка окатанные кристаллы. Просвечивает. $n = 1,77—1,82$. Редкий	Разлагается в HCl с выделением SiO ₂
Пренит Ca ₂ [(Al, Fe) ₂ Si ₃ O ₁₀] [OH] ₂ Ромбическая	Желтый, белый, серый	2,8—3,0	Неправильные зерна или обломки кристаллических сростков. Иногда просвечивает. $n_g = 1,642—1,655$; $n_m = 1,618—1,640$; $n_p = 1,612—1,635$. Редкий	В кислотах разлагается с выделением порошковатой SiO ₂
Гюбнерит MnWO ₄ Моноклинная	Красно-бурый, буровато-черный	6,7—7,5	Таблитчатые кристаллы с совершенной спайностью по (010) или неправильные, иногда призматические зерна. Блеск полуметаллический. Редкий	В кислотах почти не растворяется. Дает реакцию на W

Прозрачные минералы слабой магнитности

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Сфалерит (марматит) ZnS Кубическая	Бурый, черный, желтый, красный, зеленый	3,5—4,2	Неправильные зерна с ясно выраженной спайностью. Блеск алмазный, жирный. Встречается лишь около коренных месторождений	Прозрачный или просвечивает. $n = 2,37—2,47$. Изотропный	Растворяется в HCl и HNO ₃ с выделением H ₂ S. Раствор дает реакцию с K ₄ [Fe(CN) ₆] на Zn
Трипугиит Fe ₂ ³⁺ Sb ₂ O ₇	Зеленовато-желтый	5,8	Обломки тонкокристаллических агрегатов. Редкий	$n_g = 2,33$; $n_m = 2,20$; $n_p = 2,19$. Двусосный, положительный	—
Ксенотим YPO ₄ Тетрагональная	Желтый, бурый, розовый, белый	4,45—4,59	Удлиненные, призматические кристаллы или дипирамиды, сходные с цирконом. Окатанные зерна. Блеск смолистый, стеклянный. Редкий	$n_e = 1,816$; $n_o = 1,721$. Двупреломление высокое. Одноосный, положительный	В кислотах почти не растворяется. После сплавления с KOH дает реакцию на P
Лазулит (Mg, Fe ²⁺)Al ₂ [PO ₄] ₂ [OH] ₂ Моноклинная	Синий	2,9—3,1	Окатанные зерна с неровным изломом и стеклянным блеском. Очень редкий	$n_g = 1,634—1,642$; $n_m = 1,634$; $n_p = 1,603—1,616$. Двупреломление высокое. Двусосный, отрицательный. Плеохроичный	В кислотах не растворяется. После сплавления с KOH дает реакцию на P
Монацит (Ce, La...)PO ₄ содержит Th Моноклинная	Желтый, красно-бурый, бурый	4,9—5,5	Обычно хорошо окатанные округлые или яйцевидные зерна; изредка сохраняются таблитчатые кристаллы. Блеск стеклянный, жирный. Темно-бурые разности непрозрачны	$n_g = 1,837—1,849$; $n_m = 1,787—1,801$; $n_p = 1,787—1,800$. Двупреломление высокое. Двусосный, положительный. В толстых зернах плеохроичный	В кислотах почти не растворяется. После сплавления с KOH дает реакцию на P. Радиоактивный
Флоренсит CeAl ₃ [PO ₄] ₂ [OH] ₆ Тригональная	Желтый	3,58—3,75	Мелкие кристаллы и их осколки, реже неправильные зерна. Редкий	$n_e = 1,686—1,690$; $n_o = 1,680—1,685$. Двупреломление низкое. Одноосный, положительный	В кислотах растворяется с трудом. Дает реакцию на P
Аксинит Ca ₂ (Mn, Fe) [Al ₂ BSi ₄ O ₁₅] [OH] Триклинная	Розовый, бурый, белый, красный, желтый	3,25—3,30	Неправильные, окатанные зерна. Включения хлорита. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,680—1,696$; $n_m = 1,684—1,692$; $n_p = 1,668—1,688$. Двупреломление низкое. Двусосный, отрицательный. В толстых зернах плеохроичный	В кислотах не растворяется. Дает реакцию на B
Амфиболы (глаукофан, тремолит, холмквистит) Глаукофан Na ₂ (Mg, Fe) ₃ Al ₂ [Si ₄ O ₁₁] ₂ ·[OH, Fe] ₂ Моноклинная	Голубовато-серый, синеватый, ярко-синий	3,1—3,2	Призматические удлиненные зерна, обломки кристаллов. Редкий	$n_g = 1,638—1,650$; $n_m = 1,638—1,644$; $n_p = 1,620—1,628$. Двупреломление среднее. Двусосный, отрицательный. Плеохроизм отчетливый и весьма характерный	В кислотах не растворяется

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Тремолит $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ Моноклинная	Белый, серый, часто бесцветный	2,9—3,0	Удлиненные призматические зерна с ясно выраженной спайностью по удлинению; иногда неправильные окатанные зерна. При раздавливании зерно дробится на мелкие иголки	$n_g = 1,624—1,640$; $n_m = 1,613—1,625$; $n_p = 1,600—1,611$. Двупреломление среднее. Двусный, отрицательный. В окрашенных разностях наблюдается плеохроизм	В кислотах не растворяется
Холмквистит $\text{Li}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}, \text{F}]_2$ Моноклинная	Темно-синий, голубой	2,95—3,11	Обломки шестоватых кристаллов, удлиненные зерна	$n_g = 1,646—1,654$; $n_m = 1,638—1,645$; $n_p = 1,620—1,625$. Двупреломление среднее. Двусный, отрицательный. Плеохроизм от желтого до синего	То же
Бустамит $(\text{Ca}, \text{Mn})_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ Триклинная	Белый, зеленоватый, сероватый	3,1—3,4	Зернистые или радиально-шестоватые агрегаты кристаллов. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,674—1,707$; $n_m = 1,674—1,705$; $n_p = 1,660—1,692$. Двупреломление среднее. Двусный, отрицательный	В кислотах не растворяется
Везувиан $\text{Ca}_{10}\text{Al}_4(\text{Mg}, \text{Fe})_2[(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH}, \text{F})_4]$ Тетрагональная	Бурый, зеленый	3,34—3,44	Призматические или неправильные окатанные зерна. Блеск стеклянный	$n_o = 1,705—1,732$; $n_e = 1,701—1,726$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный	В HCl разлагается частично

Гельвин (Mn, Fe, Zn) ₄ [BeSiO ₄] ₃ S Кубическая	Бурый, желтый, розовый	3,16—3,36	Обломки кристаллов и неправильные остроугольные зерна. Редкий	$n = 1,744—1,760$. Изотропный	В кислотах растворяется с выделением H ₂ S и студенистого SiO ₂
Гранаты (гроссуляр) Кубическая	Светлоокрашенные	3,53	Додекаэдры, трапецоэдры или комбинации тех и других; реже неправильные зерна с раковистым изломом. Блеск стеклянный	$n = 1,70—2,00$. Оптически изотропный, но иногда аномально анизотропный	В кислотах не растворяется
Клиноцоизит $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$ Моноклинная	Бесцветный, серый, желтый, зеленый, розовый	3,35—3,38	Неправильные угловатые или окатанные зерна; изредка сохраняются призматические кристаллы. Редкий	$n_g = 1,734$; $n_m = 1,729$; $n_p = 1,724$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется
Лампрсфиллит $\text{Na}_2\text{SrFe}^{2+}\text{Ti}_2[\text{SiO}_4]_3\text{O}$ Ромбическая	Темно-бурый, золотисто-бурый, бронзово-желтый	3,44—3,53	Пластинчатые и вытянутые кристаллы, розетковидные агрегаты. Блеск стеклянный. Редкий	$n_g = 1,770—1,780$; $n_m = 1,754$; $n_p = 1,735—1,746$. Двупреломление высокое. Двусный, положительный	В кислотах растворяется с выделением геля кремнезема
Оливин (Mg, Fe) ₂ SiO ₄ Ромбическая	Зеленый, буроватый	3,0—3,5	Призматические или окатанные зерна, часто полуразрушенные. Редкий, встречается лишь около коренных месторождений	От прозрачного до просвечивающего. $n_g = 1,67—1,73$; $n_m = 1,66—1,68$; $n_p = 1,63—1,69$. Двупреломление высокое. Двусный, отрицательный или положительный в зависимости от содержания железа	В HCl не растворяется; в H ₂ SO ₄ разлагается с выделением студенистого SiO ₂

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Ортит $(Ca, Ce)_2(Fe, Al, Mg)_3[SiO_4][Si_2O_7]O[OH]$ Моноклинная	Бурый, черный	3,0—4,20	Таблитчатые или призматические кристаллы. Неправильные угловатые зерна, иногда окатанные. Блеск стеклянный	$n_g = 1,66—1,80$; $n_m = 1,65—1,78$; $n_p = 1,64—1,77$. Двупреломление высокое. Двусный, отрицательный. Плеохроичный	Частично растворяется в HCl
Пироксены (диопсид, жадеит, энстатит) Диопсид $CaMg[Si_2O_6]$ Моноклинная	Белый, бледно-зеленый, серый	3,27—3,38	Сходен с энстатитом	$n_g = 1,694—1,707$; $n_m = 1,671—1,686$; $n_p = 1,664—1,681$. Двупреломление среднее. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется
Жадеит $NaAl[Si_2O_6]$ Моноклинная	Яблочно- или голубовато-зеленый, белый	3,3—3,4	Плотные тонкозернистые агрегаты кристаллов. В чистом виде очень редкий	$n_g = 1,667$; $n_m = 1,659$; $n_p = 1,654$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный	В кислотах не растворяется
Энстатит $Mg_2[Si_2O_6]$ Ромбическая	Серый, желтоватый, зеленоватый, белый	3,1—3,3	Удлиненные призматические или неправильные зерна	$n_g = 1,660—1,680$; $n_m = 1,654—1,674$; $n_p = 1,652—1,668$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный. Плеохроизм слабый	То же
Рамзаит $Na_2Ti_2Si_2O_9$ Ромбическая	Бурый, черный	3,38—3,43	Обломки уплощенных призматических кристаллов, окатанных в различной степени. Блеск алмазный, на поверхности окатанных зерен жирный. Очень редкий	$n_g = 2,02—2,03$; $n_m = 2,01$; $n_p = 1,91—1,92$. Двупреломление очень высокое. Двусный, отрицательный. Слабый плеохроизм	В кислотах не растворим, за исключением HF
Родонит $(Mn, Ca)SiO_3$ Триклинная	Розовый, белый	3,40—3,75	Неправильные слабоокатанные зерна, обломки тонкозернистых агрегатов. Редкий	$n_g = 1,724—1,747$; $n_m = 1,726—1,735$; $n_p = 1,716—1,733$. Двупреломление низкое. Двусный, отрицательный или положительный	В кислотах разлагается с трудом и лишь при кипячении
Ставролит $Fe^{3+}Al_4[SiO_4]_2O_2[OH]_2$ Ромбическая	Бурый, желтый, красновато-бурый	3,65—3,77	Призматические ромбические кристаллы, полуокатанные зерна. Часто крестовидные двойники. Поверхность зерен обычно неровная, изъеденная. Почти постоянно содержит включения слюды, углистого вещества, рутила и других минералов	$n_g = 1,746—1,762$; $n_m = 1,741—1,754$; $n_p = 1,736—1,747$. Двупреломление низкое. Двусный, положительный. Плеохроичен	В H_2SO_4 частично растворяется

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Сфен (титанит) $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$ Моноклинная	Бурый, желтый, зеленоватый, розоватый	3,29—3,56	Неправильные окатанные или остроугольные зерна. Часто кристаллы имеют уплощенную форму, сходную с тетрагональной дипирамидой (форму конверта). Блеск стеклянный, алмазный	$n_g = 1,979-2,054$; $n_m = 1,894-1,935$; $n_p = 1,887-1,928$. Двупреломление очень высокое. Двусосный, положительный. Окрашенные разности плеохроичны	В кислотах не растворяется. После сплавления с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ дает реакцию на Ti
Турмалин (Na, Ca) (Mg, Al) ₆ [Si ₆ Al ₃ B ₃ (O, OH) ₆] Тригональная	Светлоокрашенный, редко бесцветный	2,98—3,20	Удлиненные кристаллы часто с ясно выраженной тригональной призмой. Поперечное сечение призмы имеет форму сферического треугольника. Грани призмы часто покрыты вертикальной штриховкой. Блеск стеклянный. Обычно слабомагнитный, реже немагнитный	$n_o = 1,624-1,692$; $n_e = 1,615-1,679$. Двупреломление среднее или высокое. Одноосный, отрицательный. Сильный плеохроизм	В кислотах не растворяется. Дает реакцию на B
Фаялит Fe_2SiO_4 Ромбическая	Бесцветный, желтоватый	4,1	По форме выделения сходен с оливином. Редкий	$n_g = 1,886$; $n_m = 1,877$; $n_p = 1,835$. Двупреломление высокое. Двусосный, отрицательный	В HCl разлагается с выделением SiO_2

Хлоритоид $\text{Fe}_2^{2+}\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_4$ Моноклинная	Черновато-зеленый, голубовато-серый	3,2—3,6	Призматические или чешуйчатые выделения. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности иногда перламутровый. Редкий	$n_g = 1,726-1,738$; $n_m = 1,722-1,730$; $n_p = 1,720-1,727$. Двупреломление низкое. Двусосный, положительный	В HCl не растворяется, но при кипячении разлагается H_2SO_4
Хлориты (пеннин, клинохлор) сложные алюмосиликаты Fe, Mg Моноклинная	Зеленый, фиолетовый, розовый	2,6—3,45	Гибкие слюдоподобные пластинки или чешуйки. Блеск перламутровый	$n_m = 1,57-1,60$. Двупреломление у клинохлора среднее, у пеннина низкое. Двусосный, положительный или отрицательный. Плеохроичный	Частично разлагается в HCl и полностью в H_2SO_4
Цоизит $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$ Ромбическая	Белый, серый, зеленоватый	3,25—3,36	Окатанные призматические кристаллы или неправильные зерна. Редкий	$n_g = 1,702-1,706$; $n_m = 1,696-1,702$; $n_p = 1,696-1,700$. Двупреломление низкое. Двусосный, положительный	В кислотах не растворяется
Эпидот $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$ Моноклинная	Зеленый, бурый	3,35—3,38	Неправильные угловатые, реже окатанные зерна, покрытые с поверхности мелкими трещинами или бурыми железистыми налетами	$n_g = 1,735-1,785$; $n_m = 1,730-1,765$; $n_p = 1,720-1,740$. Двупреломление высокое. Двусосный, отрицательный	Частично растворяется в HCl

Минералы магнитной фракции

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Железо Fe	Стальной, черный	7,0—7,8	Часто присутствует в магнитной фракции в виде неправильных ржавых обломков и стружек. Попадает в шлик от лопаты или другого железного оборудования	В кислотах растворяется. Дает реакцию на Fe^{3+}
Магнетит (магнитный железняк) $Fe^2+Fe_2^3+O_4$ Кубическая	Черный	5,16—5,18	Часто сохраняется в виде октаэдров или ромбододекаэдров. Встречается также в виде окатанных блестящих пластинок и зерен неправильной формы. Иногда с поверхности покрывается бурым налетом лимонита	В HNO_3 и HCl растворяется с трудом при нагревании. В растворе Fe^{3+} определяется с KCN

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Химические реакции
Пирротин (магнитный колчедан) Fe_nSn_{n+1} Гексагональная	Бронзово-желтый	4,58—4,64	Неправильные зерна. Редкий	В HNO_3 и HCl растворяется с выделением серы и H_2S . Раствор дает реакцию на Fe
Платина магнитная (поликсен) Pt, Fe Кубическая	Серебряно-белый, стально-серый	14—19	Окатанные сплюснутые или округлые зерна, также неправильные древовидные образования. Иногда с поверхности покрывается бурыми налетами окислов железа	Растворяется только в царской водке. Дает реакцию на Pt
Титаномагнетит—магнетит с содержанием до 25% TiO_2 Кубическая	Черный	5,18	Сходен с магнетитом	Дает реакцию на Ti с H_2O_2

Минералы легкой фракции (плотность < 2,9)

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ Гексагональная	Зеленый желтый, белый	2,63— 2,91	Окатанные призматические кристаллы, часто сохраняющие вертикальную штриховку на гранях призмы, иногда в виде окатанных округлых зерен	$n_o = 1,568—1,602$; $n_e = 1,564—1,595$. Двупреломление низкое. Одноосный, отрицательный. Слабый плеохроизм	В кислотах не растворяется
Гарниерит $\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}?$	Голубовато-зеленый	2,3—2,8	Скрытокристаллические агрегаты или гели. Редкий	$n = 1,566—1,590$. Анизотропный	В концентрированной HCl разлагается. Раствор дает реакцию на Ni
Графит С Гексагональная	Стально-серый, черный	2,09— 2,23	Тонкие чешуйки или шестиугольные пластинки	Непрозрачный	В кислотах не растворяется
Кальцит CaCO_3 Тригональная	Бесцветный, белый, желтоватый, красноватый, бурый	2,6—2,8	Неправильные зерна, реже кристаллы. Благодаря малой твердости и легкой растворимости быстро разрушается	$n_o = 1,658$; $n_e = 1,486$. Двупреломление очень высокое. Одноосный, отрицательный, иногда аномальнодвуосный	В кислотах растворяется с вскипанием
Кварц SiO_2 Гексагональная	Бесцветный, белый, желтоватый, розовый, бурый	2,65— 2,66	В шлихах обычно присутствуют в виде окатанных зерен неправильной формы, иногда кристаллы призматического или пирамидального габитуса. Блеск стеклянный	$n_e = 1,553$; $n_o = 1,544$. Двупреломление низкое. Одноосный, положительный	В кислотах не растворяется. Растворим в HF
Кордиерит $\text{Al}_3(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]$ Ромбическая	Голубой, серый, зеленоватый	2,60— 2,66	Бледноокрашенные полуразрушенные окатанные зерна; иногда в виде ромбоздров. Часто содержит включения других минералов. В шлихах встречается редко	$n_g = 1,541—1,549$; $n_m = 1,539—1,547$; $n_p = 1,532—1,542$. Двупреломление низкое. Двуосный, отрицательный. Обычно плеохроичный	В кислотах не растворяется
Полевые шпаты. Сложные алюмосиликаты. Моноклинная и триклинная	Бесцветный, белый, розовый, желтоватый, зеленоватый	2,5—2,9	Обычно присутствуют в окатанных зернах неправильной формы, часто сохраняющих признаки хорошей спайности. Блеск стеклянный	$n_g = 1,525—1,588$; $n_m = 1,529—1,583$; $n_p = 1,525—1,575$. Двупреломление низкое	В кислотах не растворяются

Название, состав, сингония	Окраска	Плотность	Внешний вид минерала в шлихах	Оптические свойства	Химические реакции
Сerpентин $Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$ Моноклиная?	Зеленый	2,5—2,7	Неправильные зерна гелеобразного сложения	Полупрозрачный. $n_g = 1,511—1,571$; $n_m = 1,502—1,570$; $n_p = 1,490—1,560$. Двухосный, отрицательный	В кислотах разлагается
Скаполит—алюмосиликат натрия и кальция переменного состава Тетрагональная	Бесцветный, белый, серый	2,60—2,75	Зернистые частицы, реже угловатые или слабоокатанные обломки кристаллов. Разрушается легко	Прозрачный или просвечивает в краях зерен. $n_o = 1,534—1,607$; $n_e = 1,522—1,570$. Двупреломление среднее. Одноосный, отрицательный	В кислотах растворяется при нагревании с выделением SiO_2
Слюды (мусковит, биотит)—алюмосиликаты сложного состава Моноклиная	Бесцветный, зеленоватый, бурый, черный	2,7—3,1	Пластинчатые псевдогексагональные кристаллы с весьма совершенной спайностью по базопинаконду (001); часто тонкие пластинки	Прозрачный. $n_g = 1,588—1,660$; $n_m = 1,582—1,660$; $n_p = 1,552—1,600$. Двупреломление высокое, но при наблюдении пластинок по спайности (001) низкая интерференционная окраска. Двухосный, отрицательный. Биотит плеохроичный	Не растворяются в кислотах
			с неровными зазубренными краями. Иногда в результате совершенной спайности пластинки несколько расщепляются. Блеск стеклянный, перламутровый		
Хлориты (клинохлор, пенин) сложные алюмосиликаты Моноклиная	Зеленый, реже розовый, фиолетовый	2,6—3,45	Гибкие слюдopodobные пластинки и чешуйки с перламутровым блеском	$n = 1,570—1,600$. Двупреломление низкое или среднее. Двухосные, положительные или отрицательные. Плеохроизм от зеленого до желтого	Частично разлагается HCl или H_2SO_4
Янтарь $C_{10}H_{16}O$ Аморфный	Желтый, бурый	1,05—1,09	Округлые исцарапанные зерна. Из-за малой плотности обычно в шлихах не попадает	Прозрачный или полупрозрачный. $n = 1,53—1,54$. Изотропный	Частично растворяется в спирте, эфире и скипидаре. Горит коптящим пламенем

Минералы тяжелой немагнитной фракции под бинокулярном разделяют на две группы: непрозрачные и прозрачные. Непрозрачные минералы этой фракции приведены в табл. 18. Это преимущественно сульфиды и самородные металлы. Все сульфиды легко разрушаются и поэтому могут обнаруживаться в шлихах лишь вблизи коренных месторождений. В ту же группу попадают изредка встречающиеся в шлихах теллуриды серебра и золота (гессит и петцит), карбонат висмута (бисмутит) и другие редкие минералы. Для определения этих минералов обычно пользуются химическими реакциями. Прозрачные минералы тяжелой немагнитной фракции, приведенные в табл. 19, определяются главным образом по их оптическим свойствам.

Минералы электромагнитной фракции делятся на две группы: средней магнитности и слабой магнитности. В каждой из этих групп выделяются непрозрачные и прозрачные минералы. Характеристика минералов электромагнитной фракции приведена в табл. 20—23.

Определение черных непрозрачных минералов часто представляет большие трудности. Особенно трудно бывает отличить колумбит-танталит и другие тантало-ниобаты от вольфрамита и ильменита, когда они присутствуют в мелких зернах и не сохраняют кристаллических форм. Наиболее надежным методом для определения этих минералов является пленочная реакция с пиросульфатом калия. Уранинит обычно встречается в слабомагнитной фракции, но изредка наблюдаются немагнитные разновидности уранинита.

Прозрачные минералы электромагнитной фракции определяются главным образом по оптическим свойствам. Среди этих минералов практический интерес обычно представляют монацит, ксенотим, ортит, пирохлор и сфалерит. Три минерала этой фракции — монацит, сфет и ставролит — по внешнему виду часто имеют большое сходство. Их различают по плотности и по химическим реакциям на Ti и P .

Магнитная фракция (см. табл. 24), как правило, не содержит ценных минералов, за исключением редко встречающейся магнитной платины. В легкую фракцию (см. табл. 25), содержащую минералы с плотностью меньше 2,9, из ценных минералов могут попадать лишь берилл и янтарь.

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ ШЛИХОВ

В этом разделе минералы описываются по следующей схеме: химический состав, физические, оптические, химические свойства, особенности минерала в шлихах, происхождение минерала, его спутники, разновидности, методы его определения и отличие от других минералов.

АВГИТ — $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ — глиноземистый пироксен, непостоянного состава, иногда содержит примеси щелочей и Ti. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические и толстотаблитчатые; часто образует двойники по (100). Спайность по (110) хорошая. Излом неровный. Твердость 5—6. Плотность 3,2—3,6. Блеск стеклянный, иногда жирный. Цвет черный, зеленый, черновато-зеленый, реже коричневый и желтовато-серый. Черта белая, зеленоватая. Среднемагнитный; магнитные свойства изменяются с изменением содержания железа. Электропроводность средняя.

Показатель преломления очень высокий: $n_g = 1,710—1,724$, $n_m = 1,692—1,706$; $n_p = 1,682—1,700$; $2V = 50—61^\circ$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,024—0,026$. Оптически двуосный, положительный. Разности, содержащие большие количества Fe и Ti, плеохроичны: n_g — зеленовато-желтый или красноватый; n_m — буровато-красный или фиолетовый; n_p — зеленовато-желтый или красноватый. Дисперсия: $r > v$. В кислотах обычно не растворяется.

Встречается в шлихах в виде окатанных короткопризматических кристаллов или неправильных зерен. Обычно обнаруживает признаки разложения и с поверхности становится мутным. Часто содержит темные железистые включения. Довольно легко разрушается и превращается в различные амфиболы.

Происхождение — средние и основные изверженные породы; метаморфизованные известняки и другие метаморфические породы. Спутники — другие пироксены и оливин. Если происходит из метаморфических пород, то часто сопровождается амфиболами, скаполитом, везувианом, гранатом, апатитом. Разновидности: **титанаавгит** — содержит до 4—5% TiO_2 , связан с щелочными изверженными породами; **хромавгит** — ярко-зеленая разновидность, содержащая до 3% Cr_2O_3 и до 7,5% Al_2O_3 из оливиновых изверженных пород.

Определяется по окраске и оптическим свойствам. От сходного с ним по внешнему виду диопсида отличается несколько более высоким показателем преломления и следами поверхностного разрушения; зерна диопсида обычно обладают лучшей сохранностью.

АДАМИН — $Zn_2[AsO_4][OH]$ — основной арсенат цинка. Сингония ромбическая. Образует корочки, мелкие пирамидальные или призматические кристаллы, радиально-лучистые сростки. Окраска медово-желтая, бледно-зеленая, фиолетово-розовая. Твердость 3,5. Плотность 4,31—4,43. $n_g = 1,763—1,773$; $n_m = 1,742—1,744$; $n_p = 1,708—1,722$; $n_g - n_p = 0,041—0,065$. Двуосный, отрицательный. Обычно немагнитный; не люминесцирует. В кислотах растворяется. Раствор дает реакции на цинк с $K_4[Fe(CN)_6]$ и на мышьяк с молибденово-кислым аммонием.

В россыпях встречается редко в районах распространения свинцово-цинковых и полиметаллических сульфидных месторожде-

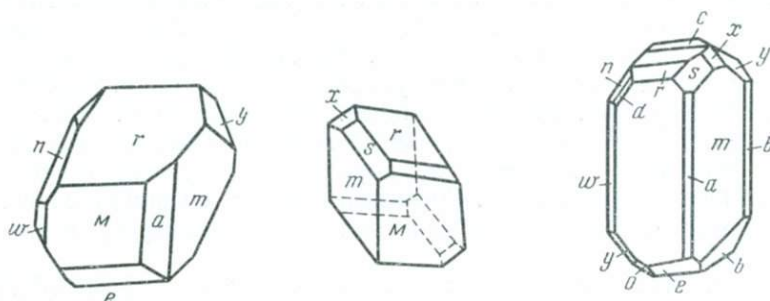


Рис. 11. Аксинит. Формы кристаллов

ний, содержащих арсениды. Наблюдается в виде обломков кристаллов или их сростков, в неправильных зернах, совместно с лимонитом, малахитом, смитсонитом, церусситом.

АЗУРИТ — $Cu_3[CO_3]_2(OH)_2$ или $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Сингония моноклинная. Слайность по (021) совершенная. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 3,5—4. Плотность 3,7—3,9. Блеск стеклянный, иногда алмазный. Цвет синий, темно-синий. Черта синяя. Минерал немагнитный; непроводник электричества. В катодных лучах люминесцирует синим светом. Прозрачный, до просвечивающего. Показатель преломления очень высокий: $n_g = 1,838$; $n_m = 1,758$; $n_p = 1,730$; $2V = 68^\circ$. Двупреломление очень высокое: $n_g - n_p = 0,108$. Оптически двуосный, положительный. Легко растворяется в кислотах с выделением CO_2 . Дает реакцию на Си.

Встречается в шлихах редко, обычно в виде мелких неправильных зерен и только вблизи коренных месторождений меди. Спутники — малахит, куприт, лимонит, карбонаты.

Определяется по синей окраске и растворимости в HCl. Проверяется по оптическим свойствам и химической реакцией на Си.

АКСИНИТ — $Ca_2(Mn, Fe)[Al_2BSi_4O_{15}][OH]$ — боросиликат алюминия и кальция с непостоянным содержанием Fe и Mn. Сингония триклинная. Кристаллы различного габитуса, часто клинообразные, реже призматические (рис. 11). Иногда плоские,

неправильные зерна. Спайность ясная по (010). Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 6,5—7. Плотность 3,25—3,30. Блеск стеклянный. Цвет розовый, бурый, синий, серый, желтый; изредка бесцветный. Черта бесцветная. Немагнитный или слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,680—1,696$; $n_m = 1,684—1,692$; $n_p = 1,668—1,688$; $2V = 69—75^\circ$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,009—0,011$. Оптически двуосный, отрицательный. Плеохроизм наблюдается только в толстых зернах: n_g — бесцветный или зеленоватый; n_m — синий или фиолетовый; n_p — коричневый, желтый. В кислотах не растворяется. Дает реакцию на В.

Встречается в виде неправильных или округлых зерен обычно бледно-розовой окраски. Происхождение — метаморфизованные основные изверженные породы; пустоты в гранитных породах. Спутники — эпидот, гранат, хлорит, турмалин, сфалерит, халькопирит, кальцит, пироксен, амфибол.

Определяется по характерному внешнему виду и по оптическим свойствам. Проверяется реакцией на В.

АКТИНОЛИТ — $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$ — известково-магнезиально-железистый амфибол. Сингония моноклиная. Тонкопризматические или столбчатые кристаллы, реже волокнистые агрегаты. Спайность совершенная по (110), иногда по (100). Излом неправильный. Твердость 5—6. Плотность 3,1—3,3. Блеск стеклянный. Цвет от ярко-зеленого до серовато-зеленого, изредка желтоватый. Черта бесцветная. Часто содержит включения железных минералов. Умеренно магнитный; магнитные свойства изменяются в зависимости от содержания железа. Умеренный проводник электричества. В катодных лучах иногда люминесцирует желтым светом. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,638—1,677$; $n_m = 1,630—1,650$; $n_p = 1,614—1,658$. $2V$ большой. Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,024—0,027$. Оптически двуосный, отрицательный. $cn_g = 10—20^\circ$. Плеохроизм ясный, усиливается с повышением содержания железа; n_g — зеленый; n_m — желтовато-зеленый; n_p — бледно-желтый. Дисперсия: $r > v$. В кислотах не растворяется.

Встречается в волокнистых или призматических кристаллах с явно выраженной спайностью по удлинению. Реже в зернах, окатанных в различной степени. Плеохроизм наблюдается в толстых зернах. Происхождение — кристаллические сланцы, метаморфические изверженные породы. Актинолит является продуктом вторичного изменения железисто-магнезиальных силикатов в изверженных породах. Спутники — другие амфиболы, пироксены, слюды, сфен, апатит.

Определяется по внешнему виду. Проверяется по оптическим свойствам. Характерной особенностью актинолита, как и всех других амфиболов, является совершенная спайность по удлинению, отличающая его от других зеленых минералов, встречающихся в шлихах. Если амфибол раздавить на предметном стекле

аккуратным подавливанием другим стеклом, он дробится на тонкие иголки.

АЛМАЗ — С. Сингония кубическая. Кристаллизуется в октаэдрах, пирамидальных октаэдрах и комбинациях куба с октаэдром; грани часто закруглены и исштрихованы (рис. 12). На грани (111) иногда наблюдаются углубления в виде треугольников. Обычны двойники по грани (111). Спайность совершенная по (111). Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 10. Плотность 3,2—3,52. Блеск алмазный. Обычно бесцветный, реже бледно окрашенный в желтый, оранжевый, красный, зеленый, синий цвета; иногда бурый, черный. Черты не дает. Обычно содержит включения графита, магнетита, гематита, ильменита и других минералов. Не-

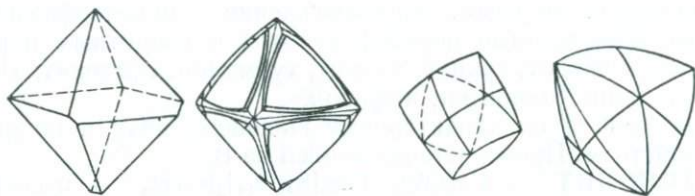


Рис. 12. Алмаз (по Бетехтину)

магнитный. Плохой проводник электричества. При трении сукном электризуется и приобретает положительный заряд. В ультрафиолетовых и рентгеновских лучах сильно люминесцирует голубым светом. Темноокрашенные разности обладают оранжевой или красной люминесценцией. Светлые разности прозрачны, темноокрашенные — менее прозрачны. Очень высокий показатель преломления: $n = 2,41—2,48$. Обычно изотропный, но иногда обладает аномальным двупреломлением и дает одноосную интерференционную фигуру. При нагревании не изменяется; только при очень высокой температуре в атмосфере кислорода сгорает в двуокись углерода. Не разлагается кислотами и щелочами.

Встречается в кристаллах с закругленными ребрами и выпуклыми гранями или в остроугольных зернах с сильным алмазным блеском. Происхождение — алмазоносные россыпи генетически связаны с ультраосновными породами семейства перидотитов — дунитов. Известны два типа коренных месторождений алмаза — кимберлитовый и перидотит-дунитовый. Для алмазов из кимберлитов характерны кристаллы октаэдрического облика и минералы-спутники в россыпях — хромдиопсид, пироп, перовскит, ильменит, реже оливин. Алмазы из месторождений перидотит-дунитового типа обычно имеют округлые формы кристаллов и в россыпях сопровождаются хромовыми шпинелями, платиной, осмистым иридием и в меньшей степени ильменитом, магнетитом, пироксенами и оливином. Разновидности: о б ы к н о в е н н ы й бесцветный или бледноокрашенный прозрачный алмаз, б о р т и к а р б о н а д о. Борт — темноокрашенный алмаз с закруглен-

ной и неровной поверхностью граней. Часто имеет неправильную радиально-лучистую, волокнистую или зернистую внутреннюю структуру со сложным двойниковым строением. Бортом называют также обломки алмазов и вообще алмазы низшего качества. Карбонадо — черный от примесей графита непрозрачный алмаз без видимой спайности.

Определяется по характерному алмазному блеску, высокой твердости (царапает корунд и топаз), часто по изогнутым граням кристалла. Проверяется по оптическим свойствам под микроскопом и по люминесценции. От исходных с ним по внешнему виду осколков кварца отличается исключительно высокой твердостью, блеском, высокой плотностью, а также формой и спайностью. От бесцветных и бледноокрашенных шпинелей, кристаллизующихся в октаэдрах, отличается более низкой плотностью.

АМПАНГАБЕИТ — $(Y, Er, U, Fe, Ca, Th)_2 \cdot (Nb, Ta, Ti)_7 O_{18} ?$ Сингония ромбическая (?). Кристаллизуется в прямоугольных призмах с закругленными гранями; иногда радиально-лучистые агрегаты. Спайность не обнаружена. Излом раковистый или неровный. Твердость 4. Плотность для светло-бурых разновидностей 3,35—3,75, для темно-бурых 3,92—4,39 и для буро-черных 4,45—4,97. Блеск смолистый до жирного. Цвет от светло-бурого до буро-черного; часто зеленовато-бурый, красно-бурый. Черта у темных разновидностей светлая, буроватая. Темные разности электромагнитны, светлые — немагнитны. Радиоактивный. Непрозрачный, но в тонких осколках просвечивает. Изотропный. Для темных разновидностей $n = 2,13$, для светлых разновидностей $n = 1,89$. Разлагается кислотами с выделением белого осадка. При кипячении с H_2SO_4 покрывается белой пленкой. Сернокислый раствор дает реакцию на Ta и Nb с таннином.

Встречается в шлихах очень редко в виде неправильных зерен зеленовато-бурой окраски, покрытых с поверхности более светлым зеленовато-бурым налетом. Светло-бурые разности, очевидно, являются продуктом гидратации темного ампангабеита.

Происхождение — пегматитовые жилы. Спутники — другие тантало-ниобаты, берилл, монацит, висмутовые минералы.

Определяется по внешнему виду. Проверяется химической реакцией на Ta и Nb и по растворимости в кислотах.

АМФИБОЛЫ — см. антофиллит, тремолит, актинолит, роговая обманка и др. (табл. 26).

АНАТАЗ (синоним — октаэдрит) TiO_2 . Обычно содержит небольшое количество FeO. Сингония тетрагональная. Широко развиты кристаллы двух типов (рис. 13): 1) остропирамидальные с сильно развитыми гранями (111); иногда по виду сходны с октаэдром; нередко наблюдаются сдвоенные сростки кристаллов. На гранях дипирамиды обычна характерная резкая штриховка. Встречаются ступенчатые и искривленные кристаллы. Этот тип кристаллов обычно развит в кристаллических сланцах и жилах альпийского типа; 2) пластинчатые кристаллы с развитой гранью

Основные минералы группы амфиболов

Минерал, формула	Окраска	Плотность	Оптические свойства	Магнитность	Спутники
Ромбические					
Антофиллит $(\text{Mg, Fe})_7(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2[\text{OH}]_2$	Бурый различных оттенков, зеленый	2,8—3,2	$n_g = 1,597—1,680$; $n_m = 1,615—1,668$; $n_p = 1,584—1,660$; $n_g - n_p = 0,013$. Иногда плеохроичный: n_g — бледный желтовато-зеленый, $n_m = n_p$ — буроватый	Среднемагнитный	Другие амфиболы и пироксены
Моноклинные					
Тремолит $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	Белый, серый, часто бесцветный	2,9—3,0	$n_g = 1,624—1,640$; $n_m = 1,613—1,625$; $n_p = 1,600—1,611$; $n_g - n_p = 0,024—0,029$. В окрашенных разностях наблюдается плеохроизм	Немагнитный или слабомагнитный	То же
Актинолит $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	От ярко-зеленого до серовато-зеленого, изредка желтоватый	3,1—3,3	$n_g = 1,638—1,677$; $n_m = 1,630—1,650$; $n_p = 1,614—1,658$; $n_g - n_p = 0,024—0,027$. Плеохроизм ясный: n_g — зеленый; n_m — желтовато-зеленый; n_p — бледно-желтый	Среднемагнитный	Другие амфиболы, пироксены, слюды, сфен, апатит
Роговая обманка $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg, Fe}^{2+})_4(\text{Al, Fe}^{3+}) \times [(\text{Si, Al})_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	Зеленый, бурый, черный	3,1—3,3	$n_g = 1,653—1,690$; $n_m = 1,647—1,690$; $n_p = 1,629—1,661$. Двупреломление высокое или среднее. Плеохроизм меняется	Среднемагнитный	Пироксены, слюды, сфен, апатит
Глаукофан $\text{Na}_2(\text{Mg, Fe})_3(\text{Al, Fe})_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH, F})_2$	Голубовато-серый, синеватый, ярко-синий	3,12—3,19	$n_g = 1,638—1,650$; $n_m = 1,638—1,644$; $n_p = 1,620—1,628$; $n_g - n_p = 0,015—0,022$. Плеохроизм отчетливый и весьма характерный: n_g — синий, n_m — светлый, буровато-лиловый, n_p — зеленовато-желтый, голубовато-зеленый, бесцветный	Слабомагнитный	Альмандин, эпидот
Холмквистит $\text{Li}_2(\text{Mg, Fe})_3(\text{Fe}^{3+}\text{Al})_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$	Темно-синий	3,11	$n_g = 1,646—1,654$; $n_m = 1,638—1,645$; $n_p = 1,620—1,625$; $n_g - n_p = 0,029$. Плеохроизм от желтого до синего	Слабомагнитный	Сподумен, лепидолит

(001) и резко подчиненными гранями дипирамиды; грани пинакоида покрыты штриховкой. Обычно характерны для вторичного анатаза, образующегося в процессе гидротермального изменения и выветривания горных пород (гранитов, гнейсов, сланцев, известняков и др.).

Несравненно реже встречаются дипирамидально призматические кристаллы. Спайность по (001) и (111) совершенная. Излом неяснораковинистый. Хрупкий. Твердость 5,5—6. Плотность 3,82—

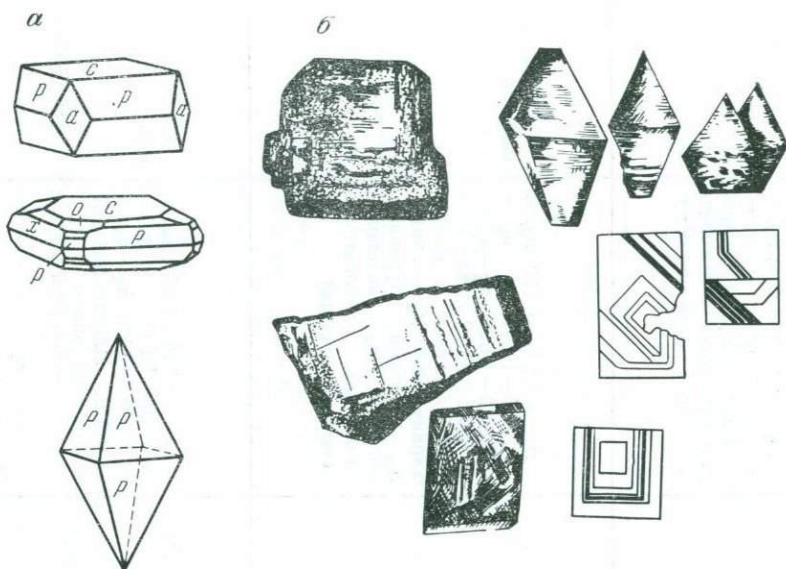


Рис. 13. Анатаз.

а — формы кристаллов; б — формы зерен, встречающихся в россыпях

3,95. Блеск металловидный, алмазный. Цвет бурый, желтый, синий, зеленоватый, черный. Черта бесцветная. Включения наблюдаются редко. Немagnetный. Умеренный проводник электричества. Прозрачный до почти непрозрачного. Показатель преломления очень высокий: $n_0 = 2,554—2,564$; $n_e = 2,489—2,497$. Двупреломление высокое; $n_0 - n_e = 0,04—0,07$. Оптически одноосный, отрицательный. Иногда аномально двuosный с небольшим углом оптических осей. Иногда пластинчатые кристаллы, параллельные (001), изотропны. Прямое погасание. Плеохроизм наблюдается только в толстых зернах; для желтых кристаллов n_0 — темно-синий или оранжевый, n_e — бледно-голубой или желтый. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ и растворения сплава в H_2SO_4 дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Встречается обычно в очень мелких дипирамидальных или пластинчатых, слабо окатанных кристаллах с характерной штриховкой на гранях и сильным алмазным блеском. Наблюдаются также

пирамидальные формы, простые или сдвоенные, иногда имеющие штриховку, параллельную основанию пирамиды. Менее обычны угловатые пластинки по спайности или неправильные обломки кристаллов. В шлихах встречается часто, но почти всегда в незначительных количествах. Происхождение — метаморфические породы (сланцевые и хлоритовые сланцы, гнейсы, кристаллические сланцы), жилы альпийского типа, пегматиты. Часто является вторичным продуктом изменения других минералов (сфена, ильменита), присутствующих в гранитах, диоритах, гнейсах, сланцах и известняках. Спутники — ильменит, брукит, рутил, лейкоксен, сфен, циркон, гранат, апатит, аксинит.

Определяется по форме и окраске зерен. Проверяется по оптическим свойствам под микроскопом и химической реакцией на Ti. От сходного с ним рутила отличается по форме кристаллов и оптическому знаку, по меньшей твердости и более низкой плотности. От брукита отличается по оптическим свойствам. От синего корунда меньшей твердостью, более высокими показателями преломления и двупреломления. От синего турмалина отличается более слабым плеохроизмом, более высокими показателями преломления и двупреломлением.

АНГИДРИТ — CaSO_4 . Часто содержит примесь стронция. Сингония ромбическая. Толстотаблитчатые или призматические кристаллы, грани которых часто иштрихованы параллельно осям a и b . Хорошо образованные кристаллы редки; обычно в сплошных зернистых массах: спайность по (010) совершенная, по (001) и (100) отчетливая; по трем взаимно перпендикулярным направлениям спайности легко выкальваются кубические зерна. Хрупкий. Твердость 3—3,5. Плотность 2,8—3,0. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет белый, часто с голубоватым, сероватым или красноватым оттенком; бесцветные прозрачные кристаллы. Черта белая. Немагнитный. Не люминесцирует. Прозрачный: $n_g = 1,614$; $n_m = 1,575$; $n_p = 1,570$; $n_g - n_p = 0,044$. Двуосный, положительный $2V = 42^\circ$. В HCl растворяется слабо. В порошке растворяется в H_2SO_4 .

Встречается в виде кристаллов, их обломков, таблитчатых или неправильных зерен, обычно без признаков окатанности. Химически неустойчив и легко разрушается. Происхождение — первичные месторождения ангидрита, приуроченные главным образом к осадочным породам. Спутники — гипс, барит, цеолиты, халцедон, кальцит, тальк.

От сходных с ним барита и целестина отличается оптическими свойствами (высоким двупреломлением) и более низкой плотностью.

АНГЛЕЗИТ — PbSO_4 . Сингония ромбическая; кристаллы таблитчатые или столбчатые. Обычно встречается вместе с церусситом в виде кристаллических корок на галените, в результате окисления которого он образуется. Твердость 2,5—3,0; весьма хрупкий. Плотность 6,1—6,4. Блеск алмазный, жирный. Бесцветный,

водяно-прозрачный; белый, сероватый, желтоватый. Немагнитный: $n_g = 1,894$, $n_m = 1,883$; $n_p = 1,877$; $n_g - n_p = 0,017$. Двусный, положительный. Растворяется в концентрированной H_2SO_4 лишь при нагревании; растворяется в KOH .

Минерал в шлихах редкий.

АНДАЛУЗИТ — $Al_2[SiO_4]O$. Иногда содержит примеси Mn , Fe и S . Сингония ромбическая. Обычно призматический (110), реже сплошной или неясностолбчатый (рис. 14). Спайность ясная

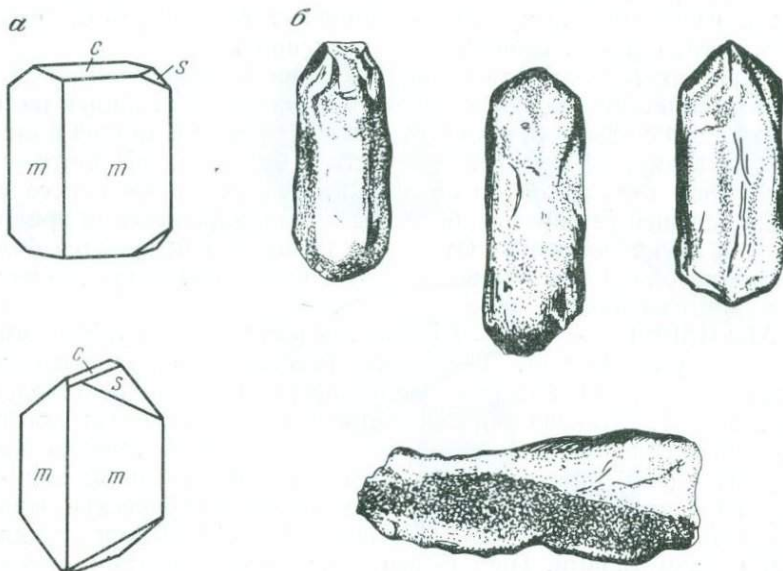


Рис. 14. Андалузит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

по (110), менее совершенная по (100) и реже по (010). Излом неровный или неяснораковистый. Твердость 7,5. Плотность 3,1—3,2. Блеск стеклянный. Цвет белый, розовый, красный, фиолетовый, бурый, зеленый, часто бесцветный. Черта бесцветная. Очень часто содержит включения графита, углистого вещества, слюды и магнетита. Немагнитный; разности, содержащие включения магнетита, могут попадать в электромагнитную фракцию. Плохой проводник электричества. Прозрачный; разности, содержащие большое количество включений, непрозрачны. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,639—1,647$; $n_m = 1,638—1,644$; $n_p = 1,629—1,640$, $2V = 75—86^\circ$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,007—0,011$. Оптически двусный, отрицательный. Прямое погасание параллельно ребру призмы. В некоторых разностях наблюдается сильный плеохроизм; n_p — розовый до кроваво-красного, n_m и n_g — бесцветный или бледно-желтый. В кислотах не растворяется. Легко сплавляется с $NaOH$ или Na_2CO_3 .

Встречается обычно в виде неправильных, окатанных или угловатых зерен; часто в виде серовато-бурых окатанных удлиненных призматических кристаллов, содержащих большое количество слюдистых включений. Происхождение — метаморфические породы (граниты, гнейсы, сланцы, кислые эффузивы); вторичные кварциты. Спутники — кианит, силлиманит, корунд, гранат, ставролит, топаз, турмалин, рутил, шпинель и др. Разновидности: манганандалузит — содержит примесь Mn, темно-зеленый, оптически положительный, $n_g = 1,69$, $n_p = 1,66$, плеохроизм — от желтого до зеленого; в и р и д и н — содержит примесь Fe и Mn, зеленый, оптические свойства сходны с манганандалузитом; х и а с т о л и т характеризуется закономерным расположением углистых включений, образующих в поперечном разрезе кристалла черный крест или клетки, подобные шахматной доске.

Определяется по призматической форме зерен, спайности, кроваво-красному плеохроизму и по включениям углистого и слюдистого вещества. От всех сходных с ним минералов отличается характерным розово-красным плеохроизмом. Кроме того, от топаза отличается наличием включений и отрицательным оптическим знаком; от флюорита — изотропностью последнего; от циркона — формой зерен, характером включений, более низким показателем преломления и другими оптическими свойствами; от бледноокрашенного турмалина — иным характером плеохроизма и по другим оптическим свойствам (турмалин одноосный).

АННАБЕРГИТ — $Ni_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$. Сингония моноклиная. Встречается в виде землистых масс, изредка образует призматические волосовидные кристаллы. Цвет зеленый; блеск стеклянный, матовый. Твердость 2,5—3,0. Плотность 3,0. Прозрачный: $n_g = 1,687—1,690$; $n_m = 1,658—1,660$; $n_p = 1,622—1,624$; $n_g - n_p = 0,065$. $2V = 84^\circ$. Оптически двуосный, отрицательный, слабо плеохроичный. В кислотах легко растворяется, дает реакции на As и Ni.

В шлихах встречается в виде тонкокристаллических или плотных землистых агрегатов, очень редко, лишь вблизи выходов первичного оруденения, содержащего арсениды никеля.

АНТИМОНИТ (синонимы—стибнит, сурьмяный блеск) — Sb_2S_3 . Иногда содержит примеси Au и Ag. Сингония ромбическая. Призматические кристаллы с вертикальной штриховкой, часто изогнутые и скрученные. Нередко встречается в спутанноволокнистых агрегатах или в радиально-лучистых скоплениях игольчатых кристаллов; реже пластинчатый и зернистый. Спайность по (010) весьма совершенная. Излом несовершеннораковистый. Твердость 2 (легко режется ножом). Плотность 4,5—4,6. Блеск металлический. Цвет свинцово-серый. Черта свинцово-серая. С поверхности обычно покрывается черной, реже радужной побежалостью. Немагнитный. Электричества не проводит. Непрозрачный. В HCl растворяется с выделением H_2S . В HNO_3 растворяется с выделением

белого осадка Sb_2O_5 . В концентрированной КОН разлагается с выделением оранжево-красного осадка сурьмяной сульфосоли.

Дает реакцию на Sb с родамином В. Из солянокислого раствора на цинковой пластинке в присутствии платины восстанавливается до металлической сурьмы.

Встречается в шлихах очень редко, только в непосредственной близости от коренных выходов. Обычно присутствует в виде мелких шестоватых или спутанноволокнистых агрегатов, реже в виде неправильных вытянутых пластинок. При раздавливании на предметном стекле дробится на тонкие иголки, благодаря совершенной спайности по удлинению кристаллов. Легко превращается в окисные минералы сурьмы — сервантит, сенармонтит, валентинит и др.

Происхождение — кварцево-сульфидные жилы в гранитных породах и кремнистых сланцах. Спутники — галенит, сфалерит, киноварь, пирит, барит, реальгар, аурипигмент.

Определяется по внешнему виду зерен. Проверяется химической реакцией на Sb. От сходных с ним по внешнему виду сульфидов — висмутина, арсенопирита и галенита — отличается химической реакцией на Sb.

АНТОФИЛЛИТ — $(Mg, Fe)_7[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$, ромбический амфибол. Иногда присутствуют значительные количества Al. Сингония ромбическая. Обычно таблитчатые, реже призматические кристаллы, часто образует волокнистые, лучистые и шестоватые агрегаты. Спайность по призме совершенная, по (010) менее совершенная. Излом неровный. Твердость 5,5—6. Плотность 2,8—3,2 (увеличивается с повышением содержания Fe). Блеск стеклянный. Цвет бурый различных оттенков, зеленый. Черта бесцветная. Магнитные свойства изменяются в зависимости от содержания Fe. Прозрачный. Показатель преломления изменяется в широких пределах в зависимости от химического состава минерала: для магнезиальной разности $n_g = 1,626—1,698$; $n_m = 1,615—1,668$; $n_p = 1,605—1,660$. $2V$ около 90° . Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,020—0,038$. Оптически двуосный, положительный. Иногда плеохроичный: n_g — бледный желтовато-зеленый; $n_m = n_p$ — буроватый. В кислотах не растворяется.

Встречается в шлихах в виде бледноокрашенных удлиненных, призматических, волокнистых или шестоватых зерен с резко выраженной спайностью по призме. Происхождение — кристаллические сланцы. Спутники — другие амфиболы и пироксены. Разновидность же *дрит*, содержит большие количества Fe и Al. Оптически отрицательный. По виду сходен с другими амфиболами и хризотил-асбестом. Определяется по оптическим свойствам.

АПАТИТ — $Ca_5(PO_4)_3F$ — фторапатит и $Ca_5(PO_4)_3Cl$ — хлорапатит. Содержит примеси: (OH), Mn, Nd, Pr, Ce, La и др.

Сингония гексагональная. Кристаллы призматического габитуса; оканчиваются обычно бипирамидной (1010) или базопинаклом (0001). Изредка таблитчатые кристаллы (рис. 15). Спай-

ность несовершенная по (0001) и (1010). Излом раковистый и неровный. Твердость 5. Плотность 3,17—3,23. Блеск стеклянный до слегка смолистого, иногда перламутровый. Цвет зеленоватый, синевато-зеленый; розовато-лиловый, серый; часто белый, бесцветный или бурый. Черта белая. Часто содержит мелкие включения, иногда жидкие и газообразные. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает яркой люминесценцией в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. Интенсивность и окраска люминесценции изменяются в широких пределах в зависимости от примесей. Показатель преломления: $n_0 = 1,632$ —

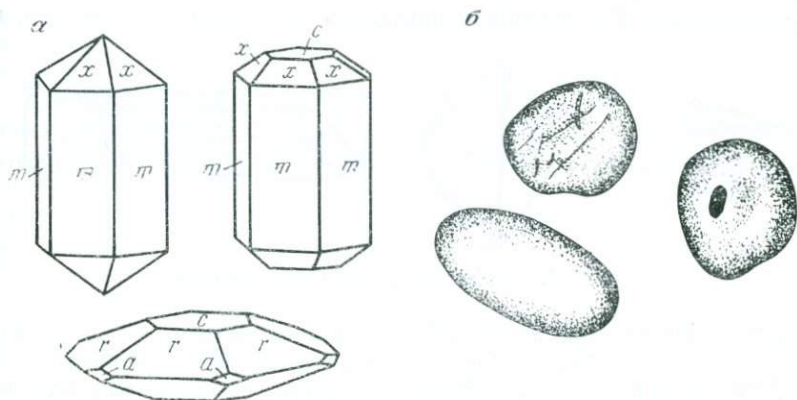


Рис. 15. Апатит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

1,667; $n_c = 1,630$ —1,664. Двупреломление низкое; $n_0 - n_z = 0,002$ —0,005. Одноосный, отрицательный; иногда дает псевдодвуосную фигуру. Темноокрашенные разности иногда слабо плеохроичны. Растворяется в HCl и HNO₃. При растворении в H₂SO₄ часто выделяется осадок CaSO₄, препятствующий дальнейшему растворению минерала. После растворения в HNO₃ дает реакцию на P с молибденовокислым аммонием.

Встречается обычно в окатанных призматических или округлых зернах. Часто сохраняется гексагональная призма. Поверхность зерен обычно неровная, матовая. Часто полупрозрачный благодаря наличию мелких внутренних трещин и включений; иногда включения располагаются ориентированно, главным образом параллельно главной оси кристалла. Происхождение — многие изверженные породы как кислые, так и основные, в особенности граниты, сиениты, габбро; метаморфизованные породы; перекристаллизованные известняки, сланцы, гнейсы, пегматитовые жилы в гранитах. Спутники — обычно турмалин, слюда, берилл, топаз, сфен, железные минералы, флюорит. Если происходит из метаморфизованных известковых пород, спутниками являются:

сфен, амфиболы, гранат, циркон, пироксен, везувиан. Разновидности: **к о л л о ф а н** — скрытокристаллическая или аморфная разновидность, обладающая более низкими твердостью и плотностью (2,6—3,0), часто попадает в легкую фракцию; **м а н г а н а п а т и т** — содержит до 11% MnO , бесцветный или зеленый.

Определяется по форме и окраске зерен. Если сохраняет гексагональную призму, то по ней легко отличается от других минералов. Проверяется по оптическим свойствам под микроскопом и химической реакцией на фосфор. В окатанных зернах по внешнему виду часто сходен с кварцем, флюоритом, гранатом, турмалином, бериллом. От всех них отличается легкой растворимостью в HNO_3 и реакцией на P с молибденовокислым аммонием. Кроме того, от

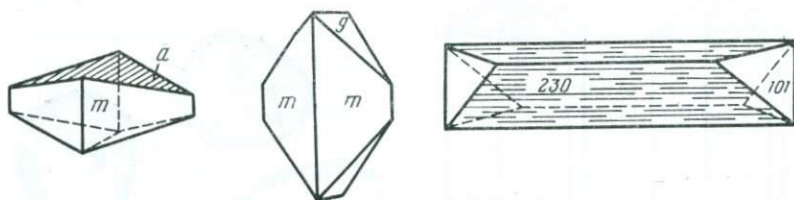


Рис. 16. Арсенипирит. Формы кристаллов

кварца и берилла отличается большей плотностью; от флюорита и граната — анизотропностью и показателем преломления.

АРГЕНТИТ — Ag_2S . Обычно содержит примеси Cu , Pb , Fe , Sb , Bi и др. Сингония кубическая; образует несовершенные кубические кристаллы, иногда дендриты. Твердость 2—2,5; ковкий. Плотность 7,2—7,4. Блеск в свежем изломе металлический, но поверхность излома быстро темнеет и покрывается черным порошковатым налетом. Цвет свинцово-серый до железно-черного. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 с выделением серы; от прибавления к раствору соляной кислоты выделяется белый творожистый осадок $AgCl$, растворимый в аммиаке.

Встречается в шлихах очень редко, лишь в ассоциации с другими минералами серебра.

АРСЕНИПИРИТ (синонимы — миспикель, мышьяковый колчедан) — $FeAsS$. Иногда часть Fe замещена Co . Сингония моноклинная. Кристаллы призматические по (110), с характерной штриховкой на гранях (рис. 16). Изредка тонкопластинчатый, псевдодипирамидальный или в бесформенных зернах. Часто образует крестообразные двойники. Спайность по (110) ясная. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 5,5—6. Плотность 5,9—6,2. Блеск металлический. Цвет серебристо-белый до стально-серого. Черта серовато-черная. Немагнитный, но при выветривании и окислении обычно покрывается налетом окислов железа и тогда при магнитной сепарации попадает в электромагнитную фракцию. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 с выделением серы. Раствор дает реакцию на As с молибденовокислым аммонием.

Встречается в шлихах редко, лишь вблизи коренных месторождений мышьяковых руд. Присутствует обычно в виде пластинчатых кристаллов или в виде вытянутых псевдоромбоэдров с поперечной штриховкой на гранях; также в виде неправильных зерен. С поверхности покрывается черным налетом. Превращается в окисные соединения мышьяка.

Происхождение — коренные месторождения арсенопирита. Спутники — касситерит, вольфрамит, галенит, сфалерит, пирит, медные и серебряные руды.

Определяется по внешнему виду кристаллов, иногда по черному налету на гранях; проверяется химической реакцией с молибденово-кислым аммонием. От сходных с ним сульфидов — галенита, антимонита, висмутита — отличается с помощью химической реакции на As.

АУРИПИГМЕНТ As_2S_3 . Сингония моноклиная. Кристаллы мелкие, редко хорошо образованные. Обычно в листоватых или неправильных зернах. Спайность по (010) весьма совершенная. Твердость 1,5—2. Плотность 3,4—3,5. Блеск смолистый, на плоскостях спайности перламутровый. Цвет желтый. Черта желтая. Немагнитный. Электричества не проводит. Полупрозрачный. Показатель преломления очень высокий: $n_g = 3,0$; $n_m = 2,8$; $n_p = 2,4$; $2V = 70^\circ$. Двупреломление очень высокое: $n_g - n_p = 0,6$. Оптически двусный, положительный. Сильная дисперсия $r > v$. Растворяется в HNO_3 и KOH. Дает реакцию на As с молибденово-кислым аммонием.

Встречается в шлихах очень редко, обычно в виде тонких чешуйчатых кристаллов или мягких листочков с неровными краями. Происхождение — образуется в результате изменения реалгара и других мышьяковых минералов. Спутники — реалгар, самородный мышьяк, антимонит, барит, кальцит, пирит.

Определяется по золотисто-желтой окраске и чешуйчатой форме зерен. Проверяется химической реакцией на As. По внешнему виду сходен лишь с торолитом, от которого отличается растворимостью в HNO_3 и химической реакцией на As.

БАДДЕЛЕИТ — ZrO_2 . Обычно содержит небольшое количество SiO_2 , TiO_2 , окислов железа и окиси гафния; иногда UO_2 и ThO_2 . Сингония моноклиная. Таблитчатые кристаллы. Спайность совершенная по (001), несовершенная по (010). Излом раковистый до неровного. Твердость 6—7. Плотность 5,0—6,02. Блеск стеклянный, смолистый. Цвет желтый, бурый, черный; реже бесцветный. Черта белая или буроватая. Иногда содержит включения железистых минералов. Немагнитный. Непроводник электричества. Показатель преломления очень высокий: $n_g = 2,20$; $n_m = 2,19$; $n_p = 2,13$; $2V = 30^\circ$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,07$. Двусный, отрицательный, $cn_g = 10-13^\circ$. Дисперсия сильная, $r > v$. Плеохроирует в зеленовато-желтых и бурых тонах. В HCl и HNO_3 не растворяется, H_2SO_4 разлагает с трудом. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Zr.

Встречается в шлихах редко, обычно в плотных массах и желваках с волокнистым строением, реже в виде окатанных табличчатых кристаллов или в неправильных зернах бурого или желтого цвета. Происхождение — щелочные и ультраосновные породы ряда якупирангит — пироксенит; карбонатиты; нефелиновые сиениты. Спутники — циркон, перовскит, рутил, анатаз, апатит, магнетит, ильменит, турмалин, амфиболы и пироксены.

Определяется по форме, окраске, высоким показателям преломления и плотности. Проверяется химическим анализом.

БАРИТ (синоним — тяжелый шпат) $BaSO_4$. Сингония ромбическая. Кристаллы обычно табличчатые по (001) или призматические, вытянутые по (010), с хорошо развитыми гранями (102)

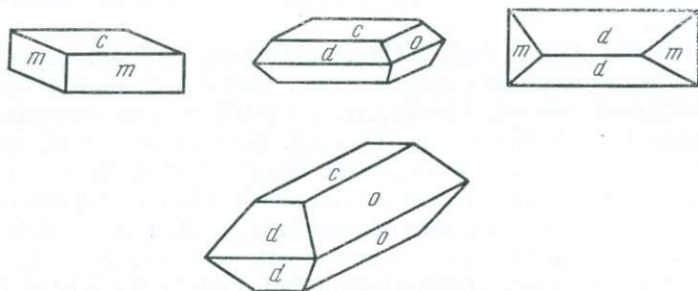


Рис. 17. Барит. Формы кристаллов

(рис. 17). Часто сферические агрегаты, поперечный разрез которых обнаруживает их радиально-лучистое строение. Иногда волокнистый. Спайность совершенная по (001) и (110). Излом неровный. Хрупкий. Твердость 2,5—3,5. Плотность 4,3—4,7. Блеск стеклянный, перламутровый, иногда матовый. Цвет белый, синеватый, желтый; чаще бесцветный. Черта белая. Часто содержит включения железных минералов. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Люминесцирует в катодных лучах фиолетовым, в рентгеновских лучах — зеленым, в ультрафиолетовых лучах — фиолетовым, желтым или розовым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Высокий показатель преломления: $n_g = 1,648$; $n_m = 1,637$; $n_p = 1,636$. $2V = 37^\circ$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,012$. Оптически двуосный, положительный. Призматические зерна дают прямое погасание. В кислотах не растворяется, смоченный HCl окрашивает пламя в зеленый цвет. Дает реакцию на Ba.

Встречается обычно в виде угловатых зерен неправильной формы или в прямоугольных пластинках по спайности. Зерна редко бывают окатанными. Происхождение — баритовые жилы. Песчаники, в которых барит играет роль цементирующей среды. Металлоносные жилы обычно с рудами Pb, Cu, Fe, Zn, Ag, Hg и др. Спутники — галенит, сфалерит, флюорит, минералы марганца.

Определяется по высокой плотности, угловатой форме зерен и неравномерному блеску. Проверяется по оптическим свойствам

под микроскопом, по нерастворимости в кислотах и химической реакции на Ва. По внешнему виду часто сходен со многими бесцветными минералами шлихов. Отличается от всех, кроме шеелита, высокой плотностью и оптическими свойствами. От кальцита, с которым он часто присутствует совместно, отличается нерастворимостью в кислотах.

БАСТНЕЗИТ — $(Ce, La, Pr...) [Co_3]F$ — фторокарбонат металлов цериевой группы. Содержит также Y и Er. Сингония тригональная. Призматические или таблитчатые кристаллы. Спайность по (0001). Твердость 4—4,5. Плотность 4,47—5,18. Блеск стеклянный. Цвет восково-желтый, красноватый, бурый. Показатель преломления высокий: $n_e = 1,818—1,824$; $n_o = 1,717—1,722$. Дву-

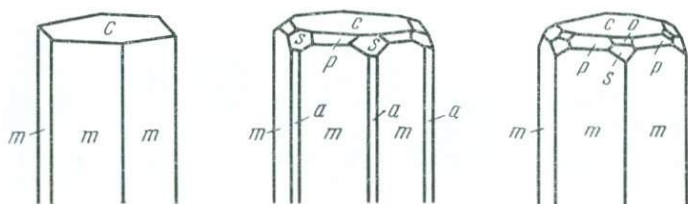


Рис. 18. Берилл. Формы кристаллов

преломление очень высокое: $n_e - n_o = 0,101—0,102$. Одноосный положительный. Слабо плеохроирует. Легко с шипением растворяется в HCl.

Встречается в шлихах очень редко в виде хорошо окатанных зерен.

БЕНИТОИТ — $BaTi[Si_3O_9]$. Сингония тригональная. Кристаллы пирамидального или таблитчатого облика. Спайность несовершенная по (1011). Твердость 6—6,5. Плотность 3,65. Блеск стеклянный. Цвет голубой, синий, красный, иногда бесцветный. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_e = 1,804$, $n_o = 1,757$. Двупреломление высокое: $n_e - n_o = 0,047$. Оптически одноосный, положительный. Окрашенные разности плеохрончны: n_e — бесцветный; n_o — темно-синий, пурпурный. Растворим только в HF.

Минерал очень редкий. Встречается в виде неправильных зерен или ромбоэдрических кристаллов. Определяется по синей окраске зерен. Проверяется по оптическим свойствам. От сходного с ним сапфира отличается по твердости и оптическим свойствам.

БЕРИЛЛ — $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$. Иногда содержит примеси Li_2O , Cs_2O , Na_2O и H_2O . Сингония гексагональная. Кристаллы обычно призматические, часто с вертикальной штриховкой на гранях призмы (рис. 18). Спайность несовершенная по (0001). Излом раковистый, неровный. Хрупкий. Твердость 7,5—8. Плотность 2,63—2,91. Блеск стеклянный, иногда смолистый. Цвет зеленый, желтый, белый, реже синий, красный. Черта белая. Немагнитный. Плохой проводник электричества. В катодных лучах слабо люминесцирует голубым цветом, в рентгеновских лучах — желтым,

в ультрафиолетовых лучах — фиолетовым. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления изменяется в зависимости от содержания щелочей. $n_o = 1,568—1,602$; $n_e = 1,564—1,595$. Двупреломление низкое: $n_o - n_e = 0,004—0,008$. Оптически одноосный, отрицательный; иногда аномально двуосный. Обладает слабым плеохроизмом. В кислотах не растворяется, кроме плавиковой. Простой реакции для химического определения Ве нет.

Встречается в виде неправильных угловатых осколков, окатанных призматических кристаллов, часто с вертикальной штриховкой на гранях призмы, иногда в виде окатанных округлых зерен в легкой фракции вместе с кварцем и другими легкими минералами. Происхождение — гранитные пегматиты, грейзены, аль-



Рис. 19. Биотит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

битизированные граниты. Спутники — турмалин, касситерит, топаз, хризоберилл, гранат, рутил, фенацит, дымчатый кварц, полевые шпаты. Разновидности: *аквамарин* — голубовато-зеленый берилл, употребляемый в качестве драгоценного камня; *изумруд* — изумрудно-зеленый берилл, окрашенный, очевидно, незначительными примесями Cr; *воробьевит*, или *морганит*, — розовый берилл; *ростерит* — таблитчатый или короткопризматический берилл, бесцветный до бледно-розового.

Определяется по гексагональной призматической форме зерен, обычно зеленой окраске, слабому плеохроизму и пленочной реакции с хинализиарином. По внешнему виду сходен с апатитом и зеленым турмалином, от которых отличается более низкой плотностью и большей твердостью. От хризоберилла отличается по форме и оптическим свойствам. От кварца, с которым выделяется вместе в легкой фракции, отличается более высокими показателями преломления и оптическим знаком.

БИОТИТ — силикат алюминия, магния, железа и калия, отвечающий в основном формуле $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}][OH, F]_2$. Сингония моноклинная. Таблитчатые или короткопризматические кристаллы с совершенной спайностью по (001) (рис. 19). Излом неровный. Твердость 2,5—3,0. Плотность 2,7—3,1. Блеск стеклянный, перламутровый, жирный. Цвет темно-зеленый, бурый до черного. Черта бесцветная. Часто содержит включения циркона, ксенотима, ортита, рутила, анатаза, монацита и других минералов,

вокруг которых при изучении под микроскопом наблюдаются плеохроичные дворики. Среднемагнитный. Умеренный проводник электричества. Прозрачный до непрозрачного. Показатель преломления низкий и изменяется в зависимости от химического состава: $n_g = n_m = 1,60-1,66$; $n_p = 1,56-1,60$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,04-0,06$. Оптически двусосный, отрицательный; $2V$ обычно весьма мал и минерал часто дает одноосную интерференционную фигуру. Плеохроизм сильный: n_p — бесцветный, светло-желтый; $n_m = n_g$ — темно-бурый, красно-бурый, зеленый. В HCl и HNO₃ не растворяется; разлагается H₂SO₄ с выделением тонкого порошка SiO₂.

При промывке шлихов часто смывается вместе с легкими минералами вследствие чешуйчатой формы и небольшой плотности. Встречается в шлихах в виде пластинчатых шестигранных кристаллов с весьма совершенной спайностью по базопинакoidу (001). Часто края пластинок неровные, зазубренные. При надавливании иглой расщепляется по спайности на более тонкие пластинки. Иногда в результате совершенной спайности пластинки слюды несколько расщепляются и имеют вид полураскрытой книги. Иногда отмечается частичное замещение хлоритовым веществом, образующим светлую оторочку по краям минерала.

Происхождение — различные изверженные и метаморфические породы. Пегматитовые жилы. Спутники — весьма разнообразны, зависят от источников происхождения.

Определяется по характерному внешнему виду и совершенной спайности. Обычно наблюдаемые в препаратах из шлихов пластинки по спайности, параллельные (001), не плеохроичны, обладают низким двупреломлением и одноосной фигурой.

ВИСМИТ — Bi_2O_3 , возможно, с некоторым количеством воды. Сингония гексагональная. Встречается в порошковатых, землистых массах. Плотность 4,36. Цвет соломенно-желтый, серовато-зеленый, белый, $n_o = 2,01$; $n_e = 1,82$. Двупреломление очень высокое; $n_o - n_e = 0,19$. Оптически одноосный, отрицательный.

Минерал вторичный — продукт разложения сернистых соединений и самородного висмута.

Встречается в шлихах очень редко, вместе с другими минералами висмута и золотом.

ВИСМУТИТ — $\text{Bi}_2[\text{CO}_3] (\text{OH})_4$. Аморфный. Волокнистые корочки или скрытокристаллические, землистые разности. Твердость 4. Плотность 7,0—7,4. Блеск матовый. Цвет серый, грязно-зеленый, желтый. Черта белая. Часто содержит включения висмутита или самородного висмута, в результате разложения которых он образовался. Немагнитный. Непрозрачный. В мелких осколках иногда просвечивает. $n = 2,15-2,28$. В кислотах растворяется с выделением CO₂. Дает реакцию на Bi.

Встречается в шлихах редко в виде шестоватых и натечных образований или неправильных окатанных зерен грязно-зеленого цвета. Происхождение — вторичный минерал, образующийся

главным образом при окислении висмутина или самородного висмута. Спутники — висмутин, самородный висмут, арсенопирит, вольфрамит, топаз, касситерит, колумбит.

Определяется по шестоватой или натечной форме зерен, по характерной грязно-зеленой окраске и по мелким серым включениям висмутина и самородного висмута, часто сохраняющимися внутри бисмутита. Проверяется по растворимости в HCl и реакции на Bi с цинхонином.

БЛОМСТРАНДИН-ПРИОРИТ — (Y, Er, Ce, Ca, Th, U...) × (Ti, Nb...)₂O₆. Отношение Nb₂O₅ : TiO₂ изменяется от 1 : 2 (в приорите) до 1 : 6 (в бломстрандине). Содержит от 2 до 5% UO₂ и от 1 до 8% ThO₂. Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые по (010), реже призматические. Спайности не наблюдается. Излом полураковистый. Твердость 5,5. Плотность 4,88—5,05. Блеск с поверхности матовый, в свежем изломе алмазный или жирный. Цвет — буро-черный, в тонких осколках желто-бурый. Черта желтая. Электромагнитный. Радиоактивный. Непрозрачный: в тонких осколках просвечивает. Изотропный. *n* около 2,14—2,28. В HCl разлагается частично; в H₂SO₄ совершенно, но при этом выделяется белый осадок земельных кислот. Крупные зерна минерала при кипячении с H₂SO₄ покрываются белой пленкой. Серноокислый раствор дает реакцию на (Nb, Ta)₂O₅ с таннином.

Встречается в шлихах очень редко, в виде таблитчатых кристаллов или в неправильных зернах, обычно с поверхности покрытых желтоватым налетом. Происхождение — пегматитовые жилы. Спутники — тантало-ниобаты, касситерит.

Определяется по буро-черной окраске и желтоватому налету на поверхности. Проверяется химической реакцией на Nb и Ti и по растворимости в H₂SO₄. От сходных с ним по внешнему виду самарскита и фергюсонита отличается наличием большого количества Ti. От других тантало-ниобатов часто может быть отличен только с помощью количественного химического анализа.

БОРНИТ — Cu₅FeS₄. Сингония кубическая. Неправильные зерна, угловатые или слабо окатанные. Непрозрачный; в свежем изломе медно-красный, с поверхности покрывается яркой пестрой побежалостью. Твердость 3. Плотность 4,9—5,2. Растворяется в HNO₃ с выделением серы; раствор дает реакции на Cu и Fe.

Встречается в шлихах исключительно редко.

БРАННЕРИТ — (U, Ca, Fe³⁺)Ti₂O₆ ? формула точно не установлена. Сингония тетрагональная или ромбическая. Образует призматические кристаллы. Излом раковистый. Твердость 4,5. Плотность 4,50—5,43. Цвет черный. Черта зеленовато-бурая. Слабомагнитный. Сильно радиоактивный. Непрозрачный. В тонких осколках имеет темно-бурый цвет и просвечивает. *n* = 2,30. В кислотах не растворяется, дает реакцию на Ti и U после сплавления.

Встречается в шлихах очень редко в окатанных призматических кристаллах черного цвета с темной зеленовато-бурой чертой.

Определяется по внешнему виду. Проверяется химической реакцией на U и Ti.

БРАУНИТ — $Mn^{2+}Mn^{4+}O_3$ или Mn_2O_3 . Сингония тетрагональная. Встречается в бипирамидах или в неправильных зернах. Спайность по (111) совершенная. Излом неровный до неяснораковистого. Хрупкий. Твердость 6—6,5. Плотность 4,75—5,0. Блеск полуметаллический. Цвет и черта буровато-черные, стально-серые. Немагнитный. Непрозрачный. В HCl растворяется с выделением хлора и окрашивает раствор в темно-бурый цвет. Сплав с содой окрашен в зеленый или голубой цвет. Дает реакцию на Mn.

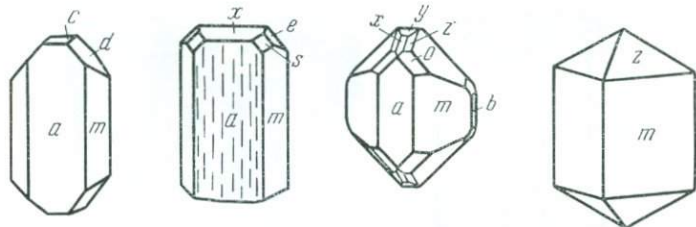


Рис. 20. Брукит. Формы кристаллов

Встречается в шлихах редко в виде черных зерен неправильной формы. Обычно вторичного происхождения. Спутники — минералы марганца, барит, лимонит.

Определяется по внешнему виду, по растворимости в HCl и химической реакции на Mn.

БРУКИТ — TiO_2 . Сингония ромбическая. Кристаллизуется в таблитчатых по (100) или в пирамидальных кристаллах. Реже призматические кристаллы (рис. 20). Грани (100) и (010) часто иштрихованы параллельно вертикальной оси. Спайность слабая по (100). Излом раковистый или неправильный. Хрупкий. Твердость 5,5—6. Плотность 3,87—4,08. Блеск жирный, стеклянный или металлоидный. Цвет бурый, желтый, серый. Черта бесцветная. Немагнитный. Умеренный проводник электричества. Прозрачный до просвечивающего. Очень высокий показатель преломления: $n_g = 2,644—2,827$; $n_m = 2,586$; $n_p = 2,541—2,681$. Угол оптических осей изменяется в широких пределах. Двупреломление очень высокое: $n_g - n_p = 0,103—0,146$. Оптически двусосный, положительный. Многие кристаллы ни при каких положениях полностью не погасают. Оптические свойства брукита аномальны. Плоскость оптических осей параллельна (001) в красном и желтом свете и параллельна (010) в зеленом и синем свете; в белом свете интерференционная фигура ненормальна и состоит из групп чрезвычайно рассеянных двусосных фигур, расположенных под прямым углом друг к другу. Иногда прямое погасание параллельно ребру призмы. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ и растворения сплава в разбавленной H_2SO_4 дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Встречается в шлихах в виде пластинок характерного бурого или желтого цвета; иногда сохраняется штриховка, параллельная удлинению кристалла. Происхождение — жилы альпийского типа, залегающие в кислых изверженных или метаморфических породах. Образуется из ильменита и других титанистых минералов. Спутники — ильменит, рутил, анатаз, сфен, циркон, монацит, гранат.

Прозрачные разности определяют по оптическим свойствам, непрозрачные зерна — по цвету, форме, блеску и штриховке. По внешнему виду сходен с анатазом, рутилом и сфеном, от которых отличается оптическими свойствами. Иногда сходен с касси-

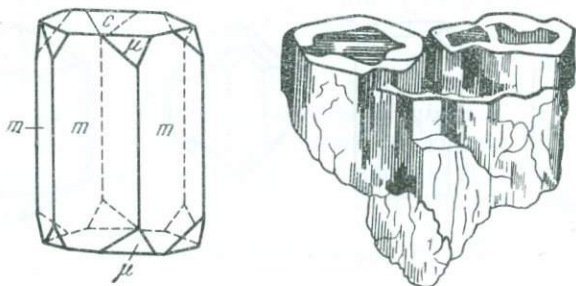


Рис. 21. Ванадинит. Формы кристаллов

теритом, от которого отличается отсутствием металлического налета после восстановления на цинковой пластинке с HCl.

БУСТАМИТ — $(Ca, Mn)_3[Si_3O_9]$. Сингония триклинная. Зернистые или радиально-шестоватые агрегаты кристаллов. Твердость 5,5—6. Плотность 3,1—3,4. Блеск стеклянный. Цвет белый, зеленоватый, сероватый. $n_g = 1,674—1,707$; $n_m = 1,674—1,705$; $n_p = 1,660—1,692$; $n_g - n_p = 0,014$. Двусный отрицательный. $2V = 44—60^\circ$. В кислотах не растворяется.

В шлихах встречается очень редко.

ВАНАДИНИТ — $Pb_5[VO_4]_3Cl$. В небольших количествах присутствует Р и As, замещающие V. Сингония гексагональная. Кристаллы призматические, иногда пещеристые — в виде полых призм (рис. 21). Натечные корки. Излом неровный, плоскораковистый. Хрупкий. Твердость 2,5—3. Плотность 6,66—7,10. Блеск на свежем изломе смолистый. Цвет красный, желтый, бурый. Черта белая или желтоватая. Немагнитный. Полупрозрачный. Показатель преломления очень высокий: $n_o = 2,370—2,505$; $n_e = 2,318—2,423$. Двупреломление высокое. Оптически одноосный, отрицательный. Растворяется в HNO_3 и HCl. Растворы дают реакцию на Рb и V.

Встречается в шлихах очень редко, только вблизи коренных месторождений. Присутствует обычно в виде неправильных хрупких зерен, изредка сохраняются призматические кристаллы с характерными углублениями на концах. Происхождение — корен-

ные месторождения свинцово-цинковых и полиметаллических руд. Спутники — вульфенит, галенит, пироморфит и др.

Определяется по окраске, характерному внешнему виду кристаллов, растворимости в кислотах и реакциям на Pb и V. От сходного с ним по виду вульфенита отличается реакцией на V и отрицательной реакцией на Mo.

ВЕЗУВИАН (синоним — идокраз) — $\text{Ca}_{10}\text{Al}_4(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)_5 \times (\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH}, \text{F})_4$. Могут присутствовать Ti и В. Сингония тетрагональная. Образует призматические или пирамидальные кристаллы (рис. 22), также шестоватые, радиально-лучистые или неправильные образования. Спайность неясная по (110), еще более слабая по (100) и (001). Излом раковистый. Твердость 6,5. Плот-

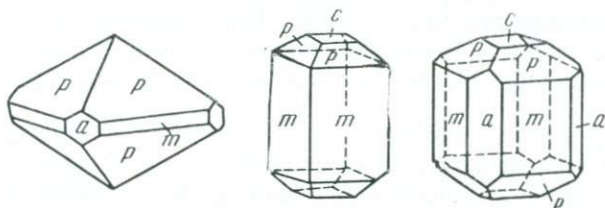


Рис. 22. Везувиан. Формы кристаллов

ность 3,34—3,44. Блеск стеклянный. Цвет бурый, зеленый, красный, голубой, реже желтый. Черта белая. Немагнитный или слабомагнитен. Слабый проводник электричества. Люминесценцией не обладает. Полупрозрачный до просвечивающего. Высокий показатель преломления: $n_o = 1,705—1,732$; $n_e = 1,701—1,726$. Двупреломление низкое: $n_o - n_e = 0,001—0,006$. Оптически одноосный, отрицательный, но иногда положительный. Изредка аномально двусосный с изменяющимся углом оптических осей. Плеохроизм изменчивый: в зеленых разностях — от желто-зеленого до бесцветного, в коричневых — от желто-бурого до буровато-серого, в синих — от темно-синего до бесцветного, в красных — от красного до бесцветного или серого. Частично разлагается в HCl.

Обычно встречается в виде призматических или неправильных окатанных зерен бурого или зеленовато-бурого цвета со слабым плеохроизмом. Происхождение — известняки, измененные контактовыми процессами; кристаллические сланцы, гнейсы, пегматиты. Спутники — кальцит, гроссуляр, флогопит, диопсид, волластонит, эпидот, амфиболы, авгит, скаполит. Разновидности: в и л ю и т — буровато-зеленые кристаллы, оптически положительные и аномально двусосные; содержит значительные количества В; ц и п р и н — голубая разновидность, содержащая Si или Fe.

Определяется обычно по бурой и зеленовато-бурой окраске, слабому плеохроизму, высокому показателю преломления и слабому двупреломлению. По внешнему виду сходен с некоторыми бурыми разностями граната, турмалином, цоизитом и эпидотом,

от которых отличается оптическими свойствами (гранат — изотропный, у турмалина более низкий показатель преломления, эпидот обычно имеет несколько более высокий показатель преломления и высокое двупреломление).

ВИСМУТ — Bi с примесью незначительных количеств As , S , Fe , Sb и др. Тригональной сингонии. Древовидные, листоватые или неправильные зерна. Ковкий. Твердость 2,5. Плотность 9,8. Блеск металлический. Цвет и черта серебристо-белые с красноватым оттенком и побежалостью. Немагнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 , H_2SO_4 и HCl . Дает реакцию на Bi с цинхоном и иодистым калием.

Встречается в шлихах очень редко, лишь в виде мелких включений в бисмутите. Происхождение — жилы в граните, гнейсе и других кристаллических породах. Сопровождает руды Co , Ni , Ag , Sn . Спутники — бисмутит, топаз, галенит, касситерит. С поверхности покрывается черным налетом. Постепенно превращается в бисмутит.

Определяется по внешнему виду и постоянной ассоциации с бисмутитом. От сходных с ним по внешнему виду свинца, серебра и других металлов отличается реакцией на Bi с цинхоном.

ВИСМУТИН (синонимы — висмутовый блеск, бисмутинит) — Bi_2S_3 . Иногда содержит примеси Cu и Fe . Сингония ромбическая. Образует призматические кристаллы с продольной штриховкой граней; чаще массивный, реже листоватый или волокнистый. Спайность по (010) совершенная. Твердость 2, легко режется ножом. Плотность 6,4—6,6. Блеск металлический. Цвет свинцово-серый, оловянно-белый с желтоватой или радужной побежалостью. Черта свинцово-серая или оловянно-белая. Немагнитный. Электричества не проводит. Непрозрачный. Легко растворяется в горячей HNO_3 , при разбавлении раствора водой выделяется белый осадок основной соли. Дает реакцию на Bi с цинхоном и KI .

Встречается в шлихах очень редко в виде серых шестоватых или волокнистых зерен, покрытых с поверхности пленкой зеленовато-серого бисмутита. Происхождение — коренные месторождения висмутина в кварцевых или золото-кварцевых жилах; серебро-кобальто-никелевые гидротермальные месторождения. Спутники — бисмутит, магнетит, гранат, кальцит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, касситерит, вольфрамит, флюорит.

Определяется по внешнему виду и химической реакции на Bi . Присутствие бисмутита служит подтверждением правильности определения.

ВОЛЛАСТОНИТ — $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$. Сингония триклинная. Кристаллы таблитчатые по (100) или (001), короткопризматические (рис. 23). Спайность по (100) совершенная, по (001) и (101) менее совершенная. Излом неровный. Твердость 4,5—5. Плотность 2,78—2,91. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Цвет белый, серый, желтый, красный, бурый. Черта белая. Немагнитный. Непроводник электричества. В катодных и ультра-

фиолетовых лучах обладает яркой желтой или голубовато-зеленой люминесценцией, в рентгеновских лучах — желтой или фиолетовой люминесценцией. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,631—1,635$; $n_m = 1,623—1,633$; $n_p = 1,616—1,621$. $2V$ около 40° . Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,014—0,017$. Оптически двуосный, отрицательный. Отчетливая дисперсия $r > v$. В HCl разлагается с выделением SiO_2 .

В шлихах встречается редко в виде бесцветных округлых или таблитчатых зерен или призматических кристаллов. Происхождение — метаморфизованные известняки. Спутники — кальцит, гранат, диопсид, эпидот, цоизит.

Определяется по спайности и оптическим свойствам (показателю преломления, среднему двупреломлению и отсутствию плеохроизма).

ВОЛЬФРАМИТ — $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$. Сингония моноклиная. Кристаллы таблитчатые по (100) или призматические. В призматических кристаллах на гранях призмы часто наблюдается вертикальная штриховка (рис. 24). Двойники по (100) и (023). Спайность

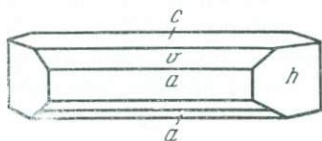


Рис. 23. Волластонит. Форма кристаллов

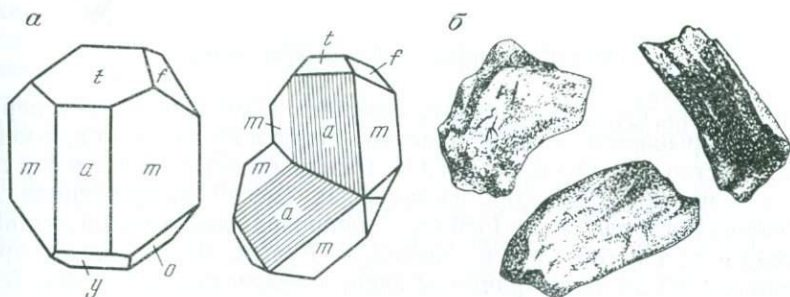


Рис. 24. Вольфрамит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

весьма совершенная по (010), менее совершенная по (100) и (102). Излом неровный. Хрупкий. Твердость 4,5—5,5. Плотность 6,7—7,5. Блеск металлический. Цвет темно-серый, буровато-черный. Черта черная, для марганцовистых разновидностей буровато-черная. Умеренно магнитный, попадает в электромагнитную фракцию. Хороший проводник электричества. Непрозрачный, но в тонких осколках просвечивает. Показатель преломления очень высокий: $n = 2,17—2,46$ (для литиевого света). Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,15—0,16$. Оптически двуосный, положительный. $2V$ большой. Частично растворяется в H_2SO_4 и HCl. Раствор становится синим от прибавления SnCl_2 или металлического цинка. При разбавлении водой синяя окраска исчезает. При сплавлении

минерала со смесью Na_2CO_3 и KNO_3 образуется зеленый или голубовато-зеленый сплав, раствор которого в воде, после отфильтрования осадка и подкисления, дает реакцию на W с родамином В.

Встречается обычно в виде таблитчатых или призматических окатанных кристаллов; часто в виде таблитчатых осколков по плоскостям спайности. В свежем изломе характеризуется наличием своеобразных красноватых внутренних рефлексов. Благодаря совершенной спайности и хрупкости легко разрушается при перемещении, но сростки вольфрамит с кварцем могут переноситься на большое расстояние. Происхождение — кварцевые жилы, грейзены, пегматиты. Спутники — касситерит, шеелит, танталит — колумбит,

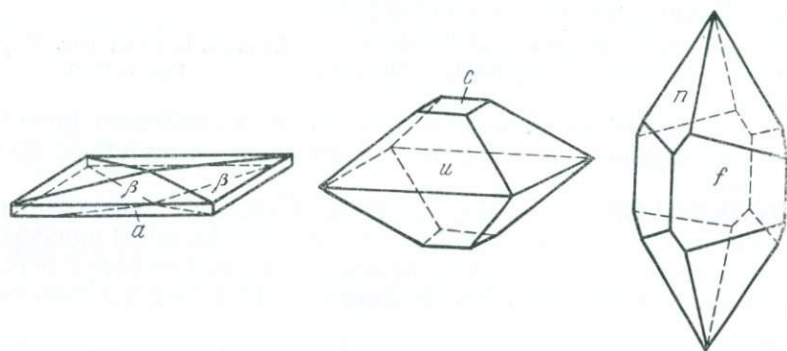


Рис. 25. Вульфенит. Формы кристаллов

пирит, топаз, турмалин, апатит, флюорит. Изменения — с поверхности покрывается бурым налетом ферритунгстита, имеющего состав $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{WO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Разновидности: в о л ь ф р а м и т — непрерывный ряд изоморфных смесей от ферберита до гюбнерита; ф е р б е р и т FeWO_4 — непрозрачный, черный, сильно магнитный; г ю б н е р и т MnWO_4 — бурый, буро-черный; просвечивающий до непрозрачного; очень слабомагнитный или совершенно немагнитный; иногда плеохроичный.

Определяется по таблитчатой форме, совершенной спайности и характерным красным рефлексам на свежем изломе. Проверяется по зеленой окраске сплава со смесью Na_2CO_3 и KNO_3 и химической реакцией на W. От сходного с ним по внешнему виду гематита отличается химической реакцией на W. От других черных минералов отличается хорошей спайностью, внутренними рефлексами и химической реакцией на W.

ВУЛЬФЕНИТ — PbMoO_4 ; Pb иногда замещается Ca. Сингония тетрагональная. Кристаллы таблитчатые, иногда исключительно тонкие; реже дипирамидальные или призматические (рис. 25). Встречаются также неправильные крупно- или мелкозернистые образования. Спайность по (111) ясная, по (001) и (113) менее отчетливая. Излом неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 2,5—3. Плотность 6,3—7,0. Блеск алмазный, смолистый. Цвет желтый

различных оттенков, реже зеленоватый, сероватый, бурый. Черта белая. Немагнитный. Обладает красной или желтой люминесценцией в катодных и ультрафиолетовых лучах. Полупрозрачный. Показатель преломления очень высокий: $n_o = 2,40-2,45$; $n_e = 2,28-2,31$. Двупреломление высокое: $n_o - n_e = 0,12$. Оптически одноосный, отрицательный, иногда аномально двуосный. Разлагается при нагревании с HCl или концентрированной H_2SO_4 . Дает реакцию на Pb с иодистым калием и на Mo с ксантогеново-кислым калием.

Встречается в шлихах очень редко в виде неправильных зерен или таблитчатых и пирамидальных полуразрушенных кристаллов, обладающих сильным блеском и яркой окраской. Происхождение — зона окисления свинцово-цинковых месторождений. Спутники — галенит, церуссит, ванадинит.

Определяется по характерному внешнему виду и растворимости в кислотах. Проверяется химической реакцией на Pb и Mo. От сходного с ним по внешнему виду ванадинита отличается положительной реакцией на Mo и отрицательной на V.

ГАДОЛИНИТ — $Y_2Fe^{2+}Be_2Si_2O_{10}$. Может содержать значительные количества Ce, изоморфно замещающего Y. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические с базопинакоидом или остропирамидальными концами. Часто неправильные выделения. Спайность не наблюдается. Излом раковистый, занозистый. Хрупкий. Твердость 6,5—7. Плотность 4—4,65. Блеск стеклянный до смолистого. Цвет зеленовато-черный, черный, бурый. Черта зеленовато-серая. Часто содержит включения, вероятно, редких земель. Слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Просвечивающий до непрозрачного. Показатель преломления высокий и значительно колеблется: $n = 1,77-1,82$; $2V = 85^\circ$. Двупреломление низкое, некоторые разности совершенно изотропны. Оптически двуосный, положительный. sp_g в зеленых разностях изменяется от 6 до 10° , в более темных разностях от 12 до 15° . Довольно сильная дисперсия, $r > v$. Не плеохроичен. В HCl растворяется с выделением геля SiO_2 .

Встречается изредка в аллювиальных отложениях в виде узких и длинных, слегка окатанных кристаллов, окрашенных в зеленовато-бурый цвет. Происхождение — пегматитовые жилы. Спутники — ортит, берилл, анатаз, монацит, топаз, эвклаз, циртолит, иттриалит, фергосонит и другие редкоземельные минералы.

Определяется по оптическим свойствам. Проверяется спектральным и химическим анализом.

ГАЛЕНИТ (синоним — свинцовый блеск) — PbS . Часто содержит примеси Ag, реже Se, Zn, Cd, Sb, Bi, Cu и Au. Сингония кубическая. Кристаллизуется обычно в кубах или кубооктаэдрах, реже в октаэдрах (рис. 26); также в прямоугольных таблитчатых образованиях или в неправильных зернах. Двойники по плоскости (111). Спайность по кубу весьма совершенная. Излом плоский, несовершеннораковистый до ровного. Твердость 2,5—3. Плотность

7,4—7,6. Блеск металлический. Цвет и черта свинцово-серые. Немагнитный. Слабый проводник электричества. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 . Дает реакцию на Pb с KI.

Как и прочие сульфиды, галенит в шлихах легко разрушается; поэтому встречается лишь вблизи коренных месторождений. Находится в шлихах в виде кубов, прямоугольных пластинок или в виде зерен с характерной ступенчатой поверхностью, образующейся вследствие дробления по совершенной спайности по кубу. С поверхности обычно покрывается черным или синеватым налетом.

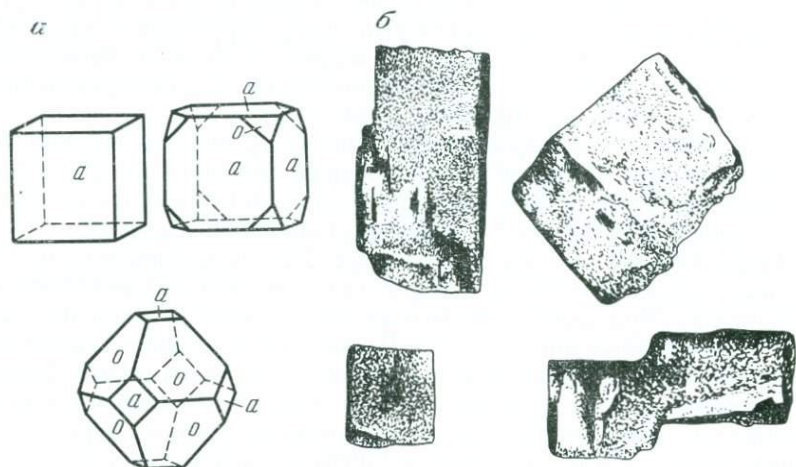


Рис. 26. Галенит.

a — формы кристаллов, *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

том; иногда покрывается белой пленкой церуссита, которая в большинстве случаев образует на поверхности прямоугольную сетку, приуроченную к трещинам спайности. Происхождение — металлоносные жилы в изверженных породах или в известняках и доломитах. Спутники — сфалерит, пирит, пирротин, халькопирит, барит, флюорит, церуссит, англезит.

Определяется по форме кристаллов, совершенной спайности, по налетам церуссита. Проверяется по растворимости в HNO_3 и химической реакцией на Pb. От сходных с ним по внешнему виду сульфидов отличается совершенной спайностью и химической реакцией на Pb.

ГАМЛИНИТ (гойяцит) — $\text{SrAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4][\text{OH}]_6$. Минерал очень редкий. Сингония тригональная. Бесцветные или красновато-бурые кристаллы. Спайность по (0001) совершенная. Твердость 4,5. Плотность 3,16—3,28. $n_e = 1,630—1,638$; $n_o = 1,620—1,629$; $n_e - n_o = 0,009—0,010$. Оптически одноосный, положительный; иногда аномально двуосный. Плеохроизм: n_o — красновато-бурый, n_e — желтый.

Встречается в алмазоносных россыпях вместе с другими сложными фосфатами стронция.

ГАРНИЕРИТ — $\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$? Встречается в виде гелей или скрытокристаллических агрегатов голубовато-зеленого цвета. Блеск матовый до жирного. Твердость 2—2,5. Хрупкий. Плотность 2,3—2,8. В тонких осколках прозрачный. Анизотропный. $n = 1,566$ — $1,590$. В концентрированной HCl разлагается; в растворе дает реакцию на Ni .

В шлихах встречается очень редко, лишь около коренного оруденения.

ГАРТИТ — $\text{SrAl}_3[\text{PO}_4][\text{SO}_4][\text{OH}]_6$. Сингония тригональная. Твердость 4—5. Плотность 3,2—3,5. $n_e = 1,640$; $n_o = 1,626$. Одноосный, положительный. Минерал очень редкий. Встречается в виде розовых или мясо-красных окатанных галек в алмазоносных песках.

ГЕДЕНБЕРГИТ — $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ — железо-кальциевый пироксен, конечный член изоморфного ряда диопсид — геденберgit (см. табл. 29). Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, часто радиально-лучистые или шестоватые агрегаты кристаллов. Спайность по призме (110). Излом неровный. Твердость 5,5—6. Плотность 3,5—3,6. Блеск стеклянный. Цвет темно-зеленый до зеленовато-черного. Черта светло-серая с зеленоватым оттенком. Среднемагнитный. Не люминесцирует. Прозрачный. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,738$ — $1,757$; $n_m = 1,732$ — $1,745$; $n_p = 1,711$ — $1,739$; $n_g - n_p = 0,018$ — $0,027$. Оптически двуосный, положительный. $2V = 60^\circ$. В кислотах практически не растворяется.

Присутствует в темно-зеленых обломках призматических кристаллов, окатанных в различной степени. Часто содержит включения ильменита, магнетита и других минералов. В процессе образования россыпей легко разрушается и не выдерживает перемещения на большие расстояния. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы; контактово-метаморфические породы, гнейсы, сланцы. Спутники — другие пироксены и амфиболы, гранаты, эпидот и др.

Узнается по темно-зеленой окраске, форме шестоватых кристаллов; проверяется по оптическим свойствам.

ГЕЛЬВИН — $(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})_4[\text{BeSiO}_4]_3\text{S}$. Минерал очень редкий. Сингония кубическая; тетраэдрические кристаллы бурого, желтого или розового цвета. Блеск стеклянный смолистый. Твердость 6—6,5. Плотность 3,16—3,36. Полупрозрачный. $n = 1,744$ — $1,760$. Изотропный. В HCl растворяется с выделением H_2S . Сплав с содой и селитрой дает реакцию на Mn .

В россыпях встречается в виде обломков кристаллов или в неправильных остроугольных зернах.

ГЕМАТИТ Fe_2O_3 . Иногда содержит примеси Ti и Mg . Сингония тригональная. Кристаллы ромбоэдрические или таблитчатые по (0001), часто соединенные в параллельные или радиально

расходящиеся пучки (железные розы). Грани (0001) обычно тонко иштрихованы (рис. 27). Иногда гроздевидные, сталактитовые формы. Образует двойники по (0001). Спайность отсутствует. Излом неяснораковистый, неровный. В плотных разностях хрупкий. Тонкие листочки гибки. Твердость 5,5—6,5. Плотность 4,9—5,3. Блеск металлический, иногда матовый. Цвет стально-серый или железно-черный; в землистых разностях красноватый. Черта вишнево-красная. Среднемагнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный; в тонких осколках имеет красный цвет и просвечивает. Показатель преломления очень высокий: $n_o = 3,01—3,22$; $n_e = 2,74—2,94$; $n_o - n_e = 0,18—0,28$. Одноосный, отрицательный. В кровато-красных разностях наблюдается слабый плеохроизм; n_e — желтовато-красный; n_o — буро-красный. В концентрированной HCl растворяется с трудом. Дает реакцию на Fe.

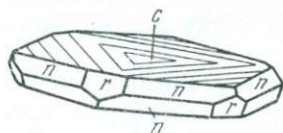


Рис. 27. Гематит. Форма кристаллов

Обычный минерал россыпей. Встречается в виде неправильных окатанных зерен или плоских пластинок с тонкой штриховкой на гранях. Обладает характерными внутренними рефлексами красного цвета. Легко гидратируется и превращается в лимонит. Происхождение — метаморфизованные кристаллические сланцы; металлоносные жилы и многие другие горные породы. Спутники — ильменит, магнетит, лимонит, турмалин, циркон, слюда, барит. Разновидности: **ж е л е з н ы й б л е с к** — явно кристаллическая разновидность, образующая таблитчатые или пластинчатые кристаллы; **к р а с н ы й ж е л е з н я к** — скрытокристаллический плотный гематит, часто образующий колломорфные натечные выделения или псевдоморфозы по другим минералам (магнетиту, пириту, сидериту); **м а р т и т** — псевдоморфоза по магнетиту. Иногда магнитный. Отличается от магнетита красной чертой; **с л ю д и с т ы й г е м а т и т** — чешуйчатый или тонколистовой.

Определяется по красным внутренним рефлексам и красно-бурому налету на поверхности зерен. По внешнему виду сходен с вольфрамитом, ильменитом и магнетитом. От вольфрамита отличается отсутствием химической реакции на W, от ильменита — внутренними рефлексами и отрицательной химической реакцией на Ti, от магнетита — меньшей магнитностью.

ГЕССИТ — Ag_2Te . Сингония кубическая. Неправильные хорошо окатанные зерна мелкошестоватого или чешуйчатого сложения. Спайность неясная. Твердость 2,5—3. Слегка режется ножом; на бумаге оставляет черную черту. Плотность 8,24—8,45. Цвет свинцово-серый, стально-серый. Обычно содержит включения золота. Немагнитный. Непрозрачный. Растворяется при нагревании в HNO_3 и H_2SO_4 . При растворении в HCl выделяется белый осадок $AgCl$. Дает реакции на Ag и Te.

В россыпях встречается очень редко, лишь вблизи коренных месторождений в виде свинцово-серых или железно-черных бесформенных зерен или искривленных кристаллов с синей или пестрой побежалостью. Часто напоминает тусклый черный шлак. Происхождение — жилы, содержащие теллуриды Ag и Au. Спутники — петцит, золото, серебро, пирит, касситерит и шеелит.

Определяется по растворимости в кислотах, небольшой твердости и по химическим реакциям на Ag и Te. По внешнему виду сходен с петцитом, от которого отличается лишь с помощью химического анализа.

ГЕТИТ, ГИДРОГЕТИТ. По химическому составу и внешнему виду выделяют две разновидности: а) ясно кристаллическая разновидность — гётит — HFeO_2 , б) скрытокристаллическая или метакolloидная разновидность — гидрогётит (лимонит) — $\text{HFeO}_2 \cdot aq$, содержащая адсорбционную воду и примеси других минералов.

Гётит. Кристаллизуется в ромбической сингонии. Кристаллы редки, имеют столбчатый или призматический до шестоватого и игольчатого облик, иногда уплощены. Часто образуют сростки и агрегаты игольчатых и пластинчатых кристаллов, вплоть до скрытокристаллических плотных или радиально-волокнистых масс. Спайность ясная по (010), несовершенная по (100). Твердость 5—5,5. Хрупок. Плотность 4,0—4,4. Блеск алмазовидный, на гранях кристаллов металловидный. Цвет коричнево-бурый, черновато-коричневый. Слабомагнитный. В краях тонких зерен просвечивает желтовато-бурый. $n_g = 2,40$; $n_p = 2,26$; $n_g - n_p = 0,14$. Плеохроизм заметный в желтых и коричнево-желтых тонах.

Гидрогётит в россыпях распространен значительно шире гётита. Это один из наиболее распространенных минералов россыпей. Встречается в виде корковидных пористых, охристых и землистых образований; наблюдаются псевдоморфозы по кристаллам пирита, марказита, ярозита, по частицам карбонатных пород; часто в виде оолитов, пустотелых конкреций, стяжений, обломков натечных форм. Излом неправильный, для плотных частиц раковистый, иногда скорлуповатый и занозистый. Хрупок. Твердость 2—5. Плотность 3,2—4,0. Блеск слабый, жирный или смолистый. Цвет бурый, охристо-жёлтый. Магнитные свойства колеблются в зависимости от степени изменения первичного минерала, в результате разрушения которого образовался гидрогётит. Непрозрачный; в тонких осколках просвечивает. $n = 2,05—2,3$. Легко растворяется в HCl с образованием желтого раствора, дающего реакцию на Fe.

Гидрогётит очень часто встречается в россыпях в виде неправильных зерен и псевдоморфоз по другим железистым минералам, окатанным в различной степени. Иногда с поверхности покрывается плотной черной коркой. Происхождение — гидрогётит широко распространен в зоне окисления сульфидно-колчеданных месторождений; накапливается в коре выветривания разнообразных

горных пород, особенно основных и ультраосновных изверженных пород; обычен в осадочных породах.

Гётит и гидрогётит являются вторичными минералами и представляют собой наиболее обычный продукт разрушения сульфидов, силикатов, карбонатов и других природных соединений железа. Спутники — пирит, гематит, сидерит и другие минералы железа.

Определяются по окраске, внешнему виду и растворимости в HCl.

ГИПЕРСТЕН — $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ — железисто-магнезиальный пироксен. Сингония ромбическая. Кристаллы короткопризматические, таблитчатые по (100) или (010); обычны плотные неправильные образования. Спайность совершенная по (110), хорошая по (010) и реже по (100). Излом неровный. Хрупкий. Твердость 5—6. Плотность 3,3—3,5. Цвет коричневатозеленый, сероватозеленый, оливковый, коричневый. Черта сероватая, коричневатосерая. Часто содержит мелкие включения железных минералов. Слабо магнитный. Магнитность изменяется в зависимости от содержания железа. Умеренный проводник электричества. Просвечивающий до почти непрозрачного. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,69—1,77$; $n_m = 1,69—1,76$; $n_p = 1,68—1,75$ $2V = 80^\circ$ (уменьшается с увеличением содержания Fe). Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,010—0,013$. Оптически двуосный, отрицательный. Плеохроизм сильный, особенно в разностях с большим содержанием Fe: n_p — розовый или красный; n_m — желтый; n_g — зеленый. Некоторые разности растворяются в HCl.

Встречается в призматических шероховатых зернах, часто содержащих значительное количество темных включений. Происхождение — трахиты, андезиты, норит, габбро и другие основные и ультраосновные изверженные породы, содержащие гиперстен. Спутники — другие пироксены.

Определяется обычно по коричневатозеленой окраске и внешнему виду зерен. Проверяется по оптическим свойствам.

ГЛАУКОФАН — $\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$ — щелочной амфибол непостоянного состава. Редкий минерал россыпей. Встречается вблизи выходов кристаллических сланцев в виде призматических удлиненных зерен или волокнистых агрегатов синеватой или фиолетово-серой окраски. Твердость 6,0—6,5. Плотность 3,1—3,2. Блеск стеклянный. Спайность, характер излома как у актинолита и других амфиболов. Прозрачный, $n_g = 1,638—1,650$; $n_m = 1,638—1,649$; $n_p = 1,620—1,628$; $n_g - n_p = 0,015—0,022$. Очень характерный плеохроизм, по n_g — синий, по n_m — фиолетовый, по n_p — светлый, зеленовато-желтый. В кислотах не растворяется. Спутники: альбит, хлорит, эпидот, кварц.

ГОРСЕЙКСИТ — $\text{BaAl}_3[\text{PO}_4][\text{HPO}_4](\text{OH})_6$. Минерал очень редкий. Встречается в алмазоносных песках в виде окатанных бурых или белых галек микрокристаллического строения. Твер-

дость 6. Плотность 3,1. Показатель преломления невысокий: $n_m = 1,625$. Оптически одноосный, положительный.

ГРАНАТ — $A_3B_2[SiO_4]_3$, где $A = Ca, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}$; $B = Al, Fe^{3+}, Cr, Ti, Mn^{3+}$. Сингония кубическая. Кристаллизуется обычно в ромбододекаэдрах или их комбинации с другими простыми формами кубической сингонии; часто в неправильных выделениях (рис. 28). Спайность несовершенная по (110). Излом неяснораковистый до неровного. Хрупкий. Твердость 6,5—7,5. Плотность в зависимости от состава колеблется в пределах 3,3—4,3. Блеск стеклянный до жирного. Цвет красный, бурый, желтый, зеленый, черный, белый. Содержит включения железистых минералов, кальцита, везувиана, кварца. Магнитность меняется в зависимости от содержания железа, гранат обычно попадает в электромагнитную фракцию. Плохой проводник электричества. Люминесценцией не обладает. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий, изменяющийся в зависимости от состава: $n = 1,705—2,00$. Изотропный: часто наблюдается ненормальное двойное преломление, объясняющееся внутренним напряжением. В кислотах почти не растворяется.

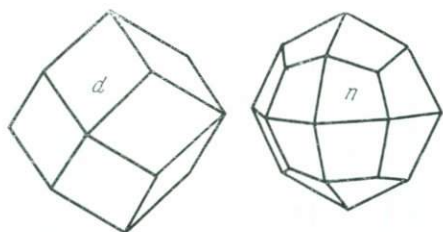


Рис. 28. Гранат. Формы кристаллов

Весьма распространенный минерал россылей. Обычно встречается в хорошо сохраняющихся мелких кристаллах в виде окатанных зерен и неправильных обломков различной окраски. Продукты разложения зависят от состава граната. Гранаты превращаются в хлоритовое вещество, эпидот, кальцит, лимонит, амфибол и другие минералы. Происхождение — изверженные и метаморфические породы, в особенности кристаллические сланцы и гнейсы; измененный известняк. Спутники меняются в зависимости от источника происхождения. Свойства основных разновидностей граната приведены в табл. 27.

Наибольший практический интерес представляет пироп, пользующийся широким распространением в алмазных кимберлитах. В шлихах, приуроченных к районам развития кимберлитов, пироп является постоянным спутником алмазов совместно с хромдиопсидом, оливином, магноильменитом, перовскитом и шпинелью. При поисках алмазов часто проводят пиропные съемки.

Определяется по окраске и форме кристаллов, высокому показателю преломления, изотропности и аномальной анизотропности. Определение плотности часто помогает диагностике граната. По свойствам близок к шпинели, от которой отличается магнитностью (шпинель никогда не обладает магнитными свойствами) и аномальным дупреломлением, никогда не наблюдающимся

Основные разновидности минералов группы граната

Разновидность	Окраска	Плотность; показатель преломления	Спутники	Материнская порода
Гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	Бесцветный, белый, бледно-зеленый, желтый, бурый, розово-красный	3,53 1,735—1,780	Амфибол, диопсид цоизит, титанит	Метаморфизованный известняк, сланец, сиенит
Гессонит-железистый гроссуляр Пироп $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	Коричневый Темно-красный, черный	1,780 3,51 1,705—1,736	Алмаз, оливин, хромит, магнетит, ильменит, энстатит, пикотит	Кимберлит, перидотит, серпентин и сопутствующие им ультраосновные породы
Альмандин $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	Темно-красный, буро-красный, черный	4,25 1,770—1,820	Мусковит, скаполит, турмалин, апатит, роговая обманка	Слюдяной сланец, гнейс, амфиболит
Спессартин $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	Темный, фиолетово-красный, буро-красный	4,18 1,805—1,815	Мусковит, железистые минералы, турмалин, сфен	Пегматит, слюдяной сланец, кварцит
Андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$	Зеленовато-желтый, зеленый, красный, бурый, черный	3,75 1,850—1,890	Пироксен, амфибол, слюда, магнетит	Эклогит, сланец, гнейс
Демантоид — прозрачная разновидность андрадита				
Меланит (разновидность андрадита)	Черный, тусклый или блестящий	3,75	Как у андрадита	Как у андрадита
Шорломит $\text{Ca}_3(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti})_2[\text{Si}, \text{TiO}_4]_3$	Черный	3,81—3,88 1,90—2,01	Как у андрадита	Как у андрадита
Уваровит $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$	Изумрудно-зеленый	3,41—3,52 1,85—1,87	Магнетит, ильменит, хромит, оливин, пироксен, эпидот, шпинель, амфибол	Серпентин, метаморфизованный известняк

у шпинели. Часто отличие граната от шпинели сопряжено с большими трудностями. От флюорита отличается высоким показателем преломления; от алмаза — стекляннм блеском, магнитными свойствами и отсутствием люминесценции в катодных и ультрафиолетовых лучах; от рутила и циркона — высоким двупреломлением последних; рутил, кроме того, плеохроичен.

ГРАФИТ — С. Очень редкий минерал легкой фракции россыпей. Сингония гексагональная. Шестиугольные пластинки или тонкие чешуйки стально-серого цвета; черта — черная. Блеск металловидный. Твердость 1; жирный на ощупь, тонкие листочки гибки. Плотность 2,09—2,23. Непрозрачный, в тонких осколках просвечивает серым. От сходного с ним молибденита отличается нерастворимостью в HNO_3 и отсутствием реакции на Мо.

ГЮБНЕРИТ — см. вольфрамит.

ДЕЛОРЕНЦИТ — $(\text{Y, U, Fe})(\text{Ti, Sn})_2\text{O}_6$? Очень редкий минерал. Сингония ромбическая. Вытянутые таблитчатые кристаллы со штриховкой, параллельной удлинению. Черный непрозрачный, в тонких осколках просвечивает бурым. Блеск смолистый. Излом раковистый. Твердость 5,5—6. Плотность 4,7. Слабо магнитный. Сильно радиоактивный. В проходящем свете каштаново-бурый, изотропизированный, связан с пегматитами. Спутники — колумбит, ильменит, турмалин, берилл. От сходных с ним браннерита и тантало-ниобатов отличается только с помощью химического анализа.

ДЕРБИЛИТ — $6\text{FeO} \cdot 5\text{TiO}_2 \cdot \text{Sb}_2\text{O}_3$? Призматические кристаллы ромбической сингонии. Твердость 5. Плотность 4,53. Цвет черный. Очень высокий показатель преломления: $n_g = 2,51$; $n_m = 2,45$; $n_p = 2,45$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,06$. Оптически двусный, положительный. Иногда аномально одноосный, $2V$ равен 0° или весьма малый. Минерал очень редкий. Встречается в мельчайших окатанных кристаллах.

ДЖАЛМАИТ (дъялмаит) — $(\text{U, Ca, Pb, Bi, Fe})(\text{Ta, Nb, Ti, Zr})_3\text{O}_9 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Сингония кубическая. Кристаллы октаэдрического облика. Спайности не наблюдается. Излом неправильный. Твердость 5,5. Плотность 5,75—5,88. Цвет желто-бурый, зеленовато-бурый или буровато-черный. Блеск жирный. Изотропный, $n = 1,97$. Обнаружен в россыпях с аквамариниом, турмалином, самарскитом, колумбитом и висмутовыми минералами.

ДИАСПОР — Al_2O_3 или $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Призматические кристаллы со спайностью по (010). Твердость 6—7. Плотность 3,3—3,5. Блеск стекляннм, на плоскостях спайности перламутровый. Цвет белый, желтый, серый. Прозрачный или просвечивающий. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,750$; $n_m = 1,722$; $n_p = 1,702$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,048$, $2V = 84^\circ$. Двусный, положительный. Иногда наблюдается плеохроизм от красновато-бурого до почти бесцветного. Дисперсия слабая, $r < v$. В шлихах встречается очень редко. Обнаружен в алмазоносных россыпях.

ДИОПСИД — $\text{Ca, Mg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ — известково-магнезиальный пироксен. Сингония моноклиная. Кристаллы призматические, реже таблитчатые. Иногда двойники по (100) или по (001). Спайность ясная по (110), иногда по (100) и (010). Излом неровный. Твердость 5—6. Плотность 3,27—3,38. Блеск стеклянный, иногда жирный. Цвет белый, бледно-зеленый, серый, желтоватый; иногда темно-зеленый, почти черный или синий. Часто бесцветный. Черта белая. Слабо магнитный. Умеренный проводник электричества, обладает красной или желтой люминесценцией в катодных лучах. Показатель преломления высокий $n_g = 1,694—1,707$; $n_m = 1,671—1,686$; $n_p = 1,664—1,681$; $2V = 58—60^\circ$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,023—0,031$. Оптически двуосный, положительный, $cn_g = 38—45^\circ$. Легкая дисперсия биссектрис $r > v$. Неплеохроичен. В кислотах не растворяется.

Присутствует в бесцветных, сероватых или зеленоватых зернах, сохраняющих иногда призматические очертания. Часто содержит включения ильменита, магнетита и апатита. Происхождение — изверженные породы, особенно основного типа; гнейсы, сланцы и контактово-метаморфические породы. Спутники — другие пироксены, амфиболы. Разновидность — хромдиопсид содержит целые проценты Cr_2O_3 .

Определяется по бледной окраске и форме зерен. Проверяется по высоким показателю преломления и двупреломлению и по углу погасания. По внешнему виду иногда сходен с кианитом, от которого отличается несколько более низким показателем преломления, высоким двупреломлением и большим углом погасания.

ДИОПТАЗ — $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Редкий минерал россыпей. Сингония тригональная. Встречается в виде обломков короткостолбчатых кристаллов или окатанных зерен изумрудно-зеленого цвета. Твердость 5. Плотность 3,28—3,35. Блеск стеклянный, прозрачный до просвечивающего. $n_e = 1,697—1,709$; $n_o = 1,644—1,658$; $n_e - n_o = 0,053—0,051$. Одноосный, положительный. В кислотах разлагается с выделением студенистого кремнезема; в растворе реакция на Си. Обнаружен в золотоносных россыпях и зоне окисления сульфидных медных месторождений вместе с малахитом и церусситом.

ДОЛОМИТ — $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. Сингония тригональная. Ромбоэдрические кристаллы, реже скрытокристаллический. Спайность по ромбоэдру совершенная; плоскости спайности часто искривлены. Твердость 3,5—4. Хрупкий. Плотность 2,8—3,0. Блеск стеклянный. Цвет серовато-белый, иногда с желтоватым или бурым оттенком. Немагнитный. В ультрафиолетовом свете некоторые разновидности доломита слабо люминесцируют белым, голубоватым, желтым или красноватым, в катодных лучах — оранжевым и красновато-оранжевым. Прозрачен и бесцветен, иногда зонально окрашен в сероватый и буроватый цвет. Часто обнаруживает двойниковое строение. Показатели преломления: $n_o = 1,679—1,702$; $n_e = 1,500—1,514$; $n_o - n_e = 0,179—0,188$. Одноосный, отрица-

тельный. В HCl на холоду разлагается слабо, без вскипания; при нагревании вскипает.

В россыпях сохраняется редко в связи с заметной растворимостью в грунтовых (особенно углекислых) водах. Встречается в виде таблитчатых зерен, ограниченных поверхностями спайности, неправильных угловатых или слабоокатанных зерен. Происхождение — распространенный породообразующий минерал осадочных пород, реже встречается в метасоматических и жильных гидротермальных месторождениях. Спутники — кальцит, гипс, флюорит, барит, сульфиды.

Методы определения выбираются в зависимости от характера поведения в кислоте и оптических свойств.

ЖАДЕИТ — $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ — натрово-глиноземистый пироксен. Очень редкий для россыпей пироксен яблочно-зеленого, зеленовато-голубого или белого цвета. Блеск стеклянный. По внешнему виду похож на нефрит. Плотность 3,3—3,4. Твердость 6,5—7. $n_g = 1,667$; $n_m = 1,659$; $n_p = 1,654$; $n_g - n_p = 0,013$. Оптически положительный. В кислотах не растворяется. Обнаружен вместе с глаукофаном в районе развития щелочных метаморфических пород.

ЖЕЛЕЗО — Fe, обычно содержит примесь Ni. Кубической сингонии. Обычно сплошное, реже в кристаллах. Спайность по (100) совершенная. Излом крючковатый. Ковкое. Твердость 4—5. Плотность 7,0—7,8. Блеск металлический. Цвет стально-серый до железо-черного. Сильно магнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачное. Растворяется в кислотах.

Самородное железо встречается в россыпях исключительно редко в виде неправильных округлых зерен*. Происхождение — базальты, перидотиты и другие основные породы. Реже в кислых породах. Спутники — пирротин, золото, платина, касситерит, хромит. Разновидности: б о б р о в к и т — природное никелистое железо Ni_5Fe_2 , мельчайшие чешуйки серебристо-белого цвета, плотность около 8,5, сильно магнитный; а в а р у и т — природное никелистое железо Ni_2Fe ; с у э з и т — природное никелистое железо Ni_3Fe .

Определяется по сильной магнитности, окраске и внешнему виду зерен.

ЗОЛОТО — Au с примесью Ag, Cu, Fe, Ni и др. Сингония кубическая. Кристаллизуется в октаэдрах или в комбинациях куба с октаэдром. Хорошо образованные кристаллы встречаются редко, чаще наблюдаются древовидные, пластинчатые и неправильные образования. Спайность отсутствует. Излом крючковатый. Очень ковкое и тягучее. Твердость 2,5—3. Плотность 19,3. Блеск металлический. Цвет и черта золотисто-желтые, иногда с красноватым или зеленоватым оттенком. Немагнитное. Хороший

* В магнитной фракции часто присутствуют неправильные обломки и стружки железа, попадающего в шлик от лопаты или другого оборудования.

проводник электричества. Непрозрачное. В кислотах не растворяется, но растворимо в царской водке.

Встречается в неправильных древовидных или пластинчатых зернах с неровной поверхностью. Иногда с поверхности становится тусклым или покрывается бурой железистой пленкой (рубашкой) и тогда может попадать в магнитную фракцию. Если при промывке шлихов применялась амальгамация, то золото покрывается с поверхности блестящим светло-серым налетом амальгамы, которая разрушается азотной кислотой. Происхождение — кварцевые жилы, связанные с изверженными или метаморфическими породами; кварцевые конгломераты; реже жилы кальцита. Спутники — пирит, платина, шпинель, циркон, монацит, магнетит, ильменит,

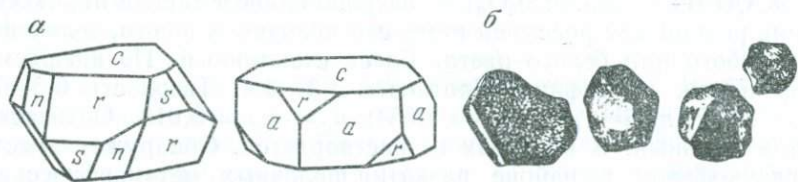


Рис. 29. Ильменит.

а — формы кристаллов; *б* — формы зерен, встречающихся в россыпях

иногда шеелит, флюорит. Разновидности: серебристое золото (электрум) — более 15% серебра, отличается более светлой желтой, иногда беловато-желтой окраской, частично растворяется в концентрированной HNO_3 ; медистое золото (купроаурит) — до 20% меди; палладистое золото (порпекит) — 5—11% палладия и до 4% серебра; висмутистое золото (бисмутоаурит) — до 4% висмута.

Определяется по цвету, блеску, малой твердости (при надавливании иглой остается след), высокой плотности. Проверяется по нерастворимости в кислотах и растворимости в царской водке. Золото трудно принять за другой минерал. При недостаточной опытности иногда за золото можно принять пирит и халькопирит, но оба эти минерала имеют значительно большую твердость, хрупки и обладают меньшей плотностью. Кроме того, они легко растворяются в HNO_3 и разлагаются при прокаливании.

ИЛЬМЕНИТ (синоним — титанистый железняк) — FeTiO_3 или $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$. Иногда примеси Mg и Mn. Сингония тригональная. Толстотаблитчатые кристаллы или острые ромбоэдры (рис. 29). Часто неправильные образования. Спайность не наблюдается. Излом раковинистый, неровный. Твердость 5—6. Плотность 4,5—5,0. Блеск металлический или металловидный, часто с пурпурной побежалостью. Цвет железо-черный. Черта черная. Включения наблюдаются редко. Среднемагнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. Края иногда просвечивают бурьм. С трудом растворяется в HCl . После сплавления с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Встречается обычно в неправильных округлых или угловатых зернах; реже сохраняются плоские кристаллы в виде шестиугольных пластинок со скошенными краями. Иногда покрывается с поверхности беловатым налетом лейкоксена. Происхождение — обычный минерал многих изверженных пород, например гранита, габбро и других. Спутники — магнетит, гематит, апатит, сфен, рутил, кианит, топаз, ставролит, монацит. Разновидность — г е й к и л и т — магнезиальная разновидность ильменита $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{TiO}_3$. Твердость 6, плотность 4, цвет синеовато- или коричневаточерный, $n_o = 2,31$; $n_e = 1,95$, оптически одноосный, отрицательный. Слабый плеохроизм в красновато-бурых или пурпурных тонах.

Определяется по форме кристаллов и по налетам лейкоксена. При отсутствии кристаллов и пленок лейкоксена определяется по химической реакции на Ti. От магнетита отделяется с помощью постоянного магнита. От колумбита — танталита отличается по отрицательной реакции на Nb и Ta с таннином; от хромита — по форме кристаллов и по отрицательной реакции на Cr.

ИЛЬМЕНОРУТИЛ — $(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Fe})\text{O}_2$. Иногда содержит примеси Mn, Sn, W и др. В россыпях встречается в виде обломков призматических кристаллов или в различной степени окатанных зерен, преимущественно в районах распространения гранитоидов и сиенитов. Цвет черный, бурочерный, бурый. Блеск алмазный до смолистого. Излом неровный. Твердость 6. Плотность 4,8—5,6. Магнитен в различной степени. Просвечивает до прозрачного. $n_e = 2,66$, $n_o = 2,32$; двупреломление исключительно высокое. Одноосный, положительный. Плеохроизм заметный (до сильного) в зеленовато-бурых тонах. Ассоциирует с ильменитом, цирконом, монацитом, сфеном, биотитом, роговой обманкой, иногда ортитом, пироксеном и колумбитом. От рутила отличается лишь путем химических испытаний на содержание Nb, а от тантало-ниобатов редких земель — анизотропностью и исключительно высоким светопреломлением.

КАЛЬЦИТ — CaCO_3 . Содержит незначительные примеси Mg, Fe, Zn и Pb, частично замещающих Ca. Сингония тригональная. Кристаллы очень различного габитуса от тонкотаблитчатых до длиннопризматических, иногда натечные формы. Часто двойники различного строения. Спайность по (1011) весьма совершенная. Излом раковистый. Твердость 3. Плотность 2,6—2,8. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет белый, бледные оттенки желтого, красного или бурого; часто бесцветный. Черта белая. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает яркой красной или желтой люминесценцией в катодных и рентгеновских лучах. В ультрафиолетовых лучах люминесцирует фиолетовым, красным или голубовато-белым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий для n_o и низкий для n_e ; $n_o = 1,658$; $n_e = 1,486$. Двупреломление очень высокое: $n_o - n_e = 0,172$. Оптически одноосный, отрицательный. Иногда аномально

двуосный, с $2V$, достигающим 30° . Растворяется в HCl с шипением. Смоченный в HCl дает характерную для Sa окраску пламени.

Обычно встречается в неправильных зернах, реже сохраняются кристаллы. Попадает в легкую фракцию вместе с кварцем и другими минералами небольшой плотности. Широко распространен как в осадочных, так и в изверженных породах; характерен для гидротермальных месторождений различных генетических типов. Спутники — сфалерит и другие сульфиды, барит и другие минералы в зависимости от происхождения.

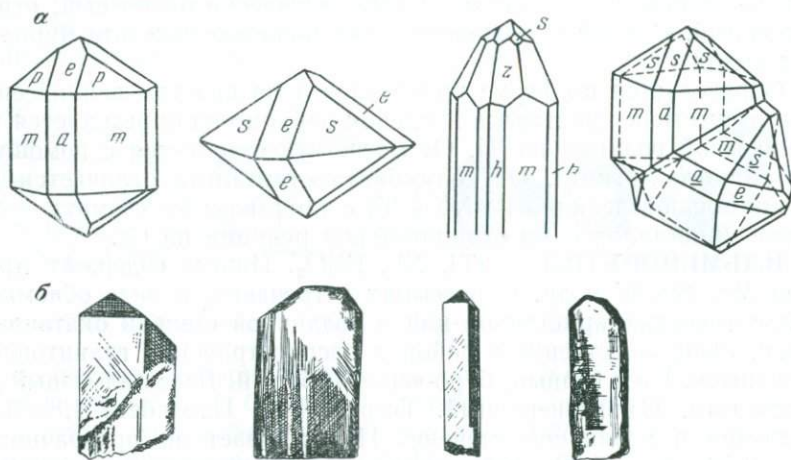


Рис. 30. Касситерит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

Определяется по низкой плотности, растворимости в кислотах и высокому двупреломлению.

КАССИТЕРИТ (синоним — оловянный камень) — SnO_2 . Иногда содержит примеси Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , FeO_3 . Сингония тетрагональная. Кристаллы призматические или бипирамидальные, иногда очень тонкие, игольчатые. Грани призмы часто имеют вертикальную штриховку. Иногда коленчатые двойники по (101) (рис. 30). Спайность по (100) несовершенная, по (111) неясная, по (110) едва заметная. Излом неясно раковистый до неровного. Твердость 6—7. Плотность 6,8—7,1. Блеск алмазный, жирный, иногда стеклянный. Цвет бурый, черный, иногда красный, зеленоватый, желтый, серый, бесцветный. Часто окраска распределяется неравномерно — полосами или неправильными пятнами. Черта черных разностей — бурая; светлые разности черты не дают. Обычно касситерит немагнитен, но иногда встречаются магнитные разновидности. Умеренный проводник электричества.

Показатель преломления высокий: $n_e = 2,093$; $n_o = 1,997$. Двупреломление высокое: $n_e - n_o = 0,096$. В темных разностях интерференционная окраска часто маскируется естественным цве-

том минерала. Оптически одноосный, положительный, но иногда дает аномально двуосную фигуру с небольшим углом оптических осей. Прямое погасание параллельно ребру призмы. Окрашенные разности иногда плеохрончны: n_e — бесцветный, золотисто-желтый, серый; n_o — красный, бурый, черный.

В кислотах не растворяется. На цинковой пластинке в присутствии HCl восстанавливается до металлического олова, отлагающегося ровной пленкой на поверхности минерала. Металлический налет можно удалить с зерен касситерита нагреванием с HCl. Полученный раствор при прибавлении капли каготелина окрашивается в фиолетовый цвет.

Встречается обычно в виде неправильных, окатанных зерен, поверхность которых часто покрыта трещинками и мелкими углублениями. Реже сохраняются призматические кристаллы, оканчивающиеся тетрагональной пирамидой. Иногда коленчатые двойники. Окраска самая разнообразная — от бесцветной до черной. Изредка встречаются натечные радиально-лучистые образования с концентрическим наращиванием тонких слоев (деревянистое олово). Происхождение — граниты и связанные с ними жилы и пегматиты; грейзены; контактово-метаморфические породы. Установлена определенная зависимость морфологических особенностей и химических свойств касситерита от условий его образования.

Типоморфные особенности касситерита, связанного с коренным месторождением различных генетических типов, часто могут быть использованы для определения источника касситерита при формировании россыпи.

Коренные месторождения касситерита генетически связаны с кислыми гранитоидами и их жильными производными. Известно три основных типа месторождений: пегматитовые, касситерит-полевошпат-кварцевые и касситерит-кварцевые пневмато-гидротермальные и касситерит-сульфидные гидротермальные. Касситерит каждого из этих типов месторождений характеризуется некоторыми типоморфными особенностями.

По данным Е. И. Доломановой и др. (1969), химический состав является главным признаком, по которому возможно различить касситериты различного генезиса. Установлено, что большая часть элементов-примесей находится в касситерите в виде микровключений других минералов — тапиолита, вольфрамиты, рутила, ильменита, гематита и др.

Дополнительным указанием на условия образования касситерита могут служить форма кристаллов, их двойники, а также окраска минерала.

Типоморфные особенности касситерита коренных месторождений различных генетических типов приведены в табл. 28. Разновидность — д е р е в я н и с т о е о л о в о — гроздевидные и почковидные натечные образования концентрически-полосчатой и радиально-лучистой структуры.

Типоморфные особенности касситерита (Касситерит и его типоморфные особенности, 1969)

Формация месторождения	Элементы-примеси	Формы кристаллов, окраска, блеск	Спутники
Касситерит-пегматитовая	Ta, Nb от 1 до 6%. Тантал нередко преобладает над ниобием. Zr, Sc — 0,0n%, W — редко, следы	Уплощенные дипирамидальные кристаллы с преобладанием граней (111). Двойники редки. Цвет темно-бурый. Блеск металлоидный до смолистого	Полихромный, турмалин, топаз, сподумен, колумбит, иногда берилл, вольфрамит
Касситерит-полевошпат-кварцевая и касситерит-кварцевая	Nb, Ta меньше 1% (от 0, n до 0,00n%). W — доли % или отсутствует. Zr, Sc — обычны. As, In — следы или отсутствует	Короткопризматические кристаллы. Обычны двойники коленчатые и сложные. Окраска бурая, часто пятнистая. Блеск алмазный	Топаз, флюорит, вольфрамит, молибденит, арсениопирит, лепидолит, реже шеелит, колумбит, монацит, берилл
Касситерит-сульфидная	Nb, Ta менее 0,1%. Zr, W — редко следы, Sc — нет. As — 0, n%. In, Sb, Pb, Zn, Ag — обычны	Длиннопризматические, игольчатые кристаллы; колломорфные агрегаты (деревянистое олово); звездчатые агрегаты, сферолиты. Часты двойники коленчатые и сложные. Окраска коричневая, различных оттенков, желтая, красная; редко бесцветный. Часто зональная или пятнистая окраска. Блеск алмазный	Турмалин, хлорит, магнетит, гематит, шеелит, вольфрамит, молибденит, халькопирит, иногда сульфосоли серебра и висмута и др.

Определяется по высокой плотности, блеску, окраске и форме зерен. Проверяется пленочной реакцией с HCl на цинковой пластинке и по оптическим свойствам. Благодаря исключительному разнообразию внешнего вида касситерита, его легко пропустить при минералогическом анализе шлихов. Поэтому при определении касситерита рекомендуется для контроля всю тяжелую фракцию шлиха обрабатывать соляной кислотой на цинке при нагревании для восстановления оловянного камня до металлического олова.

По внешнему виду сходен с рутилом и цирконом; реже с монацитом и сфеном. От всех этих минералов отличается реакцией восстановления на цинковой пластинке с помощью HCl.

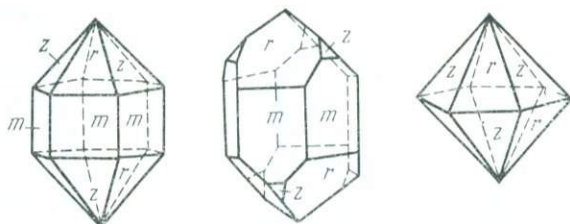


Рис. 31. Кварц. Формы кристаллов

КВАРЦ — SiO_2 . Сингония тригональная. Призматические кристаллы, оканчивающиеся пирамидами или ромбоэдрами, иногда дипирамидальные формы (рис. 31). Грани призмы обычно горизонтально исстрихованы. Часто образуют друзы и лучистые скопления. Двойники различного вида. Спайность неясная. Излом раковистый, занозистый. Твердость 7. Плотность 2,65—2,66. Блеск стеклянный, иногда жирный. Чистые разновидности кварца бесцветны, примеси окрашивают его в желтый, розовый, бурый, зеленый, синий или черный цвет. Часто содержит включения рутила, силиманита, турмалина, эпидота, ильменита и других минералов; иногда жидкие (вода) или газообразные включения. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает слабой синей, розовой или фиолетовой люминесценцией в катодных лучах. Прозрачный до просвечивающего. Низкий показатель преломления: $n_e = 1,553$; $n_o = 1,544$. Двупреломление низкое: $n_e - n_o = 0,009$. Оптически одноосный, положительный, изредка аномально двуосный. Прямое погасание параллельно ребру призмы или вертикальной оси. Не плеохроичен. В кислотах не растворяется.

Один из наиболее распространенных минералов россыпей. Встречается в виде угловатых зерен, окатанных в различной степени. Происхождение — изверженные породы, главным образом кислые. Песчаники. Пегматиты, кварцевые жилы, рудные тела. Кристаллические метаморфические породы. Отложения горячих ключей и гейзеров. Спутники — разнообразные, в зависимости от происхождения. Разновидности: аметист — пурпурная или фиолетовая разновидность кварца, окраска, очевидно, от Mn;

желтый кварц (цитрин, ложный топаз) — желтый прозрачный кварц, похожий в шлихах на золотистый топаз; авантюрин — кварц с блестящими включениями чешуек слюды или гематита; халцедон, агат, яшма — скрытокристаллические разновидности кварца.

Определяется по форме кристаллов, стеклянному блеску, цвету, высокой твердости и отсутствию спайности. Проверяется по низкой плотности и по оптическим свойствам.

КИАНИТ (синоним — дистен) — $Al_2[SiO_4]O$ или $Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Сингония триклинная. Длинные плоские кристаллы, редко с головками, расширяющиеся к концам (рис. 32). Спайность по (100)

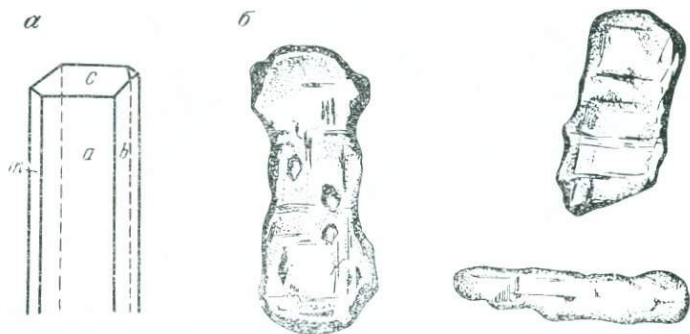


Рис. 32. Кянит.

a — форма кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

весьма совершенная, по (010) менее совершенная; также отдельность по (001). Излом неровный, занозистый. Твердость 5—7; неодинакова в различных направлениях: на грани (100), параллельно оси *c*, твердость 4—5, на грани (100), параллельно ребру (100)/(001), твердость 6—7; на грани (010) — 7. Плотность 3,5—3,7. Блеск стеклянный до перламутрового. Цвет синий, белый, бесцветный; иногда синий в середине кристалла и белый по краям; реже зеленый и серый. Черта бесцветная. Часто содержит включения минералов железа и углистого вещества. Немагнитный. Плохой проводник электричества. В катодных лучах люминесцирует малиново-красным цветом. Прозрачный до просвечивающего. Высокий показатель преломления: $n_g = 1,729$, $n_m = 1,722$; $n_p = 1,714$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,015$. Двусный, отрицательный, $2V = 82^\circ$. Косое погасание: по (100) с $n_g = 27-30^\circ$; погасание по (010) с $n_g^i = 5-8^\circ$. В окрашенных разностях ясный плеохроизм: n_p — бесцветный, n_m — фиолетово-синий; n_g — темно-синий. В кислотах не растворяется.

Встречается в окатанных бледно-голубых часто неравномерно окрашенных призматических зернах или в виде плоских длинных зерен, расширяющихся по концам и имеющих ланцетовидную форму. Поверхность минералов часто покрыта мелкими трещин-

ками. Происхождение — гнейсы, слюдяные сланцы и сопровождающие их пегматиты. Спутники — ставролит, гранат андалузит, монацит, корунд, циркон, силлиманит, ильменит.

Определяется по характерной форме зерен и весьма совершенной спайности; проверяется по оптическим свойствам. От сходных с ним по внешнему виду бесцветных и бледно-голубых минералов, например силлиманита, топаза, андалузита, отличается по спайности, косому погасанию и более высокому показателю преломления.

КИНОВАРЬ — HgS . Сингония тригональная. Ромбоэдрические или толстотаблитчатые кристаллы (рис. 33), кристаллические корочки и землистые налеты. Спайность по (1010) совершенная. Излом несовершенне раковистый, неровный. Твердость 2—2,5. Плотность 8,0—8,2. Блеск алмазный, жирный. Цвет красный. Черта алая. Немагнитная. Плохой проводник электричества. Прозрачная до непрозрачной. Очень высокий показатель преломления: $n_e = 3,27$; $n_o = 2,91$; $n_e - n_o = 0,36$. Оптически одноосная, положительная. Обнаруживает сильную круговую поляризацию. В кислотах не растворяется. Растворяется в царской водке и смеси HCl с H_2O_2 . Для определения киновари пользуются следующей реакцией: в ушке платиновой проволоки расплавляют небольшое количество соды и раскаленным шариком соды прикасаются к зерну минерала; киноварь при этом разлагается с выделением мелких серых капель ртути, которые особенно отчетливо наблюдаются под биноклем.

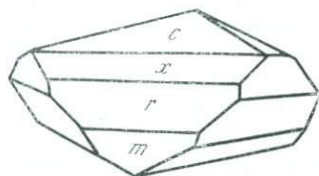


Рис. 33. Киноварь. Форма кристаллов

Обычно обнаруживается в виде мелких окатанных зерен, покрытых тусклым налетом. Встречается в шлихах очень редко, так как благодаря малой твердости легко разрушается при перемещении. Происхождение — коренные месторождения киновари, приуроченные к молодым интрузиям гранитов и гранодиоритов, жилы в осадочных породах (сланцах, глинах, песчаниках и известняках). Спутники — пирит, антимонит, реальгар, золото, барит, флюорит.

Определяется по цвету, блеску и химической реакции на Hg с раскаленной содой. По внешнему виду иногда сходна с рутилом, от которого отличается при помощи той же реакции.

КЛИНОЦОИЗИТ — $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$. Минерал из группы эпидота, образующий с ним непрерывный изоморфный ряд. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, по виду сходные с эпидотом. Твердость 6,5. Плотность 3,35—3,38. Блеск стеклянный. Бесцветный, серый, желтый, зеленый, розовый. Черта бесцветная. Слабо магнитный или немагнитный. Показатель преломления и двупреломление ниже, чем у эпидота; $n_g = 1,734$; $n_m = 1,729$; $n_p = 1,724$. $n_g - n_p = 0,010$. $2V = 85^\circ$. Оптически дву-

осный, положительный. Темные разности слегка плеохроичны. В кислотах не растворяется.

Минерал редкий. Встречается в шлихах в бесцветных или серых призматических окатанных кристаллах или в неправильных зернах. Происхождение — кристаллические сланцы, контактово-метаморфические породы. Спутники — эпидот, цоизит.

Определяется по оптическим свойствам. Весьма близок к минералам группы эпидота. От эпидота отличается более низким показателем преломления и двупреломлением; от цоизита — более высоким показателем преломления, косым погасанием и отсутствием темно-синей интерференционной окраски.

КОБАЛЬТИН (кобальтовый блеск) — CoAsS . Сингония кубическая. Кристаллизуется в кубах или пентагональных додекаэдрах. Чаще в неправильных зернах. Спайность по кубу довольно совершенная. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 5,5. Плотность 6,1—6,3. Блеск металлический. Цвет серебристо-белый, светло-серый. Немагнитный. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 , выделяя S и As_2O_5 . Дает реакцию на Co и As.

Встречается в шлихах исключительно редко в виде неправильных зерен светло-серого цвета. Сопровождается другими минералами Co и Ni, пиритом и турмалином. Единичные зерна кобальтина встречаются как редкость в некоторых элювиальных россыпях.

КОЛУМБИТ — ТАНТАЛИТ — $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$. Непрерывный изоморфный ряд, крайними членами которого являются колумбит — почти чистый ниобат $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ и танталит — почти чистый танталат железа FeTa_2O_6 . Часто содержат примеси Sn, W и Ti. Сингония ромбическая. Образует короткопризматические или таблитчатые по (010) кристаллы. Часто наблюдается прямоугольная призма с преобладанием пинакоидов. Иногда призма оканчивается остроконечной пирамидой (рис. 34). На плоскости (100) часто заметна тонкая «перистая» двойниковая штриховка. Образует сердцевидные двойники и параллельные сростки удлиненных таблитчатых кристаллов; иногда неправильные выделения. Спайность по (100) ясная, по (010) менее ясная. Излом неяснораковистый до неровного. Хрупкий. Твердость 6. Плотность от 5,15 до 8,20, в зависимости от содержания Ta_2O_5 и Nb_2O_5 . Блеск полуметаллический, часто очень сильный. Цвет серовато-черный и буровато-черный. Черта зеленовато-черная или буровато-черная. Часто содержит мелкие включения касситерита. Слабо магнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный, но в тонких осколках просвечивает. Показатель преломления высокий: $n_g = 2,25—2,43$; $n_m = 2,28—2,45$; $n_p = 2,15—2,26$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,10—0,17$. Двусный колумбит оптически отрицательный, танталит оптически положительный. Иногда плеохроирует. В кислотах не растворяется. После сплавления с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ и растворения полученного сплава в горячем 1%-ном растворе таннина в 5%-ном H_2SO_4 выделяет тяжелый хлопьевид-

ный осадок оранжево-красного цвета. Дает пленочную реакцию с $K_2S_2O_7$ (см. стр. 39).

Встречается в блестящих окатанных кристаллах или неправильных зернах черного цвета. Иногда призматические кристаллы колумбита по внешнему виду сходны с вольфрамитом. Происхождение — гранитные пегматиты, металлоносные жилы. Спутники — касситерит, вольфрамит, турмалин, берилл, ильменит, магнетит, рутил, монацит. Разновидность — **манганотанталит** — танталит, в котором Fe замещено Mn. Красновато-бурый минерал,

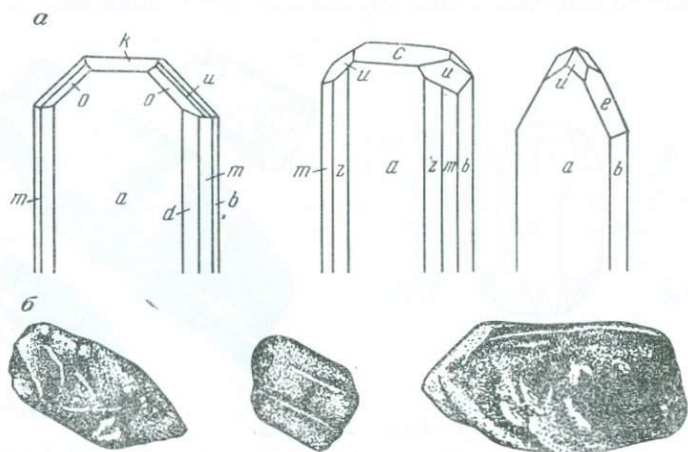


Рис. 34. Колумбит.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

значительно более прозрачный, нежели ожелезненные разновидности. Встречается в тонких игольчатых кристаллах, собранных в радиально-лучистые агрегаты.

Определяется по внешнему виду и высокой плотности. Проверяется пленочной реакцией. Наиболее надежной реакцией, отличающей танталит — колумбит от всех других черных минералов, является пленочная реакция с $K_2S_2O_7$ и качественное химическое определение с таннином. Танталит от колумбита можно отличить по плотности, которая увеличивается пропорционально повышению содержания Ta_2O_5 (колумбит — 5,3, танталит — 7,3).

КОРДИЕРИТ — $Al_3(Mg, Fe)_2[Si_5AlO_{18}]$. Синонимы иолит, дихроит. Сингония ромбическая. Образует короткопризматические кристаллы. Обычно встречается в неправильных зернах. Спайность по (010) ясная, по (100) и (001) неясная. Излом неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 7—7,5. Плотность 2,60—2,66. Блеск стеклянный. Цвет голубой, серый, зеленоватый, желтоватый. Черта бесцветная. Часто содержит включения различных минералов. Немагнитный или слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Прозрачный до просвечивающего. Показатель пре-

ломления изменяется в зависимости от состава: $n_g = 1,541—1,549$; $n_m = 1,539—1,547$; $n_p = 1,532—1,542$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,003—0,011$. Оптически двуосный, отрицательный. Угол оптических осей изменчив, заметно варьирует даже в разных частях одного кристалла. Обычно плеохроичный: n_p — желтоватый, зеленый; n_m — фиолетовый, темно-синий; n_g — светло-синий, желтый, бурый. В кислотах с трудом и лишь частично разлагается.

Встречается обычно в бледноокрашенных, полуразрушенных окатанных зернах, сохраняющих иногда форму ромбоэдра. Обычно содержит мелкие включения циркона, апатита, монацита, кварца и

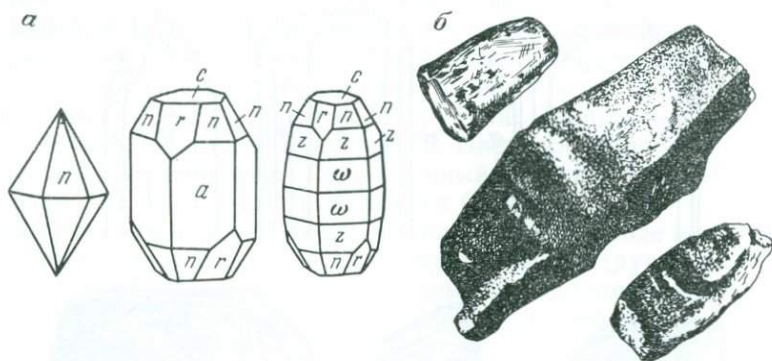


Рис. 35. Корунд.

a — формы кристаллов; *б* — формы зерен, встречающихся в россыпях

других минералов, часто окруженных плеохроичными двориками. Иногда плеохроизм так сильно развит, что виден невооруженным глазом, особенно если минерал смочен. Легко разрушается, поэтому в шлихах встречается редко. Происхождение — контактово-метаморфические породы, например кристаллические сланцы, гнейсы. Реже гранит и кислые изверженные породы. Спутники — турмалин, амфибол, андалузит, силлиманит, кианит, берилл, циркон, монацит, ториацит.

Определяется по цвету, форме кристаллов, наличию включений, сильному плеохроизму и небольшой плотности. От кварца отличается двуосной интерференционной фигурой, плеохроизмом и слабой магнитностью, которая у кордиерита наблюдается очень часто.

КОРУНД — Al_2O_3 . Сингония тригональная. Кристаллы гексагонально-пирамидального габитуса, иногда с призмой; часто бочковидные; также острые гексагональные бипирамиды (рис. 35). Образует двойники прорастания по $(10\bar{1}1)$. Спайности не наблюдается. Излом неровный, раковистый. Хрупкий. Твердость 9. Плотность 3,95—4,10. Блеск алмазный, стеклянный; по (0001) перламутровый. Цвет белый, серый, желтый, синий (сапфир), красный (рубин). Часто окраска распределяется неравномерно —

пятнами. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает голубой или красной люминесценцией в катодных и ультрафиолетовых лучах. Показатель преломления высокий: $n_o = 1,765-1,771$; $n_e = 1,759-1,763$. Двупреломление слабое: $n_o - n_e = 0,008$. Оптически одноосный, отрицательный. Часто дает аномально двуосную фигуру с небольшим углом оптических осей. Ярkokрашенные разности плеохроичны; n_e — зеленый, синий или бесцветный; n_o — синий. В кислотах не растворяется.

Встречается в шлихах обычно в виде характерных боченковидных или призматических, слегка окатанных кристаллах или в неправильных зернах. Происхождение — изверженные и метаморфические породы, в особенности контактово-метаморфизованные известняки; также гнейсы. Спутники — турмалин, шпинель, кианит, силлиманит, гранат, циркон, слюды. Разновидности: р у б и н — красный, прозрачный корунд и с а п ф и р — синий корунд, драгоценные камни.

Определяется по форме и окраске кристаллов, высокой твердости и нерастворимости в кислотах. Проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления, низкому двупреломлению и плеохроизму окрашенных разностей. По внешнему виду может быть сходен с гранатом и красной шпинелью, от которых отличается по изотропности последних. От топаза отличается более высоким показателем преломления.

КРЕННЕРИТ — $AuTe_2$ с примесью серебра. Сингония ромбическая. Встречается в призматических кристаллах с вертикальной штриховкой на гранях. Цвет серебрино-белый до латунино-желтого. Твердость 2,5. Плотность 8,35. Непрозрачный. Немагнитный.

Очень редкий минерал; встречается в россыпях вместе с другими теллуридами золота и серебра.

КРОКОИТ — $PbCrO_4$ — очень редкий минерал россыпей. Сингония моноклинная. Наблюдается в виде обломков призматических вытянутых или уплощенных шестоватых кристаллов, неправильных угловатых зерен и слабо окатанных обломков кристаллических агрегатов. Цвет оранжево-красный. Блеск алмазный, на поверхности окатанных частиц сильный жирный. Спайность ясная. Твердость 2,5—3. Весьма хрупкий, раздавливается легко. Плотность 5,8—6,2, не люминесцирует. $n_g = 2,66$; $n_m = 2,37$; $n_p = 2,31$. Полупрозрачный или просвечивает. Двупреломление исключительно высокое: $n_g - n_p = 0,35$; $2V = (+) 50-58^\circ$. Двуосный, положительный. Плеохроизм в красновато-оранжевых и желтых тонах. При нагревании разлагается концентрированной HCl , причем зерна крокоита покрываются с поверхности рыхлой творожистой беловатой оболочкой $PbCl_2$. Смоченный КОН приобретает бурю окраску. Встречается в некоторых районах развития ультраосновных пород и в непосредственной близости сульфидных месторождений. В процессе переноса быстро разрушается. Ассоциирует с церусситом, англезитом, пироморфитом, лимонитом, малахитом и другими вторичными минералами. От реальгара

отличается оптическим знаком и поведением в HCl, от вульфенита — осностью и реакцией на Cг.

КСАНТОФИЛЛИТ — $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})_{3-2}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}]\text{[OH]}_2$. В виде примесей присутствуют Na, K, Cl. Сингония моноклинная. Образует таблитчатые или пластинчатые кристаллы с гексагональными очертаниями (рис. 36), чешуйчатые или листоватые агрегаты. Спайность совершенная по (001), хрупкий. Твердость 4—6, неодинаковая в различных направлениях. Плотность 3,0—3,1. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Цвет восково-желтый, буроватый, бутылочно-зеленый. Немагнитный. В тонких листочках прозрачен или просвечивает. $n_g = 1,661$; $n_m = 1,660$; $n_p = 1,649$; $n_g - n_p = 0,012$. Двусный, отрицательный. $2V = 10-20^\circ$. Плеохроизм заметный лишь у темноокрашенных разностей от бледно-зеленого до бурого. В горячей HCl разлагается лишь частично.

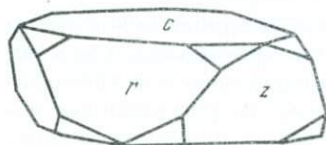


Рис. 36. Ксантофиллит. Форма кристаллов

Встречается в шлихах в виде окатанных обломков кристаллов или чешуйчатых агрегатов. Минерал химически устойчивый и может хорошо сохраняться в россыпях. Происхождение — контак-

тово-метасоматические месторождения среди метаморфических сланцев. Спутники — хлорит, гранат, кальцит, шпинель, перовскит.

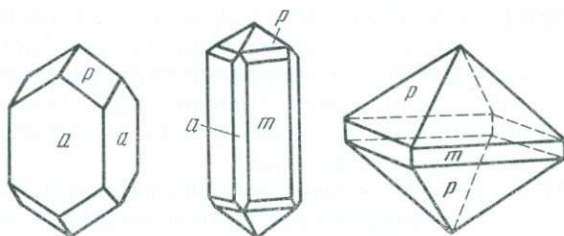


Рис. 37. Ксенотим. Формы кристаллов

Весьма сходен с хлоритоидом, от которого можно отличить лишь с помощью химического анализа.

КСЕНОТИМ — YPO_4 . Примеси Eг, Ce, Si и Th. Сингония тетрагональная. В призматических кристаллах, сходных с кристаллами циркона (рис. 37), иногда находится в срастании с цирконом. Спайность по (110) совершенная. Излом неровный, занозистый. Твердость 4—5. Плотность 4,45—4,59. Блеск смолистый, стеклянный. Цвет желтый, бурый, розовый, белый. Черта светло-бурая или желтая. Умеренно магнитный. Иногда встречаются немагнитные разности. Плохой проводник электричества. Просвечивающий до непрозрачного. Показатель преломления высокий:

$n_e = 1,816$; $n_o = 1,721$. Двупреломление высокое: $n_e - n_o = 0,095$. Оптически одноосный, положительный. Плеохроизм слабый от бледно-желтого до темно-бурого или зеленого. В HCl не растворяется. После сплавления с КОН дает реакцию на Р с молибденово-кислым аммонием.

Встречается в шлихах обычно в бледноокрашенных, слегка окатанных призматических кристаллах и их обломках; по внешнему виду весьма сходен с окрашенным цирконом. Наблюдается помутнение прозрачных кристаллов и образование поверхностных пленок продуктов разложения, состоящих, очевидно, из редких земель. Происхождение — акцессорный минерал гранитов, пегматитов, гнейсов. Спутники — монацит, циркон, рутил, анатаз, торианит, корунд.

Определяется по внешнему виду зерен. Проверяется по оптическим свойствам и химической реакцией на Р. По виду и оптическим свойствам весьма близок к циркону, от которого отличается только химической реакцией на Р.

ЛАЗУЛИТ (моллит) — $(Mg, Fe^{2+})Al_2[PO_4]_2[OH]_2$. Окатанные синие зерна с неровным изломом и стеклянным блеском. Твердость 5—6. Плотность 2,96—3,1. Прозрачный до непрозрачного. $n_g = 1,634$ —1,642; $n_m = 1,634$; $n_p = 1,603$ —1,616. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,036$ —0,038. Оптически двусосный, отрицательный. $2V = 69^\circ$. Плеохроичный: n_p — бесцветный; n_g и n_m — голубой. В кислотах не растворяется. После сплавления с КОН дает реакцию на Р. Очень редкий минерал. Обнаружен в алмазных россыпях вместе с корундом, кианитом и рутилом.

ЛАМПРОФИЛЛИТ — $Na_2SrFe^{2+}Ti_2[SiO_4]O$. Минерал очень редкий. Сингония моноклинная. Пластинчатые и вытянутые кристаллы, розетковидные агрегаты. Цвет темно-бурый, золотисто-бурый, бронзово-желтый. Блеск стеклянный. Спайность весьма совершенная, слюдоподобная. Твердость 2—3. Хрупкий. Плотность 3,44—3,53. Не люминесцирует. Просвечивает, в тонких листочках прозрачный. $n_g = 1,770$ —1,780; $n_m = 1,754$; $n_p = 1,735$ —1,746. $n_g - n_p = 0,032$ —0,035. Двусосный, положительный. $2V = 23$ — 50° . Плеохроизм отчетливый: n_g — коричневатожелтый, оранжево-желтый, буро-желтый, n_p — бледно-желтый, зеленоватожелтый. В кислотах растворяется с выделением геля кремнезема. Сернистый раствор минерала имеет зеленоватую окраску, меняющуюся от прибавления H_2O_2 на ярко-желтую (Ti). В россыпях встречается в виде обломков кристаллов, пластинчатых зерен и листочков, внешне похож на листочки флогопита. Лампрофиллит распространен исключительно в щелочных породах — нефелиновых сиенитах и их пегматитах, сопровождается эгирином, арфведсонитом, рамзантом, апатитом, сфеном, ильменитом. От магнезиально-железистых слюд, сходных по форме зерен, отличается хрупкостью и оптическими свойствами.

ЛАУРИТ — сульфид Ru и Os, главным образом RuS_2 . В мелких октаэдрах или неправильных зернах. Спайность по (111).

Твердость 7,5. Плотность 6,99. Блеск металлический. Цвет железно-черный.

Встречается в платиновых россыпях. Минерал очень редкий.

ЛЕЙКОКСЕН — $TiO_2 \cdot nH_2O$, продукт разложения ильменита и других титановых минералов. Скрытокристаллический. Встречается в виде неправильных зерен или псевдоморфоз по ильмениту. Плотность изменяется от 3,5 до 4,5. Блеск тусклый. Цвет белый, желтый, коричневый, зеленоватый. Немагнитный. Умеренный проводник электричества. Просвечивающий до непрозрачного. Высокий показатель преломления и высокое двупреломление, заметные в просвечивающих осколках. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Обычно встречается в округлых фарфоровидных непрозрачных зернах, окрашенных в белый, серый или желтоватый цвет. Часто отлагается пленкой на поверхности ильменита; иногда незначительные остаточные включения ильменита сохраняются лишь в центральных частях лейкоксена. Такие зерна обладают магнитностью, степень которой изменяется в зависимости от количества ильменита. Поверхность лейкоксена гладкая, хорошо окатанная, реже грубая, шероховатая. Происхождение — продукт изменения ильменита и других титановых минералов. Спутники — ильменит, магнетит, рутил, сфен. Широко распространенный минерал россыпей, весьма часто сопровождающий ильменит.

Определяется по характерному внешнему виду зерен, похожих на окатанные обломки фарфора. Проверяется химической реакцией на Ti . В шлихах зеленоватые разности лейкоксена иногда сходны с бисмутитом, от которого отличаются нерастворимостью в HCl и отсутствием реакции на Vi с цинхоином.

ЛЕПИДОЛИТ (синоним — литиевая слюда) — $KLi_2Al[Si_4O_{10}] \times [F, OH]_2$. Сингония моноклинная. Таблитчатые по (001) кристаллы с псевдогексагональными очертаниями. Часто чешуйчатые или листовато-пластинчатые агрегаты. Спайность весьма совершенная по (001). Излом неправильный. Твердость 2—4. Плотность 2,8—2,9. Блеск стеклянный до жемчужного. Цвет лиловый, лиловато-розовый, белый, желтый, серый, розовый. Немагнитный. Непроводник электричества. Обладает красной люминесценцией в катодных лучах. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления низкий: $n_g = 1,56$; $n_m = 1,55$; $n_p = 1,53$. Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,024$. Двусный, отрицательный. Иногда дает псевдоодносную фигуру. $2V$ меняется от 0 до 50° . В некоторых разностях наблюдается отчетливый плеохроизм: n_p — бесцветный; n_g и n_m — сиреневый или розовый. Дисперсия: $r > v$. Кислотами частично разлагается.

Очень редкий. Встречается, как и другие слюды, в неправильных осколках по спайности, обладающих характерной сиреневой или розовой окраской. Происхождение — граниты, пегматиты. Спутники — сподумен, мусковит, топаз, берилл, касситерит и другие минералы.

Определяется по окраске и совершенной спайности. Проверяется по оптическим свойствам.

ЛЕПИДОМЕЛАН — $KFe_3[Si_3(Al, Fe)O_{10}] [OH]_2$ — редкий минерал в россыпях, по физическим свойствам сходный с биотитом. Пластинчатые или чешуйчатые выделения, цвет черно-бурый, черный. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом. Спайность весьма совершенная по (001). Твердость 2—3. Плотность 3,0—3,2. Не люминесцирует. Непрозрачный или просвечивает. $n_m = n_g = 1,630—1,690$; $n_p = 1,598—1,600$. Двухосный, отрицательный. $2V = 0—10^\circ$. Плеохроизм сильный. В HCl нерастворим, в H_2SO_4 при нагревании полностью разлагается. При промывке легко смывается за счет чешуйчатой формы зерен и небольшой плотности.

Характерен в основном для щелочных магматических пород — сиенитов, нефелиновых сиенитов и их жильных производных. Спутники — эгирин, нефелин, ильменит. Гидратированный и выветрелый минерал приобретает бронзовую или золотистую окраску и содержит дисперсные включения окислов железа, лейкоксена, ориентированные вросстки рутила; края листочков расщепляются, искривляются и утолщаются. Продукты разрушения — вермикулит, минералы группы монтмориллонита, опал, гидроокислы железа, рутил, лейкоксен.

ЛОПАРИТ — $(Na, Ce, Ca)(Nb, Ti)O_3$ — очень редкий минерал россыпей. Наблюдается в виде кубических кристаллов и их обломков или двойников по флюоритовому закону. Цвет черный, буровато-черный. Блеск на гранях кристаллов полуметаллический, в изломе смолистый. Спайность отсутствует, излом неровный, раковистый. Твердость 5,5—6. Плотность 4,75—4,90. Просвечивает. $n = 2,3—2,4$. В скрещенных николях часто анизотропен; двупреломляющие участки располагаются пятнами, реже образуют системы пересекающихся полос. В HCl, HNO_3 , H_2SO_4 нерастворим, но разлагается HF, а также путем сплавления с $KHSO_4$. Сернистый раствор сплава с $KHSO_4$ от прибавления капли танина окрашивается в красно-бурый цвет (реакция на Nb), а от H_2O_2 — в оранжево-желтый (реакция на Ti).

Встречается в районах распространения нефелиновых сиенитов и их пегматитов. В россыпях ассоциирует со сфеном, апатитом, магнетитом, эгирином, щелочными амфиболами, цирконом, рамзаитом, иногда перовскитом, бадделенитом. От торанита, сходного с ним по форме кристаллов, цвету и блеску, лопарит отличается слабой радиоактивностью, от перовскита и пироклора двойниками прорастания.

ЛЬЮИЗИТ — $(Ca, Na, Fe)_2(Sb, Ti)_2O_6(F, OH, O)$. Очень редкий минерал. Сингония кубическая. Образует очень мелкие желто-бурые или бесцветные октаэды, обладающие совершенной спайностью по октаэдру. Твердость 5,5. Плотность 4,9. Высокий показатель преломления: $n = 2,20$. Изотропный.

МАГНЕЗИТ — $MgCO_3$ — редкий минерал россыпей, по свойствам сходный с доломитом. Сингония тригональная. Встречается

в виде обломков тонкозернистых агрегатов, угловатых или окатанных зерен. Цвет белый, иногда с сероватым, желтоватым или голубоватым оттенками. Блеск варьирует от стеклянного до матового. Спайность совершенная по ромбоэдру. Неровный и раковистый излом. Твердость 4—4,5. Хрупок. Плотность 2,9—3,1. Некоторые разности в ультрафиолетовых и катодных лучах слабо люминесцируют голубым, белым или красноватым. Прозрачный или просвечивает; $n_o = 1,700—1,726$; $n_e = 1,509—1,527$; $n_o - n_e = 0,191—0,199$. Одноосный отрицательный. В кислотах разлагается лишь при нагревании. Распространен мало, что обусловлено растворимостью минерала в почвенных водах. Ассоциирует

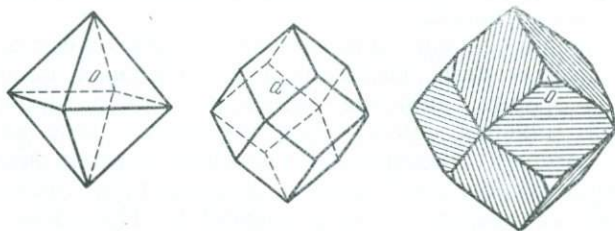


Рис. 38. Магнетит. Формы кристаллов

в россыпях с доломитом и анкеритом, от которых отличается оптически и путем микрохимических реакций. От барита отличим поведением в кислотах и оптическими свойствами. Связан с карбонатными породами.

МАГНЕТИТ (синоним — магнитный железняк) — $Fe^{2+}Fe_2^{3+}O_4$. Fe^{2+} частично замещается Mg, Mn, реже Ni; Fe^{3+} — часто замещается Al и V. Часты примеси TiO_2 . Сингония кубическая. Кристаллизуется в октаэдрах или ромбических додекаэдрах с штриховкой на гранях, параллельно ребру между додекаэдрами и октаэдром (рис. 38). Часто наблюдается в неправильных зернах. Спайность отсутствует. Излом неяснораковистый, неровный. Хрупкий. Твердость 5,5—6,5. Плотность 5,16—5,18. Блеск металлический или матовый полуметаллический. Цвет железно-черный. Черта черная. Сильно магнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. В HNO_3 и HCl при нагревании растворяется с трудом. Раствор в HCl дает реакцию на окисное и закисное железо.

Очень часто встречается в шлихах в виде октаэдров или ромбических додекаэдров; также в виде окатанных блестящих пластинок и зерен неправильной формы. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы. Спутники — ильменит, гематит, корунд, турмалин, шпинель, циркон, гранат, монацит. Разновидность: титаномагнетит — магнетит, содержащий до 25% TiO_2 . Обладает всеми свойствами магнетита. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Определяется по исключительно сильным магнитным свойствам и по форме зерен. От ильменита и других черных минералов отличается сильным магнетизмом и формой зерен.

МАЛАХИТ — $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$ или $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$. Сингония моноклинная. Хорошие кристаллы редки, обычно тонкие игольчатые призмы, собранные в пучки и розетки. Часто встречается в натечных гроздевидных образованиях. Спайность по (001). Излом неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 3,5—4. Плотность 3,9—4,1. Блеск алмазный до стеклянного. Цвет ярко-зеленый. Черта бледно-зеленая. Немагнитный. Прозрачный до просвечивающего; $n_g = 1,909$; $n_m = 1,875$; $n_p = 1,655$. Двупреломление очень высокое; $n_g - n_p = 0,254$. Оптически двуосный, отрицательный. $2V = 43^\circ$. Плеохроизм: n_p почти бесцветный; n_m — желтовато-зеленый; n_g — темно-зеленый. Растворяется в HCl с выделением пузырьков. Раствор дает реакцию на Cu .

Встречается редко, в виде неправильных зерен натечного, радиально-лучистого или концентрически-скорлуповатого строения. Обнаруживается лишь вблизи коренных месторождений сульфидных медных руд. Происхождение — продукт изменения медных минералов. Спутники — минералы меди, кальцит, лимонит.

Определяется по цвету и строению зерен, растворимости в HCl со вскипанием и реакции на Cu . Проверяется по оптическим свойствам.

МАРКАЗИТ — FeS_2 . Сингония ромбическая. Встречается обычно в радиально-волокнистых, шаровидных формах. Твердость 6—6,5. Плотность 4,85—4,90. Блеск металлический. Окраска бронзово-желтая, с поверхности темнеет. Непрозрачный. В холодном HNO_3 разлагается с выделением серы.

Встречается в шлихах очень редко вместе с другими сульфидами.

МЕДЬ — Cu . Содержит иногда незначительные примеси Fe , Ag , V , Pb , Sb . Сингония кубическая. Кристаллизуется в искаженных кубах или кубооктаэдрах. Явные кристаллы редки, чаще неправильные, пластинчатые, закрученные или древовидные образования. Спайности нет. Излом крючковатый. Твердость 2,5—3. Плотность 8,5—8,9. Блеск металлический. Цвет медно-красный. Черта металлическая, блестящая. Немагнитная. Хороший проводник тепла и электричества. Непрозрачна. В HCl не растворяется. Растворяется в HNO_3 с выделением бурых окислов азота. Раствор дает реакцию на Cu с NH_4OH или $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_3]$.

В шлихах встречается редко, лишь вблизи коренных месторождений в виде окатанных неправильных пластинок или древовидных образований. Переходит в куприт, малахит, азурит. Происхождение — коренные месторождения меди различных генетических типов. Спутники — халькопирит, халькозин, малахит, азурит.

Определяется по окраске, форме зерен и налетам малахита. Проверяется химической реакцией на Cu .

МИМЕТЕЗИТ — $\text{Pb}_5[\text{AsO}_4]_3\text{Cl}$. Примеси Р и V, реже Са, Sr, Ва. Очень редкий минерал россыпей. Сингония гексагональная. Кристаллы призматические, до игольчатых, боченковидные, почковидные, натечные агрегаты. Цвет непостоянный, обычно бурый, красновато-бурый, реже желтый и желтовато-зеленый. Блеск от алмазного до жирного и воскового. Спайность отсутствует; излом неровный или раковистый. Твердость 3—3,5. Хрупок. Плотность 7,1—7,2. Немагнитный. В ультрафиолетовом свете люминесцирует желтым и оранжево-желтым. Прозрачен в различной степени: $n_o = 2,10\text{—}2,13$; $n_e = 2,09\text{—}2,12$; $n_o - n_e$ — около 0,010. Одноосный, отрицательный, иногда, двуосный с малым углом оптических осей. В HNO_3 растворим, в HCl и H_2SO_4 разлагается частично, давая пленки PbCl_2 и PbSO_4 .

В россыпях встречается в виде обломков призматических кристаллов или скрытокристаллических зерен, обычно в непосредственной близости от первичных месторождений — в зонах окисления свинцово-цинковых, реже полиметаллических и золото-мышьяковых гидротермальных месторождений. Ассоциирует с лимонитом, арсенопиритом, галенитом, церусситом, англезитом, вульфенитом, пироморфитом, кроконитом, купритом, золотом.

От сходных с ним пироморфита и ванадинита можно отличить лишь с помощью химических реакций.

МОЛИБДЕНИТ (синоним — молибденовый блеск) — MoS_2 . Сингония гексагональная. Кристаллы таблитчатые или короткостолбчатые. Спайность по базису весьма совершенная. В тонких листочках гибок. Жирный на ощупь. На бумаге оставляет след, подобно графиту. Твердость 1—1,5. Плотность 4,7—4,8. Блеск металлический. Цвет свинцово-серый. Черта голубовато-серая на бумаге, зеленовато-серая на фарфоре. Немагнитный. Электропроводность при комнатной температуре незначительна, но при нагревании увеличивается. Непрозрачный. Разлагается в HNO_3 с выделением белого осадка. Дает реакцию на Мо с ксантогенатом калия.

В шлихах редко встречается, лишь вблизи коренных месторождений, в виде мелких чешуек с неровными краями. Благодаря исключительно малой твердости истирается и разрушается при перемещении. Происхождение — коренные месторождения молибдена и связанные с кислыми изверженными породами. Пегматитовые и кварцевые жилы, связанные с гранитами. Спутники — касситерит, шеелит, вольфрамит, флюорит.

Определяется по характерной форме, малой твердости и окраске зерен. Молибденит оставляет на бумаге голубовато-серую черту. Проверяется химической реакцией на Мо. По внешнему виду сходен с графитом, присутствие которого в легкой фракции шлихов отмечается очень редко.

МОНАЦИТ — $(\text{Ce}, \text{La} \dots)\text{PO}_4$. Содержит изоморфные примеси ThSiO_4 и $\text{Th}_{0,5}\text{Ca}_{0,5}\text{PO}_4$. Сингония моноклинная. Обычно мелкие плоские кристаллы, иногда призматические (рис. 39). Спайность

по (001) совершенная, по (100) ясная и по (010) неясная. Излом раковистый до неровного. Хрупкий. Твердость 5—5,5. Плотность 4,9—5,5, чаще 5,0—5,2. Блеск стеклянный, смолистый. Цвет бурый, желтый, красно-бурый, реже зеленоватый, белый, бесцветный. Черта бесцветная. Часто содержит включения торита и редких земель. Слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Радиоактивный. Прозрачный до просвечивающего и полупрозрачного. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,837—1,849$; $n_m = 1,787—1,801$; $n_p = 1,787—1,800$. Двупреломление высокое:

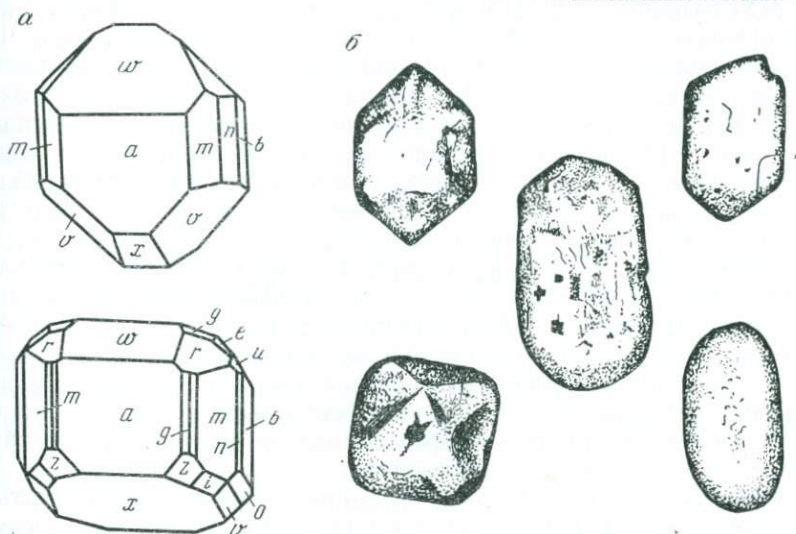


Рис. 39. Монацит.

a — формы кристаллов; *б* — формы зерен, встречающихся в россыпях

$n_g - n_p = 0,045—0,055$. Оптически двуосный, положительный. $2V = 6—19^\circ$. $cn_g = 2—6^\circ$. Слабая дисперсия, $r < v$. В толстых зернах наблюдается плеохроизм в желтых тонах. В кислотах почти не растворяется. После сплавления с КОН дает реакцию на Р с молибденовокислым аммонием. Со спектроскопическим окуляром дает спектр поглощения церия.

В шлихах встречается в виде хорошо окатанных округлых зерен; реже сохраняются плоские кристаллы. Часто минерал мутный, полупрозрачный. С поверхности иногда покрыт беловатым налетом. Происхождение — граниты, гнейсы, пегматиты, аплиты, где он встречается в качестве акцессорного минерала. Спутники — циркон, апатит, ильменит, рутил, гранат, турмалин, золото, хромит, алмаз.

Определяется по форме и окраске зерен, высокой плотности. Проверяется с помощью спектроскопического окуляра по спектру поглощения, по оптическим свойствам и химической реакцией на Р. По внешнему виду может быть сходен со ставролитом, сфе-

ном, эпидотом и оливином. От всех них отличается положительной химической реакцией на Р, по спектру поглощения и высокой плотности. Кроме того, от ставролита отличается более высоким показателем преломления, высоким двупреломлением и характером плеохроизма; от сфена — более низким двупреломлением и отрицательной реакцией на Ti; от эпидота — более высоким показателем преломления и небольшим углом оптических осей; от оливина — по косому погасанию и высокому показателю преломления.

МУСКОВИТ — $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ — калиевая слюда. Сингония моноклинная. Таблитчатые кристаллы, параллельные (001), имеют ромбические или гексагональные очертания. Спайность весьма совершенная по (001). Твердость 2—3. Плотность 2,76—3,10. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет от бесцветного до желтого. Немагнитный, но иногда слабо магнитен (за счет включений). Очень хороший изолятор для электрического тока обычного напряжения. Показатель преломления низкий, изменяется по мере увеличения примеси железа. $n_g = 1,588—1,615$; $n_n = 1,582—1,611$; $n_p = 1,552—1,572$. $2V$ около 45° . Двупреломление обычно высокое: $n_g - n_p = 0,036—0,043$, но при наблюдении пластинок по спайности (001) оно низкое: $n_g - n_p = 0,004—0,006$. Оптически двусный, отрицательный. Плоскость оптических осей $N_g N_p$ перпендикулярна (010); острая биссектриса практически перпендикулярна (001), вследствие чего пластинки по спайности дают всегда хорошую интерференционную фигуру. Дисперсия: $r > v$. В кислотах не растворяется.

Обычный минерал легкой фракции шлихов. Пластинчатые псевдогексагональные кристаллы или тонкие чешуйки с весьма совершенной спайностью. При надавливании иглой кристалл расщепляется на тонкие пластинки по спайности. Происхождение — изверженные и метаморфические породы. Спутники — другие слюды. Разновидность — с е р и ц и т — скрытокристаллические гелеобразные выделения с жирным, шелковистым или восковым блеском. Плотность 2,5—2,7. Слабо просвечивает.

Изменения — в россыпях гидратируется, делается полупрозрачным, уменьшается плотность и показатель преломления.

¶ Определяется по внешнему виду и совершенной спайности. От биотита и лепидолита отличается по окраске и по химическому анализу.

ОЛИВИН (синонимы — хризолит, перидот) — $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$. Содержит примеси TiO_2 , реже Sn и Ni. Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, часто удлиненные или сплюснутые по (100) или (010) (рис. 40). Спайность ясная по (010) и слабая по (100). Излом неровный, глубококораквинный. Хрупкий. Твердость 6,5—7. Плотность 3,0—3,5, повышается с возрастанием содержания железа. Блеск стеклянный. Цвет зеленый различных оттенков, желто-бурый. Черта бесцветная. Обычны включения магнетита, шпинели, апатита, изредка пузырьки жидкой угле-

кислоты. Слабо магнитный. Плохой проводник электричества. От прозрачного до просвечивающего. Высокий показатель преломления, изменяющийся в зависимости от содержания Fe. $n_g = 1,67-1,73$; $n_m = 1,66-1,68$; $n_p = 1,63-1,69$. Высокое дву-преломление: $n_g - n_p = 0,035-0,044$. Оптически двуосный, положительный или отрицательный в зависимости от содержания Fe. $2V$ увеличивается с повышением содержания FeO: при небольших количествах Fe $2V = 70-90^\circ$, при 13% FeO $2V = 90^\circ$, при более значительном содержании FeO $2V$ превышает 90° и оптический знак минерала становится отрицательным. Дисперсия слабая, $r < v$. Не плеохроичный. Растворяется в HCl с выделением SiO_2 при выпаривании.

В шлихах встречается недалеко от коренных выходов в виде неправильных или призматических окатанных зерен обычно характерного желтовато-зеленого цвета. Часто зерна полуразрушены и покрыты трещинами. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы (перидотит, норит, базальт, габбро, диабаз), метаморфизованные осадочные породы, содержащие Mg и SiO_2 , метеориты. Спутники — хромит, пикотит, магнетит, шпинель, платина. Разновидность — драгоценный хризолит — желтовато-зеленый, прозрачный оливин, плотность 3,44—3,55.

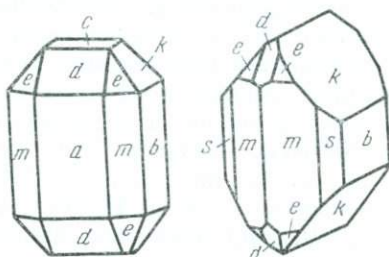


Рис. 40. Оливин. Формы кристаллов

В россыпях легко разрушается и превращается в антигорит или хризотил; при этом железо окисляется и выделяется в виде гематита или лимонита; минерал становится бурым или красно-бурым.

Легко определяется по цвету и внешнему виду зерен. Проверяется по оптическим свойствам — высокому показателю преломления и высокому дву-преломлению. Иногда сходен с эпидотом, от которого отличается по косому погасанию, слабому плеохроизму и характерной интерференционной фигуре последнего.

ОЛОВО — Sn. Сингония тетрагональная. Встречается обычно в тонких пластинках или в неправильных округлых зернах. Очень ковкое. Твердость 2. Плотность 6,97—7,37. Блеск металлический. Цвет серый. Немагнитное. Хороший проводник электричества. Легко плавится ($t_{\text{плав}} 230^\circ$). Легко растворяется в HCl. При обработке HNO_3 покрывается белым налетом метаоловянной кислоты. Раствор в HCl от прибавления какотелина окрашивается в лиловый цвет.

Самородное олово встречается в природе редко и исключительно в россыпях, содержащих касситерит или обогащенных золотом или платиной. В шлихах присутствует всегда в незначительном количестве в виде пластинок или округлых зерен серого

цвета. Самородное олово образуется в результате разложения оловосодержащих минералов — вероятно, сульфидов и, возможно, касситерита. Присутствие его в россыпях Урала обнаружено Гумбольдтом еще в 1829 г. Однако долгое время возможность существования этого металла в естественном состоянии считалось весьма маловероятной, а наличие его в россыпях сомнительным. Многочисленные находки незначительных количеств олова в россыпях различных мест СССР и за границей в настоящее время несомненно устанавливают относительно широкое распространение его (Александров, 1955). Спутники — касситерит, золото, платина, корунд.

Определяется по внешнему виду, малой твердости, растворимости в HCl и разложению в HNO_3 с выделением белого осадка. Проверяется химической реакцией на Sn с какотелином. От самородного свинца, платины и других металлов отличается по отношению к кислотам и реакцией с какотелином.

ОПАЛ — $\text{SiO}_2 \cdot \text{ag}$. Аморфный. Натечный, слоистый, почковидный. Спайность отсутствует. Излом раковинистый. Хрупкий. Твердость 5,5—6,5. Плотность 1,9—2,5. Блеск стеклянный, смолистый, перламутровый. Цвет белый, молочно-белый, бледные тона желтого, красного, серого, голубого и других цветов, иногда с переливами. Черта бесцветная. Немагнитный. Непроводник электричества. Прозрачный до непрозрачного. Показатель преломления низкий: $n = 1,40—1,46$. Изотропный, иногда обладает двупреломлением, обусловленным внутренним напряжением. В обычных кислотах не растворяется. Растворим в HF и едких щелочах.

В шлихах встречается редко, так как благодаря низкой плотности легко смывается. Присутствует в бесформенных зернах белого цвета. Происхождение — разрушенные изверженные породы, кремнистые осадки. Спутник — кварц.

Разновидности — драгоценный или благородный опал — обладает красивой игрой цветов; гиадит — прозрачный, бесцветный опал, встречающийся в натечных корках с шаровой или гроздевидной поверхностью.

Определяется по внешнему виду и малой плотности; проверяется по оптическим свойствам.

ОРТИТ (синоним — алланит) — $(\text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Fe}, \text{Al}, \text{Mg})_3[\text{SiO}_4] \times \times [\text{Si}_2\text{O}_7]_n\text{O}[\text{OH}]$. Разновидность эпидота, содержащая редкие земли. Обычно присутствуют элементы цериевой группы (Ce, La, Nd, Pr), иногда в незначительных количествах металлы иттриевой группы и торий. Сингония моноклиновая. По форме кристаллов сходен с эпидотом. Кристаллы таблитчатые по (100) или удлиненные по (010); часто в виде неправильных образований. Спайность по (100) и (001) слабая. Излом неровный до неяснораковинистого. Твердость 5,5—6. Плотность 3,0—4,20. Блеск стеклянный, смолистый. Цвет бурый до черного. Черты не дает. Слабо магнитный или немагнитный. Прозрачный до просвечива-

ющего. Оптические свойства весьма изменчивы. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,66—1,80$; $n_m = 1,65—1,78$; $n_p = 1,64—1,77$. $2V$ большой. Двупреломление различное. Иногда изотропный. Такие измененные изотропные разновидности имеют более низкую плотность и более низкий показатель преломления. Часто минерал представляет неоднородную смесь чистого минерала с измененным. Оптически двуосный, отрицательный. Сильный плеохроизм, n_g — зеленовато-бурый; n_m — красно-бурый; n_p — буро-желтый. Сильная дисперсия, $r > v$. Некоторые разновидности растворяются в HCl с выделением гелеобразной SiO_2 .

В шлихах встречается в виде таблитчатых или призматических кристаллов. Часто в виде неправильных зерен бурого или черного цвета. Отличительными особенностями являются сильный плеохроизм и способность превращаться в изотропную разновидность. Происхождение — кислые изверженные породы, пегматиты, метаморфические породы (гнейсы, амфиболиты), магнетитовые руды, спутники — эпидот, магнетит.

Определяется по внешнему виду, сильному плеохроизму и другим оптическим свойствам. Поскольку свойства ортита сильно меняются то определение его часто представляет большие трудности и не может быть выполнено только с помощью микроскопического изучения. Во всех затруднительных случаях необходим спектральный анализ.

ОСМИСТЫЙ ИРИДИЙ (синоним—иридистый осмий) — иридий и осмий в различных соотношениях; часто содержит Rh, Ru и Pt. Сингония тригональная. Кристаллы встречаются редко; обычно в неправильных сплюснутых зернах. Спайность совершенная по (0001). Слабо ковкий до почти хрупкого. Излом неровный. Твердость 6—7. Плотность 19,3—21,12. Блеск металлический. Цвет оловянно-белый до стально-серого. Черта серая. Немагнитный, но некоторые разновидности обладают средней магнитностью. Непрозрачный. Нерастворим в кислотах и царской водке.

Встречается в россыпях в виде светло-серых неправильных пластинчатых зерен, по внешнему виду сходных с платиной. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы. Спутники — золото, платина, хромит, оливин, пикотит, шпинель. Разновидности — с а м о р д н ы й и р и д и й — содержит от 0 до 35% Os; н е в ь я н с к и т — в составе преобладает иридий, сингония гексагональная, твердость 7, плотность 17,0—21,0, встречается в плоских чешуйках, сохраняющих шестигранные очертания, цвет оловянно-белый; с ы с е р т с к и т — содержит от 50 до 70% Os и меньше 30% Ig, сингония гексагональная, наблюдается в плоских шестигранных чешуйках, плотность 17,8—22,5, встречается чаще, чем невьянскит. Минералов, содержащих выше 70% Os, не обнаружено.

Определяется по внешнему виду, высокой твердости и нерастворимости даже в царской водке.

ОТЕНИТ — $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$. Очень редкий минерал россыпей. Сингония ромбическая. Кристаллы редки, обычно в виде пластинчатых до листоватых по (001) зерен, часто собранных в звездчатые и чешуйчатые агрегаты. Цвет желтый, иногда с серым, зеленоватым или бурым оттенками. Блеск слабый стеклянный, часто матовый; на плоскостях спайности перламутровый. Спайность слюдоподобная по (001), неотчетливая по (100) и (010). Твердость 2—2,5. Расщепляется на чешуйки. Плотность 3,05—3,25. Немагнитный. В ультрафиолетовом свете и в катодных лучах очень ярко люминесцирует зелено-желтым. Просвечивает в краях зерен или прозрачен. $n_g = 1,576-1,606$; $n_m = 1,573-1,600$; $n_p = 1,550-1,590$; $n_g - n_p = 0,023-0,035$. Двуосный, отрицательный. $2V = 0-20^\circ$ (до 40°). Плеохроизм слабый — n_g бледно-желтый; n_p — бесцветный. В кислотах растворяется. Порошок $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, смоченный каплей азотнокислого раствора минерала, окрашивается в лимонно-желтый цвет, усиливающийся при подсушивании. Сильно радиоактивен. Ярко люминесцирует зеленовато-желтым. Обычный минерал зоны окисления гидротермальных месторождений настурана. В процессах переноса обломочного материала неустойчив и быстро разрушается.

По внешнему виду отенит может быть принят за желтый клинохлор или мусковит, от которых легко отличим характерной люминесценцией. От других желто-окрашенных водных фосфатов урана (ураношпатита, ураноцирцита), относящихся к группе урановых слюдок и также ярко люминесцирующих в ультрафиолетовых и катодных лучах, отличается оптическими свойствами.

ПАЛЛАДИЙ — Pd с небольшим количеством Pt и Ir. Встречается очень редко в виде пластинчатых или неправильных зерен в россыпях, содержащих платину. Твердость 4,5—5. Плотность 10,84—11,97. Цвет серебристо-белый до стально-серого. Немагнитный. В кислотах не растворяется, но растворяется в царской водке.

ПАЛЛАДИЙ-АНТИМОНИД — Pd_3Sb . Очень редкий минерал, цвет серебристо-белый до темного стально-серого. Плотность 9,5. Обнаружен в платиновых россыпях.

ПЕРОВСКИТ — CaTiO_3 . Встречается в россыпях редко в виде окатанных кристаллов кубической формы, в виде неправильных зерен, остроугольных или окатанных обломков. Грани куба покрыты штриховкой. Спайность по кубу весьма совершенная. Твердость 5,5. Плотность 3,97—4,04. Блеск алмазный до металловидного. Цвет белый, желтый, бурый, черный. Немагнитный. Просвечивающий до непрозрачного. Показатель преломления высокий, около 2,38. Изотропный, но иногда аномально двуосный, положительный. Растворяется в кипящей H_2SO_4 . После сплавления с $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ дает реакцию на Ti с перекисью водорода. Обнаружен в алмазных россыпях. К н о п и т — разновидность перовскита, обогащенная церием и железом $(\text{Ca, Ce}(\text{Ti, Fe}^{3+}))\text{O}_3$.

ПЕЦЦИТ — теллурид серебра и золота $(Ag, Au)_2Te$. Сплошной или зернистый. Излом неровный. Обычно хрупок, но некоторые разности ковки, как гессит, и слегка режутся ножом. Твердость 2,5—3. Плотность 8,7—9,2. Блеск металлический, но поверхность окатанных зерен всегда тусклая. Цвет стально-серый до железно-черного. Немагнитный. Непрозрачный. Растворяется при нагревании в HNO_3 и HCl . Азотнокислый раствор с NH_4Cl или HCl дает белый осадок $AgCl$. Для определения Te тонкоизмельченный минерал нагревают в маленькой пробирке с несколькими каплями концентрированной H_2SO_4 , через 5 мин раствор принимает красно-фиолетовую или карминно-красную окраску. При разбавлении водой окраска исчезает и выпадает серый осадок. Для определения Au минерал растворяют в царской водке. Раствор выпаривают на часовом стекле досуха. Остаток растворяют в воде и отфильтровывают при помощи капилляра. К фильтрату прибавляют несколько капель солянокислого раствора $SnCl_2$. В присутствии Au появляется черно-бурый осадок коллоидного золота. Незначительные количества золота вызывают образование пурпурно-красного осадка, который растворяется от прибавления NH_4OH или KOH , окрашивая жидкость в ярко-красный цвет.

В россыпях встречается очень редко в виде бесформенных окатанных зерен плотного или зернистого строения, покрытых с поверхности тусклым налетом. Из-за малой твердости минерал не может переноситься на далекое расстояние и находится лишь вблизи коренных месторождений. Происхождение — жилы, содержащие теллуриды Au и Ag . Спутники — гессит, золото, серебро, пирит, касситерит, шеелит.

Определяется по внешнему виду, окраске и черному налету на поверхности. Проверяется до растворимости в кислотах и химическим реакциям на Te , Au и Ag . По внешнему виду очень сходен с гесситом, от которого часто отличается только с помощью количественного химического анализа.

ПИКОТИТ — $(Mg, Fe)(Al, Fe, Cr)_2O_4$. Занимает промежуточное положение между шпинелью и хромитом. Сингония кубическая. Кристаллы октаэдрической формы. Образует двойники по (111). Спайность едва заметная. Излом раковистый. Твердость 8. Плотность 4,08—4,10. Блеск стеклянный, матовый. Цвет красновато-бурый, кофейно-бурый. Черта бурая. Среднемагнитный. Хороший проводник электричества. Просвечивающий до непрозрачного. Преломление высокое: $n = 2,05$. Изотропный. В кислотах не растворяется. После сплавления с содой дает реакцию на Cr .

В шлихах встречается в мелких неправильных зернах, иногда сохраняющих октаэдрическую форму. Происхождение — основные и ультраосновные породы, спутники — хромит, магнетит, оливин, серпентин, плеонаст, платина. Разновидность — х р о м - п и к о т и т $(Mg, Fe) \cdot (Cr, Al)_2O_4$.

Определяется по форме и окраске зерен, высокой твердости и плотности. Проверяется химической реакцией на Cr. От хромита отличается большей прозрачностью.

ПИРИТ — (синонимы: железный колчедан, серный колчедан) — FeS_2 , обычно с примесью Co, Ni, Cu, As, Sb, Au, Ag и др. Сингония кубическая. Кристаллизуется в кубах и пентагональных додекаэдрах (рис. 41); грани обеих форм часто иштрихованы. Иногда образует двойники по оси (100). Часто сплошной, мелкозернистый или натечный. Спайность весьма несовершенная по (100) и (111). Излом раковнистый до неровного. Хрупкий. Твердость 6—6,5. Плотность 4,95—5,20. Блеск металлический. Цвет латунино-желтый. Часто содержит включения сульфидов As, Ni, Cu и др. Немагнитный. Слабо проводит электричество. Непрозрачный. В HCl не растворяется. Растворяется в горячей HNO_3 с выделением серы.

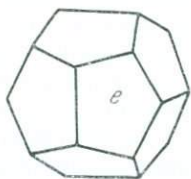
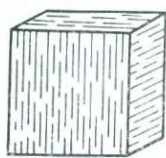


Рис. 41. Пирит. Формы кристаллов

Широко распространен в россыпях. Встречается в кубах или пентагональных додекаэдрах, имеющих штриховку на гранях. Часто окатанные или остроугольные неправильные зерна. В россыпях легко окисляется и превращается в лимонит, который часто покрывает пирит с поверхности. Иногда лимонит полностью замещает пирит с образованием псевдоморфоз лимонита по пириту. Лимонитизированный пирит обычно слабо магнитен, степень магнитности пропорциональна содержанию лимонита. Происхождение — изверженные, метаморфические и осадочные породы. Металлоносные жилы. Спутники — халькопирит, галенит, магнетит, ильменит, гематит, золото, лимонит.

Определяется главным образом по цвету, форме кристаллов и растворимости в HNO_3 . По внешнему виду сходен с халькопиритом, от которого отличается более светлой, латунино-желтой окраской, более высокой твердостью и отрицательной химической реакцией на Cu.

ПИРОКСЕНЫ — см. авгит, диопсид, гиперстен, энститит (табл. 29).

ПИРОЛЮЗИТ — MnO_2 . Скрытокристаллические, почковидные образования. Очень мягкий, пачкает руки. Твердость 2—2,5. Плотность 4,7—5,0. Блеск полуметаллический. Цвет черный до стально-серого с синеватым оттенком. Черта черная. Слабо магнитный. Непрозрачный. В HCl растворяется при нагревании с выделением хлора, окрашивая раствор в бурый цвет. Сплав с содой окрашен в зеленовато-голубой цвет. Незначительные количества пиролюзита вместе с браунитом встречаются в россыпях вблизи коренных месторождений марганца.

ПИРОМОРФИТ — $Pb_5[PO_4]_3Cl$. Примеси As, V, Ca, Sr, Ba. Сингония гексагональная. Призматические, игольчатые, иногда боченковидные кристаллы (рис. 42), обычные сростки: лучистые, ветвистые агрегаты. Цвет желтый, коричневатый, грязно-зеленый, иногда бурый. Блеск жирный или смолистый, на гранях кристаллов иногда восковой. Спайность незаметна, излом неровный до раковистого. Твердость 3—4. Хрупок. Плотность 6,0—7,1. Люминесценция непостоянная, обнаруживается только в коротковолновых ультрафиолетовых лучах, люминесцирует желтым, немагнитен. Обычно просвечивает, иногда вполне прозрачен, $n_o = 2,06$; $n_e = 2,05$; $n_o - n_e = 0,010$. Одноосный, отрицательный; мышьяковитые разности иногда двуосны. Окрашенные разности слабо плеохроируют в желтоватых, зеленоватых и коричневых тонах. В HNO_3 разлагается полностью, в HCl частично, причем зерна покрываются белой пленкой $PbCl_2$. От прибавления к азотнокислому раствору минерала $(NH_4)_2MoO_4$ выпадает желтый осадок, от прибавления $AgNO_3$ — белый, творожистый осадок.

Встречается в виде обломков призматических кристаллов, неправильных зерен, часто обнаруживает признаки окатывания. Наблюдается в сростках с церусситом и галенитом. Происхождение — первичные месторождения пироморфита приурочены к зонам окисления сульфидных свинцово-цинковых, полиметаллических, реже колчеданных золоторудных месторождений. Он образуется как один из продуктов окисления галенита. Встречается преимущественно в делювиальных, элювиальных, реже речных россыпях. Спутники — англезит, церуссит, крокоит, вульфенит, малахит, смитсонит, лимонит, галенит, пирит.

От вульфенита отличается блеском, слабым двупреломлением, реакцией на P; от ванадинита отрицательной реакцией на V; для отличия от миметезита необходимо применение точных химических методов.

ПИРОХЛОР — $(Na, Ca, Fe, Ce, U, Th)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(OH, F)$. Сингония кубическая. В шлихах встречается очень редко в виде мелких октаэдров или неправильных зерен. Спайность по (111) неясная. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 5—6. Плотность 4,03—4,36. Цвет бурый, красный, желтый, в свежем изломе часто почти черный. Черта бурая. Блеск жирный, до стеклянного. Слабо магнитный. Просвечивающий до непрозрачного. Изотропный, но иногда обладает аномальным двупреломлением. $n = 1,96—2,02$. В HCl не растворяется. H_2SO_4 при кипячении почти нацело разлагает порошок минерала с выделением белого

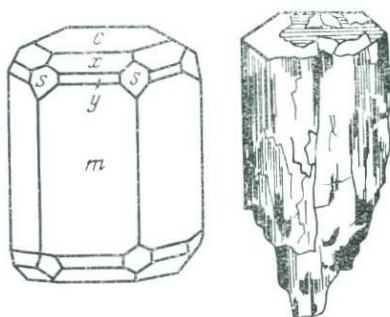


Рис. 42. Пироморфит. Формы кристаллов

Основные минералы группы пироксенов

Минерал, формула	Окраска	Плотность	Оптические свойства	Магнитность	Спутники
Ромбические					
Энстатит $Mg_2[Si_2O_6]$	Серый, желтоватый, зеленоватый, белый	3,1—3,3	$n_g = 1,660—1,680$; $n_m = 1,654—1,674$; $n_p = 1,656—1,668$; $n_g - n_p = 0,009—0,012$. Плеохроизм слабый. n_p — желтый; n_m — буровато-желтый; n_g — зеленый	Немагнитный или слабомагнитный	Оливин, апатит, пироксены, амфиболы
Гиперстен $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$	Серовато-зеленый, оливковый, коричневый	3,3—3,5	$n_g = 1,69—1,77$; $n_m = 1,69—1,76$; $n_p = 1,68—1,75$; $n_g - n_p = 0,013$. Плеохроизм сильный. n_p — розовый; n_m — желтый; n_g — зеленый	Магнитность изменяется в зависимости от содержания железа	Другие пироксены, амфиболы
Моноклинные					
Диопсид $CaMg[Si_2O_6]$	Белый, бледно-зеленый, серый	3,27—3,38	$n_g = 1,694—1,709$; $n_m = 1,671—1,686$; $n_p = 1,664—1,681$; $n_g - n_p = 0,023—0,031$. Не плеохроичен	Слабомагнитный	То же
Геденбергит $CaFe[Si_2O_6]$	Темно-зеленый, зеленовато-черный	3,5—3,6	$n_g = 1,738—1,757$; $n_m = 1,719—1,735$; $n_p = 1,711—1,739$; $n_g - n_p = 0,018—0,027$. Отчетливый плеохроизм в желтовато-зеленых тонах	Среднемагнитный	»
Авгит $Ca(Mg, Fe^{2+}, Al)[(Si, Al)_2O_6]$	Темно-зеленый, черный, бурый	3,2—3,6	$n_g = 1,710—1,724$; $n_m = 1,698—1,702$; $n_p = 1,682—1,700$; $n_g - n_p = 0,023—0,026$. Плеохроизм в зеленоватых и красноватых тонах	Среднемагнитный	Другие пироксены, оливин, амфиболы
Жадеит $NaAl[Si_2O_6]$	Яблочно- или голубовато-зеленый	3,3—3,4	$n_g = 1,667$; $n_m = 1,659$; $n_p = 1,654$; $n_g - n_p = 0,013$	Немагнитный или слабомагнитный	Глаукофан
Эгирин $NaFe^{3+}[Si_2O_6]$	Зеленовато-черный, темно-зеленый, бурый	3,4—3,6	$n_g = 1,780—1,825$; $n_m = 1,770—1,810$; $n_p = 1,740—1,775$; $n_g - n_p = 0,040—0,052$. Сильный плеохроизм. n_p — травяно-зеленый; n_m — голубовато-зеленый; n_g — зеленоватый, желтый	Магнитный	Щелочные амфиболы, нефелин
Сподумен $LiAl[Si_2O_6]$	Белый, зеленый, желтовато-розоватый	3,13—3,20	$n_g = 1,675—1,681$; $n_m = 1,66—1,67$; $n_p = 1,651—1,668$; $n_g - n_p = 0,013—0,027$. Окрашенные разности плеохроичны. n_p — пурпурный или зеленый; n_m — розовый, зеленый; n_g — бесцветный	Немагнитный	Турмалин, берилл, гранат

осадка и коричневого раствора, мутнеющего при разбавлении водой. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Nb с таннином и на Ti с H_2O_2 . Связан с пегматитами, нефелиновыми сненитами и другими породами. Разновидности: э ш в е г е т — итровая разновидность пирохлора, обнаружен только в гравии Минаж Жираиж (Бразилия) в виде темных красновато-серых окатанных зерен, изотропный, $n = 2,15—2,20$, плотность 5,87; г а т ч е т т о л и т — обогащенная ураном разновидность.

ПИРРОТИН [МАГНИТНЫЙ КОЛЧЕДАН] — Fe_nS_{n+1} (чаще всего Fe_6S_7 до $Fe_{11}S_{12}$). Сингония гексагональная. В шлихах встречается очень редко в виде неправильных осколков бронзово-желтого цвета с томпаково-бурой побегалостью. Твердость 3,5—4,5. Плотность 4,58—4,70. Сильно магнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. Легко окисляется и покрывается с поверхности черным налетом. В HNO_3 и HCl растворяется с выделением серы и H_2S .

ПЛАТИНА — Pt, содержит примесь Fe, Ir, Rh, Rd, Os и других металлов. Сингония кубическая. Кристаллы редки, обычно встречается в округлых или сплюснутых зернах. Спайности не заметно. Излом крючковатый. Ковкая и тягучая. Твердость 4—4,5. Плотность самородной платины изменяется от 14 до 19. Блеск металлический. Цвет белый, серый. Черта серая. Немагнитная, но разности, содержащие примеси Fe, иногда сильно магнитны и выделяются постоянным магнитом вместе с магнетитом и другими сильно магнитными минералами. Хороший проводник электричества. Непрозрачная. В кислотах не растворяется. Растворяется только в царской водке, раствор дает реакцию на Pb с KI.

Встречается в виде окатанных сплюснутых или округлых зерен серого цвета. Иногда присутствует в виде неправильных древовидных образований. Поверхность зерен обычно неровная, ямчатая. Происхождение — основные и ультраосновные породы: норит, габбро, перидотит, дунит, серпентинит. Изредка сульфидные руды и кварцевые жилы. Спутники — магнетит, ильменит, хромит, оливин, пикотит, цейлонит, осмистый иридий, золото, корунд, циркон. Разновидности: п о л и к с е н — магнитная платина, содержит значительные примеси железа и обладает сильными магнитными свойствами; ф е р р о п л а т и н а — содержит 16—19% Fe; и р и д и с т а я п л а т и н а — смесь Pt и Ir в различных соотношениях. В россыпях встречается в виде серебрино-белых угловатых зерен вместе с Pt. Твердость 6—7. Плотность 22,6—22,8. Нерастворима в царской водке.

Определяется по цвету, блеску, ковкости, нерастворимости в обычных кислотах и растворимости в царской водке. Проверяется химической реакцией на Pt.

ПОВЕЛЛИТ — $CaMoO_4$. Иногда содержит изоморфную примесь WO_3 . Сингония тетрагональная. Мелкие кристаллы дипира-

мидального облика и внешне подобны кристаллам шеелита. Спайность заметная по (111), излом неровный или раковистый. Твердость 3—3,5. Хрупкий. Плотность 4,2—4,5. Блеск от алмазного (на гранях кристаллов) до жирного и матового (для зерен и землистых частиц). Цвет бледно-желтый, зеленовато-желтый, буроватый, желто-серый. Немагнитный. В коротковолновых ультрафиолетовых, а также катодных лучах отчетливо люминесцирует желтым или зеленовато-желтым. Прозрачен лишь в тонких обломках. $n_e = 1,978—1,984$; $n_o = 1,967—1,974$; $n_e - n_o = 0,010—0,011$. Одноосный, положительный. В HCl и HNO₃ при нагревании разлагается. Дает реакции на Mo и Ca.

В россыпях наблюдается редко в виде неправильных зерен, угловатых или окатанных частиц тонкозернистого или землистого сложения, иногда содержащих примеси других минералов; очень редко в виде кристаллов и их обломков. Происхождение — зона окисления молибденовых рудопоявлений, обычно является продуктом разрушения молибденита. Спутники — молибденит, вульфенит.

От сходного с ним вульфенита отличается химической реакцией на Pb, оптическими свойствами и люминесценцией в ультрафиолетовых и катодных лучах.

ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ — большая группа минералов, сходных по химическому составу и внешнему виду.

Алюмосиликаты K, Na или Ca, реже Ba — ортоклаз K[AlSi₃O₈], микроклин K[AlSi₃O₈], анортклаз (Na, K) [AlSi₃O₈], альбит Na[AlSi₃O₈], анортит Ca[Al₂Si₂O₈]. Кристаллизуются в моноклинной или триклинной сингонии. Кристаллы отдельных разновидностей очень близки по углам, общему габитусу и способам двойникования. Часто наблюдаются призматические, ромбические или таблитчатые кристаллы. Образуют двойники по различным законам, часто полисинтетические. Спайность по двум направлениям — по (001) и (010), пересекающимся под углом 90° или близким к 90°. Излом раковистый или неровный. Твердость 6—6,5. Плотность колеблется от 2,5 до 2,9, чаще 2,55—2,75. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет белый, бледно-желтый, розовый, красноватый, зеленоватый. Черта бесцветная. Немагнитные. Непроводники электричества. Ярко люминесцируют в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. Окраска люминесценции различная. Прозрачные. Показатели преломления низкие, изменяются для различных разновидностей: $n_g = 1,52—1,588$; $n_m = 1,529—1,583$; $n_p = 1,525—1,575$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,006—0,013$. Интерференционная окраска часто располагается правильными полосами или клетками, обусловленными полисинтетическими двойниками. Прочие оптические свойства изменяются в широких пределах в зависимости от разновидностей. В кислотах не растворяются.

Встречаются в зернах, сохраняющих признаки хорошей спайности, или в неправильных окатанных зернах. Происхождение —

изверженные породы, обычно кислого типа. Гнейсы и кристаллические сланцы.

Определяются главным образом по низкой плотности, спайности и по наличию полисинтетических двойников. От кварца отличаются наличием спайности и полисинтетических двойников.

ПОЛИКРАЗ — ЭВКСЕНИТ — $(Y, Ce, Ca, U...)(Ti, Nb, Ta)_2O_6$ — титано-ниобаты редких земель и урана, по составу подобные минералам группы блонстрандина — приорита. Сингония ромбическая. В шлихах встречается очень редко, в виде хорошо образованных табличных кристаллов или в неправильных зернах, покрытых с поверхности желтым налетом гуммита. Спайности не наблюдается. Излом раковистый, хрупкий. Твердость 5,5—6,5. Плотность 4,7—5,4. Блеск полуметаллический, жирный. Цвет черный, бурый. Черта бурая. Слабо магнитный. Непрозрачный, но в тонких осколках просвечивает. $n = 2,06—2,24$. В HCl разлагается частично, в H_2SO_4 совершенно, но при этом выделяется белый осадок земельной кислоты. Сернокислый раствор дает реакцию на $(Nb, Ta)_2O_5$ с таннином. Происходит из пегматитов и пегматоидных гранитов. Поликраз был найден в золотоносных песках в виде хорошо образованных кристаллов. Обычные спутники: монацит, апатит.

ПРЕНИТ — $Ca_2(Al, Fe)_2Si_3O_{10}[OH]_2$. Редкий минерал россыпей. Сингония ромбическая. Кристаллы редки, столбчатой или таблитчатой формы, обычно плохо образованы; характерны почковидные агрегаты с радиально-лучистым или волокнистым строением. Цвет бледно-желтый, зеленовато-желтый, белый, зеленовато-серый. Блеск слабый стеклянный. Спайность в одном направлении, заметная лишь на обломках кристаллов. Излом неровный. Твердость 6—6,5. Хрупкий. Плотность 2,8—3,0. Слабо магнитный. В ультрафиолетовом свете люминесцирует красновато-розовым или светло-зеленым; в катодных лучах — зеленым. Непрозрачный, изредка просвечивает в краях зерен. $n_g = 1,642—1,655$; $n_m = 1,618—1,640$; $n_p = 1,612—1,635$; $n_g - n_p = 0,022—0,030$. Двуосный, положительный, $2V = (+) 65—70^\circ$. В кислотах при нагревании разлагается с выделением порошковатой SiO_2 .

В россыпях встречается в виде неправильных зерен, реже в виде обломков кристаллических сростков. Пренит — типичный гидротермальный минерал, образующийся в результате разрушения плагиоклазов, нефелина и других алюмосиликатов. Сопровождается гроссуляром, эпидотом, цоизитом, карбонатами.

По внешнему виду сходен с цоизитом и эпидотом, от которых отличается более низкими показателями преломления.

ПРУСТИТ — Ag_3AsS_3 . Содержит примесь Sb, реже Cu, Pb и Fe. Очень редкий минерал россыпей. Тригональной сингонии. Кристаллы сколеноэдрического облика встречаются редко; обычно в сплошных массах. Цвет ярко-красный. Блеск сильный алмазный до жирного. Твердость 2—2,5. Хрупкий. Спайность отчетливая по $(10\bar{1}1)$. Излом раковистый, неровный. Плотность 5,5—5,6.

Немагнитный. В краях тонких зерен просвечивает красным. $n_o = 2,98-3,09$; $n_e = 2,71-2,79$; $n_o - n_e = 0,27-0,30$. Одноосный, отрицательный. Плеохроизм слабый в красных и оранжево-красных тонах. Легко разлагается концентрированной HNO_3 с выделением порошковатой серы и белого осадка As_2O_3 . От прибавления HCl к азотнокислому раствору выпадает белый хлопьевидный осадок AgCl . От прибавления $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ выпадает ярко-желтый осадок мышьяково-молибденового аммония.

Встречается в шлихах в виде угловатых неправильных зерен, изредка окатанных. Спутники — галенит, серебро, аргентит, шмальтин, висмутин, тетраэдрит. Ввиду малой твердости, хрупкости и легкой окисляемости прустит встречается только в непосредственной близости от коренных месторождений полиметаллических руд.

ПСИЛОМЕЛАН-ВАД — $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Соотношение MnO и MnO_2 колеблется в широких пределах. Примеси Ba , иногда щелочи, Ca , Co , Mg , Zn и др. Встречается в натечных или шаровидных выделениях микрокристаллического, а также аморфного строения, иногда дендритовые образования черного или буровато-черного цвета. Черта черная. Твердость 4—6. Плотность 4,4—4,7. Растворяется в концентрированной HCl с выделением хлора и образованием темного зеленовато-бурого ореола. В шлихах встречается очень редко.

РАМЗАИТ — $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$. В качестве примесей Fe и Zr . Очень редкий минерал россыпей. Сингония ромбическая. Кристаллы уплощенно-призматические, до таблитчатых по (100), часто богаты гранями. Цвет светло-коричневый, бурый, почти черный. Блеск алмазный, на поверхностях окатанных зерен жирный. Спайность совершенная по (100) (параллельно уплощению зерен) и отчетливая по (210). Излом плоскоступенчатый до неровного. Твердость 6. Хрупкий. Плотность 3,38—3,43. Слабомагнитен. Не люминесцирует. Прозрачен или просвечивает. $n_g = 2,02-2,03$; $n_m = 2,01$; $n_p = 1,91-1,92$; $n_g - n_p = 0,100-0,110$. Двусосный, отрицательный. $2V = (-) 33-40^\circ$. Плеохроизм слабый, n_g — бледно-желтый, n_p — оранжево-желтый, красновато-желтый. В кислотах, за исключением HF , не растворяется.

В россыпях наблюдается в виде обломков уплощенных и удлиненных кристаллов, окатанных в различной степени. Встречается в районах распространения нефелиновых сиенитов и ийолитов, где ассоциирует с эгирином, лопаритом, сфеном. По внешнему виду в окатанных зернах сходен с брукитом и бадделитом, от которых отличен по величине показателя преломления и оптической ориентировке.

РАСПИТ — PbWO_4 . Сингония моноклинная. Очень редкий минерал. Буровато-желтые таблитчатые кристаллы с алмазным блеском. Твердость 2,5. Плотность около 8. Прозрачный, с очень высоким показателем преломления. $n_g = 2,30$; $n_p = 2,27$. $2V$ очень мал. Двупреломление высокое. Оптически двусосный,

положительный. Дает химическую реакцию на Pb и W. Спутники — минералы, содержащие Pb.

РЕАЛЬГАР — AsS. Сингония моноклинная. Окатанные зерна красного или оранжево-красного цвета с жирным блеском. Твердость 1,5—2. Плотность 3,4—3,6. Прозрачный или просвечивающий. $n_g = 2,61—2,70$; $n_m = 2,59$; $n_p = 2,46—2,54$. Двупреломление высокое. Оптически двуосный, отрицательный. Растворяется в HNO_3 и KOH. Азотнокислый раствор дает реакцию на As с молибденовокислым аммонием. В шлихах встречается очень редко. Единичные зерна реальгара могут быть обнаружены в шлихах,

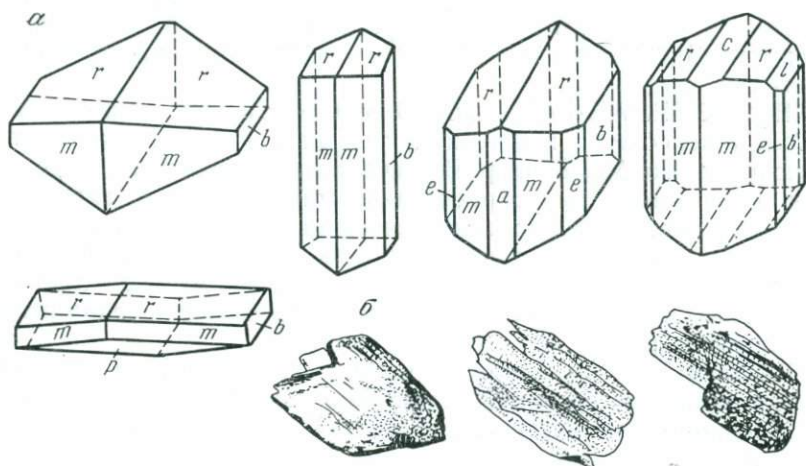


Рис. 43. Роговая обманка.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

взятых вблизи коренных выходов мышьяковых руд, вместе с аурипигментом, антимонитом, баритом, кальцитом и пиритом.

РОГОВАЯ ОБМАНКА — $NaCa_2(Mg, Fe^{2+})_4(Al, Fe^{3+})[(Si, Al)_4O_{11}]_2[OH]_2$ — минерал из группы амфиболов. Сингония моноклинная. Вытянутые призматические или игольчатые кристаллы (рис. 43). Спайность совершенная по (110), ясная (спайность? отдельность?) по (010). Излом неровный, полураковистый. Твердость 5,5—6. Плотность 3,1—3,3; изменяется в зависимости от состава. Блеск стеклянный. Цвет зеленый, бурый, черный. Обладает магнитностью. Слабый проводник электричества. Прозрачная до просвечивающей. Высокий показатель преломления: $n_g = 1,653—1,697$; $n_m = 1,647—1,685$; $n_p = 1,635—1,670$. Двупреломление высокое или среднее. Оптически двуосная, отрицательная. $cn_g = 15—25^\circ$. Плеохроизм меняется; максимальная абсорбция в направлении, параллельном n_g ; n_p — желтый или бледно-зеленый; n_m — соломенно-желтый или желто-зеленый; n_g — бурый или темно-зеленый. Дисперсия: $r < v$. В кислотах не растворяется.

Встречается в призматических или шестоватых кристаллах с явно выраженной спайностью по удлинению. В толстых зернах наблюдается плеохроизм. Происхождение — изверженные и метаморфические породы, в особенности граниты, сиениты, диориты и соответствующие им эффузивные породы. Роговообманковые сланцы. Спутники — пироксены, слюды, сфен, апатит.

Определяется преимущественно по форме и окраске зерен, характерной призматической спайности, умеренному плеохроизму и по углам погасания. При аккуратном раздавливании роговой обманки между двумя предметными стеклами она распадается по спайности на мелкие тонкие иголки. От сходных по виду пироксенов отличается более совершенной спайностью по удлинению.

РОДОНИТ — $(\text{Mn}, \text{Ca})\text{SiO}_3$. Обычно содержит примеси Fe, часто Mg, Zn, Na, иногда Al. Очень редкий минерал россыпей. Сингония триклинная. Неправильные остроугольные, слабоокатанные зерна, обломочные частицы, имеющие тонкозернистое сложение. Цвет бледно-розовый, буровато- и коричневатозеленый, иногда белый. Блеск стеклянный или жирный. Спайность ясная по (100). Твердость 5—5,5. Хрупкий. Излом неровный. Плотность 3,40—3,75. Слабо магнитный. Просвечивает в краях зерен и обломочных частиц, реже прозрачный. $n_g = 1,724—1,747$; $n_m = 1,726—1,735$; $n_p = 1,716—1,733$; $n_g - n_p = 0,008—0,014$. Двусный — отрицательный или положительный. $2V = (+) 61—75^\circ$. Плеохроизм слабый в бледных розовых и желтовато-розовых тонах. В кислотах разлагается с трудом и лишь при кипячении. С бурой дает лилово-фиолетовый перл. По трещинам обычны примазки и выделения черных окислов и гидроокислов Mn.

Связан преимущественно с метаморфизованными кремнистыми осадочными породами, заключающими залежи пирролюзита, также с контактово-метасоматическими месторождениями в ассоциации с родохрозитом, сфалеритом, галенитом, пиритом. Весьма нестойкий, легко окисляется при выветривании и поэтому редко сохраняется в россыпях.

По внешнему виду и некоторым физическим свойствам родонит сходен с бустамитом — $(\text{Ca}, \text{Mn})\text{SiO}_3$; отличается от него плотностью и оптическими свойствами. По окраске и облику зерен может быть ошибочно принят за андалузит, розовый клиноцоизит, корунд, гранат, родохрозит; отличается оптическими свойствами и, в частности, от наиболее сходного по оптическим свойствам клиноцоизита — меньшими показателями преломления.

РОМЕИТ — $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mn})_2\text{Sb}_2\text{O}_6[\text{F}, \text{OH}, \text{O}]$. Очень редкий минерал. Сингония псевдокубическая. Желтые или красные кристаллы октаэдрического или кубического облика. Твердость 5—6. Плотность 4,7—5,1. Показатель преломлений высокий: $n = 1,83—1,87$. Изотропный, но иногда наблюдается двупреломление и двусная отрицательная интерференционная фигура. В кислотах не растворяется.

РУТИЛ — TiO_2 . Обычно содержит примеси Fe и реже Sn. Сингония тетрагональная. Призматические или игольчатые кристаллы, часто образующие коленчатые двойники по (101) и реже по (301) (рис. 44). Грани призматических кристаллов обычно покрыты штрихами или бороздками параллельно ребру призмы. Спайность по (110) и (100) хорошая, по (111) неясная. Излом мелкокоралловидный, неровный. Хрупкий. Твердость 6—6,5. Плотность 4,18—4,25, иногда достигает 5,2. Блеск алмазный, металлический. Цвет красный, бурый, желтый, черный; реже синий, розовый, зеленый. Черта бледно-бурая. Немагнитный. Средний

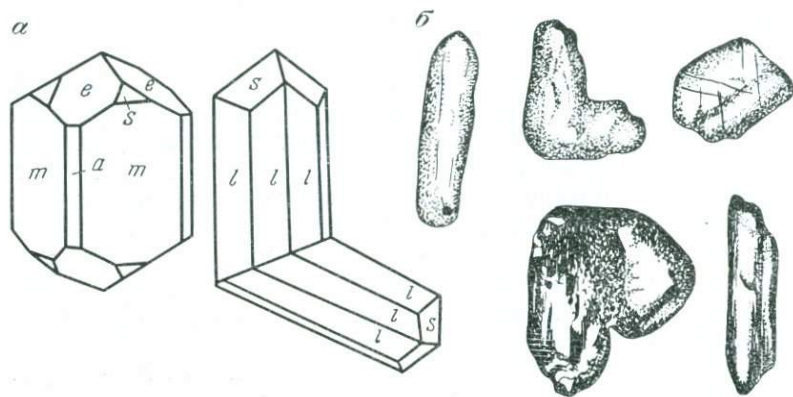


Рис. 44. Рутил.

a — формы кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

проводник электричества. Прозрачный до непрозрачного. Показатель преломления очень высокий: $n_e = 2,889—2,903$; $n_o = 2,606—2,616$. Двупреломление очень высокое: $n_e - n_o = 0,286—0,287$. Оптически одноосный, положительный. Благодаря полисинтетическому двойникованию иногда наблюдается аномальная двусная интерференционная фигура. В окрашенных зернах достаточной толщины наблюдается слабый плеохроизм. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ и растворения сплава в H_2SO_4 дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Призматические, шестоватые кристаллы с вертикальной штриховкой граней, коленчатые двойники или неправильные окатанные зерна. Обычно окрашен в красный цвет. Черные и бурые разности в тонких осколках также имеют красноватый оттенок. Происхождение — гранит и другие кислые изверженные породы. Кристаллические метаморфические породы. Спутники — ильменит, анатаз, брукит, апатит, ставролит, топаз, турмалин. Разновидности: с а г е н и т — «сетчатая» разновидность рутила, состоит из тонких кристаллов, образующих коленчатые двойники; н и г р и н — черный рутил, содержащий до 20% FeO.

Определяется по форме и окраске зерен, сильному блеску и наличию коленчатых двойников. Проверяется по оптическим свойствам и химической реакции на Ti . От касситерита отличается отсутствием реакции восстановления на цинке, от циркона — химической реакцией на Ti .

САМАРСКИТ — $(Y, Er \dots)_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3$. Сингония ромбическая. В шлихах встречается очень редко в виде неправильных окатанных зерен, покрытых с поверхности желтым налетом. Спайность по (010) едва различимая. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 5—6. Плотность 5,6—5,8. Цвет бархатно-черный. Черта красно-бурая до черной. Блеск стеклянный до смолистого. Слабо магнитный. Непрозрачный. В тонких осколках просвечивает коричневым. $n = 2,11—2,25$. Обычно изотропный, иногда анизотропный с сильным двупреломлением. В кислотах при продолжительном нагревании разлагается с выделением белого осадка. Раствор при кипячении с металлическим оловом окрашивается в голубой цвет от присутствия Nb . Происходит из пегматитов; встречен в гранитной дресве. В шлихах легко разрушается.

СВИНЕЦ — Pb . Иногда содержит незначительные примеси Ag и Sb . Сингония кубическая. Кристаллы образует редко, обычно встречается в тонких пластинках или в мелких шариках. Очень ковкий. Твердость 1,5, легко режется ножом. Плотность 11,4—13,3. Блеск в свежем изломе металлический, с поверхности тусклый. Цвет свинцово-серый. Черта блестящая, свинцово-серая. Немагнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. При нагревании с трудом растворяется в HCl и HNO_3 . Раствор дает реакцию на Pb с KI .

Самородный свинец встречается в природе исключительно редко. Обнаружен в россыпях вместе с золотом и платиной в виде тонких неправильных пластинок или в виде мелких округлых зерен, покрытых с поверхности тусклым черным налетом.

Определяется под бинокляром по свинцово-серому цвету, металлическому блеску и большой ковкости. Проверяется химической реакцией на свинец. По внешнему виду в шлихах может быть сходен с самородным серебром, оловом, цинком и платиной. Отличается от всех этих металлов по характеру растворимости в кислотах и по результатам химического анализа.

СЕРЕБРО — Ag . Содержит примеси Au , Cu и иногда Sb , Bi , Hg . Сингония кубическая. Встречается обычно в виде неправильных или древовидных образований, а также в пластинках и сплюснутых чешуйках. Спайности не наблюдается. Ковкое и тягучее. Излом крючковатый. Твердость 2,5—3. Плотность 10,1—11,1. Блеск металлический. Цвет и черта серебристо-белые, серые. Немагнитное. Хороший проводник электричества. Непрозрачное. Легко растворяется в HNO_3 . Раствор дает с NH_4Cl или разбавленной HCl белый творожистый осадок.

Самородное серебро встречается в шлихах редко, значительно реже, чем золото. Присутствует обычно в виде неправильных

зерен или пластинок различных размеров, с поверхности покрытых черным налетом. Происхождение — кварцевые, кальцитовые, баритовые жилы, содержащие серебро. Зона окисления сульфидных месторождений содержащих серебряные соединения. Спутники — золото, флюорит, барит, сфалерит, галенит, цессит.

Определяется по серебристо-белой окраске, черной побежалости, низкой твердости, ковкости и растворимости в HNO_3 . Проверяется химической реакцией на Ag с NH_4Cl . По внешнему виду сходен с самородным свинцом, оловом и платиной. Отличается от них по характеру растворения в кислотах и по химическим реакциям на Ag, Pb и Sn. От платины отличается меньшей твердостью.

СЕРПЕНТИН — $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$. Примеси Fe, Ni, реже Al, Cr, Ca и Co. Редкий минерал легкой фракции россыпей. Иногда наблюдается в тяжелой фракции за счет включений магнетита, хромшпинелидов и др. Сингония, вероятно, моноклинная. Тонкочешуйчатый, листоватый, скрытокристаллический. Цвет зеленый различных оттенков, буроватый, черный (за счет примесей магнетита или графита). Блеск жирный с шелковистым отливом на поверхностях раскола, у плотных масс восковой. Спайность слюдоподобная, заметная только в листоватых и чешуйчатых агрегатах. Излом плотных частиц неровный, остроугольный или раковистый. Твердость 2—3,5. Хрупкий. Плотность 2,5—2,7. Слабо магнитный. Не люминесцирует. Полупрозрачный или слабо просвечивает. Показатели преломления варьируют в широких пределах: $n_g = 1,511—1,571$; $n_m = 1,502—1,570$; $n_p = 1,490—1,560$. $n_g - n_p = 0,004—0,021$. Двуосный, отрицательный. В кислотах разлагается.

В шлихе встречается в виде неправильных частиц гелеобразного сложения. Спутники — хромшпинелиды, карбонаты, хлорит, магнетит, гроссуляр, везувиан, хромдиопсид. При переносе неустойчив, быстро истирается и разрушается. В древних отложениях не сохраняется.

СИДЕРИТ — FeCO_3 . Сингония тригональная. Кристаллы обычно ромбоэдрические, также натечные гроздевидные и шаровидные образования. Спайность совершенная по ромбоэдру (1011). Излом неровный или неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 3,5—4. Плотность 3,78—3,89. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет серый, буроватый. Черта белая. Немagnetный. Плохой проводник электричества. Люминесцирует в катодных лучах красным или коричневым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_o = 1,851—1,875$; $n_e = 1,612—1,634$. Двупреломление очень высокое $n_o - n_e = 0,238—0,242$. Оптически одноосный, отрицательный. Иногда наблюдается псевдоабсорбция, обусловленная большой разностью в показателе преломления. Радиально-лучистые массы обнаруживают волокнистую поляризацию («черный крест»). При нагрева-

нии растворяется в HCl с выделением CO₂. Раствор окрашен в желтый цвет и дает реакцию на Fe²⁺ с K₃[Fe(CN)₆].

Сидерит в россыпях легко разрушается и поэтому в шлихах встречается редко в неправильных угловатых или слегка окатанных зернах, обладающих совершенной спайностью. Иногда наблюдаются ромбовидные зерна, ограниченные плоскостями спайности, или радиально-лучистые сферолиты. Поверхность сидерита часто покрывается корочкой лимонита. Происхождение — глинистые железистые песчаники и связанные с ними осадочные отложения. Рудные жилы. Спутники — лимонит, пирит, халькопирит, галенит.

Определяется по пластинчатой форме зерен, совершенной спайности и бурой окраске. Проверяется по растворимости со вскипанием в горячей HCl и по оптическим свойствам.

СИЛЛИМАНИТ — Al[AlSiO₅]. Подобен андалузиту и кианиту. Сингония ромбическая. Кристаллы призматического или волокнистого габитуса. Грани призмы иногда вертикально исштрихованы. Спайность совершенная по (010). Излом неровный. Хрупкий. Твердость 6—7. Плотность 3,23—3,25. Блеск стеклянный. Цвет зеленоватый, буроватый, серовато-белый; чаще бесцветный. Черта бесцветная. Иногда содержит включения железистых минералов, шпинели и биотита. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Прозрачный, $n_g = 1,677—1,684$; $n_m = 1,658—1,660$; $n_p = 1,657—1,661$. $2V = 25—30^\circ$. Двупреломление высокое: n_g — осевой, положительный. Плоскость оптических осей параллельна (010). В густоокрашенных разностях плеохроичен: n_p — бледно-коричневый или желтый; n_m — коричневый или зеленый; n_g — темно-коричневый или синий. Сильная дисперсия, $r > v$. В кислотах не растворяется.

Встречается в россыпях в окатанных удлиненных призматических или волокнистых кристаллах. Часто кристаллы несколько расщепляются по удлинению. В смоченном состоянии сходен с кианитом. Происхождение — гнейсы, кристаллические сланцы и другие метаморфические породы. Изредка граниты. Спутники — андалузит, кианит, корунд, кордиерит, циркон, гранат, золото, монацит, шпинель. Разновидности: ф и б р о л и т — волокнистая разновидность; б а м л и т (вортит, ксенолит) — измененный силлиманит.

Определяется по форме кристаллов, спайности, высокой твердости. Проверяется под микроскопом по показателю преломления, двупреломлению, прямому погасанию и плеохроизму (если он наблюдается). От кианита отличается более низким показателем преломления, более высоким двупреломлением и оптическим знаком; от андалузита — характером плеохроизма, отсутствием характерных для андалузита включений углистого вещества и оптическим знаком; от топаза — плеохроизмом, высоким двупреломлением и меньшим углом оптических осей; от цоизита — отсутствием

ультрасиней интерференционной окраски и другими оптическими свойствами; от тремолита и актинолита — положительным оптическим знаком, меньшим $2V$, и более высоким показателем преломления.

СИЛЬВАНИТ — AgAuTe_4 . Сингония моноклиная. Встречается в виде дендритов и сплошных масс, реже столбчатые кристаллы. Цвет и черта стально-серые до серебрино-белых с желтым оттенком. Блеск металлический. Твердость 1,5—2. Плотность 7,9—8,3. Спайность по (010) совершенная. Непрозрачный. Немагнитный. В HNO_3 разлагается с выделением золота бурого цвета. Добавление к раствору капли HCl вызывает образование белого творожистого осадка AgCl . Встречается вместе с другими теллуридами золота и серебра. Минерал редкий.

СКАПОЛИТ — алюмосиликат натрия и кальция переменного состава. Редкий минерал легкой фракции россыпей. Встречается в виде призматических кристаллов тетрагональной сингонии, обычны неограниченные зерна и кристаллические агрегаты. Цвет молочно-белый, светло-серый, голубовато-серый; часто бесцветный. Блеск стеклянный. Спайность ясная по (110), менее ясная по (100). Твердость 5—6. Хрупкий. Излом неровный, иногда ступенчатый. Плотность 2,60—2,75. В ультрафиолетовом свете и в катодных лучах люминесцирует бледно-розовым или голубоватым. Просвечивает в краях зерен или прозрачен. $n_o = 1,534—1,607$; $n_z = 1,522—1,570$; $n_o - n_e = 0,008—0,036$. Одноосный, отрицательный. В кислотах разлагается лишь при нагревании с выделением порошковатой SiO_2 .

В шлихах наблюдается в виде частиц зернистого сложения, реже в виде угловатых или слабоокатанных обломков призматических кристаллов. Поступает в россыпи из гидротермально измененных основных изверженных пород, также из контактово-метасоматических месторождений, известковых кристаллических сланцев и гнейсов. Ассоциирует с кальциево-железистыми гранатами, диопсид-геденбергитом, волластонитом, эпидотом, флогопитом, апатитом. В обстановке выветривания и переноса нестойк и редко сохраняется.

СКОРОДИТ — $\text{Fe}^{3+}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Содержит примеси Р и Мп. Редкий минерал россыпей. Сингония ромбическая. Кристаллы дипирамидальные, призматические, реже таблитчатые. Цвет бледно-зеленый, серовато-зеленый, реже бурый. Блеск стеклянный. Спайность несовершенная по (100); излом неровный до раковистого. Твердость 3—4. Хрупкий. Плотность 3,1—3,3. Немагнитный. Не люминесцирует. Прозрачный или просвечивает, $n_g = 1,765—1,850$; $n_m = 1,77—1,80$; $n_p = 1,738—1,810$; $n_g - n_p = 0,027—0,040$. Двuosный, положительный. Плеохроизм в голубовато-зеленых, бледно-желтых и розоватых тонах. В кислотах растворяется относительно легко. От прибавления роданистого аммония раствор окрашивается в кроваво-красный цвет (Fe^{3+}), от $(\text{NH}_4)\text{MoO}_4$ выпадает желтый осадок As. При нагревании желтеет.

При плавлении образуется белый налет As_2O_3 и характерный запах мышьяка.

В шлихах встречаются в виде обломков кристаллов, неправильных зерен, но чаще в виде скрытокристаллических или плотных землистых зерен. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений мышьяковой, мышьяково-полиметаллической, реже мышьяково-ртутной формаций преимущественно за счет окисления арсенопирита. Ассоциирует с лимонитом, адамином, азуритом, смитсонитом.

СМИТСОНИТ — $ZnCO_3$. Часто содержит примеси $FeCO_3$, $MnCO_3$, $CoCO_3$, изредка — следы Ca , Mg , Cd , In . Сингония тригональная. Хорошие кристаллы образуются редко, обычно встречается в натечных гроздевидных образованиях. Спайность совершенная по (1011). Излом неровный до несовершенно раковистого. Твердость 5,5. Плотность 4,1—4,5. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет белый, сероватый, зеленоватый, бурый. Черта белая. Немагнитный. В катодных лучах люминесцирует розовым цветом. Прозрачный до просвечивающего, $n_o = 1,849$; $n_e = 1,621$. Двупреломление очень высокое: $n_o - n_e = 0,228$. Оптически одноосный, отрицательный. Растворяется в HCl с шипением. Дает реакцию на Zn с $K_4[Fe(CN)_6]$.

Встречается в россыпях очень редко в виде неправильных зерен светлой окраски. Легко разрушается. Происхождение — свинцово-цинковые сульфидные жилы в известняках. Спутники — сфалерит, галенит, церуссит.

Определяется по внешнему виду, растворимости в кислоте и химической реакции на Zn . По внешнему виду иногда сходен с кальцитом и другими карбонатами, от которых отличается химической реакцией на Zn .

СПЕРРИЛИТ — $PtAs_2$. Содержит примеси Rh , Fe , Cu , Sb , иногда Sn . Сингония кубическая. Образует мелкие кристаллы, по форме сходные с кристаллами пирита. Спайность по кубу. Твердость 6—7. Плотность 10,5—10,7. Блеск сильный, металлический. Цвет оловянно-белый. Черта темно-серая. Немагнитный. Слабо проводит электричество. Непрозрачный. В кислотах и царской водке не растворяется. Перед паяльной трубкой на угле легко сплавляется в белый металлический шарик с губчатой поверхностью. При этом выделяются белые пары окиси мышьяка. На раскаленной докрасна платиновой пластинке мелкие зерна минерала мгновенно расплавляются с выделением As_2O_3 , к самой пластинке приваривается губчатая платина.

В россыпях встречается редко; обычно в виде хорошо сохранившихся мелких кристаллов. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы. Пегматиты, связанные с основными породами. Спутники — золото, платина и минералы группы платины.

Определяется по цвету, форме кристаллов, нерастворимости в кислотах и химическим реакциям на As и Pt .

СПОДУМЕН (синоним — трифан) — $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, часто сплюснутые по (100) (рис. 45). Грани призмы вертикально исштрихованы. Образуют двойники по (100). Спайность совершенная по (110). Излом неровный до неяснораковистого. Твердость 6,5—7. Плотность 3,13—3,20. Блеск стеклянный, перламутровый. Цвет белый с зеленоватым или сероватым оттенком, зеленый, желтый, розоватый. Черта белая. Немагнитный. Плохой проводник электричества. В катодных лучах люминесцирует ярким розовато-желтым светом; в ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Прозрачный до

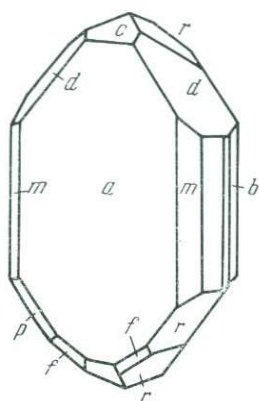


Рис. 45. Сподумен. Форма кристаллов

просвечивающего. $n_g = 1,675—1,681$; $n_m = 1,66—1,67$; $n_p = 1,651—1,668$; $2V = 54—68^\circ$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,013—0,027$. Оптически двусосный, положительный. $cn_g = 23—27^\circ$. В окрашенных разностях наблюдается плеохроизм: n_p — пурпурный или зеленый; n_m — розовый или зеленый; n_g — бесцветный. В кислотах не растворяется. Разности, не содержащие примесей Na, окрашивают пламя горелки в красный цвет.

Встречается в россыпях очень редко в виде окатанных пластинчатых или призматических кристаллов желтоватого или зеленого цвета. Легко разрушается. Происхождение — пегматитовые жилы, связанные с гранитами. Спутники — турмалин, берилл, монацит, гранат, рутил, касситерит, танталит, колумбит.

Определяется по форме кристаллов, окраске и трещиноватости. Проверяется химической реакцией на Li. От других пироксенов, сходных с ним по внешнему виду, отличается под микроскопом по оптическим свойствам.

СТАВРОЛИТ — $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2\text{O}_2[\text{OH}]_2$ или $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$. Незначительная часть Fe^{2+} замещается Mg и Mn, часть Al замещается Fe^{3+} . Сингония ромбическая. Кристаллы обычно имеют вид коротких и толстых призм. Обычны крестовидные двойники (рис. 46). Часто двойники повторяются. Спайность по (010) ясная, по (110) едва заметная. Излом занозистый, неяснораковистый. Хрупок. Твердость 7—7,5. Плотность 3,65—3,77. Блеск стеклянный, переходящий в смолистый. Цвет бурый, желтый, красновато-бурый. Черта белая, серая. Часто содержит включения мусковита, рутила, граната, турмалина, магнетита и других минералов. Слабо магнитный, некоторые бледноокрашенные разности ставролита остаются в неэлектромагнитной фракции. Плохой проводник электричества. Прозрачный до полупрозрачного. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,746—1,762$; $n_m = 1,741—1,754$; $n_p = 1,736—1,747$. $2V = 79—88^\circ$. Двупрелом-

ление низкое: $n_g - n_p = 0,010 - 0,015$. Оптически двусосный, положительный. Плоскость оптических осей параллельна (100). Погасание прямое. Явный плеохроизм: $n_p = n_m$ — желтов то-красный, n_g — фиолетово-красный до кроваво-красного; или $n_p = n_m$ — ярко-желтый до бесцветного, n_g — золотисто-желтый. Слабая дисперсия, $r > v$. Частично растворяется в H_2SO_4 .

Встречается в россыпях в виде бурых призматических кристаллов или окатанных зерен. Поверхность кристаллов обычно неровная, покрыта мелкими углублениями. Часто наблюдаются прямые или косые крестообразные двойники. Происхождение — кристаллические сланцы, филлиты, гнейсы. Ставролит является

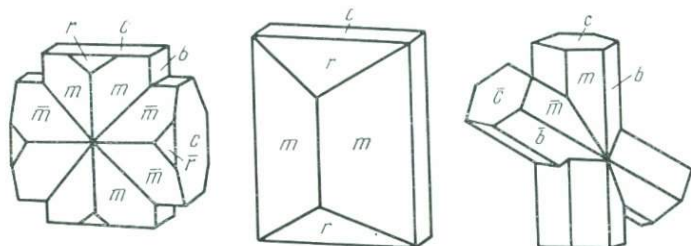


Рис. 46. Ставролит. Формы кристаллов

продуктом регионального и реже контактового метаморфизма. Спутники — кианит, андалузит, силлиманит, гранат, турмалин, эпидот, монацит, ильменит.

Определяется по цвету, неровной поверхности зерен, большому количеству включений. Наличие крестообразных двойников весьма облегчает определение минерала. Проверяется по оптическим свойствам под микроскопом. По внешнему виду может быть сходен с турмалином, монацитом и сфеном. От турмалина отличается более высоким показателем преломления, низким двупреломлением, двусосностью и адсорбцией; от монацита — более низкой плотностью, более низким показателем преломления и двупреломления; от сфена — показателем преломления и двупреломлением, а также отсутствием химической реакции на Ti.

СТРОНЦИАНИТ — $SrCO_3$. Почти всегда содержит примесь кальция. Редкий минерал россыпей. Примеси Ca, Ba, реже Rb. Сингония ромбическая. Кристаллы редки; имеют псевдогексагональный облик, призматические, игольчатые, часто сдвойникованы по (110). Цвет белый, реже зеленоватый, желтоватый и красноватый. Блеск стеклянный, у волокнистых разновидностей иногда с шелковистым отливом. Спайность практически отсутствует. Излом неровный до раковистого. Твердость 3,5—4. Весьма хрупкий. Плотность 3,6—3,8. Немагнитный. В ультрафиолетовом свете обычно люминесцирует белым, голубым, желтым, красно-розовым, в катодных лучах — голубым, красным. Полупрозрачный или просвечивает, редко вполне прозрачный. $n_g = 1,668$;

$n_m = 1,667$; $n_p = 1,520$, $n_g - n_p = 0,148$. Двуосный, отрицательный. $2V = (-) 7-8^\circ$. В кислотах разлагается с вскипанием. Предварительно смоченный в HCl окрашивает пламя в красный цвет.

В шлихах встречается в виде обломков, листоватых и параллельно-волокнистых агрегатов, напоминающих агрегаты волокнистого гипса, а также в виде частиц сплошного или тонкозернистого сложения. Встречается в районах распространения глинистых и мергелистых осадочных пород, а также некоторых типов сульфидных гидротермальных месторождений. Спутники — барит, целестин, кальцит. Сходен с целестином, от которого отличается поведением в кислотах и оптическими свойствами.

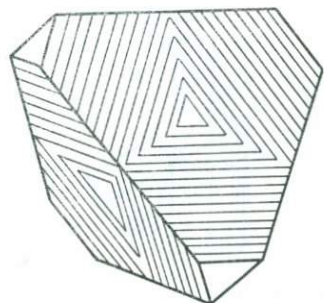


Рис. 47. Сфалерит. Форма кристаллов

СФАЛЕРИТ (синоним — цинковая обманка) — ZnS . Содержит примеси Fe, Mn, реже Cd, Hg, Pb и Sn, иногда следы In, Ga, Tl, а также Ag и Au. Сингония кубическая. Кристаллизуется в форме тетраэдров, реже встречаются кубы и додекаэдры (рис. 47). Обычны двойники по плоскости (111). Часто натечные, радиальнолучистые или волокнистые образования. Спайность по додекаэдру весьма совершенная. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость

3,5—4. Плотность 3,5—4,2. Блеск жирный, алмазный. Цвет бурый, черный, желтый, красный, зеленый; чистые разности почти бесцветны. Черта коричневая до белой. Немагнитный. Разности, содержащие Fe, слабо магнитны. Электричества не проводит. Люминесцирует красным цветом в катодных и ультрафиолетовых лучах. Прозрачный до просвечивающего. Очень высокий показатель преломления: $n = 2,37-2,47$, увеличивается с повышением содержания Fe. Изотропный. Растворяется в HNO_3 и концентрированной HCl с выделением H_2S . Дает реакцию на Zn с $K_4[Fe(CN)_6]$. Для определения сфалерита крупное зерно минерала прокаивают на угле; при этом сфалерит дает белый налет ZnO , который после смачивания $Co(NO_3)_2$ и вторичного прокаивания в окислительном пламени приобретает зеленую окраску.

Встречается в россыпях редко, лишь вблизи коренных месторождений. В шлихах обычно присутствует в зернах неправильной формы с ясно выраженной спайностью и жирным блеском. Реже обнаруживаются кристаллы, сохраняющие форму тетраэдра с характерной штриховкой граней. Происхождение — коренные месторождения сульфидных руд, содержащих сфалерит. Спутники — галенит, барит, флюорит, пирит.

Разновидности — **магнит** — железистая разновидность сфалерита, содержащая до 20% Fe. Окрашен в темно-коричневый

или черный цвет, обнаруживает магнитность; к лейофан — светлый сфалерит, напоминающий по цвету канифоль.

Определяется по сильному жирному или алмазному блеску, совершенной спайности и окраске. Проверяется под микроскопом по исключительно высокому показателю преломления и изотропности, а также с помощью химической реакции на Zn. По внешнему виду иногда сходен с касситеритом, сфеном, брукитом. От всех этих минералов легко отличается под микроскопом по изотропности. От бурого граната и пикотита отличается химической реакцией на Zn.

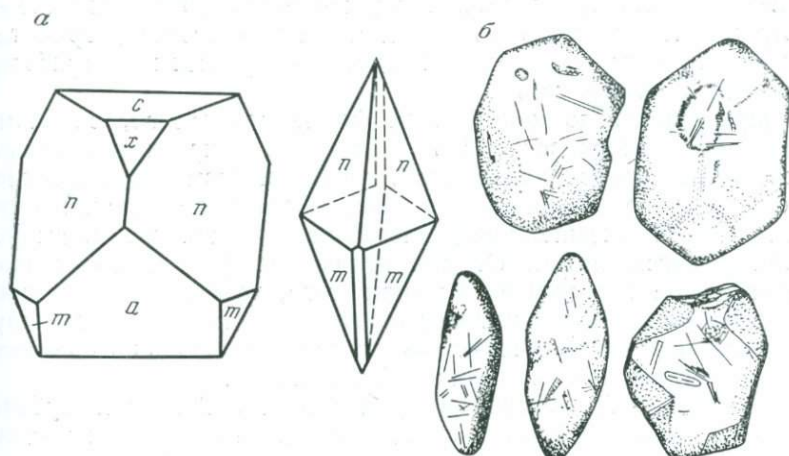


Рис. 48. Сфен.

а — формы кристаллов; б — формы зерен, встречающихся в россыпях

СФЕН (синоним — титанит) — $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$. Содержит некоторое количество Fe и Mn, иногда редкие земли. Сингония моноклинная. Кристаллы разнообразного облика; часто клинообразные, иногда сплюснутые по (001), призматические (рис. 48). Двойники обычные по (100). Спайность по (110) ясная, по (100) и $(\bar{1}12)$ несовершенная. Часто хорошо выражена отдельность по (221), вызванная двойникованием. Излом неправильный. Твердость 5—5,5. Плотность 3,29—3,56. Блеск стеклянный, алмазный. Цвет бурый, желтый, зеленоватый, розоватый, изредка бесцветный. Черта белая. Немагнитный, но разности, содержащие Fe, слабо магнитны. Умеренный проводник электричества. Слабая голубоватая люминесценция в катодных лучах. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,979\text{—}2,054$; $n_m = 1,894\text{—}1,935$; $n_p = 1,887\text{—}1,918$. $2V = 23\text{—}49^\circ$. Двупреломление очень высокое; $n_g - n_p = 0,082\text{—}0,135$. Оптически двуосный, положительный. В белом свете редко наблюдается полное погасание минерала, обычно интерференционная окраска изменяется от ультрасиней до желтоватой и красной.

Плеохроизм наблюдается только в темноокрашенных разностях: n_p — почти бесцветный; n_m — желтый или зеленоватый; n_g — красноватый, бурый. Очень сильная дисперсия осей, $r > v$. В кислотах не растворяется. После сплавления с $K_2S_2O_7$ дает реакцию на Ti с H_2O_2 .

Благодаря устойчивости сфен часто встречается в россыпях. Присутствует обычно в виде остроугольных или окатанных неправильных зерен; часто наблюдаются характерные сплюснутые призматические кристаллы с преобладающим развитием косой призмы (111). Эти кристаллы напоминают форму запечатанного конверта. Часто наблюдается трещиноватость. Происхождение — изверженные породы среднего химического состава, граниты, метаморфические породы. Спутники — пироксены, амфиболы, циркон, апатит, рутил.

Определяется по характерной форме кристаллов, сильному блеску и бурой окраске. Проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления, очень высокому двупреломлению и наличию неполного погасания, а также химической реакцией на Ti. По внешнему виду иногда сходен с монацитом, ставролитом и касситеритом. От них отличается формой кристаллов и химической реакцией на Ti; кроме того, от монацита и ставролита отличается более высоким показателем преломления и двупреломлением; от касситерита — отсутствием оловянного зеркала при восстановлении на цинковой пластинке.

ТАНТАЛ — Ta, обычно с примесью Nb. Сингония кубическая. Описано присутствие в шлихах в виде блестящих мелких кубов и окатанных зерен серовато-желтого цвета. Блеск металлический. Твердость 6—7. Плотность 11,2. Достоверность обнаружения тантала в шлихах вызывает сомнение.

ТАНТАЛИТ — см. колумбит.

ТЕННАНИТ — ТЕТРАЭДРИТ — $Cu_{12}As_4S_{13}$ — $Cu_{12}Sb_4S_{13}$. Конечные члены изоморфного ряда минералов, встречающихся в шлихах очень редко. В тетраэдритах преобладает сурьма, в теннантитах — мышьяк. Тетраэдриты содержат примеси Ag, Fe, Zn, Hg, теннантиты — Bi, Co, Ni. Сингония кубическая. Кристаллы хорошо образованы, тетраэдрического облика. Цвет блеклых руд серый с различными оттенками — от светлого стально-серого до темно-серого. Блеск металлический, тусклый, в изломе — сильный. Твердость 3—4. Весьма хрупкий. Спайность незаметна. Излом при раздавлении неправильный, остроугольный. Плотность варьирует от 4,4 до 5,4. Непрозрачен. Немагнитный. Разлагаются концентрированной HNO_3 с выделением порошковатой серы и окислов Sb или As. От прибавления NH_4OH азотнокислый раствор окрашивается в синий цвет (Cu), от прибавления KOH выпадает оранжево-бурый осадок (Sb); с $(NH_4)_2MoO_4$ дает желтый осадок (As). Смоченные HNO_3 и подсушенные зерна тетраэдрита и теннантита покрываются белесовато-зеленой или грязной зеленовато-желтой пленкой.

В россыпях хорошо образованные кристаллы встречаются исключительно редко. Обычны частицы тонкозернистого сложения, кристаллические сростки, реже окатанные зерна. Окисляются и быстро механически разрушаются при переносе. Происхождение — связаны с гидротермальными медными, полиметаллическими, золото-мышьяковыми и другими месторождениями. Ассоциируют с пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, пирротином, сфалеритом, галенитом, аргентитом, золотом, шмальтином, настураном.

В неправильных зернах могут быть ошибочно приняты за халькозин, аргентит, иногда шмальтин, кобальтин, от которых отличается с помощью химических реакций.

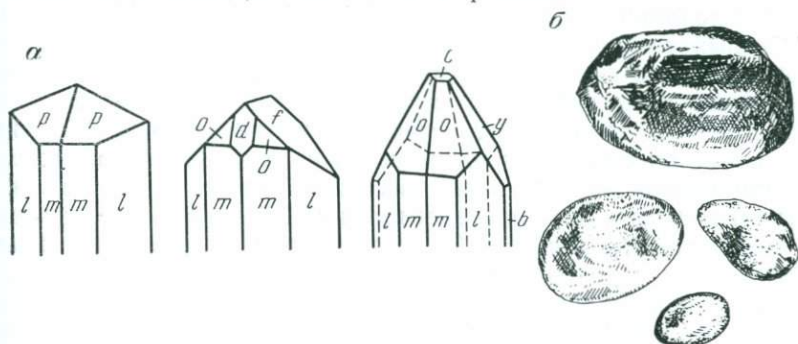


Рис. 49. Топаз.

a — форма кристаллов; *b* — формы зерен, встречающихся в россыпях

ТЕТРАДИМИТ — $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ — теллурид висмута, содержащий серу и иногда незначительные количества Se, Au, Cu, Pb. Сингония тригональная. Мелкие пластинчатые кристаллы. Твердость 1,5—2. Плотность 7,2—7,6. Цвет стально-серый. Блеск металлический, непрозрачный. Растворяется в HNO_3 .

Встречается в шлихах очень редко вместе с золотом, гесситом и петцитом.

ТОПАЗ — $\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{F}, \text{OH}]_2$. Иногда содержит примеси железа. Сингония ромбическая. Кристаллы обычно призматические с преобладающим развитием граней (110) или (120) (рис. 49). Грани призматической зоны часто вертикально исштрихованы. Двойников не наблюдается. Спайность по (001) совершенная. Излом неяснораковистый до неровного. Твердость 8. Плотность 3,4—3,6. Блеск стеклянный, на плоскости спайности (001) перламутровый. Цвет желтый, серый, зеленый, синий; чаще бесцветный. Черта бесцветная. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает яркой голубой люминесценцией в катодных и ультрафиолетовых лучах. Показатель преломления сравнительно высокий, изменяется в зависимости от состава. $n_g = 1,617—1,638$; $n_m = 1,610—1,631$; $n_p = 1,607—1,629$. $2V = 48—66^\circ$. Двупреломление низкое; $n_g - n_p = 0,008—0,010$. Оптически

двусный, положительный. Призматические сечения дают прямое погасание. Ясная дисперсия, $r > v$. В кислотах не растворяется. После сплавления с Na_2CO_3 дает реакцию на F.

В россыпях присутствует в виде хорошо окатанных бесцветных или бледноокрашенных зерен эллипсоидной или яйцевидной формы. Поверхность таких окатанных зерен обычно матовая, шероховатая; иногда наблюдаются поверхностные трещины. Реже встречаются призматические кристаллы с тонкой вертикальной штриховкой граней. Происхождение — грейзены и другие контактово-метаморфические породы, граниты, пегматиты, оловяносные жилы, риолиты. Спутники — флюорит, турмалин, касситерит, гранат, берилл, шеелит, вольфрамит.

Определяется по форме кристаллов или по наличию хорошо окатанных эллипсоидальных зерен с матовой шероховатой поверхностью, по высокой твердости и стеклянному блеску. Проверяется под микроскопом по оптическим свойствам. По внешнему виду сходен со многими бесцветными минералами. От касситерита отличается по отрицательной реакции на оловянное зеркало при восстановлении на цинковой пластинке и по оптическим свойствам (касситерит обнаруживает высокий показатель преломления и сильное двупреломление). От андалузита отличается отсутствием слюистых и углистых включений, несколько более низким двупреломлением и оптически положительным знаком, от кварца и берилла — высокой плотностью (тонет в бромформе) и двусной фигурой, от силлиманита — более низким показателем преломления и двупреломлением, от кианита — отсутствием спайности и включений, от алмаза — низким показателем преломления и анизотропией.

ТОРБЕРНИТ — $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. В качестве изоморфной примеси устанавливается As. Очень редкий минерал россыпей. Тетрагональной сингонии. Кристаллы таблитчатые до листоватых, тонкокристаллические чешуйчатые агрегаты. Цвет изумрудно-зеленый, в тонкочешуйчатых агрегатах иногда луково-зеленый. Блеск стеклянный; на поверхностях спайности перламутровый; в агрегатах матовый. Спайность весьма совершенная по (001), заметная по (100). Твердость 2—2,5. Хрупок. Плотность 3,2—3,7. Не люминесцирует. В одиночных листочках прозрачен, чаще просвечивает в краях. $n_o = 1,590—1,592$; $n_e = 1,576—1,582$. Одноосный, отрицательный. $2V = -10—15^\circ$. Плеохроирует от зеленовато-голубого по n_o до зеленого по n_e . В кислотах растворим; азотнокислый раствор от капли $\text{NH}_4(\text{OH})$ окрашивается в синий цвет (Cu). Радиоактивный. Перлы буры и фтористого натрия с присадкой минерала в ультрафиолетовом свете ярко люминесцируют зеленым. Редкость минерала в россыпях обусловлена нестойкостью в условиях переноса, быстрым измельчением и разрушением. Встречается в россыпях в виде обломков таблитчатых кристаллов, имеющих квадратные и восьмиугольные очертания, тонкочешуйчатых частиц. Торбернит является обычным

минералом зоны окисления урановых месторождений, преимущественно гидротермальных, иногда осадочных и жильных. Ассоциирует с лимонитом, уранофаном, отенитом, малахитом, скородитом, аннабергитом.

ТОРИАНИТ — $(\text{Th}, \text{U})\text{O}_2$. Сингония кубическая. Кристаллизуется в кубических формах. Спайность весьма несовершенная. Излом неровный. Твердость 6,5—7. Плотность 8,97—9,33. Блеск с поверхности тусклый, в свежем изломе сильный, металлический. Цвет черный, свинцово-серый. Черта черная. Немагнитный. Непроводник электричества. Радиоактивный. Непрозрачный. Разлагается концентрированной HNO_3 и H_2SO_4 .

Встречается в россыпях очень редко в виде хорошо сохранившихся или слегка окатанных кубов, реже присутствуют неправильные окатанные зерна. Происхождение — пегматиты, сиениты, пироксениты, метаморфизованные известняки. Спутники — монацит, корунд, кианит, шпинель, рутил, циркон, флюорит, хризоберилл. Разновидность — а л д а н и т, содержит до 15—20% урана.

Определяется по форме кристаллов, окраске и радиоактивности. От сходного с ним по внешнему виду лимонитизированного пирита отличается высокой плотностью, цветом черты, блеском и радиоактивностью.

ТОРИТ — ThSiO_4 . Встречается в шлихах очень редко. Сингония тетрагональная. Кристаллографические формы сходны с цирконом. Излом раковистый. Твердость 4,5—5. Плотность 4,8—5,4. Цвет черный, бурый, желтый, оранжевый (о р а н ж и т). Блеск стеклянный, жирный. Обычно изотропный. $n = 1,68—1,82$. Сильно радиоактивный. Разлагается в HCl с выделением студенистого кремнезема. В шлихах наблюдается в виде мелких неправильных зерен.

ТОРОЛИТ — танталат олова, по составу приближается к формуле SnTa_2O_7 . Содержит примеси Nb, Sb, Pb, Zr. Сингония, очевидно, моноклиная. Таблитчатые кристаллы с хорошей спайностью. Плотность 7,6—7,9. Блеск сильный алмазный или жирный. Цвет золотисто-желтый, буровато-желтый. Черта желтая или белая. Часто содержит включения касситерита и марганотанталита. Немагнитный. В катодных и ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Очень высокий показатель преломления: $n = 2,38—2,52$. Двупреломление очень высокое. Двуосный, положительный. В кислотах не растворяется.

Встречается в россыпях очень редко, в виде таблитчатых желтых зерен с хорошей спайностью. Происхождение — пегматитовые жилы. Спутники — касситерит, колумбит.

Определяется по окраске, сильному алмазному или жирному блеску и совершенной спайности. Проверяется химической реакцией на Ta.

ТРЕМОЛИТ — известково-магнезиальный амфибол — $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}]_2$. Иногда Mg замещается Fe^{2+} , и тогда

тремолит превращается в актинолит. Сингония моноклиная. Кристаллизуется в призматических или волокнистых кристаллах. Спайность хорошая по (110), реже по (100) и (010). Излом полураковистый, неровный. Твердость 5—6. Плотность 2,9—3,0. Блеск стеклянный, шелковистый. Цвет белый, серый, часто бесцветный. Черта бесцветная. Немагнитный или слабомагнитный. Непроводник электричества. Люминесцирует желтым, красным или фиолетовым цветом в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. $n_g = 1,624—1,640$; $n_m = 1,613—1,625$; $n_p = 1,600—1,611$ для чистого тремолита. Показатель преломления увеличивается в разностях, содержащих изоморфную примесь Fe^{2+} . $2V = 81—88^\circ$. Двупреломление среднее: $n_g - n_p = 0,024—0,029$. Оптически двуосный, отрицательный. $cn_g = 14—20^\circ$. В окрашенных разностях наблюдается плеохроизм. В кислотах не растворяется.

Встречается в виде столбчатых или волокнистых кристаллов с хорошей спайностью или в неправильных зернах. Происхождение — кристаллические сланцы и другие метаморфические породы. Спутники — другие амфиболы и пироксены.

Определяется по «роговообманковому» внешнему виду, светлой окраске и хорошей спайности. Проверяется под микроскопом по оптическим свойствам. От сходного с ним по виду диопсида отличается по более низкому показателю преломления, меньшему углу погасания и отсутствию включений, обычно встречающихся в диопсиде.

ТРИПУГИИТ — $Fe_2^{2+}Sb_2O_7$. Минерал очень редкий. Зелено-вато-желтые микрокристаллические агрегаты. Плотность 5,8. Очень высокий показатель преломления $n_g = 2,33$; $n_m = 2,20$; $n_p = 2,19$.

Двупреломление очень высокое: $n_g - n_p = 0,14$. Оптически двуосный, положительный. $2V$ небольшой. Сильная дисперсия, $r < v$.

ТУРМАЛИН — сложный силикат В, Al, Mg, Fe и щелочных металлов. Общую формулу минерала можно представить в следующем виде: $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[Si_6Al_3B_3(O, OH)_{30}]$. В небольших количествах присутствует F. Сингония тригональная. Кристаллы обычно призматические, часто тонкие, иглочатые. Призматические грани обычно вертикально исштрихованы. Поперечное сечение призмы часто имеет характерную форму сферического треугольника (рис. 50). Спайность несовершенная по $(11\bar{2}0)$ и $(10\bar{1}1)$. Излом неяснораковистый до неровного. Хрупкий. Твердость 7—7,5. Плотность 2,98—3,20. Блеск стеклянный, смолистый. Цвет бурый, черный, темно-синий, зеленый, розовый, редко бесцветный. Некоторые образцы имеют зональную окраску (середина красная, а края зеленые) или же противоположные концы кристалла окрашены в различные цвета. Черта бесцветная. Часто наблюдаются включения циркона, рутила, кварца, железистых

минералов. Слабо магнитный. Обладает красной люминесценцией в катодных лучах. Прозрачный до непрозрачного. Показатель преломления изменяется в широких пределах. $n_o = 1,624—1,692$; $n_e = 1,615—1,679$. Двупреломление среднее или высокое; $n_o - n_e = 0,02—0,046$. Оптически одноосный, отрицательный. Иногда аномально двусосный. Призматические зерна имеют прямое погасание. Плеохроизм сильный, изменяется в зависимости от окраски (абсорбция $n_o > n_e$): в бурых разностях n_o темно-бурый, n_e светло-желтый; в зеленых — n_o темно-зеленый, n_e от фиолетового до красно-бурого; в синих — n_o синий, n_e фиолетовый. В кислотах не растворяется.

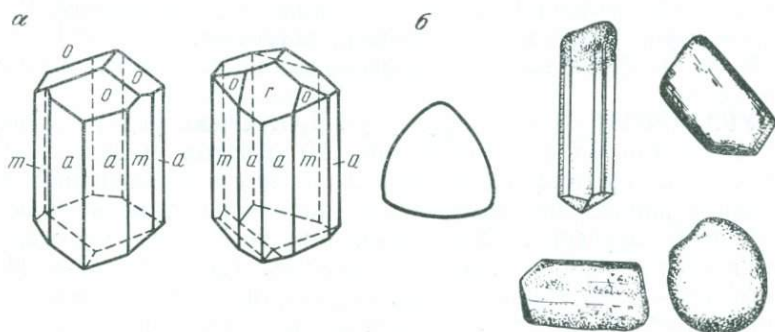


Рис. 50. Турмалин.

а — формы кристаллов; б — формы зерен, встречающихся в россыпях

Встречается в призматических кристаллах с вертикальной штриховкой граней или в неправильных окатанных зернах различной окраски с сильно выраженным плеохроизмом. Происхождение — гранит, контактово-метаморфические породы, пегматиты, металлоносные жилы. Спутники — апатит, циркон, касситерит, флюорит, топаз, кианит, монацит, рутил, корунд, берилл. Разновидности: а х р о и т — бесцветный, прозрачный турмалин; р у б е л л и т — красный и розовый турмалин; и н д и г о л и т — синий турмалин; д р а в и т — бурый турмалин; ш е р л — черный, часто непрозрачный турмалин; э л ь б а и т — литиевый турмалин.

Под биноклем легко определяется по форме кристаллов, окраске и сильному плеохроизму. Диагностике турмалина помогает наличие призматических кристаллов, поперечный разрез которых имеет форму сферического треугольника. Все разновидности турмалина по удлинению кристалла имеют более сильную абсорбцию света, вследствие чего при наблюдении под биноклем кристалл, поставленный на основание призмы, кажется интенсивнее окрашенным, нежели тот же кристалл, лежащий на грани призмы. Проверяется турмалин под микроскопом по оптическим свойствам. От ставролита отличается более низким показателем преломления и более высоким двупреломлением,

а также характером абсорбции света; от касситерита — низкой плотностью, отрицательной реакцией на оловянное зеркало и оптическими свойствами; от монацита — более низким показателем преломления, двупреломлением и другими оптическими свойствами.

УРАНИНИТ — UO_2 с примесью Pb, Th и других элементов. Сингония кубическая. Кристаллы имеют вид куба с подчиненным развитием октаэдра и ромбического додекаэдра. Твердость для свежего минерала 5—6, у измененного уменьшается до 3. Плотность изменяется от 6,62 до 10,6, чаще 8—10. Цвет черный. Блеск сильный, смолистый. Непрозрачный. Окисленные разности уранинита легко растворяются в HNO_3 и HCl . Сильно радиоактивный. Встречается очень редко в золотоносных россыпях.

Колломорфные натечные разновидности называют **настураном**.

УРАНОФАН — $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Очень редкий минерал россыпей Сингония ромбическая. Игольчатые и волосовидные кристаллы, скрытокристаллические плотные и корковидные образования; параллельно-шестоватые, радиально-лучистые или волокнистые агрегаты. Цвет бледно-желтый, лимонно-желтый. Блеск стеклянный, в агрегатах матовый. Твердость 2—3. Плотность 3,81—3,96. Немагнитный. В ультрафиолетовом свете слабо люминесцирует желтовато-зеленым или коричневатозеленым. Сильно радиоактивен. $n_g = 1,665—1,676$; $n_m = 1,660—1,670$; $n_p = 1,640—1,650$; $n_g - n_p = 0,020—0,026$. Двуосный, отрицательный. Плеохроизм от желтого по n_g до бесцветного по n_p . В кислотах разлагается с выделением геля кремнекислоты. Перл буры или фтористого натрия ярко люминесцирует лимонно-зеленым. Образуется в зонах окисления рудопоявлений урана, в гранитах, липаритах, гнейсах, песчаниках и других породах.

ФАЯЛИТ — Fe_2SiO_4 . Встречается в шлихах очень редко. В кристаллах ромбической сингонии подобных оливину. Твердость 6,5. Плотность 4,1. Бесцветный или желтоватый. $n_g = 1,886$; $n_m = 1,877$; $n_p = 1,835$. Двупреломление высокое. $2V = 50^\circ$. Оптически двуосный, отрицательный.

ФЕНАКИТ — Be_2SiO_4 . Сингония тригональная. Кристаллы ромбоэдрического габитуса, часто сплюснутые, линзовидные. Спайность по $(11\bar{2}0)$ ясная, по $(10\bar{1}1)$ несовершенная. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 7,5—8. Плотность 2,96—3,0. Блеск стеклянный. Цвет желтый, буро-красный; часто бесцветный. Черта бесцветная. Немагнитный. Непроводник электричества. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления средний: $n_e = 1,670$, $n_o = 1,654$. Двупреломление среднее: $n_e - n_o = 0,016$. Оптически одноосный, положительный. Погасание прямое. В толстых зернах наблюдается плеохроизм. В кислотах не растворяется.

Минерал очень редкий. Встречается в россыпях совместно с другими минералами бериллия в виде окатанных ромбоэдриче-

ских или линзовидных зерен, окрашенных в желтый цвет или бесцветных. Происхождение — пегматиты, метаморфические породы. Спутники — берилл, хризоберилл, эвклаз, топаз, монацит, апатит, корунд.

Определяется по форме и окраске зерен, а также по ассоциации минералов. Проверяется под микроскопом по оптическим свойствам. По виду иногда сходен с кварцем, топазом или алмазом. От кварца отличается более высоким показателем преломления и более высокой плотностью; от топаза — более низкой плотностью, более высоким двупреломлением и другими оптическими свойствами; от алмаза — высокой твердостью, сильным блеском и изотропностью последнего.

ФЕРГЮСОНИТ (синоним—тирит) — тантало-ниобат Y, Eg и Ce, содержит также U, Fe, Ca и др. Общая формула: $(Y, Eg, Ce, U...)(Nb, Ta, Ti)O_4$. Сингония тетрагональная. Кристаллы пирамидального или призматического габитуса. Спайность по (111) неясная. Излом неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 5,5—6,5. Плотность 5,5—5,8, при гидратации уменьшается до 4,1. Блеск на поверхности матовый, в свежем изломе стеклянный, алмазный. Цвет коричнево-черный. Черта светло-бурая. Слабо магнитный. Радиоактивный. Непрозрачный, но в тонких осколках просвечивает. Разлагается в H_2SO_4 с выделением белого осадка земельных кислот. Дает реакцию на Ta и Nb с таннином.

В россыпях находят редко в виде неправильных зерен или пирамидальных кристаллов, иногда с поверхности покрытых белесым или темным налетом. Происхождение — гранитные пегматиты. Спутники — рутил, касситерит, монацит, ортит, циркон, колумбит. Разновидности: р и з ё р и т — титанистый фергюсонит содержит до 6% титана, замещающего Nb и Ta; б р а г г и т — содержит Eg, изоморфно замещающий Y; ф о р м а н и т — танталовая разновидность; с и п и л и т — ниобиевая разновидность.

Определяется по окраске и форме зерен. Проверяется по выпадению белого осадка при растворении в H_2SO_4 и химической реакцией на Nb и Ta с таннином. От минералов группы колумбита — танталита отличается по форме и окраске кристаллов; от всех других сходных минералов — химической реакцией на Nb и Ta и радиоактивностью.

ФЕРАЦИТ — $3(Ba, Pb)O \cdot 2P_2O_5 \cdot 8H_2O$. Желтовато-белые бобовидные гальки. Плотность 3,0—3,5. Минерал очень редкий, наблюдался в алмазоносных россыпях Диамантины (Бразилия).

ФЛОГОПИТ — $KMg_3[Si_3AlO_{10}][F, OH]_2$. Содержит примеси Fe, Ba, Na и др. Сингония моноклинная. Кристаллы таблитчатого псевдогексагонального, короткопризматического облика; образует листовато-пластинчатые, чешуйчатые агрегаты. Спайность весьма совершенная по (001); тонкие листочки по спайности обычно гибкие; при раздавливании расщепляется по спайности на отдельные чешуйки. Твердость 2—3. Плотность 2,70—2,95. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый, жирный.

Цвет светлый желтовато-бурый, красновато-бурый, зеленоватый. Слабо магнитный. Не люминесцирует. Не проводит электричества, обладает свойствами электрического изолятора. Прозрачный до просвечивающего. $n_g = n_m = 1,565—1,606$; $n_p = 1,535—1,562$. Двуосный (почти одноосный), отрицательный, $2V(-) 0—10^\circ$. Плеохроизм сильный от бесцветного или бледно-буроватого и желтоватого по n_p до темно-коричневого, бурого и зелено-бурого по n_g . В HCl нерастворим, в H_2SO_4 при нагревании частично разлагается. В россыпях встречается в виде отдельных листочков, обычно имеющих неправильные, неровные, округлые или удлиненные в одном направлении очертания, реже в форме шестигонных табличек. Благодаря чешуйчатой форме при разделении шлихов по плотности попадает в легкую фракцию. Происхождение — контактно-метасоматические породы, образующиеся в зонах контакта гранитоидов с доломитами или богатыми Mg силикатными породами; как продукт изменения оливина и пироксена встречается в массивах ультраосновных и щелочных пород. Спутники — диопсид, шпинель, доломит, кальцит, скаполит.

По внешнему виду и свойствам сходен с другими минералами группы слюд — мусковитом и биотитом, от которых отличается с трудом.

ФЛОРЕНСИТ — $CeAl_3[PO_4]_2(OH)_6$. Встречается очень редко. Сингония тригональная. Бледно-желтый минерал ромбоэдрического габитуса с явно выраженной спайностью по базопинаккиду. Твердость 5. Плотность 3,58—3,75. Слабомагнитный и иногда попадает в немагнитную фракцию. $n_e = 1,686—1,690$; $n_o = 1,680—1,685$; двупреломление низкое: $n_e - n_o = 0,005—0,009$. Оптически одноосный, положительный. В HCl и HNO_3 растворяется с трудом лишь при нагревании. Азотнокислый раствор с молибденовокислым аммонием дает реакцию на Р.

В золотоносных и алмазосных россыпях изредка встречается в виде вытянутых кристаллов ромбоэдрического облика или их осколков, реже неправильные угловатые или хорошо окатанные зерна. Спутники — циркон, рутил, брукит, монацит, гамлинит, горсейксит, гартит, турмалин, гематит, апатит. Источником флоренсита в россыпях являются минерализованные метаморфические сланцы. Разновидность, обогащенная кальцием и железом, носит название *к о й в и н и т*.

ФЛЮОРИТ (синоним — плавленый шпат) — CaF_2 . Иногда содержит примесь Cl. Сингония кубическая. Габитус кристаллов кубический, реже октаэдрический. Образует двойники прорастания по (111). Спайность совершенная по (111). Излом плоскоравный или занозистый. Хрупкий. Твердость 4. Плотность 3,18, у загрязненных разностей 3,2. Блеск стеклянный. Цвет фиолетовый, зеленый, желтый, реже голубой, красный, белый, бесцветный; часто неравномерный. Иногда содержит включения окислов железа и марганца. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Сильно флюоресцирует под действием рентгенов-

ских лучей. Люминесцирует фиолетовым или зеленым цветом в катодных, рентгеновских и ультрафиолетовых лучах. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления низкий; $n = 1,434$. Изотропный, иногда наблюдается ненормальное двупреломление, обусловленное внутренним натяжением кристалла. При нагревании в концентрированной H_2SO_4 разлагается с выделением пузырьков HF , разъедающих стекло.

В россыпях флюорит легко разрушается и поэтому встречается лишь вблизи коренных месторождений. Присутствует в зернах неправильной формы, сохраняющих иногда следы кубической или октаэдрической формы. Происхождение — гранит и другие кислые изверженные породы. Метаморфические породы; рудные жилы. Известняки. Спутники — галенит, сфалерит, касситерит, вольфрамит, турмалин, корунд, топаз. Разновидности: и т р о ф л ю о р и т $CaF_2 \cdot mYF_3$ — разновидность флюорита, содержащая значительные примеси редкоземельных элементов, цвет желтый, бурый, твердость 4,5, плотность 3,55; т и с о н и т и л и ф л ю о ц е р и т $(Ce, La, Dy) F_3$, твердость 4,5—5, плотность 6,13, желтые или бурые гексагональные призматические кристаллы.

Определяется по окраске, блеску и форме кристаллов. Проверяется под микроскопом по изотропности и низкому показателю преломления. По внешнему виду может быть сходен с апатитом, шеелитом, баритом, гранатом, шпинелью, цирконом или топазом, от которых отличается более низким показателем преломления и другими оптическими свойствами.

ХАЛЬКОЗИН (синоним — медный блеск) — Cu_2S . Иногда в небольших количествах присутствует Fe , а также Ag . Сингония ромбическая. Образует псевдогексагональные таблитчатые кристаллы. Спайность по (001) неясная. Излом раковистый. Твердость 2,5—3. Плотность 5,5—5,8. Блеск металлический, с поверхности матовый. Цвет и черта свинцово-серые, часто с пестрой побелостью. Немагнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. Растворяется в HNO_3 . Дает реакцию на Cu с $K_4[Fe(CN)_6]$.

Встречается в россыпях очень редко, вблизи коренных выходов медных руд в неправильных зернах с тусклым блеском. С поверхности иногда наблюдаются зеленые налеты малахита. Происхождение — жилы, обогащенные медными рудами, медистые песчаники. Спутники — халькопирит, малахит, азурит, галенит, сфалерит, пирротин.

Под биноклем определяется по темному свинцово-серому цвету, металлическому блеску и по наблюдающемуся иногда поверхностному превращению в малахит. Проверяется по растворимости в HNO_3 и химической реакции на Cu .

ХАЛЬКОПИРИТ (синоним — медный колчедан) — $CuFeS_2$. Часто содержит Ag и Au , также следы Se и Te . Сингония тетрагональная. Кристаллизуется в тетраэдрах или в более сложных

формах, имеющих вид октаэдра. Спайность по (201) иногда ясная. Излом неровный, раковистый. Хрупкий. Твердость 3,5—4. Плотность 4,1—4,3. Блеск металлический, с поверхности тусклый. Цвет латунно-желтый с золотистой или пестрой побежалостью. Черта зеленовато-черная. Немагнитный. Обладает слабой электропроводностью. Непрозрачный. С трудом растворяется в HNO_3 и легко в царской водке. Раствор дает реакцию на Fe и Cu с $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

В россыпях легко разрушается, поэтому встречается редко и лишь около коренных месторождений. Присутствует обычно в неправильных, угловатых зернах с неровным или раковистым изломом. Происхождение — изверженные породы, пегматитовые жилы. Спутники — пирит, халькозин, малахит, азурит, галенит, сфалерит, пирротин, иногда касситерит. Изменения — легко разрушается с образованием лимонита, малахита, азурита и других медных минералов.

Определяется по латунно-желтой окраске, неправильной форме зерен и непрозрачности. Проверяется химической реакцией на Cu. В неправильных зернах сходен с пиритом, от которого отличается меньшей твердостью и реакцией на медь.

ХЛОПИНИТ — сложный титано-ниобат Y, Fe, U, Th. Микрокристаллический. Излом раковисто-заноистый. Твердость 5—6,5. Плотность 5,24. Цвет черный. Блеск полуметаллический. Слабо магнитный. Просвечивает только в тонких осколках. Изотропный, $n = 2,10$ — $2,27$. Сильно радиоактивный.

Встречается очень редко в элювии пегматитовых жил.

ХЛОРИТЫ — группа слюдистых минералов, часто являющихся продуктами изменения амфиболов и слюд. Они являются силикатами Al, Fe^{3+} и Mg, содержащими химически связанную H_2O . Сингония моноклинная. Таблитчатые псевдогексагональные кристаллы. Спайность по (001) совершенная. Листочки гибкие, но не упругие. Твердость 2—2,5. Плотность 2,6—2,85 (некоторые ожелезненные хлориты до 3,45). Блеск на плоскостях спайности перламутровый, на боковых плоскостях стеклянный. Цвет зеленый, фиолетовый, розовый. Слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Просвечивающий до прозрачного. Показатель преломления низкий: $n_m = 1,576$ — 1,60 для пеннина, $n_m = 1,57$ —1,59 для клинохлора. Двупреломление у клинохлора среднее ($n_g - n_p = 0,011$); у пеннина низкое ($n_g - n_p = 0,003$). Аномальные цвета интерференции тусклые синие, лиловые, бурые, серые. Некоторые разности обнаруживают двусную фигуру и могут быть положительными или отрицательными. $2V$ непостоянен даже в одном и том же кристалле и изменяется от 0 до 90° . У окрашенных разностей наблюдается плеохроизм от зеленого до желтого. Частично разлагается HCl и полностью H_2SO_4 .

Обычно присутствует в россыпи в гибких слюдоподобных пластинках или чешуйках, окрашенных в зеленый цвет и обладающих

перламутровым блеском. Происхождение — сланцы, филлиты и подобные им метаморфизованные породы. Спутники — лимонит, кальцит, слюды, пироксены, амфиболы, гранаты, эпидот, шпинель. Разновидности: п е н н и н — псевдотригональный хлорит, обычно оптически отрицательный; к л и н о х л о р — близок к пеннину, отличается по химическому составу, чаще оптически положительный; п р о х л о р и т, к о р у н д о ф и л л и т и другие разновидности хлорита часто не обладают явно кристаллическими свойствами.

Точное определение отдельных разновидностей хлорита представляет большие трудности. Определяется по пластинчатому, слюдистому габитусу, зеленой окраске и перламутровому блеску. Оптические свойства весьма непостоянны. Обычно характеризуется низкими ультрасиними интерференционными цветами; часто совершенно изотропен. По внешнему виду сходен со слюдами, от которых обычно отличается зеленой окраской и низкими цветами интерференции.

ХЛОРИТОИД — $\text{Fe}_2^{2+}\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}][\text{OH}]_4$ — минерал очень редкий в россыпях. Сингония моноклинная. Встречается в виде пластинчатых или чешуйчатых выделений. Часто содержит включения кварца, серицита, хлорита, гематита, магнетита. Цвет черновато-зеленый, темный голубовато-серый, иногда бурожелтый; обычно зональное распределение окраски. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности иногда перламутровый. Твердость 5—6. Хрупкий. Спайность — совершенная по (001); излом плоскоступенчатый, неровный. Плотность 3,2—3,6. Не люминесцирует. Слабомагнитный. Просвечивает в краях зерен, иногда прозрачен. $n_g = 1,726—1,738$; $n_m = 1,722—1,730$; $n_p = 1,720—1,727$. $n_g - n_p = 0,006—0,011$. Двусный, положительный. $2V = 30—68^\circ$. Отчетливый плеохроизм: n_g — буровато-желтый, бесцветный; n_p — синевато-фиолетовый, оливково-бурый, темно-зеленый, голубовато-зеленый. В HCl не растворяется, но при кипячении разлагается H_2SO_4 .

В шлихах встречается в виде неправильных иногда шестигонных табличек с исштрихованными или разъединенными гранями в районах распространения филлитов, серицито-кварцевых и глинистых сланцев. В россыпях сопровождается рутилом, лейкоксеном, эпидотом, актинолитом, цоизитом, ильменитом, магнетитом, пиритом, турмалином, апатитом, шпинелью. Разновидность, обогащенная Mn, носит название о т т р е л и т а. В пластинчатых зернах может быть принят за хлорит, в осколках и призматических кристаллах — за роговую обманку. От обоих минералов отличается по оптическим свойствам и прежде всего по двусной оптически положительной коноскопической фигуре.

ХОЛМКВИСТИТ — $\text{Li}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2[\text{OH}, \text{F}]_2$ — литиевый амфибол. Очень редкий минерал россыпей. Встречается в виде удлинённых зерен и обломков шестоватых кристаллов ро-

зовато-голубого, фиолетового и лилово-синего цвета. Плотность $2,95-3,11 \cdot n_g = 1,646-1,654$; $n_m = 1,638-1,645$; $n_p = 1,620-1,625$; $n_g - n_p = 0,026-0,029$. Двусный, отрицательный, $2V = 40-51^\circ$. Плеохроизм n_g — лилово-розовый, фиолетовый, синий. n_p — светло-желтый до бесцветного. В кислотах нерастворим. Поступает в россыпи из гранитных пегматитов натрово-литиевого типа, где встречается совместно со сподуменом, литиевым турмалином, колумбитом, бериллом. По внешним признакам, характеру спайности, твердости и некоторым другим свойствам сходен с глаукофаном и отличается от него лишь розовым оттенком окраски, а также несколько меньшей плотностью.

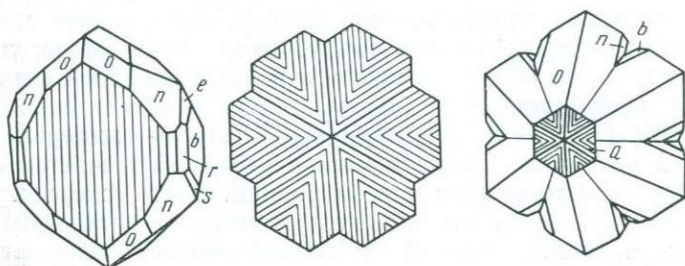


Рис. 51. Хризоберилл. Формы кристаллов

ХРИЗОБЕРИЛЛ (синоним — цимофан) — $BeAl_2O_4$. Содержит примеси Fe_2O_3 и Cr_2O_3 . Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые по (100). Обычно двойники по (031), часто повторные, образующие псевдогексагональные кристаллы с входящими углами или без них. Грани (100) часто покрыты вертикальной штриховкой. В двойниках наблюдается перистая штриховка (рис. 51). Спайность по (011) хорошая, по (010) несовершенная и по (100) неясная. Излом раковистый, неровный. Хрупкий. Твердость 8,5. Плотность 3,5—3,84. Блеск стеклянный. Цвет зеленый, желтый, желтовато-зеленый. Иногда имеет включения окислов железа и окиси хрома. Немагнитный. Плохой проводник электричества. В ультрафиолетовых лучах люминесцирует вишневым или зеленым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,753-1,758$; $n_m = 1,747-1,749$; $n_p = 1,744-1,747$. Двупреломление низкое; $n_g - n_p = 0,009$. Оптически двусный, положительный. $2E = 85^\circ$. $2V = 45-71^\circ$. Плеохроизм: n_p — красный; n_m — оранжево-желтый; n_g — изумрудно-зеленый. В кислотах не растворяется. С содой и бурой сплавляется с большим трудом. Порошок минерала, смоченный раствором $Co(NO_3)_2$, при прокаливании в окислительном пламени окрашивается в синий цвет.

Минерал редкий. Обычно встречается в виде окатанных плоских зерен зеленого цвета, часто матовых с поверхности. Наблюдаются двойники. Иногда зерна обладают характерными переливами окраски и красным отсветом от поверхности трещин. Происхождение — гранит, слюдястые сланцы. Спутники — берилл, фенацит, топаз, эвклаз, флюорит, апатит, турмалин, гранат. Разновидности: а л е к с а н д р и т — изумрудно-зеленый в отраженном свете, при искусственном освещении и в проходящем свете кажется красным. Драгоценный камень. К о ш а ч и й г л а з — зеленоватый хризоберилл с красивыми волнообразными переливами.

Определяется по окраске и форме зерен, проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления и слабому дву-преломлению. По внешнему виду иногда сходен с оливином, от которого отличается по плотности.

ХРОМИТ — FeCr_2O_4 или $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}^{2+}$ частично замещается Mg; Cr замещается Al и Fe^{3+} с образованием переходных разностей к пикотиту. Сингония кубическая. Кристаллизуется в октаэдрах. Спайности не наблюдается. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 5,5. Плотность 4,0—4,9. Блеск металлический, полуметаллический. Цвет железно-черный и коричнево-черный, в тонких осколках просвечивает красноватым. Черта бурая. Часто содержит включения окислов железа. Слабо или умеренно магнитный. Хороший проводник электричества. Непрозрачный. В тонких осколках просвечивает. $n = 2,07\text{—}2,16$. Изотропный. В кислотах не растворяется. После сплавления со смесью соды и селитры дает реакцию на Cr с AgNO_3 .

Встречается в виде окатанных октаэдрических или угловатых неправильных зерен. На поверхности зерен часто наблюдаются мелкие углубления и неровности. В россыпях сохраняется хорошо и может переноситься на большие расстояния от коренных месторождений.

Происхождение — ультраосновные изверженные породы. Спутники — магнетит, шпинель, оливин, платина. Разновидность — м и т ч е л л и т — $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$.

Определяется по черному цвету, металлическому блеску и октаэдрической форме кристаллов. Проверяется химической реакцией на Cr. По внешнему виду сходен с магнетитом и темноокрашенными шпинелями. От магнетита отличается слабыми магнитными свойствами, от шпинелей — меньшей твердостью и непрозрачностью.

ЦЕЛЕСТИН — SrSO_4 . Содержит примеси Ca и Ba. Редкий минерал россыпей, кристаллизуется в ромбической сингонии. Кристаллы призматические по (100), реже столбчатые или таблитчатые. Обычно бесцветен, реже голубовато-белый, красноватый, с зональным распределением окраски. Спайность совершенная по (001) и (210). Излом неровный. Плотность 3,90—4,00. Немагнитный. Твердость 3. В ультрафиолетовых лучах слабо

люминесцирует белым, желтоватым, розовым. Прозрачен в различной степени, иногда лишь слабо просвечивает в тонких краях. $n_g = 1,631$; $n_m = 1,624$; $n_p = 1,622$; $n_g - n_p = 0,009$. Двуосный, положительный. $2V 50^\circ$. В кислотах практически нерастворим; смоченный HCl окрашивает пламя в интенсивный розово-красный цвет.

В россыпях встречается в виде обломков кристаллов, угловатых и частично окатанных зерен. Связан обычно с осадочными породами — известняками, доломитами, мергелями, гипсоносными и соленосными глинами совместно с карбонатами, флюоритом, стронцианитом, галенитом, сфалеритом.

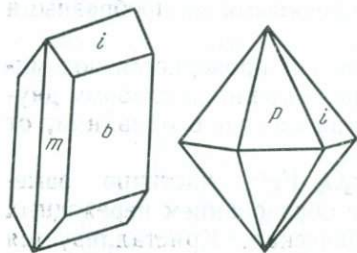


Рис. 52. Церуссит. Формы кристаллов

По форме кристаллов и некоторым физическим свойствам сходен с баритом и ангидритом; отличается от них по окрашиванию пламени, а также по величине показателей преломления и плотности.

ЦЕРУССИТ — $PbCO_3$. Сингония ромбическая. Кристаллы таблитчатые по (010), призматические или пирамидальные (рис. 52).

Часто образует двойники по (110) и (130); иногда двойники и тройники прорастания, имеющие форму шестилучевой звезды.

Встречается также в натечных формах. Спайность по (110) и (021) ясная. Излом раковистый. Твердость 3—3,5. Плотность 6,4—6,6. Блеск алмазный. Цвет бурый, белый, серый, желтый, иногда бесцветный. Немагнитный. Обладает голубой люминесценцией в катодных и рентгеновских лучах и желтой в ультрафиолетовых. Прозрачный до просвечивающего по краям. Показатель преломления очень высокий: $n_g = 2,078$, $n_m = 2,076$; $n_p = 1,804$. Двупреломление очень высокое, как у всех карбонатов: $n_g - n_p = 0,274$. Оптически двуосный, отрицательный. $2V = 8^\circ$. Дисперсия заметная, $r > v$. Легко растворяется в HNO_3 с шипением. Раствор дает реакцию на Pb с KI. В HCl разлагается с выделением белого творожистого осадка. При восстановлении в капле HCl на цинковой пластинке покрывается серой пленкой свинца.

Встречается в россыпях очень редко, лишь вблизи коренных месторождений. Присутствует обычно в окатанных зернах, изредка сохраняются двойники звездчатой формы. Происхождение — жилы, содержащие свинцовые руды, зоны окисления полиметаллических и свинцово-цинковых сульфидных месторождений. Спутники — галенит, англезит, лимонит, малахит.

Определяется по сильному алмазному блеску, малой твердости и при наличии двойников по их звездчатой форме. Проверяется по растворимости в кислотах, химической реакции на Pb и под микроскопом по оптическим свойствам. По внешнему виду

может быть сходен с кальцитом, баритом, шеелитом, апатитом и некоторыми другими минералами. От них (кроме кальцита) отличается по растворимости в кислотах с шипением. От кальцита отличается химической реакцией на Pb.

ЦИНК — Zn. Неправильные зерна. Твердость 2. Плотность 6,9—7,2. Очень хрупкий. Легко плавится. Горит синим пламенем, выделяя ZnO. Обнаружен в золотоносных россыпях.

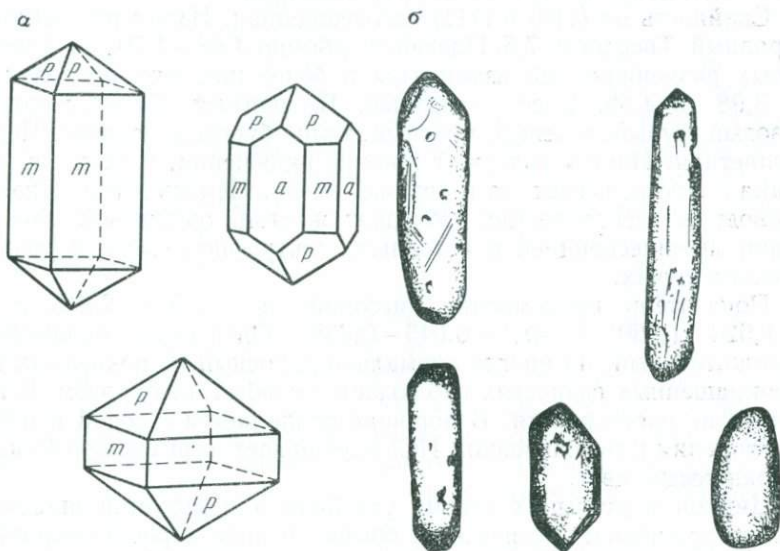


Рис. 53. Цинк.

а — формы кристаллов; б — формы зерен, встречающихся в россыпях

ЦИРКОН — $ZrSiO_4$. Часто содержит незначительную примесь Fe_2O_3 . Сингония тетрагональная. Призматические или дипирамидальные кристаллы, иногда более сложные формы (рис. 53). Образует колеччатые двойники по (101), как у рутила и касситерита. Наблюдается зависимость внешнего облика кристаллов циркона от условий образования и приуроченности к определенным горным породам. Призматические удлиненные формы кристаллов, характеризующиеся преобладающим развитием призмы (110) и дипирамиды (111), наиболее обычно для циркона из сиенитов и щелочных сиенитов. Степень удлинения колеблется в пределах 1,5—2,5. Призматический циркон с преобладающим развитием призмы (100) и дипирамиды (111) с коэффициентом удлиненности кристаллов в пределах 2—3 (иногда больше) развит в нормальных гранитах и их жильных производных. Изометрические формы, характеризующиеся развитием тетрагональных призм первого и второго рода и граней основной дипирамиды,

с коэффициентом удлинения не более 1,5—2 встречаются в умеренно кислых гранитах — гранодиоритах, тоналитах. Дипирамидальные формы с незначительным развитием граней призмы характерны для щелочных пород — нефелиновых сиенитов, пегматитов и некоторых жильных гидротермальных пород (карбонатитов и др.). Копьевидные призматические формы с резким преобладанием конечных граней дипирамиды наблюдаются в гранодиоритах, плагиогранитах и многих других породах.

Спайность по (110) и (111) несовершенная. Излом раковистый, неровный. Твердость 7,5. Плотность обычно 4,68—4,70, но у некоторых разновидностей изменяется в более широких пределах — от 3,98 до 4,86. Блеск алмазный. Бесцветный, бледно-желтый, розовый, бурый, зеленый, красный, темно-бурый до черного. Черта бесцветная. Иногда содержит жидкие включения, а также включения апатита, ксенотима и редких земель. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Обладает желтой, оранжевой или зеленой люминесценцией в катодных, ультрафиолетовых и рентгеновских лучах.

Показатель преломления высокий: $n_e = 1,968—2,015$. $n_o = 1,923—1,960$. $n_e - n_o = 0,045—0,055$. Оптически одноосный, положительный, но иногда аномально двуосный. В некоторых густоокрашенных разновидностях наблюдается слабый плеохроизм. В кислотах не растворяется. В порошке сплавляется с содой и после растворения в разбавленной HCl окрашивает куркумовую бумагу в оранжевый цвет.

Циркон в россыпях весьма устойчив и пользуется широким распространением. Встречается обычно в виде хорошо сохранившихся кристаллов призматического облика или в более сложных формах; иногда наблюдаются окатанные прозрачные зерна или неправильные остроугольные обломки. Замечено, что окрашенные разновидности циркона чаще присутствуют в окатанных зернах, нежели бесцветные. Происхождение — различные изверженные породы, в особенности кислые и средние; пегматиты. Спутники — ильменит, магнетит, апатит, турмалин, гранат, монацит, золото, корунд, рутил. Разновидности: г и а ц и н т — прозрачный циркон оранжевого, красного, фиолетового или буроватого цвета; ц и р т о л и т — содержит примеси редких земель, U, Th, Hf и H₂O, бурого цвета, твердость меньше 6, плотность 4,1, показатель преломления и двупреломление ниже чем у нормального циркона, иногда изотропный; м а л а к о н — по составу близок циртолиту, твердость 6, плотность 3,89—3,93; н а э г и т — циркон, содержащий примеси Hf, Th, U, Ta и Nb, цвет зеленый или бурый, твердость 7,5, плотность 4,1, обычно изотропный.

Определяется по форме кристаллов, сильному блеску и высокой твердости. Проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления, сильному двупреломлению и по другим оптическим свойствам. По внешнему виду может быть сходен с касситеритом, рутилом, ксенотимом. От касситерита отличается мень-

шей плотностью и отрицательной реакцией на оловянное зеркало при восстановлении на цинковой пластинке; от рутила — меньшей прозрачностью последнего и отсутствием химической реакции на Ti , от ксенотима — более высоким показателем преломления и отсутствием химической реакции на P .

ЦОИЗИТ — $Ca_2Al_3Si_3O_{12}[OH]$. Иногда Al замещается Fe и минерал по составу приближается к эпидоту. Сингония ромбическая. Образует призматические кристаллы, сильно исштрихованные или с вертикальными бороздками на гранях. Спайность по (010) весьма совершенная. Излом неровный до неяснораковистого. Хрупкий. Твердость 6—6,5. Плотность 3,25—3,36. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Цвет белый, серый, зеленоватый, буроватый, красный. Черта бесцветная. Иногда содержит включения тонких зеленых кристаллов амфиболов, собранных в лучистые агрегаты. Немагнитный. Плохой проводник электричества. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,702—1,706$; $n_m = 1,696—1,702$; $n_c = 1,696—1,700$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,005—0,009$. В мелких зернах, ориентированных по (100), при малом угле оптических осей интерференционная окраска темная индигово-синяя, почти ультрасиняя. Оптически двуосный, положительный, $2V$ изменяется в широких пределах (от 0 до 60°) в зависимости от количества Fe , присутствующего в минерале. В крупных зернах наблюдается плеохроизм от синевато-зеленого до желтого; в тулите — от розового до темно-розового или желтого. Сильная дисперсия, $r < v$ при отсутствии Fe и $r > v$ в разностях, содержащих $\% Fe_2O_3$. В кислотах не растворяется.

В россыпях встречается в неправильных угловатых или окатанных зернах. Призматические кристаллы сохраняются редко. Происхождение — кристаллические сланцы, метаморфизованные основные изверженные породы. Спутники — эпидот, клиноцоизит, амфибол, везувиан, кианит, корунд, гранат. Разновидность — т у л и т — розово-красный цоизит, обладающий сильным плеохроизмом.

Определяется по бледной окраске и призматической форме зерен. Проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления, низкому двупреломлению и ультрасиней интерференционной окраске. Плеохроизм обычно наблюдается только у розовой разности (тулит). По внешнему виду тулит иногда сходен с андалузитом, от которого отличается менее сильным плеохроизмом и более высоким показателем преломления. Зеленоватый цоизит сходен с эпидотом и везувианом, от которого отличается более низким двупреломлением и ультрасиними цветами интерференции.

ШЕЕЛИТ — $CaWO_4$. Часто содержит примеси Mo и Cu . Сингония тетрагональная. Кристаллы октаэдрического или таблитчатого габитуса (рис. 54). Образует двойники по плоскости (100). Спайность по (111) ясная, по (101) слабая. Излом неровный.

Хрупкий. Твердость 4,5—5. Плотность 5,8—6,2. Блеск стеклянный до алмазного, иногда шелковистый. Цвет белый, желтоватый, зеленоватый. Черта бесцветная. Немагнитный или слабо магнитный. Плохой проводник электричества. В ультрафиолетовых, катодных и рентгеновских лучах люминесцирует ярким голубым цветом. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий: $n_e = 1,937$; $n_o = 1,920$. Двупреломление среднее: $n_e - n_o = 0,016$. Оптически одноосный, положительный. Плеохроизм не наблюдается. В HCl шеелит растворяется при нагрева-

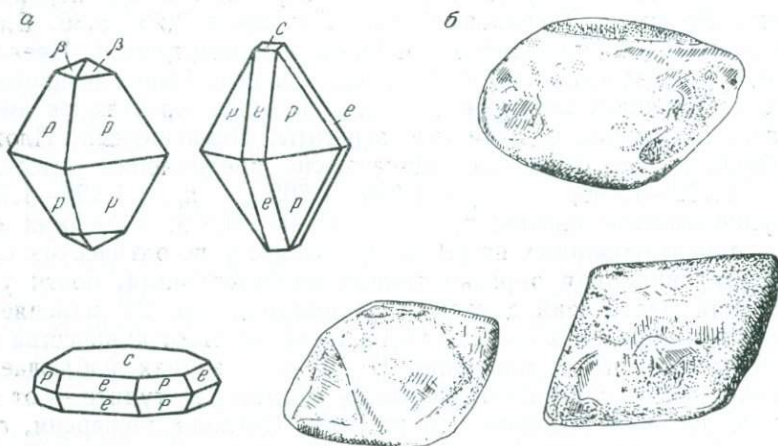


Рис. 54. Шеелит.

а — формы кристаллов; б — формы зерен, встречающихся в россыпях

нии с выделением желтой вольфрамовой кислоты H_2WO_4 , растворимой в аммиаке. При нагревании зерен шеелита в HCl с металлическим оловом или кристаллическим $SnCl_2$ на предметном стекле или в фарфоровом тигле минерал приобретает интенсивную синюю окраску.

В россыпях шеелит легко разрушается и в крупных зернах встречается лишь вблизи коренных месторождений. Обычно присутствует в неправильных окатанных зернах молочно-белого цвета с характерным шелковистым блеском. Реже сохраняются окатанные дипирамидальные или таблитчатые кристаллы. Происхождение — пегматитовые или рудные жилы в гранитах и гнейсах. Контактво-метаморфические породы. Спутники — турмалин, касситерит, топаз, вольфрамит, флюорит, апатит, молибденит, золото. Разновидность — к у п р о ш е е л и т — зеленый шеелит, содержащий до 5,8% CuO .

Определяется по молочно-белому цвету, шелковистому блеску, высокой плотности и по форме кристаллов (если она сохраняется). Проверяется по выделению желтого осадка при растворении в HCl, по синей окраске при реакции на W со $SnCl_2$ и по высокому

показателю преломления и относительно низкому двупреломлению. В катодных лучах люминесцирует голубым цветом. В окатанных зернах по внешнему виду сходен с апатитом, баритом и другими минералами, от которых отличается химической реакцией с HCl и SnCl_2 .

ШМАЛЬТИН — CoAs_2 . Содержит примеси Fe, Ni, S, иногда Cu, Bi, Ag. В россыпях встречается очень редко. Сингония кубическая. Облик кристаллов октаэдрический, реже кубооктаэдрический, непрозрачный. Цвет в свежем изломе светлый стально-серый, до оловянно-белого, с поверхности более темный, иногда с призмами розового эритрина. Блеск сильный металлический. Твердость около 6. Спайность неясная по кубу. Плотность 6,4—6,8. Немагнитный. В HNO_3 при нагревании разлагается полностью, образуя бледно-розовый раствор. Крупинки $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, помещенные в каплю азотнокислого раствора шмальтина, приобретают ярко-желтый цвет (реакция на As).

В россыпях встречается в виде обломков кристаллов, тонкозернистых агрегатов, иногда имеющих в изломе концентрически скорлуповатое сложение, а также в виде неправильных зерен. В россыпи поступает из карбонатно-кварцевых жил гидротермальных месторождений, генетически связанных с гранитами и гранодиоритами. Спутники — аргентит, серебро, мышьяк, иногда настуран, тетраэдрит, халькопирит. В неправильных зернах и осколках кристаллов может быть принят за арсенопирит (глаукот) или кобальтин; от арсенопирита отличается отрицательной реакцией на Fe^{3+} ; от кобальтина — отрицательной реакцией на S.

ШПИНЕЛЬ — MgAl_2O_4 . Химический состав непостоянен, Mg часто замещается Fe^{2+} или Mn, а Al замещается Fe^{3+} и Cr. Сингония кубическая. Кристаллизуется обычно в октаэдрах, реже в додекаэдрах или кубах (рис. 55). Иногда образует двойники по (111). Спайность несовершенная по (111). Излом раковистый. Твердость 8. Плотность 3,5—4,1. Блеск стеклянный до матового. Цвет красный, бурый, голубой, зеленый, реже синий, черный и белый. Обычно немагнитная, но разности, содержащие значительные примеси железа, попадают в электромагнитную фракцию. Непроводник электричества. Темноокрашенные разности почти непрозрачны. Показатель преломления высокий, зависит от состава и окраски минерала; $n = 1,715\text{—}2,00$. В кислотах не растворяется. Изотропный.

В россыпях обычно встречается в окатанных октаэдрах различной окраски; неправильные зерна наблюдаются редко. Происхождение — метаморфизованные известняки и сланцы, гнейсы, ультраосновные изверженные породы. Спутники — корунд, цир-

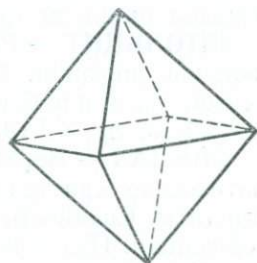


Рис. 55. Шпинель. Форма кристаллов

кон, гранат, хромит, кианит, хризоберилл, магнетит. Разновидности: рубиновая шпинель — красная шпинель; цейлонит или плеонаст — зеленая или черная железисто-магнезиальная немагнитная шпинель; хромшпинель и алюмохромит — по составу занимает промежуточное положение между хромитом и шпинелью, темная желтовато- или зеленовато-бурая, среднемагнитная; ганит (цинковая шпинель) $ZnAl_2O_4$ — темно-зеленая или зеленовато-коричневая, плотность 4,0—4,6, $n = 1,82$.

Шпинель легко определяется по октаэдрической форме кристаллов и по большой твердости. Проверяется под микроскопом по изотропности и высокому показателю преломления. Неправильные осколки шпинели трудно отличить от граната.

ШТОЛЬЦИТ — $PbWO_4$. Пирамидальные кристаллы тетрагональной сингонии. Твердость 3. Плотность 7,87—8,13. Цвет зеленый, серый или бурый. Показатель преломления очень высокий: $n_o = 2,27$; $n_e = 2,19$. Очень редкий минерал россыпей.

ЭВКЛАЗ — $Be_2Al_2Si_2O_8(OH)_2$. Сингония моноклиная. Призматические кристаллы, образующие иногда радиально-лучистые агрегаты. Спайность по (010) совершенная, по (100) и (001) несовершенная. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 7,5. Плотность 3,0—3,1. Блеск стеклянный. Цвет бледно-зеленый, бурый, синий или бесцветный. Черта бесцветная. Немагнитный. Прозрачный до непрозрачного. Показатель преломления высокий: $n_g = 1,671$; $n_m = 1,655$; $n_p = 1,652$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,019$. Оптически двуосный, положительный, с $n_g = 41^\circ$. $2V = 50^\circ$. Дисперсия: $r > v$. Иногда наблюдается плеохроизм. В кислотах не растворяется.

Очень редкий. Встречается в россыпях в окатанных зернах неправильной или призматической формы, иногда в виде пластинок по спайности. Происхождение — пегматиты, хлоритовые сланцы, гнейсы. Спутники — другие бериллиевые минералы, золото, топаз, рутил.

Определяется по окраске и форме зерен. Проверяется под микроскопом по показателю преломления и углу погасания. Дает химическую реакцию на Ве с хиализарином. Косвенным доказательством правильности определения может служить совместное нахождение других бериллиевых минералов — берилла, хризоберилла и фенакита.

ЭГИРИН — $NaFe^{3+}[Si_2O_6]$ — щелочно-железистый пироксен. Сингония моноклиная. Длиннопризматические (до игольчатых), столбчатые или шестоватые кристаллы. Характерна резкая вертикальная штриховка призматических граней, часто переходящая в ступенчатость.

Кроме кристаллов и одиночных зерен, сростки лучистого или волокнистого сложения. Спайность заметная по призме под углом около 87° , иногда наблюдается отдельность по (010) или (001). Излом неровный, на окончаниях зерен раковистый, иногда заноз-

зистый. Твердость 5,5—6. Плотность 3,40—3,60. Блеск сильный, стеклянный, на гранях темноокрашенных кристаллов иногда металлоидный. Цвет зеленый различных оттенков — от черно-зеленого темного до буровато-зеленого. Слабо магнитный. Прозрачный до просвечивающего, $n_g = 1,780—1,825$; $n_m = 1,768—1,770$; $n_p = 1,740—1,775$; $n_g - n_p = 0,040—0,052$. Двуосный, отрицательный. Плеохроизм отчетливый: n_g — зеленоватый, желтоватый, светлый зеленовато-бурый; n_p — травяно-зеленый, буро-зеленый, иногда бурый. В кислотах разлагается с трудом.

Очень редкий минерал россыпей. Хорошо образованные кристаллы встречаются исключительно редко, обычно в виде обломков агрегатов кристаллов с характерной вертикальной штриховкой граней. Происхождение — щелочные изверженные породы — нефелиновые сиениты, фолиты и другие контактово-метасоматические породы. Спутники — щелочные роговые обманки, сфен, апатит, ильменит, циркон. Разновидности: а к м и т — остроконечные кристаллы, содержащие Fe; Тi и Al; э г и р и н а в г и т, э г и р и н - д и о п с и д, э г и р и н - г е д е н б е р г и т — промежуточные по составу разности непрерывных изоморфных рядов, существующих между эгирином и другими минералами.

По внешнему виду эгирин наиболее сходен с роговой обманкой; в обломках кристаллов бурый эгирин может быть принят за турмалин. Легко отличается от названных минералов оптическими свойствами — высокими показателями преломления, схемой плеохроизма.

ЭНСТАТИТ — $Mg_2[Si_2O_6]$. Обычно содержит примеси Fe, изоморфно замещающего Mg. Относится к группе ромбических пикросенов.

Сингония ромбическая. Кристаллы призматического габитуса, иногда образует пластинчатые или звездчатые двойники. Спайность совершенная по (110) и (010), менее совершенная по (100). Излом неровный. Твердость 5—6. Плотность 3,1—3,3. Блеск стеклянный до перламутрового, металлоидный у бронзита. Цвет серый, желтоватый, зеленоватый, белый. Черта бесцветная. Немгнитный. Плохой проводник электричества. Прозрачный до просвечивающего. Показатель преломления высокий, изменяется в зависимости от содержания железа. $n_g = 1,660—1,680$; $n_m = 1,654—1,674$; $n_p = 1,652—1,668$, $2V = 69—72^\circ$. Двупреломление низкое: $n_g - n_p = 0,008—0,011$. Оптически двуосный, положительный. Дисперсия слабая, $r > v$. Плеохроизм слабый, усиливающийся с увеличением содержания железа: n_p — желтый, n_m — буровато-желтый; n_g — зеленый. В кислотах не растворяется.

Встречается в россыпях в неправильных зернах, реже сохраняются призматические кристаллы. Среди других минералов энстатит обычно выделяется грязно-зеленой окраской, стеклянным или перламутровым блеском пластинок по спайности. Происхождение — основные и ультраосновные изверженные породы,

реже метаморфизованные осадочные породы. Спутники — оливин, апатит, пироксены и амфиболы. Разновидность — б р о н з и т — железистый энстатит, обладающий зеленоватой или коричневатой окраской и металловидным блеском.

Определяется по грязно-зеленой окраске зерен и перламутровому блеску на плоскостях спайности. Проверяется под микроскопом по оптическим свойствам. Обычно содержит включения магнетита, апатита или циркона. По внешнему виду сходен с гиперстеном, от которого отличается более низкими показателями преломления и двупреломления, слабым плеохроизмом и положительным оптическим знаком.

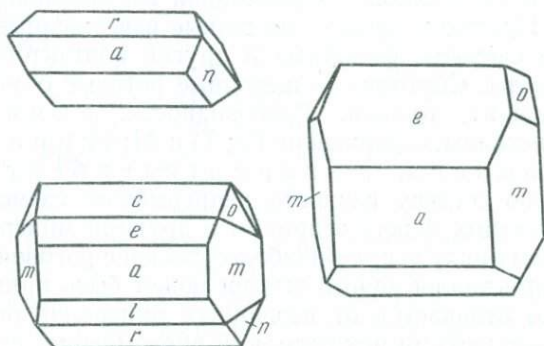


Рис. 56. Эпидот. Формы кристаллов

ЭПИДОТ — (синоним—пистацит) — $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}[\text{OH}]$. Состав весьма непостоянный. Содержит примеси Mn (п ь е м о н и т), Y, Eg, Се и др. (а л л а н и т). Сингония моноклиная. Кристаллы обычно призматические или игольчатые (рис. 56). Образует двойники по (100), часто полисинтетические. Спайность по (001) совершенная, по (100) несовершенная. Излом неровный. Хрупкий. Твердость 6—7. Плотность 3,35—3,38. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности (001) перламутровый. Цвет зеленый различных оттенков, бурый, черный. Черта бесцветная, сероватая. Иногда содержит включения железистых минералов. Слабо магнитный. Плохой проводник электричества. Прозрачный до просвечивающего. Высокий показатель преломления: $n_g = 1,735—1,785$; $n_m = 1,730—1,765$; $n_p = 1,720—1,740$; $2V = 68—73^\circ$. Двупреломление высокое: $n_g - n_p = 0,033—0,051$. Оптически двуосный, отрицательный. Пластинки по (100) дают характерную интерференционную фигуру, называемую «стрелкой компаса». Угол оптических осей, показатели преломления и сила двупреломления значительно изменяются в зависимости от состава минерала. Плеохроизм обычно слабый: n_p — желтый; n_m — бурый; n_g — зеленый. Дисперсия осей слабая, $r > v$. Частично растворяется в HCl.

В россыпях обычно встречается в зеленовато-желтых, или зелено-бурых зернах, покрытых мелкими трещинами. Форма зерен неправильная, угловатая, реже округлая. Происхождение — метаморфизованные осадочные или изверженные породы, содержащие много Са. Гнейсы, слюдяные или роговообманковые сланцы, метаморфизованные кварциты, песчаники, известняки. Спутники — цоизит, клиноцоизит, ильменит, лейкоксен, везувиан, гранат, авгит, аксинит. Разновидности — ортит, цоизит, клиноцоизит — описанные как самостоятельные минералы; пьомонтит содержит до 15% Mn_2O_3 темно-красный, красновато-бурый, плотность 3,4—3,5. $n_g = 1,75—1,82$; $n_m = 1,76—1,80$; $n_p = 1,74—1,76$. Оптически положительный. Сильный плеохроизм от малиново-красного до желтого.

Определяется по зеленовато-желтой окраске зерен, по трещиноватости. Проверяется под микроскопом по высокому показателю преломления, по двупреломлению, отрицательному знаку и слабому плеохроизму. Уплощенные обломки дают интерференционную фигуру, напоминающую стрелку компаса. По внешнему виду может быть сходен с оливином, авгитом и монацитом, от которых отличается оптическими свойствами.

ЭРИТРИН — $Co[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$. В качестве изоморфных примесей обычно устанавливается Ni, реже Fe, Zn, Mg, Ca. Встречается в россыпях очень редко. Сингония моноклиная. Кристаллы обычно мелкие, призматические, тонкошестоватые до игольчатых, реже пластинчатые. Встречается в виде кристаллических сростков, тонкозернистых, корковидных агрегатов, землистых масс. Цвет малиновый, красно-розовый; в агрегатах — смешанного состава — серовато-розовый. Блеск стеклянный, перламутровый на плоскостях спайности; для частиц землистого сложения — матовый. Спайность совершенная по (010), заметная по (100). Твердость 1,5—2,5. Плотность 2,95—3,10. Немагнитен. Не люминесцирует. В отдельных зернах прозрачен или просвечивает. $n_g = 1,681—1,701$; $n_m = 1,660—1,663$; $n_p = 1,622—1,629$. $n_g - n_p = 0,059—0,072$. Двуосный, положительный. $2V$ около 90° . Плеохроизм отчетливый; n_p — бледно-розовый; n_g — красный. В кислотах растворяется, раствор приобретает розовую окраску. Азотнокислый раствор окрашивает порошок $(NH_4)_2MoO_4$ в желтый цвет (As). Дает реакцию на Со с роданистым аммонием и ацетоном.

Образуется как продукт окисления арсенидов и сульфоарсенидов кобальта: кобальтина, шмальтина.

Встречается в зонах окисления гидротермальных арсенидно-кобальтовых месторождений.

ЭШНИТ — ниобат и титанат (торат) Се, Y, Ca и др. — $(Ce, Y, Er, Ca, Th...)(Ti, Nb...)_2O_6$. Сингония ромбическая. Призматические, псевдоромбические кристаллы. Излом неяснораковистый. Хрупкий. Твердость 5—6. Плотность 4,93—5,17. Блеск полуметаллический, смолистый. Цвет черный, бурый. Черта

серая, бурая. Слабо электромагнитный. Радиоактивный. Непрозрачный или просвечивающий. Показатель преломления очень высокий: $n = 2,20—2,26$. Изотропный, но после нагревания обнаруживает двупреломление. В HCl не растворяется. Частично разлагается серной кислотой. После сплавления с КОН дает реакцию на Th и Ti.

Минерал очень редкий. Встречается в россыпях в несовершенных призматических кристаллах с шероховатой поверхностью граней. Происхождение — пегматиты. Спутники — эвклаз.

Определяется по окраске и форме зерен. Проверяется химической реакцией на Th. Часто точное определение минерала может быть проведено лишь после количественного химического анализа.

ЯНТАРЬ — углеводороды, иногда отвечающие формуле $C_{10}H_{16}O$. Аморфный. Выделяется в округлых натечных формах. Спайности не наблюдается. Излом раковистый, неровный. Твердость 2—2,5. Плотность 1,05—1,09. Блеск смолистый, стеклянный. Цвет желтый, коричневый. Черта желтоватая. Часто отмечаются включения углистых веществ. Иногда содержит насекомых. Немагнитный. Температура плавления 250—400°; начинает размягчаться при 150°. Обладает зеленой или красновато-желтой люминесценцией в катодных и ультрафиолетовых лучах. Прозрачный или полупрозрачный благодаря включению мелких пузырьков. Показатель преломления низкий: $n = 1,53—1,54$. Изотропный. Частично растворяется в спирте, эфире и скипидаре. Горит коптящим пламенем.

В россыпях встречается редко в виде округлых, исцарапанных с поверхности зерен. Благодаря малой твердости быстро разрушается. Из-за малой плотности обычно не попадает в шлихи при промывке песков, но по желтой окраске легко обнаруживается в процессе промывки в ковше или на вашгерде и бутаре. Происхождение — янтарь представляет собой ископаемую смолу хвойных деревьев. Спутники — лигнит, остатки растений.

Определяется по окраске, форме зерен, малой твердости и исключительно малой плотности. Проверяется по легкой сгораемости. В легкой фракции сходных с ним минералов не наблюдается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акцессорные минералы изверженных пород. Сборник статей. М., «Наука», 1968. 331 с. с ил.
- Александров А. И. О самородном олове в аллювиальных россыпях р. Ис (Средний Урал). — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1955, ч. 84, в. 4, с. 462—464.
- Алимарин И. П., Петрикова М. Н. Качественный и количественный ультрамикрхимический анализ. М., «Недра», 1974. 191 с. с ил.
- Барсанов Г. П., Шевелева В. А. Материалы к изучению люминесценции минералов. — «Тр. Минерал. музея АН СССР», 1955, вып. 7, с. 3—11.
- Бергер Г. С., Ефимов И. А. Методы выделения мономинеральных фракций. — «Тр. КазИМС», 1961, вып. 4. 164 с. с ил.
- Берлинский А. И. Разделение минералов. М., «Недра», 1975. 174 с. с ил.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Госгеолиздат, 1950. 956 с. с ил.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., Изд-во АН СССР, 1955. 471 с. с ил.
- Бокий Г. Б. Иммерсионный метод. М., Изд-во МГУ, 1948. 84 с. с ил.
- Болдырева А. М. К вопросу о зависимости морфологических, физических и химических свойств касситерита от его генезиса. — «Зап. Всерос. минерал. о-ва», 1939, ч. 68, вып. 3, с. 386—421 с ил.
- Бонштедт Э. М. Определение удельного веса минералов в тяжелых жидкостях. М., Изд-во АН СССР, 1939. 55 с. с ил.
- Боришанская С. С. Новый способ определения теллура в полированных шлифах. — «Советская геология», 1947, № 27, с. 105—106.
- Быховский Л. З., Новилов В. П., Свешикова В. И. Типоморфные особенности касситеритов и вольфрамитов и их значение при поисках и оценке рудных месторождений. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972, с. 162—168.
- Вазбуцкий Г. Л. О первичных и вторичных окрасках касситерита. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1953, ч. 82, вып. 1, с. 72—75.
- Василевский М. М. Определение удельного веса из микронравесок. — «Заводская лаборатория», 1960, вып. 10, с. 1170—1171 с ил.
- Василькова Н. Н., Горобец Б. С. Люминесценция и ее применение в минералогии. — В кн.: Современные методы минерал. исслед., ч. 1. М., 1969, с. 221—232 с ил.
- Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М., «Мир», 1967. 526 с. с ил.
- Вистелиус Л. Б. О необходимом числе зерен, подсчитываемых при иммерсии. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1951, II серия, ч. 80, вып. 3, с. 187—190.
- Вишняков С. Г. Количественный минералогический подсчет песчаных образований Урало-Эмбенского нефтеносного района. — «Зап. Всерос. минерал. о-ва», 1930, II серия, ч. 59, № 1, с. 85—107.
- Геология россыпей. Под ред. В. И. Смирнова. М., «Наука», 1965. 400 с. с ил.
- Глаголев А. А. Геометрические методы количественного анализа под микроскопом. — «Тр. ВИМС», 1941, вып. 170. 263 с. с ил.
- Годэн А. М. Основы обогащения полезных ископаемых. М., Металлургиздат, 1946. 535 с. с ил.
- Готман Я. Д. К вопросу о свойствах касситерита в связи с условиями его образования. — «Бюл. Моск. о-ва испытателей природы», 1938, т. 46, с. 130—160.
- Гребенникова О. Г. К вопросу о диагностике некоторых титановых минералов в шлихах. — «Зап. Сиб. отд. Всес. минерал. о-ва», 1962, вып. 4, с. 50—60.
- Григорьев И. Ф., Доломанова Е. И. Новые данные по кристаллохимии и типоморфным особенностям касситерита разного генезиса. — «Тр. Минерал. музея АН СССР», 1951, вып. 3, с. 73—92 с ил.

- Деркач В. Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых. М., «Недра», 1966. 338 с. с ил.
- Деркач В. Г., Дацюк И. С. Электромагнитные процессы обогащения. М., Металлургиздат, 1947. 268 с. с ил.
- Евзикова И. З. Практический аспект кристалломорфологии касситерита. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1972, ч. 101, вып. 2, с. 237—249 с ил.
- Евсикович С. Г. Гравитационный анализ руд в тяжелых суспензиях. — «Цветные металлы», 1949, № 4, с. 25—27.
- Жердева А. Н. Атлас шлиховых минералов. — «Тр. ВИМС», 1941, вып. 166. 55 с. с ил.
- Жердева А. Н., Абулевич В. К. Минералогия титановых россыпей. — «Тр. ВИМС», 1964, вып. 11. 240 с. с ил.
- Жилинский Г. Б. Особенности касситерита в шлихах и возможности шлихового метода поисков. — «Вестн. АН КазССР», 1954, № 8, с. 107—115 с ил.
- Житкова М. К. Простейший метод разделения минералов по удельному весу. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1944, II серия, ч. 73, вып. 4, с. 254—255.
- Захарова Е. М. Опыт использования методов электрической сепарации при шлиховом анализе. — «Вестн. МГУ. Геология», 1969, № 4, с. 45—53.
- Захарова Е. М. Шлиховые поиски и анализ шлихов. М., «Недра», 1974. 158 с. с ил.
- Зубов В. И. Особенности формы кристаллов киновари на ртутных проявлениях Северо-Западного Кавказа. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972, с. 111—120 с ил.
- Иванов Н. В. К вопросу о количественном определении минералов. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1954, II сер., ч. 83, вып. 2, с. 95—105.
- Ильинский Г. А. Определение плотности минералов. Л., «Недра», 1975. 120 с. с ил.
- Карнаухов Н. М. Технология доводки коллективных концентратов с помощью электрической сепарации. М., «Недра», 1966. 167 с. с ил.
- Касситерит и его типоморфные особенности. — В кн.: Типоморфизм минералов. М., 1969, с. 128—184 с ил. Авт.: Е. И. Доломанова, Р. В. Боярская, А. Д. Ракчеев, Т. А. Яковлевская.
- Кашкаров И. Ф., Полканов Ю. Л. Об учете относительного веса зерен при количественных анализах титано-циркониевых песков. — В кн.: Геология россыпей. М., 1965, с. 332—334.
- Комсвский Г. Ф., Ложникова О. Н. Люминесцентный анализ при изучении руд и минералов. М., Госгеолтехиздат, 1954. 91 с. с ил.
- Коперина В. В. К вопросу о точности минералогического анализа. — «Докл. АН СССР», 1962, т. 85, № 5, с. 1151—1154.
- Копченова Е. В. О возможных ошибках при определении касситерита методом восстановления. — «Золотая промышленность», 1939, № 6, с. 32—35.
- Копченова Е. В. Методика количественного шлихового анализа. — «Тр. ВИМС», 1940, вып. 158, с. 4—21.
- Копченова Е. В. Полевые методы шлихового анализа. — «Советская геология», 1947, № 21, с. 13—36.
- Копченова Е. В. Минералогический анализ шлихов. М., Госгеолтехиздат, 1951. 208 с. с ил.
- Копченова Е. В., Карюкина В. Н. Применение капельных химических реакций при минералогическом изучении шлихов. — «Тр. ВИМС», 1940, вып. 158, с. 39—63.
- Копченова Е. В., Карюкина В. Н. Методы изучения минералов с помощью качественных химических реакций. — В кн.: Современные методы минерал. кслед., ч. II. М., 1969, с. 157—198.
- Копченова Е. В., Лернер Р. Г. Пленочные реакции для открытия танталониобатов в шлихах и концентратах. — «Советская геология», 1947, № 25, с. 102—106.
- Коц Г. А., Разумная Е. Г. Применение микрообогащительных методов и аппаратуры для минералогических исследований. М., «Недра», 1970. 128 с. с ил.
- Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. I. М., Госгеолтехиздат, 1960. 330 с. с ил.

- Кругликова Т. И.* К вопросу о магнитных свойствах минералов. — «Минерал. сб. Львов. геол. о-ва», 1954, № 8, с. 297—313.
- Кузнецов В. И.* Цветная реакция на четырехвалентное олово. — «Журнал прикладной химии», 1940, т. XIII, № 5, с. 769—775.
- Кузнецов В. И.* Цветные реакции на сурьму с метилвиолетом. — «Журнал аналитической химии», 1947, т. II, № 3, с. 179—181.
- Кухаренко А. А.* О методике количественно-минералогического анализа. — «Уч. зап. Ленингр. гос. ун-та, сер. геол. наук», 1957, вып. 8, № 215, с. 159—179 с ил.
- Кухаренко А. А.* Минералогия россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1961. 318 с. с ил.
- Ларсен Е., Берман Г.* Определение прозрачных минералов под микроскопом. Изд. 2. М., «Недра», 1965. 464 с. с ил.
- Ли А. Ф.* Методика сокращения шлиховых проб. — «Разведка недр», 1948, № 1, с. 20—26.
- Лодочников В. Н.* Главнейшие породообразующие минералы. М., «Недра», 1974. 248 с. с ил.
- Ложкин В. В.* Определение теллуридов золота и серебра в шлихах. — «Золотая промышленность», 1940, № 9. с. 26.
- Ложкин В. В.* Диагностика минералов россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1962. 243 с. с ил.
- Марфушин А. С.* Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М., «Недра», 1975. 327 с. с ил.
- Методические указания по производству геологоразведочных работ. Вып. XII.* Разведка россыпных месторождений золота, платины, олова, вольфрама, титана, тантала и ниобия. М., Госгеолтехиздат, 1957. 109 с. с ил. Сост.: И. С. Рожков, Б. С. Русанов.
- Методическое руководство по применению малогабаритных обогатительных установок для минералогического анализа руд и горных пород.* М., Госгеолтехиздат, 1963, 112 с. с ил. Авт.: Г. А. Коц, Е. Г. Разумная, В. Д. Рожков, Г. Г. Павленко, Л. Г. Степаненко.
- Минералы.* Справочник т. I. Самородные элементы. Сульфиды, 1960. 616 с.; т. II, вып. 1. Галогениды, 1963. 296 с., вып. 2. Окислы, 1965. 341 с.; вып. 3. Сложные окислы, 1967. 676 с.; т. III. Силикаты, 1972. 883 с. М., «Наука», с. ил.
- Назаренко В. А., Полуэктов Н. С.* Полумикрохимический анализ минералов и руд. М.—Л., Госхимиздат, 1950. 190 с.
- Никитин К. К.* Опыт выделения мономинеральных и обогащенных фракций. — В кн.: «Методы и аппаратура для выделения мономинеральных и обогащенных фракций». М., 1967, с. 48—70 с ил.
- Новиков В. А.* Применение пленочных реакций и диагностического травления для минералогического анализа шлихов. — «Советская геология», 1939, № 10—11, с. 116—120.
- Новиков В. А.* О необходимом весе проб при опробовании россыпей на редкие минералы. — «Разведка недр», 1940, № 2—3, с. 73—79.
- Новиков В. А.* Пленочные реакции для диагностики минералов Рb, Bi, Mo и V. — «Советская геология», 1945, № 8, с. 75—80.
- Новиков В. А.* Новые пленочные реакции для некоторых тантало-ниобатов и редкоземельных минералов. — В кн.: Методические материалы для лабораторий геологических управлений и экспедиций. М., 1964, № 5, с. 41—49.
- Новиков В. А.* Типизация и унификация методов минералогических анализов шлихов и рыхлых пород. — «Тр. ЦНИГРИ», 1970, вып. 94, 85 с.
- Озеров И. М.* Шлиховая съемка и анализ шлихов. М., Госгеолтехиздат, 1959. 377 с. с ил.
- Озеров К. Н.* О зависимости формы кристаллов корунда от химического состава среды. — «Докл. АН СССР», 1951, т. 47, № 1, с. 51—55 с ил.
- Олофинский Н. Ф.* Электрические методы обогащения. М., «Недра», 1970. 550 с. с ил.
- Пилипенко П. Н., Калинин П. В.* Определитель минералов при помощи паяльной трубки. М., Госгеолтехиздат, 1947. 212 с. с ил.

Плаксин И. Н. Опробование и пробирный анализ. М., «Металлургиздат», 1947. 267 с. с ил.

Поваренных А. С. О магнитных свойствах минералов. — «Минерал. сб. Львов. геол. о-ва», 1957, № 11, с. 52—68.

Проблемы геологии россыпей. Под ред. В. И. Смирнова. Магадан, Отделение геологии, геофизики и геохимии АН СССР. Научный совет по рудообразованию. Северо-Восточный комплексный институт, 1970. 415 с. с ил.

Пятнов В. И. Получение чистого бромформа из промывных вод после разделения шлихов. — «Советская геология», 1947, № 25. с. 107.

Радиометрический метод поисков и разведки урановых руд. М., Госгеолтехиздат, 1957. 610 с. с ил.

Разумная Е. Г., Ершова К. С. Методы сепарации и их применение в минералогической практике. — В кн.: Современные методы минералогического исследования, т. II. М., 1969, с. 201—248 с ил.

Рейборн К., Мильнер Г. Поиски и разведка аллювиальных месторождений. М.—Л.—Новосибирск, Гос. науч.-тех. гор.-геол.-нефт. изд-во, 1933. 391 с. с ил.

Рожкова Е. В., Проскуровский Л. В. Определение диэлектрической проницаемости минералов и их диэлектрическая сепарация. — В кн.: Современные методы минералогических исследований горных пород, руд и минералов. М., 1957, с. 115—138.

Руководство по химическому анализу платиновых металлов и золота. М., «Наука», 1965. 312 с. Авт.: С. И. Гинзбург, Қ. А. Гладышевская, Н. А. Езерская и др.

Савицкая П. В. Быстрый метод определения вольфрамитов и молибденита в шлихах. — «Советская геология», 1938, т. VIII, № 6, с. 123.

Сахарова М. С., Черкасов Ю. А. Иммерсионный метод минералогических исследований. М., Изд-во МГУ, 1970, 89 с.

Седова Г. А., Никитин А. А. О методике определения содержания минералов в россыпях. — «Цветные металлы», 1963, № 9, с. 8—11.

Сигов А. П. Определение шеелита в шлихах. — «Советская золотопромышленность», 1937, № 3, с. 48.

Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М., Изд-во АН СССР, 1959. 257 с. с ил.

Смеланская Г. А. Магнитные свойства минералов. — В кн.: Методы и аппаратура для выделения мономинеральных и обогащенных фракций. М., 1967, с. 71—82.

Смолянинов Н. А. Практическое руководство по минералогии. М., Госгеолтехиздат, 1948. 428 с. с ил.

Сочнев А. Я. Ручные постоянные магниты для шлихового анализа. — «Разведка недр», 1948, № 1, с. 27—30 с ил.

Сыромятников Ф. В. Микропикнометры для определения удельного веса минералов. — «Минеральное сырье», 1930, № 6, с. 905—910 с ил.

Тананав Н. А. Дробный анализ. Качественные реакции и анализ неорганических соединений дробным методом. М.—Л., Госхимиздат, 1950. 248 с. с ил.

Таращан А. Н. Люминесценция минералов. Киев, «Наукова думка», 1978.

Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М., «Недра», 1965. 300 с. с ил.

Типоморфизм и коррелятивное значение акцессорного циркона изверженных и метаморфических пород Приполярного Урана и Тимана. — «Минерал. сб. Львов. гос. ун-та», 1966, № 20, вып. 4, с. 547—553 с ил. Авт.: Н. П. Юшкин, М. В. Фишман, Б. А. Голдин и др.

Типоморфизм минералов. М., «Наука», 1969, 247 с. с ил.

Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., «Недра», 1972. 260 с. с ил.

Типоморфные особенности касситерита из месторождений касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формации. — В кн.: Типоморфизм минералов и его практическое значение. М., 1972, с. 156—162 с ил. Авт.: А. С. Назарова Е. И. Доломанова, Т. Н. Сирина и др.

Тредвелл Ф. П., Голл В. Т. Курс аналитической химии. Т. I. Качественный анализ. М.—Л., Госхимиздат, 1946. 662 с. с ил.

Трофимов В. С. Основные закономерности формирования и распространения россыпей в различных климатических областях. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. II. М., 1959, с. 147—165.

Трушкова Н. Н., Кухаренко А. А. Атлас минералов россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1961. 436 с. с ил.

Туровский С. Д. Применение химических реакций по методу отпечатков при изучении шлихов и тяжелых фракций протолочек. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1954, ч. 83, вып. 4, с. 406—407.

Удельный вес минералов и методы его определения. — В кн.: Современные методы минерал. исслед. Ч. II. М., 1969, с. 77—89. Авт.: О. В. Щербак, В. Н. Карюкина, Г. А. Сидоренко, М. Я. Кац.

Файель Ф., Ангер В. Капельный анализ неорганических веществ. Кн. 1—2. М., «Мир», 1976. Кн. 1 — 390 с. с ил., кн. 2 — 320 с.

Флинт Е. Е. Облик кристаллов касситерита из некоторых месторождений СССР. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1958, ч. 87, вып. 2, с. 240—241.

Цымбал С. Н., Полканов Ю. А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев, «Наукова думка», 1975. 248 с. с ил.

Чуева М. Н. Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., Госгеолиздат, 1950. 179 с. с ил.

Чуева М. Н. Практическое руководство по разделению минералов в тяжелых жидкостях и солях. М., Госгеолтехиздат, 1954. 54 с. с ил.

Чухров Ф. В. Типоморфизм — важнейшая проблема современной минералогии. — В кн.: Типоморфизм минералов. М., 1969, с. 3—15.

Шафрановский И. И., Евзикова Н. З. Пути развития и новый этап минералогической кристалломорфологии. — «Зап. Всес. минерал. о-ва», 1976, ч. 105, вып. 5. с. 529—542 с ил.

Шеллер В. Р., Поуэлл А. Р. Анализ минералов и руд редких элементов. М., Госгеолтехиздат, 1962. 447 с.

Шмакин Б. М. Типоморфизм и типохимизм минералов. — В кн.: Онтогенические методы изучения минералов. М., 1971, с. 214—219.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., «Недра», 1971. 344 с. с ил.

Юшко С. А., Боришанская С. С. Таблицы диагностических признаков минералов в шлихах. М., Госгеолтехиздат, 1955. 60 с. с ил.

Jedwab J. Coloration de surface du Beryl. — «Bull. Soc. Belge geol.», 1957, vol. 66, № 1, p. 133—136.

Список необходимого оборудования
шлиховой лаборатории

- Микроскоп бинокулярный МБС-1, МБС-2
- Микроскоп поляризационный ПОЛАМ Р-312
- Аппаратура для люминесцентного и катодно-люминесцентного анализов
- Универсальный электромагнит
- Ручной магнит в чехле РМЧ-1
- Ручной магнит Сочнева С-5
- Ручной магнит многополюсный самосбрасывающийся
- Сепаратор изодинамический магнитный СИМ-1
- Поисковый электрический сепаратор ПС-1
- Диэлектрический сепаратор ДСК-1
- Сушильный шкаф СНОЛ-1
- Центрифуга пробирная ЦЛН-200
- Стандартный набор сит
- Лабораторный струйчатый делитель Джонса
- Весы технические на 2 кг
- Весы технические на 200 г Т-200
- Весы аналитические АДВ-200
- Набор жидкостей и сплавов с определенными показателями преломления
- Пушинтегратор
- Набор для паяльной трубки
- Проволока платиновая 0,4 мм
- Ступка из нержавеющей стали большая
- Ступка агатовая
- Стаканы стеклянные на 100 и 200 мл. — 10 шт.
- Стаканы фарфоровые на 100 и 200 мл — 10 шт.
- Тигли фарфоровые № 1—3—20 шт.
- Колбы конические на 50 и 100 мл — 40 шт.
- Воронки делительные на 50, 100, 200 мл — 20 шт.
- Воронки химические 4, 5, 6 см — 20 шт.
- Треугольники фарфоровые малые — 5 шт.
- Спиртовки стеклянные — 2 шт.
- Стаканчики для взвешивания — 10 шт.
- Стекля предментные — 100 шт.
- Стекля покровные — 200 шт.
- Чашки фарфоровые 5—6 см. — 20 шт.
- Цилиндры мерные на 100, 50 и 10 мл — 5 шт.
- Колбы плоскодонные на 1000 мл — 2 шт.
- Молоток минералогический — 1 шт.
- Молоток геологический — 1 шт.
- Сетки асбестовые — 5 шт.

Ерши для мытья посуды — 3 шт.
Зажимы металлические — 20 шт.
Фильтры беззольные — 10 пачек
Капельницы стеклянные — 20 шт.
Каучуковые трубки и пробки
Пробирки на 10—15 мл — 20 шт.
Пробирки на 0,5—1 мл — 50 шт.
Полотенца, халаты
Карандаши восковые для стекла — 10 шт.
Ложки роговые — 3 шт.
Лупы минералогические — 2 шт.
Напильник — 1 шт.
Штативы лабораторные с набором зажимных лапок и колец — 2 шт.
Щипцы тигельные
Пинцеты разные
Стекла 9×12 см — 10 шт.
Иглы препаровальные — 10 шт.
Стеклянные палочки
Стеклянные микропипетки
Капельницы на 25—30 мл — 20 шт.
Бюксы малые — 10 шт.
Бисквиты фарфоровые
Резиновые шланги малого диаметра

Реактивы для разделения
шлихов (500—600 шт.)

Бромформ — 4—5 кг
Спирт денатурированный — 6—8 л

Реактивы для химических реакций
(примерное количество для 500—600 анализов)

Азотная кислота, плотность 1,4—100 г
Винная кислота — 10 г
Серная кислота, плотность 1,84—100 г
Соляная кислота, плотность 1,19 — 200 г
Уксусная кислота — 100 г
Аммиак 25%-ный — 50 г
Ализарин-рот — 1 г
Аммоний молибденовокислый — 5 г
Аммоний надсернистый — 5 г
Аммоний роданистый — 5 г
Аммоний хлористый — 10 г
Аммоний щавелевокислый — 10 г
Бензидин основной или солянокислый — 5 г
Бумага лакмусовая — 10 книжек
Дистиллированная вода
Диметилглиоксим 1 г

Дифенилкарбазид или дефенилсемикарбазид — 1 г
Какотелин — 1 г
Калий азотнокислый (селитра) — 50 г
Калий нодистый — 50 г
Калий железистосинеродистый — 1 г
Калий железосинеродистый — 1 г
Калий ксантогеновокислый — 1 г
Калий пироксернокислый (получается прокаливанием в платиновой чашке
кислого сернокислого калия) — 200 г
Калий роданистый — 1 г
Натрий азотнокислый (селитра) — 50 г
Натрий едкий — 50 г
Натрий пиродифосфорнокислый — 5 г
Натрий радиозоновокислый — 1 г
Натрий углекислый (сода) — 200 г
Перекись натрия — 10 г
Олово металлическое гранулированное — 10 г
Перекись водорода — 50 мл
Родамин В — 1 г
Серебро азотнокислое — 5 г
Спирт этиловый — 100 мл
Таннин — 1 г
Уголь древесный
Хинализарин — 1 г
Цинк гранулированный — 100 г
Цинхонин или алкалоидные остатки — 1 г

Авантюрин 170
 Аварунит 163
 Авгит 109, 127, 193
 Агат 170
 Адамин 95, 128
 Азурит 91, 128
 Аквамарин 144
 Акмит 231
 Аксинит 113, 128
 Актинолит 108, 129, 132
 Алданит 213
 Александрит 223
 Алланит 186, 232
 Алмаз 86, 130
 Алюмохромит 230
 Альбит 195
 Альмандин 160
 Аметист 169
 Ампагабеит 85, 110, 131
 Амфиболы 108, 113
 Анатаз 87, 131
 Ангидрит 93, 135
 Англезит 93, 135
 Андалузит 98, 136
 Андрадит 108, 160
 Аннабергит 96, 137
 Анортит 195
 Антимонит 81, 137
 Антофиллит 108, 132, 138
 Апатит 96, 138
 Аргентит 81, 140
 Арсенипирит 81, 140
 Аурипигмент 86, 141
 Ахроит 215

Бадделеит 87, 141
 Бамлит 203
 Барит 94, 142
 Бастнезит 91, 143
 Бенитоит 99, 143
 Берилл 122, 143
 Биотит 108, 124, 144
 Бисмит 145
 Бисмутинит 150
 Бисмутит 85, 145
 Бисмутоаурит 164
 Бломстрандин 106, 145
 Бобровкит 163
 Борнит 82, 146
 Борт 130
 Брагит 217
 Браннерит 110, 146
 Браунит 85, 147

Бронзит 232
 Брукит 88, 147
 Бустамит 114, 148
 Вад 197
 Ванадинит 96, 148
 Везувиан 99, 114, 149
 Вилоит 149
 Виридин 137
 Висмут 80, 150
 Висмутин 82, 150
 Висмутистое золото 164
 Висмутовый блеск 150
 Волластонит 99, 150
 Вольфрамит 107, 151, 152
 Воробьевит 144
 Вортит 203
 Вульфенит 94, 152

Гадолинит 111, 153
 Галенит 82, 153
 Гамлинит 96, 154
 Ганит 230
 Гарниерит 122, 155
 Гартит 97, 155
 Гатчеттолит 194
 Геденбергит 109, 155, 192
 Гейкилит 165
 Гельвин 115, 155
 Гематит 104, 155
 Гессит 84, 156
 Гессонит 160
 Гётит 104, 157
 Гиалит 186
 Гиацинт 226
 Гидрогётит 104, 157
 Гиперстен 109, 158, 192
 Глаукофан 113, 133, 158
 Гойяцит 154
 Горсейксит 97, 158
 Гранаты 115, 159
 Графит 122, 161
 Гроссуляр 108, 115, 160
 Гюбнерит 111, 152

Делоренцит 110, 161
 Демантоит 160
 Дербилит 161
 Деревянистое олово 167
 Джалмант 88, 161
 Диаспор 88, 161
 Диопсид 116, 162, 192
 Диоптаз 99, 162

Дистен 170
Дихроит 173
Доломит 91, 162
Дравит 215
Дьялмаит 161

Жадеит 116, 163, 193
Жедрит 138
Железный блеск 156
Железный колчедан 190
Железо 120, 163

Золото 80, 163

Идокраз 149
Изумруд 144
Ильменит 105, 164
Ильменорутил 105, 165
Индиголит 215
Иолит 173
Иридий 187
Иридиевая платина 194
Иридий осмий 187
Иттрофлюорит 218

Кальцит 122, 165
Карбонадо 130
Касситерит 88, 166
Кварц 123, 169
Кианит 100, 170
Киноварь 82, 86, 171
Клейофан 209
Клинохлор 119, 125, 221
Клиноцоизит 100, 115, 171, 233
Кнопит 188
Кобальтин 82, 172
Кобальтовый блеск 172
Койвинит 218
Коллофан 140
Колумбит 106, 172
Кордиерит 123, 173
Корунд 89, 174
Корундофиллит 221
Кошачий глаз 223
Красный железняк 156
Креннерит 84, 175
Крокоит 94, 175
Ксантафиллит 100, 176
Ксенолит 203
Ксенотим 112, 176
Купроаурит 164
Купрошеелит 228

Лазулит 112, 177
Лампрофиллит 115, 177
Лаурит 83, 177
Лейкоксен 85, 178
Лепидоцит 178
Лепидомелан 179
Лимонит 157

Литиевая слюда 178
Ложный топаз 170
Лопарит 85, 179
Льюизит 89, 179

Магнетит 92, 179
Магнетит 120, 180
Магнитный железняк 180
Магнитный колчедан 194
Малакон 226
Малахит 92, 181
Манганандалузит 137
Манганалатит 140
Манганотанталит 173
Марказит 83, 181
Марматит 208
Мартит 156
Медистое золото 164
Медный блеск 219
Медный колчедан 219
Медь 80, 181
Меланит 160
Микроклин 195
Миметезит 97, 182
Миспикель 140
Митчеллит 223
Молибденит 83, 182
Молибденовый блеск 182
Моллит 177
Монацит 113, 182
Морганит 144
Мусковит 101, 124, 184
Мышьяковый колчедан 140

Настуран 216
Наэтит 226
Невьянскит 187
Нигрин 200

Октаэдрит 131
Оливин 115, 184
Олово 80, 185
Оловянный камень 166
Опал 186
Оранжит 213
Ортит 116, 186, 233
Ортоклаз 195
Осмистый иридий 80, 104, 187
Отенит 97, 188
Оттрелит 221

Палладий 80, 188
Палладий-антимонид 83, 188
Палладистое золото 164
Пеннин 119, 125, 221
Перидот 184
Перовскит 89, 188
Петцит 84, 189
Пикотит 105, 189
Пирит 83, 190

- Пироксен 109, 116
 Пирролизит 105, 190
 Пироморфит 97, 191
 Пироп 108, 160
 Пирохлор 90, 191
 Пирротин 121, 194
 Пистацит 232
 Главиновый шпат 218
 Платина 80, 104, 121, 194
 Плеонаст 230
 Повеллит 94, 194
 Полевые шпаты 123, 195
 Поликраз 110
 Поликсен 121, 194
 Порпецит 164
 Пренит 111, 196
 Приорит 145
 Прохлорит 221
 Прустит 83, 196
 Псилоделан 106, 197
 Пьомонтит 232, 233
- Рамзаит** 117, 197
 Распит 95, 197
 Реальгар 86, 198
 Ризэрит 217
 Роговая обманка 108, 133, 198
 Родонит 117, 199
 Ромеит 90, 199
 Ростерит 144
 Рубеллит 215
 Рубин 175
 Рutil 90, 200
- Сагениит 200
 Самарскит 106, 201
 Сапфир 175
 Свинец 81, 201
 Свинцовый блеск 153
 Серебристое золото 164
 Серебро 81, 201
 Серицит 184
 Серный колчедан 190
 Серпентин 124, 202
 Сидерит 92, 202
 Силлиманит 101, 203
 Сильванит 85, 204
 Сипилит 217
 Скаполит 124, 204
 Скородит 98, 204
 Слюдистый гематит 156
 Смитсонит 93, 205
 Сперрилит 83, 205
 Спессартин 160
 Сподумен 101, 193, 206
 Ставролит 117, 206
 Стибнит 137
 Стронцианит 93, 207
 Сурьмяный блеск 137
 Суэзит 163
- Сфалерит 87, 112, 208
 Сфен 118, 209
 Сысертскит 187
- Тантал 81, 210
 Танталит 106, 172
 Теннантит 84, 210
 Тетрадимит 211
 Тетраэдрит 84, 210
 Тирит 217
 Тисонит 219
 Титанавгит 127
 Титанистый железняк 164
 Титанит 209
 Титаномагнетит 121, 180
 Топаз 101, 211
 Торбернит 98, 212
 Торианит 85, 213
 Торит 102, 213
 Торолит 90, 213
 Тремолит 114, 132, 213
 Трипугнит 112, 214
 Трифан 206
 Тулит 227
 Турмалин 109, 118, 214
 Тяжелый шпат 142
- Уваровит** 160
 Уранинит 111, 216
 Уранофан 102, 216
- Фаялит** 118, 216
 Фенакит 102, 216
 Ферберит 107, 152
 Фергюсонит 106, 110, 217
 Феррацит 217
 Ферритунгстит 152
 Ферроплатина 194
 Фибролит 203
 Флогопит 109, 217
 Флоренсит 113, 218
 Флюорит 87, 218
 Флюоцерит 219
 Форманит 217
 Фторapatит 138
- Халцедон 170
 Халькозин 84, 219
 Халькопирит 84, 219
 Хнастолит 137
 Хлопинит 106, 219
 Хлорапатит 138
 Хлорит 119, 125, 220
 Хлоритоид 119, 221
 Холмквистит 114, 133, 221
 Хризоберилл 91, 222
 Хризолит 184
 Хромавгит 127
 Хромдиопсид 162
 Хромит 107, 223
 Хромпикотит 189
 Хромшпинель 230

Цейлонит 230
Целестин 95, 223
Церуссит 93, 224
Цимофан 222
Цинк 81, 225
Цинковая обманка 208
Циприн 149
Циркон 103, 225
Циртолит 226
Цитрин 170
Цоизит 103, 119, 227, 233

Шеелит 95, 227
Шерл 215
Шмальтин 84, 229
Шорломит 160
Шпинель 91, 229
Штольцит 95, 230

Эвклаз 103, 230
Эвксинит 110, 196
Эгирин 109, 193, 230
Эгирин-авгит 231
Эгирин-геденбергит 231
Эгирин-диопсид 231
Электрум 164
Эльбаит 215
Энстатит 116, 192, 231
Эпидот 109, 119, 232
Эритрин 98, 233
Эшвегсит 194
Эшинит 110, 233

Янтарь 125, 234
Яшма 170

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	4
Разделение шлихов на фракции и определение минералов	6
Общая схема минералогического анализа шлихов	6
Методы разделения шлихов на фракции	7
Взвешивание	7
Разделение на ситах	8
Отбор средней пробы	9
Магнитная сепарация	12
Разделение минералов по плотности	17
Разделение минералов по электропроводности	22
Диэлектрическая сепарация	23
Флотационный метод сепарации	24
Изучение минералов фракций	24
Методы диагностики минералов	28
Определение плотности минералов	28
Люминесценция минералов	36
Методы химического исследования	38
Пленочные реакции	38
Простейшие химические реакции	43
Определение минералов по оптическим свойствам	68
Определение радиоактивных минералов	72
Количественный шлиховой анализ	73
Ассоциации минералов в россыпях и минералы-спутники	76
Таблицы для определения минералов	79
Описание минералов шлихов	127
Список литературы	235
Приложение	240
Указатель минералов	243

Екатерина Васильевна Копченова

**Минералогический анализ
шлихов и рудных концентратов**

Редактор издательства А. М. Антокольская
Переплет художника С. А. Смирновой
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Технический редактор А. Е. Матвеева
Корректор К. И. Савенкова

Сдано в набор 29.05.78.
Подписано в печать 02.01.79. Т-02402.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага № 1.
Гарнитура литерат. Печать высокая.
Печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 16,47. Тираж 3200 экз.
Заказ 982/6917-14. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 6
Ленинградского производственного
объединения «Техническая книга»
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торг вли
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10

1p. 203

2876

HEAD