

Ю-5

0424

С. А. Юшко

Методы лабораторного исследования руд

4-е ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ ИЗДАНИЕ

7 л. рис., табл.

НТБ ЮРГТУ (НПИ)	
Разрешено к продаже	
Акт № _____	от "___" _____
Подпись _____	

4 руд 26.06.06
купил



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
МОСКВА 1971

Методы лабораторного исследования руд. Юшко С. А. Изд. 4-е, переработ. и доп. М., изд-во «Недра», 1971. 344 стр.

Книга является руководством по методике лабораторного исследования руд. Первая часть посвящена описанию всех существующих методов исследования руд под микроскопом в отраженном свете, применяемых как при диагностике минералов, так и при проведении текстурно-структурного анализа руд. Здесь дано описание методов фазового микрохимического анализа и метода определения магнитной неоднородности магнитных и слабо магнитных минералов (магнитная порошковая графия). Во второй части рассмотрены текстуры и структуры руд и методика проведения текстурно-структурно-структурного анализа с целью выяснения закономерностей распределения типоморфных минеральных ассоциаций в месторождениях. В третьей части руководства приведено описание основных диагностических свойств для 226 рудообразующих минералов и других сведений, необходимых при изучении их под микроскопом в отраженном свете.

Приложение включает определительные таблицы и методы обработки данных минералогического исследования, главнейшими из которых являются: математическая обработка данных минералогического исследования и организация лабораторий по микроскопическому исследованию полезных ископаемых.

Таблиц 2, иллюстраций 74, библиография — 104 названия.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание книги по методике изучения руд в отраженном свете было опубликовано в 1934 г. Эта книга явилась результатом педагогической работы автора в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе. В процессе этой работы на кафедре полезных ископаемых был создан специальный курс «Методы изучения руд под микроскопом в отраженном свете» (минераграфия).

Второе издание этой книги было опубликовано в 1949 г. За истекший период накопилось много материала по усовершенствованию метода, что вызвало необходимость коренной переработки книги. Вновь были написаны главы: «Химические методы определения рудных минералов» и «Структуры руд». Приведены более детальные описания рудообразующих минералов. Составлены новые определительные таблицы, в которых группировка минералов осуществлялась с использованием основных физических свойств минералов. Химические реакции диагностического травления использовались в качестве дополнительных признаков.

Третье издание книги опубликовано в 1966 г. За период после выхода второго издания методы лабораторного исследования руд усовершенствовались. В частности, больше внимания уделялось количественным методам определения физических констант (отражательной способности, твердости и др.). Третье издание книги соответственно переработано и дополнено, особенно в части методов количественного измерения физических свойств минералов в отраженном свете. Вновь написана глава «Фазовый анализ руд», поскольку этот метод приобрел большое значение при изучении окисленных руд. Включен раздел «Макро- и микрорадиографические методы» для выявления в рудах и диагностики радиоактивных минералов. Кроме того, коренным образом переработаны определительные таблицы, в которых использованы все методы лабораторного исследования руд.

Третье издание книги опубликовано под новым названием «Методы лабораторного исследования руд».

С момента выхода из печати (1966 г.) третьего издания еще более расширились области применения количественных методов определения отражательной способности, микротвердости, степени анизотропности рудных минералов; последнему особенно способствовало совершенствование методики изучения минералов в сходящемся свете. Применение магнитной порошковой графии позволило определить степень магнитности и магнитной неоднородности определенной группы рудных минералов в полированных шлифах. В то же время не утратили значения методы

фазового микрохимического анализа, которые применяются как при полевом микрохимическом опробовании рудных образцов и зерна, так и при диагностике минералов в полированных шлифах. При изучении вещественного состава руд и выяснении ряда генетических и практических вопросов широко применяется текстурно-структурный анализ руд.

В настоящем издании соответственно переработаны и дополнены главы, касающиеся всех этих разделов. Вновь написаны разделы «Микрохимическое зондирование» и «Математическая обработка результатов минералогического исследования руд» (приложение 4).

Автор выражает благодарность аспирантам Э. М. Кан, М. Е. Богуславскому, В. Е. Захарову, И. Е. Максимюк, оказавшим помощь при подготовке к печати четвертого издания книги, и Н. Ф. Кузнецовой за оформление иллюстраций.

Автор благодарен всем, кто сделал замечания по третьему изданию книги.

ВВЕДЕНИЕ

Минеральный состав горных пород и руд до применения микроскопа изучался главным образом химическими методами и по внешним признакам, наблюдаемым невооруженным глазом. Изобретение поляризационного микроскопа дало возможность разработать методику микроскопического изучения в проходящем свете тонких срезов (шлифов) горных пород и прозрачных рудных минералов. Первое время таким же путем пытались изучать и непрозрачные рудные минералы, особенно если последние являлись в горных породах акцессорными. Главная масса рудных минералов непрозрачна даже в тонких срезах, поэтому изучать их под микроскопом стало возможно лишь с применением отраженного света. Отраженный свет широко применяется в металлографии при изучении состава и строения металлов и сплавов.

Металлография как наука зародилась в 60-х годах прошлого столетия. При развитии метода микроскопического изучения руд в отраженном свете многие приемы были заимствованы из металлографии. Наука, занимающаяся изучением руд в отраженном свете, получила название минераграфии (minera — руда; grapho — пишу).

В настоящее время минераграфия применяется при изучении вещественного состава рудных месторождений. С помощью этого метода можно определять микроскопические зерна минералов, мельчайшие включения в минералах и изучать закономерности их распределения. Точная диагностика включений в минералах необходима при расчете формулы минерала по данным химического анализа. Минераграфический метод имеет важное значение для диагностики слагающих руду минералов и при изучении парагенетических ассоциаций, их структур и текстур. Последнее особенно необходимо для правильного понимания процессов рудообразования.

Минераграфические исследования руд в совокупности с геологическими и петрографическими исследованиями имеют существенное значение при установлении генетических типов месторождений и тем самым дают возможность более правильно подойти к оценке месторождения и выбору наиболее эффективных методов его разведки и разработки.

Микроскопическое изучение руд необходимо также при выборе метода их технологической обработки. Технолог должен знать качественный и количественный минеральный состав руд, размеры зерен и характер их сростания. Эти данные позволяют устанавливать требуемую крупность дробления и облегчают выбор методов обогащения. Кроме того, микроскопический метод исследования необходим при

изучении промежуточных продуктов (хвостов и концентратов) для контроля хода процесса обогащения.

Микроскопические методы изучения в отраженном свете с успехом применяются при изучении состава, строения и степени метаморфизма каменного угля и антрацита.

Определение рудных минералов основано на изучении совокупности их физических и химических свойств, таких, как отражательная способность, цвет в отраженном свете, явления поляризации, внутренние рефлексы, твердость, магнитность и электропроводность; существенное значение при диагностике некоторых минералов имеют также растворимость их химическими реактивами и установление химического состава определяемого минерала с помощью микрохимических реакций.

В настоящее время минераграфия как раздел курса полезных ископаемых включена в число обязательных дисциплин в учебные планы геологических и геологоразведочных факультетов горных институтов и университетов. Во многих из этих высших учебных заведений существуют минераграфические лаборатории и кабинеты (МГРИ, МГУ, горные институты в Ленинграде и Свердловске, политехнические институты в Томске, Ташкенте, Иркутске, Алма-Ате и других городах), в которых ведутся научно-методические работы. Хорошо оснащенные новейшим оборудованием минераграфические кабинеты имеются в ряде институтов Академии наук СССР, ВСЕГЕИ, ЦНИГРИ и во многих отраслевых научно-исследовательских институтах (Гинцветмет, Механиобр и др.).

В русской литературе первые работы по микроскопическому изучению руд появились в конце прошлого столетия. Наибольшее значение из них имели работы М. Д. Стратоновича и Е. С. Федорова, применивших этот метод для изучения структурных особенностей первичных и окисленных медных руд на пришифовках, покрытых лаком. Н. К. Высоцкий воспользовался указанным методом для изучения хромитовых и платиновых руд Урала.

Широкое развитие метод минераграфического изучения руд получил после Великой Октябрьской социалистической революции.

Одной из первых работ этого периода является статья К. И. Висконта (1918 г.), в которой автор изложил основы метода микроскопического исследования непрозрачных рудных минералов и его возможности в решении научных и практических задач. Немного позднее опубликованы материалы, посвященные минералогии рудных месторождений. В них уже более широко применялась методика минераграфического исследования (А. Г. Бетехтин, И. Ф. Григорьев, А. Н. Завацкий, Е. Е. Захаров и др.).

В 1928 г. И. Ф. Григорьев впервые дал сводку данных о минеральных сростаниях в рудах и классификацию рудных структур.

В 1930 г. Ф. И. Абрамов опубликовал руководство «Микроскопическое исследование руд в отраженном свете». Автор очень кратко описал основные приемы исследования и привел определительные таблицы Дэви и Фарнгама. В 1933—1934 гг. вышли в свет два руководства: А. Г. Бетехтин и Л. В. Радугина «Определение рудных минералов под микроскопом» и С. А. Юшко «Методы изучения руд в отраженном свете». В этих руководствах, кроме описания основных методов микроскопического исследования руд, приведено много новых приемов, рекомендаций, явившихся результатом многолетних исследований авторов, изучающих руды из различных месторождений Советского Союза.

В 1936 г. был напечатан «Сборник методических работ по микроскопическому исследованию руд в отраженном свете». В сборнике наибольший методический интерес представляли статья Ж. Орселя (в переводе И. С. Волынского) и статья Л. В. Радугиной.

В 1937—1950 гг. А. Г. Бетехтин в ряде статей предложил свою классификацию рудных текстур и структур и уточнил их терминологию. А. Г. Бетехтин дал сводку по структурному травлению рудных минералов и методику определения минералов марганца.

В 1938—1941 гг. в ряде статей С. А. Юшко изложила новые методы микрохимического анализа и указала на возможность их применения в минераграфии.

В 1940 г. Академия наук СССР издала труд «Минералы СССР». В этой работе даны описания основных свойств самородных элементов, сульфидов и сульфосоедов и их парагенетических ассоциаций. В 1963 г. издан новый справочник «Минералы», в котором приведено детальное описание диагностических свойств большой группы рудных минералов.

В 1941 г. вышли два руководства по минераграфии Ф. Н. Шахова и С. А. Вахромеева.

В 1947—1956 гг. переизданы значительно переработанные и дополненные учебники по микроскопическому изучению руд (Юшко, 1949; Волынский, 1949—1950 гг.; Вахромеев, 1956).

За последние годы в советской литературе появилось очень много работ по методике исследования руд в отраженном свете. Это работы С. А. Вахромеева (1953 г.); И. С. Волынского (1955, 1956 гг), Н. Н. Прибыткова (1957); А. Д. Ракчеева (1960, 1964); Н. В. Королева и А. С. Агроскина (1961 г.); И. А. Пудовкиной (1961 г.); М. Н. Пономаревой (1962 г.); В. Г. Фебличева (1962 г.), в которых авторы приводят результаты своих исследований по изучению количественного определения отражательной способности минералов в отраженном свете под микроскопом, а С. А. Вахромеев разработал методику изучения ориентированных шлифов в отраженном свете. Большой интерес представляет работа А. Д. Генжица и Н. В. Королева (1961 г.) по методике определения микровключений в рудных и нерудных минералах, работы Н. В. Королева (1959 г.) по микроспектральному анализу и И. Б. Боровского, А. Н. Деева и И. Д. Марчуковой (1959 г.) по рентгеноспектральному анализу некоторых рудных минералов.

С. А. Юшко (1951 г.) разработан фазовый анализ руд, проводимый с помощью метода отпечатков. Этот метод имеет большое значение при изучении окисленных руд полезных ископаемых. Фазовый анализ также успешно используется при изучении продуктов технологической обработки руд.

Большое значение для развития минераграфического метода имели опубликованные за последнее десятилетие методические работы по уточнению терминологии, применяемой при проведении структурно-текстуригого анализа руд, и монографии по микроскопическому изучению руд (А. Г. Бетехтин, Т. Н. Шадлун, С. А. Юшко, М. П. Исаенко и др.). Среди этих работ следует отметить составленный коллективом авторов ВСЕГЕИ «Атлас структур и текстур руд» под редакцией С. И. Талдыкина (1954) и труд коллектива авторов — сотрудников ИГЕМ «Структуры и текстур руд» под редакцией А. Г. Бетехтина (1958, 1964 гг.). В 1962 г. С. А. Юшко была опубликована новая генетическая классификация структур и текстур руд. Эта работа способствовала более широкому внедрению структурно-текстуригого анализа в практику при исследовании полезных ископаемых.

Разработкой методов микроскопического изучения руд в отраженном свете в США занимаются Ж. Мердок, В. Дэви, С. Фарнгам и М. Шорт, Ю. Н. Кэмерон и др., в Западной Европе — М. Берек, Г. Шнейдерхен, П. Рамдор, Ж. Орсель, Ван дер Вин и др. В 20-х и 30-х годах был издан ряд методических руководств, в которых имелись определительные таблицы для рудных минералов. Первое издание книги М. Шорта было переведено на русский язык в 1934 г.

Интерес представляют работы М. Берека, Ж. Орсея и А. Турнера, Ж. Бендфорда, В. Мак-Лина, Ю. Н. Кэмерона и др. (1936—1962 гг.) в области количественного измерения отражательной способности и явлений поляризации непрозрачных рудных минералов.

Очень большое значение в изучении особенностей строения руд имеют монографические работы А. Эдвардса (1954 г.), В. Бастина (1950 г.) и Г. Шварца (1951 г.) по структурам и текстурам руд. Авторы приводят детальное описание различных генетических типов сростаний рудных минералов и дают объяснение условий их образования. Существенный недостаток этих работ — отсутствие четкости в определении понятий структура и текстура руд.

В работах Г. Шнейдерхена и П. Рамдора (1931 г.) и П. Рамдора (1955) приведены детальное описание диагностических свойств минералов и особенности проявления их в рудах для главнейших рудообразующих минералов.

Книга П. Рамдора переведена на русский язык в 1962 г. Эта книга получила широкое распространение как справочное руководство по рудной микроскопии. В ней приведено описание 300 рудообразующих минералов и характерных для каждого из них парагенезисов. Недостаток работы — неточность в применении таких терминов, как структура и текстура руд при описании минеральных сростаний.

Следует также отметить работы Ю. Н. Кэмерона, Д. Е. Халимонда и других, в которых приведено описание теории отраженного поляризованного света и методов, применяемых авторами при определении оптических констант рудных минералов в отраженном свете.

Руководство Ю. Н. Кэмерона «Рудная микроскопия» переведено на русский язык и издано в 1966 г. под редакцией Ю. С. Бородаева.

В 1968 г. Бови опубликовано руководство по методике исследования руд в отраженном свете, где кратко освещены основные методы определения физических констант (отражательной способности, явлений поляризации и твердости-микротвердости) и приведены диагностические таблицы.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Методы, применяемые при диагностике минералов в отраженном свете

ГЛАВА I

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО КРИСТАЛЛОПТИКЕ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА

Изучение руд в отраженном свете сводится к изучению явлений взаимодействия световой волны и полированной поверхности минералов.

Согласно электронной теории взаимодействие света и вещества сводится к взаимодействию электромагнитного поля световой волны с атомами и молекулами вещества. Действие световой волны на электроны вещества и обратное воздействие вещества на световую волну выражаются возбуждением колебаний электронов, совпадающих с колебаниями электрического вектора световой волны. Свет и вещество имеют весьма сложную природу. Известно, что свет представляет собой электромагнитные волны, а вещество — систему электрически заряженных частиц (электроны и ионы), которые под действием световых электромагнитных волн совершают колебательные движения в такт с колебаниями световых волн.

Частота колебаний света значительна (10^{14} — 10^{16} колебаний в секунду). При такой частоте колебаний за изменением светового поля успевают следовать лишь заряды, обладающие малой массой (электроны); более тяжелые электрические заряды (ионы) не успевают смешаться под действием переменного электрического поля световой волны. Поэтому практически учитывается взаимодействие света с электронами. Световая волна, взаимодействуя с электронами, передает им энергию. Энергия, приобретенная электронами, расходуется на излучение вторичных электромагнитных волн и лишь частично, взаимодействуя с ионами, передается ионам и переходит в тепло.

Таким образом, результат колебаний электронов — возникновение вторичной электромагнитной волны света той же частоты, что и первичные. Эти вторичные волны когерентны первичной волне и могут взаимно интерферировать. Интерференцией первичной и вторичной волн света обусловлены процессы отражения, преломления и рассеяния.

При изучении рудных минералов в отраженном свете имеют дело с такими оптическими свойствами минералов, как отражательная способность, цвет или дисперсия отражательной способности, внутривенные рефлексы, двуотражение и поляризация. Ниже приведено описание всех этих оптических постоянных рудных минералов в отраженном свете.

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Отражательной способностью называют свойство минерала отражать падающий на его полированные плоскости свет определенной интенсивности. Отражение света от естественных граней минерала называется блеском минерала.

Отражательная способность зависит от строения вещества и является функцией показателя (коэффициента) преломления и коэффициента поглощения. Из физики известно, что в диэлектриках почти все электроны связаны. Поэтому возникновение вторичных волн при взаимодействии с ними световой волны невелико. Неблизко в диэлектриках также и поглощение. Однако если частота колебаний первичной световой волны близка к частоте собственных колебаний вещества, то амплитуда колебаний вторичных волн может резко возрасти, соответственно возрастает и коэффициент поглощения диэлектрика.

Если отражательную способность диэлектрика обозначить буквой R , интенсивность отраженного света I_r , а интенсивность падающего света I_0 , то значение отражательной способности можно выразить следующей формулой:

$$R = \frac{I_r}{I_0}$$

Отражательная способность находится в тесной связи с показателем преломления. Поэтому для случая нормального падения света на полированную поверхность прозрачной среды отражательная способность может быть выражена формулой Френеля:

$$R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$$

Отражательная способность (при изучении минералов в отраженном свете) — один из существенных диагностических признаков.

Отражательная способность прозрачных изотропных кристаллов и аморфного вещества является простой функцией их показателя преломления. Показатель преломления N для таких минералов известная величина, поэтому отражательная способность прозрачных минералов может быть выражена следующей формулой:

$$R = \frac{(N-1)^2}{(N+1)^2}$$

Численное значение показателя отражения можно выражать следующим образом: если интенсивность падающего света принять за единицу, то показатель отражения выражается в долях единицы. Если интенсивность света принять за 100, то показатель отражения выражается в процентах (табл. 1).

Таблица 1
Пример численных значений показателей отражения и преломления прозрачных изотропных минералов

Минералы	N	R	
		в долях единицы	в %
Сфалерит	2,4	0,17	17
Гашат	1,7	0,07	7

Последний способ выражения показателя отражения наиболее удобен, поэтому он принят в настоящем руководстве.

В металлических средах наряду со связанными электронами имеется большое количество свободных электронов. Благодаря большой амплитуде колебаний последних коэффициент поглощения металлических сред велик. При этом большая часть поглощенной энергии переходит в энергию вторичных волн. Однако в появлении у металлов

некоторых оптических свойств в какой-то мере играют роль связанные электроны. Вторичные волны, обусловленные колебаниями электронов, ведут к образованию сильной отраженной волны, интенсивность которой иногда достигает 97% (серебро) падающей волны.

Таким образом, отражение от металлов характеризуется наличием в отражающей среде свободных электронов, благодаря чему эти среды обладают большой отражательной способностью. В инфракрасных лучах свойства металлов обусловлены главным образом поведением свободных электронов, в случае же видимого и ультрафиолетового света большое значение приобретают связанные электроны. Связанные электроны вызывают избирательное поглощение у различных металлов.

Зависимость отражательной способности металлов от длины световой волны λ можно иллюстрировать примером для серебра (Ландсберг, 1955):

λ в Å	2510	3053	3160	3380	4200	100,00
R в %	34	9,1	4,2	55,5	86,6	97,1

В случае нормального падения света отражательная способность металлических сред находится в функциональной зависимости от показателя преломления и показателя поглощения, поэтому формула Френеля примет следующий вид:

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2k^2}{(n+1)^2 + n^2k^2}$$

где n — показатель преломления; k — показатель поглощения.

Все сказанное об отражательной способности металлов в значительной степени применимо к рудным минералам группы самородных элементов. У прозрачных и полупрозрачных минералов коэффициент поглощения очень мал, и их отражательная способность будет находиться в функциональной зависимости лишь от показателя преломления. Отражательная способность непрозрачных рудных минералов, представленных сульфидами, сульфосолями, окислами и другими молекулярными соединениями тяжелых металлов, находится в функциональной зависимости от коэффициента поглощения и показателя преломления.

Непрозрачные и полупрозрачные минералы представляют собой абсорбирующие среды. В оптике абсорбирующей средой называют среду, поглощающую свет. И. С. Волинский отмечает, что закон ослабления света при прохождении его через поглощающую среду выражается формулой

$$I = I_0 e^{-4\pi k \frac{d}{\lambda_0}}$$

где I_0 — первоначальная интенсивность света; I — интенсивность прошедшего через среду света; λ_0 — длина волны в вакууме; d — путь, пройденный светом в поглощающей среде; k — коэффициент поглощения данной среды.

Из формулы видно, что даже при самых малых значениях k (из-за малых величин длины световых волн λ_0 сравнительно с длиной пути d) влияние показателя степени оказывается настолько большим, что минерал даже в тонком шлифе становится непрозрачным. Изучение таких минералов становится возможным лишь в отраженном свете. Отражательная способность таких абсорбирующих минералов зависит от показателя преломления и показателя поглощения и может быть выражена следующей формулой:

$$R = \frac{(N-1)^2 + N^2K^2}{(N+1)^2 + N^2K^2}$$

где N — показатель преломления; K — показатель поглощения.

Для большинства непрозрачных минералов эти постоянные не всегда могут быть измерены. Поэтому для этих минералов необходимо непосредственно количественное определение их отражательной способности.

ЦВЕТ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ ИЛИ ДИСПЕРСИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

Отражательная способность минерала, характеризующаяся максимальным значением для определенной длины волны, обуславливает цвет или оттенок минерала в отраженном белом свете.

М. Берек, Ж. Орсель, П. Рамдор, Г. Шнейдерхен, И. С. Волинский и другие исследователи производили измерения отражательной способности изотропных минералов при различных условиях монохроматического освещения (в зеленом, оранжевом и красном). По данным этих измерений построены кривые, характеризующие дисперсию отражательной способности минералов (рис. 1).

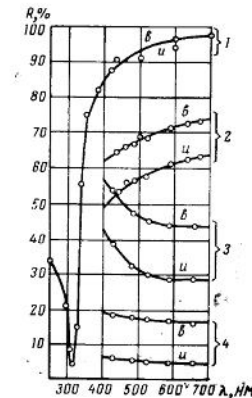


Рис. 1. Кривые дисперсии отражательной способности главнейших изотропных минералов (б — в воздухе, и — в иммерсии). По Волинскому

1 — серебро; 2 — платина; 3 — галенит; 4 — сфалерит

Наибольшие значения отражательной способности минералов будут в таком монохроматическом свете, который соответствует их окраске в белом свете. Так, для пирита падающая волна белого света после отражения приобретает желтый оттенок, для никелина — розовый, для ковеллина — синий и т. д.

Сфалерит характеризуется повышенным отражением фиолетовых лучей, поэтому окраска его в отраженном свете серая с фиолетовым оттенком. Галенит кажется нам белым вследствие его повышенной отражательной способности в синей и фиолетовой частях спектра.

У минералов с нормальной дисперсией отражательная способность уменьшается с увеличением длины световой волны и, наоборот, увеличивается у минералов с аномальной дисперсией.

У минералов полупрозрачных, для которых коэффициент поглощения имеет существенное значение, при определенной длине волны оттенки цвета в отраженном свете будут дополнительными к цвету

проходящем. Так, киноварь, красная в проходящем свете, имеет голубоватый оттенок в отраженном свете, а малахит, зеленый в проходящем свете, обладает красноватым оттенком.

Кривые дисперсии показывают также и то, что зрительное восприятие отражательной способности в значительной степени зависит от условий освещения. Так, в желтом свете пирит будет заметно светлее галенита, а в синем — темнее его.

ЯВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Особенно широко поляризованный свет применяется при изучении прозрачных минералов в проходящем свете. Применение поляризованного света при изучении непрозрачных минералов в отраженном свете

более ограничено. Это объясняется недостаточной изученностью явлений поляризации для рудных непрозрачных и полупрозрачных минералов в отраженном поляризованном свете. Из физики известно, что если обыкновенный свет пропустить через поляризатор и направить на полированную поверхность прозрачных и полупрозрачных кристаллов под определенным углом, то полученный плоскополяризованный свет при отражении будет эллиптически поляризован. В зависимости от того, под каким углом падает плоскополяризованный свет на полированную поверхность кристалла, может произойти полная или частичная поляризация света. Для каждого вещества существуют определенные значения угла падения света, вызывающие полную поляризацию света при отражении. Этот угол называется углом полной поляризации данного вещества (закон Брюстера).

При отражении света от поглощающих кристаллов малая глубина проникновения света обуславливает высокое отражение. В этом случае отношение отраженной и падающей амплитуд во много раз больше, чем при слабом поглощении у прозрачных сред. Поэтому при малой глубине проникновения света не существует полной поляризации света. С увеличением угла падения отражение света проходит через определенный минимум. Угол падения световой волны, соответствующий этому минимуму, называют главным углом падения.

Линейно-поляризованный свет при отражении от сильно поглощающих сред становится эллиптически поляризованным. Однако при угле падения $\varphi = 0^\circ$ или 90° поляризации света не происходит. При главном угле падения одна ось эллипса лежит в плоскости падения, а другая — в перпендикулярной к ней плоскости. Важнейшие приборы для получения и анализа поляризованного света — поляризатор и анализатор, которыми снабжен рудный микроскоп.

Однако при работе с поляризованным отраженным светом следует устранить следующие дефекты установки:

1. Состояние неоднородной поляризации в разных участках поля зрения оказывается азимутально неоднородным, что обязывает при расчете конструкции опак-иллюминатора ограничивать небольшим углом конус лучей, направляемых от источника света через коллектор на призму поляризатора.

2. В составе отраженных лучей, помимо линейно-поляризованных, участвуют также лучи, поляризованные эллиптически. Эти дефекты почти не сказываются при наблюдении с одним никодем, но оказывают существенное влияние на характер наблюдаемых явлений поляризации при скрещенных николях. Для достижения более полной однородности и линейной поляризованности падающих лучей М. Берек предложил заменить обычную отклоняющую призму в опак-иллюминаторе компенсационной призмой (призмой двукратного полного внутреннего отражения). По мнению И. С. Волинского, при замене поляризационной призмы опак-иллюминатора поляроидом это явление почти полностью устраняется. Поляроид, по его мнению, обладает способностью полной поляризации очень широкого (до 60°) конуса лучей осветителя.

При одном поляризаторе изучают явления двуотражения, наблюдаемые у прозрачных, полупрозрачных и непрозрачных анизотропных минералов в отраженном поляризованном свете.

У анизотропных минералов, в которых кристалл обладает наибольшим и наименьшим показателями преломления, эти показатели соответствуют главным сечениям индикатрисы показателей преломления в кристалле анизотропного минерала. В отраженном свете ориентированные срезы кристалла обладают соответственно наибольшей и наименьшей отражательной способностью.

Так, пусть в эллипсе (см. рис. 2, а) направления N_1 и N_2 указывают ориентировку сечения индикатрисы подполированного шлифа кри-

стала относительно PP' колебаний падающего света; OP — амплитуду колебаний падающего света. Достигнув кристалла, вектор OP разложится на две составляющие AO и OB по направлению осей эллипса. Отражательная способность каждой из этих составляющих зависит от

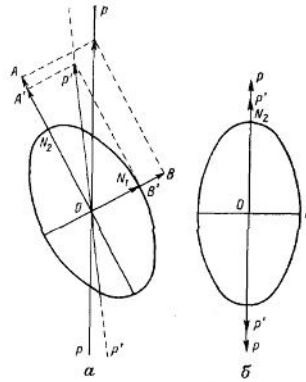


Рис. 2. Схема возникновения отраженного колебания OP'
а — в случайном положении минерала в шлифе; б — в нормальном положении минерала в шлифе

соответствующего ей показателя преломления, причем амплитуды OA' и OB' уменьшаются непропорционально. В результате сложения этих составляющих вектор OP' отраженного колебания будет отличаться от вектора OP не только по величине, но и по направлению. Величина вектора OP' определит амплитуду колебаний отраженного света, а направление — положение плоскости колебаний отраженного света.

Отклонение направления колебаний OP' отраженного света от направления колебаний OP падающего света называется вращением плоскости поляризации падающего света. При совпадении с направлением колебаний OP падающего света одной из полуосей эллипса показатель преломления ON_2 — горизонтальная составляющая вектора OP — превращается в нуль. В таком положении направление отраженного света OP' совпадает с направлением колебаний падающего света, и показатель отражения кристалла будет зависеть от величины показателя преломления N_2 , направление которого в данном случае совпадает с направлением падающего света:

$$R_2 = \frac{(N_2 - 1)^2}{(N_2 + 1)^2}.$$

При повороте кристалла на 90° показатель отражения выразится следующим образом:

$$R_1 = \frac{(N_1 - 1)^2}{(N_1 + 1)^2}.$$

Вращения плоскости поляризации падающего света в этом положении также не будет.

Положение, при котором одно из главных сечений кристалла устанавливается параллельно направлению колебаний падающего света, называется нормальным положением кристалла (см. рис. 2, б).

Показатели преломления N_2 и N_1 — наибольшие и наименьшие для данного сечения кристалла, а соответствующие им показатели отражения R_2 и R_1 также являются наибольшим и наименьшим показателями отражения.

При полном повороте столика микроскопа отражательная способность анизотропного кристалла изменяется через каждые 90° от наименьшего до наибольшего значения показателей отражения. В нормальном положении кристалла плоскость поляризации отраженных лучей совпадает с плоскостью поляризации падающих лучей, и вращения плоскости поляризации не будет. Во всех других положениях кристалла будет иметь место вращение плоскости поляризации падающего света.

Угол вращения поляризации — переменная величина. Однако при некоторой ориентировке сечения кристалла он достигает наибольшего значения. Каждому минералу свойственно определенное значение максимального угла вращения плоскости поляризации.

По данным, полученным в результате измерения показателей отражения, можно построить индикатрису отражательной способности.

Характеристикой индикатрисы отражательной способности прозрачных минералов являются значения ее полуосей:

для одноосных минералов

$$R_e = \frac{(n_e - 1)^2}{(n_e + 1)^2} \quad \text{и} \quad R_o = \frac{(n_o - 1)^2}{(n_o + 1)^2},$$

для двуосных минералов

$$R_g = \frac{(n_g - 1)^2}{(n_g + 1)^2}; \quad R_m = \frac{(n_m - 1)^2}{(n_m + 1)^2};$$

$$R_p = \frac{(n_p - 1)^2}{(n_p + 1)^2}.$$

Разница между наибольшим и наименьшим численными значениями отражательной способности главных показателей отражения $R_o - R_0$; $R_g - R_m$; $R_m - R_p$; $R_e - R_p$ характеризует двуотражение минерала в отраженном поляризованном свете. У прозрачных минералов (кварц, барит и др.) двуотражение обычно выражено слабо. Однако у карбонатов (кальцит, церуссит, смитсонит и др.) двуотражение выражено вполне отчетливо.

В каждом сечении одноосного абсорбирующего кристалла может быть установлено два главных значения отражательной способности:

$$R_e = \frac{(n_e - 1)^2 + n_e^2 k_e^2}{(n_e + 1)^2 + n_e^2 k_e^2} \quad \text{и} \quad R_o = \frac{(n_o - 1)^2 + n_o^2 k_o^2}{(n_o + 1)^2 + n_o^2 k_o^2}.$$

Одно из них (R_0) не зависит от ориентировки сечения минералов в шлифе и является постоянным показателем отражения обыкновенного луча, а второе (R_e) изменяется в зависимости от ориентировки сечения в кристалле и представляет собой переменный показатель отражения необыкновенного луча.

В зависимости от того, какой из показателей отражения в сечении кристалла окажется большим, определяется оптический знак кристалла. Так, минерал оптически отрицателен, если R_e меньше R_0 , и положителен, если R_e больше R_0 .

В двуосных кристаллах показатель отражения определяется аналогично в трех сечениях, соответствующих главным сечениям показателя преломления:

$$R_g = \frac{(n_g - 1)^2 + n_g^2 k_g^2}{(n_g + 1)^2 + n_g^2 k_g^2};$$

$$R_m = \frac{(n_m - 1)^2 + n_m^2 k_m^2}{(n_m + 1)^2 + n_m^2 k_m^2};$$

$$R_p = \frac{(n_p - 1)^2 + n_p^2 k_p^2}{(n_p + 1)^2 + n_p^2 k_p^2}.$$

Разница между наибольшими и наименьшими значениями отражательной способности сечений кристаллов абсорбирующих минералов $R_e - R_0$; $R_g - R_m$; $R_m - R_p$; $R_e - R_p$ характеризует их двуотражение.

У минералов с ясно выраженной окраской, дисперсия отражательной способности которых в видимой части спектра принимает значительные размеры, сечения в отраженном свете окрашены в различные цвета. Так, ковеллин в главном сечении, параллельном оптической оси, обладает синим цветом по R_e (что соответствует наименьшей его отражательной способности), белым с голубоватым оттенком по R_0 (что соответствует наибольшей отражательной способности ковеллина). Это явление в микраграфии называется отражательным плеохроизмом.

Для случайного сечения анизотропного поглощающего одноосного кристалла двуетражение определяется по формуле

$$\Delta R = R_2 - R_1.$$

В главном сечении двуосного кристалла

$$\Delta R = R_g - R_p.$$

Двуетражение прозрачных минералов является функцией их двупреломления, а у поглощающих кристаллов — сложной функцией их двупреломления и биабсорбции. Двуетражение лучше наблюдать в шлифе, когда в агрегате соприкасаются несколько различно ориентированных сечений зерен минералов.

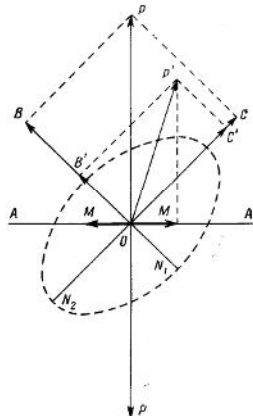


Рис. 3. Схема возникновения эффекта анизотропии при скрещенных николях (по Волыньскому)

При отражении плоскополяризованного света от полированной поверхности непрозрачных (абсорбирующих) минералов возникает эллиптически поляризованный свет. Наличие и интенсивность последнего могут быть установлены путем введения в оптическую систему анализатора. Если исследуемый минерал анизотропен (т. е. при отражении от его полированной поверхности свет эллиптически поляризован), то при полном повороте столика на 360° через каждые 90° наблюдаются четыре положения в минимуме интенсивности отраженного света. Эти четыре минимума отраженного света (угасания) соответствуют нормальному положению кристаллов минерала. Полного угасания не происходит вследствие наличия эллиптически поляризованного света. В четырех других положениях, отстоящих от первых на 45° , при повороте столика микроскопа на 360° будут наблюдаться максимумы интенсивности отра-

женного света. Это соответствует диагональному положению кристаллической пластинки минерала в полированном шлифе. Поясним это графически (рис. 3). OP характеризует направления колебаний поляризованного света; OB и OC — составляющие оси индикатрисы; OB' и OC' взяты в качестве произвольных составляющих; результирующее колебание представляет вектор OP' , а прямая AA — направление колебаний в анализаторе; OM — проекция OP' на горизонтальную плоскость. В этом положении индикатрисы (соответствующем ее нормальному положению по отношению осей анализатора) вращение плоскости поляризации не имеет места, а вектор OP' , изменяясь по величине, вращается по направлению OP ; OP' по направлению AA превращается в нуль. Этому положению соответствует минимум освещенности мине-

рала в полированном шлифе. Во всех других промежуточных положениях кристалла происходит увеличение интенсивности отраженного света.

Определение интенсивности отраженного поляризованного света (по М. Берку) выражается следующей формулой:

$$R = \frac{1}{4} [(N_1 - N_2)^2 + (K_1 - K_2)^2] \sin^2 2\varphi + \operatorname{tg}^2 2\Theta,$$

где N_1 и N_2 — показатели преломления анизотропного минерала; K_1 и K_2 — показатели поглощения минерала; φ — азимут большой оси сечения индикатрисы кристалла; Θ — угол, характеризующий степень эллиптической поляризации отраженного света.

$N_1 - N_2$ и $K_1 - K_2$ характеризуют фазы запаздывания между обыкновенным и необыкновенным лучами при отражении поляризованного света от полированной поверхности кристалла.

Если $N_1 = N_2$ и $K_1 = K_2$, то имеет место в изотропных кристаллах, существенного изменения в интенсивности отраженного света при повороте столика на 360° не произойдет. У одноосных минералов этому положению будут отвечать сечения зерен минерала, перпендикулярные оптической оси. Максимумы интенсивности анизотропных минералов в отраженном поляризованном свете будут при $\varphi = +45^\circ$.

Максимум интенсивности отраженного поляризованного света (по М. Берку) выражает следующая формула:

$$R_{\max} = \frac{(N_1 - N_2)^2 + (K_1 + K_2)^2}{4 \cos^2 2\Theta}.$$

Соответственно минимум интенсивности может быть выражен следующей формулой:

$$R_{\min} = \frac{(N_1 - N_2)^2 + (K_1 - K_2)^2}{4} \cdot \operatorname{tg}^2 2\Theta.$$

У некоторых рудных (абсорбирующих) минералов при скрещенных николях в отраженном поляризованном свете наблюдается цветной эффект. Особенно отчетливо это выражено у ковеллина, изменяющего окраску при повороте столика на 360° от желто-коричневого до красно-коричневого цвета. Причина возникновения цветного эффекта — сильно выраженная дисперсия показателей преломлений ($N_1 - N_2$), а не интерференция, как это имеет место у прозрачных минералов. И. С. Волыньский и другие отмечают, что наиболее отчетливо цвет минералов изменяется вблизи от нормального положения кристаллов. Поэтому при повороте столика микроскопа на 360° через каждые 90° происходит строгое чередование цветного эффекта.

Эффект анизотропии при скрещенных николях проявляется у всех минералов, кроме минералов кубической сингонии. Однако некоторые минералы кубической сингонии также обладают слабо выраженным эффектом аномальной анизотропии. Возможно, это объясняется тем, что у непрозрачных (абсорбирующих) минералов указанные оптические явления происходят в тонких поверхностных слоях, толщина которых 10^{-4} мм. Поверхностные слои вещества, в отличие от внутренних, более легко подвергаются различным (химическим и физическим) воздействиям. По-видимому, этим можно объяснить появление аномальной анизотропии у минералов кубической сингонии и некоторое непостоянство оптических свойств, наблюдаемое у минералов других сингоний.

Очень часто эффект анизотропии у некоторых анизотропных минералов проявляется чрезвычайно слабо. Это явление у минералов становится более отчетливым при выведении анализатора или поляризатора из скрещенного положения на $1-3^\circ$. Аналогично эффект анизотро-

нии наблюдают у прозрачных и полупрозрачных анизотропных минералов, так как при полностью скрещенных николях мешают внутренние рефлексы.

Применение иммерсии облегчает наблюдение эффекта анизотропии у слабо анизотропных минералов. И. С. Волюнским (1966 г.) было отмечено, что если степень анизотропности минералов определять с иммерсией, то формула, предложенная М. Береком для определения степени анизотропности, примет следующий вид:

$$R = n_0 \frac{(n_1 - n)^2 + (k_1 - k_2)^2}{[(n_1 - n_0)^2 + k_1^2] [(n_2 - n_0)^2 + k_2^2]}$$

Из формулы видно, что степень анизотропности минералов при скрещенных николях зависит от показателя преломления среды, в которой проводят наблюдение. Путем подбора иммерсионной жидкости определенного показателя преломления можно усиливать или уменьшать эффект анизотропии минералов. Это способствует более отчетливому выявлению эффекта анизотропии у слабо анизотропных минералов в отраженном поляризованном свете.

Эффекты поляризации минералов более отчетливо могут быть выявлены путем изучения поляризационных фигур изотропных и анизотропных минералов под микроскопом при скрещенных николях методом коноскопии.

Этот метод не имеет в настоящее время самостоятельного значения при определении минералов в отраженном свете, но в совокупности с другими методами изучение характера поляризационных фигур может быть использовано для диагностики минералов.

ГЛАВА II

МЕТОДЫ КАЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Главнейшие физические свойства минералов, обычно используемые для их диагностики под микроскопом в отраженном свете, следующие: явления поляризации, отражательная способность, цвет, внутренние рефлексы, твердость. Такие свойства, как магнитность и электропро-

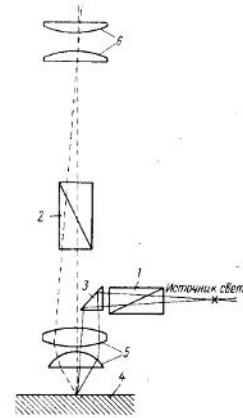


Рис. 4. Схема хода лучей света в рудном поляризационном микроскопе
1 — поляризатор; 2 — анализатор; 3 — отражающая призма; 4 — шлиф; 5 — объектив; 6 — окуляр

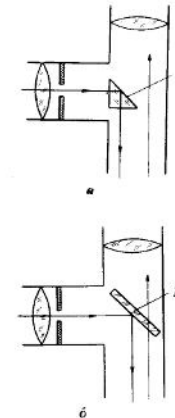


Рис. 5. Системы опак-иллюминаторов
а — система устройства опак-иллюминатора по Нагге; б — система опак-иллюминатора по Беке
1 — призма; 2 — стеклянная пластинка

водность, являются дополнительными и приводятся для определения только некоторых минералов (магнитность — характерное свойство магнетита, пирротина, яkobсита и др.; электропроводность характерна для графита, в отличие от молибденита, и т. д.).

Для изучения рудных минералов в отраженном свете применяются поляризационный микроскоп и рефлектор для получения вертикально падающего света, называемый opak-иллюминатором. Opак-иллюминатор ввинчивают между тубусом микроскопа и объективом.

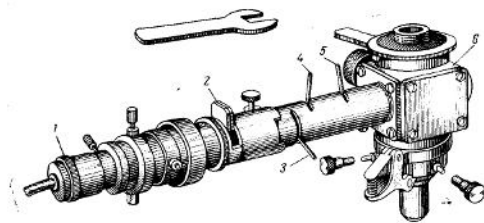


Рис. 6. Opак-иллюминатор конструкции ОИ-8
1 — осветительное устройство (лампочка); 2 — светофильтр; 3 — поляризатор (полюриод); 4 — полусфера линзы; 5 — ирисовая диафрагма; 6 — opak-иллюминатор с призмой и стеклянной пластинкой

Пучок света, направленный от осветителя в окно opak-иллюминатора (рис. 4), встречая на пути рефлектор (стеклянную пластинку, установленную под углом 45° к падающему свету, или стеклянную

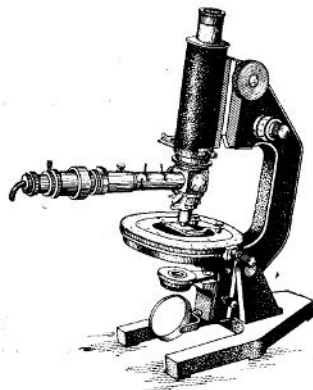


Рис. 7. Минералогический микроскоп МИН-6

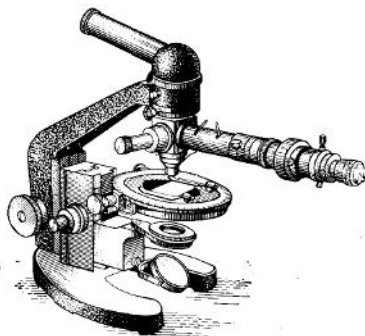


Рис. 8. Минералогический микроскоп МИН-9

призму), отражается от него вниз, затем проходит через объектив и падает на полированную поверхность шлифа. От нее свет отражается вверх, проходит через объектив, далее через окуляр и попадает в глаз наблюдателя.

Существуют opak-иллюминаторы различных конструкций. В одном типе (по Наше, рис. 5, а) свет падает на стеклянную трехгранную призму полного внутреннего отражения. В таком opak-иллюминаторе весь свет, попадающий на призму от источника света,

отражается вниз. Призма занимает половину сечения трубки opak-иллюминатора, поэтому только часть отраженного от плоскости шлифа пучка света достигает глаза наблюдателя.

В другом типе opak-иллюминаторов (по Беке, рис. 5, б) пучок света падает на наклонно установленную стеклянную пластинку, которая занимает все сечение трубки иллюминатора. Такой opak-иллюминатор дает ровное освещение, но на полированную поверхность шлифа попадает только часть света, направляемого на стеклянную пластинку. Остальной свет поглощается стеклянной пластинкой и стенками трубки иллюминатора. Часть света теряется после отражения от полированного шлифа. В результате потеря приблизительно одна четверть первоначальной силы света может быть использована при микроскопическом наблюдении.

Резкость изображения при работе с opak-иллюминатором со стеклянной пластинкой значительно выше, чем при работе с призматическим opak-иллюминатором. Поэтому им рекомендуется пользоваться при работе с большими увеличениями.

Opак-иллюминатор конструкции ОИ-8 и ОИ-19 с поляридом может быть использован в комбинации со штативом любого поляризационного микроскопа (рис. 6).

Существуют специальные минералогические микроскопы. Столики таких микроскопов могут перемещаться в вертикальном направлении, что дает возможность изучать не только шлифы, но и штупные полировки.

Для работы с большими увеличениями, и особенно при изучении микроструктуры руд и сплавов, применяются микроскопы горизонтальные и вертикальные. Основным преимуществом этих микроскопов является то, что они снабжены фотокамерами, позволяющими в процессе работы производить микросъемки.

Большие горизонтальные металлографические микроскопы МИМ-3, МИМ-8 и вертикальные микроскопы МИМ-7 дают максимальное увеличение до 1350. С помощью этих микроскопов можно изучать полированные шлифы как в светлом и темном поле, так и в отраженном поляризованном свете. Микрофотографирование можно производить на пластинках размером 13×18 , 9×12 и 6×9 см.

Микроскопы МИН-6 (рис. 7) и МИН-8 позволяют проводить исследования как в отраженном, так и в проходящем поляризованном свете.

Более совершенна модель МИН-9 (рис. 8); она удобна тем, что столик при работе всегда находится в горизонтальном положении.

Объектом для исследования руд в отраженном свете служат полированные шлифы (аншлифы)*. При изучении прозрачных и полупрозрачных минералов иногда применяют прозрачно-полированные шлифы, которые одновременно можно изучать в проходящем свете с помощью обычного петрографического метода.

Полированные шлифы прикрепляют к толстому покровному стеклу или металлической пластинке с помощью пластилина или воска. Парал-

* Способ приготовления полированных и полированно-прозрачных шлифов детально описан в следующих работах: И. С. Вольский «Определение рудных минералов под микроскопом в отраженном свете», М., изд-во «Недра», 1966; С. А. Вахромеев «Руководство по минералогии». Иркутск, 1956; Ю. П. Кэмерон «Рудная микроскопия», М., изд-во «Мир», 1966.



Рис. 9. Ручной пресс для монтажа шлифов

работы производить микросъемки.

лельность верхней полированной плоскости шлифа и плоскости пластинки достигается с помощью ручного прессы (рис. 9). При изучении руд под микроскопом в отраженном свете очень большое значение имеет строго горизонтальное положение полированной плоскости шлифа. Следовательно, эту операцию необходимо проводить наиболее тщательно. Пластинку со шлифом, приведенным в горизонтальное положение, помещают на столик микроскопа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ

Поляризацию рудных минералов можно наблюдать только в хорошо полированных шлифах, иначе даже у изотропных минералов могут появиться явления эллиптической поляризации, возникающие в результате многократного отражения света от шероховатой поверхности шлифа.

Для наблюдения поляризации у минералов в отраженном свете применяют обычные поляризационные микроскопы, снабженные опак-иллюминаторами с поляризатором (см. рис. 6). Поляризатор помещают перед окном опак-иллюминатора между осветителем и рефлектором так, чтобы плоскость колебания поляризованного света, прошедшего через поляризатор, была строго параллельна плоскости падения отражающей поверхности призмы или стеклянной пластинки иллюминатора.

В микроскопах МИН-6, МИН-9, МП-5 осветительная система и поляризатор наглухо прикреплены к опак-иллюминатору.

Установка оптической системы микроскопа для работы в поляризованном свете ведется следующим образом.

На столик микроскопа помещают полированный шлиф какого-нибудь изотропного минерала с низкой отражательной способностью. Часто для этой цели используют хорошо отполированную стеклянную пластинку. В тубус микроскопа вводится анализатор, а поляризатор вращают до появления полной темноты, которая должна оставаться постоянной при повороте столика на 360° . Однако если шлиф с изотропным минералом установлен не в строго горизонтальном положении, то при повороте столика на 360° через каждые 180° будет происходить некоторое осветление полированной поверхности объекта. Эти изменения происходят тем резче, чем больше установка полированной поверхности шлифа отличается от горизонтальной. Описываемое явление может быть ошибочно принято за положительный эффект поляризации.

Для выявления поляризации у минералов, особенно слабо анизотропных, работу рекомендуется вести с николями (поляризатором и анализатором), несколько выведенными из скрещенного положения. В этих случаях предварительную установку микроскопа проводят по какому-нибудь известному ясно анизотропному минералу (например, стибниту, буланжериту, пирротину), добиваясь наиболее резкого эффекта поляризации.

На практике применение поляризованного отраженного света сводится в основном к определению того, является ли изучаемый минерал изотропным или анизотропным. Внутри диагностических групп определяется также и степень поляризации — анизотропные, сильно анизотропные и слабо анизотропные.

При определении степеней анизотропии минерала в шлифе выбирается место, где имеются различно ориентированные зерна минерала; в поляризованном свете одни из них будут темными, другие светлыми. Затем вращают столик микроскопа; при полном повороте столика будут наблюдаться четыре положения минимума интенсивности освещения каждого зерна минерала через каждые 90° . Из четырех положений обычно два резко выражены — темное и светлое, а два — слабее.

У сильно анизотропных минералов будут заметны все четыре изменения в освещении зерен; у слабо анизотропных невооруженным глазом можно наблюдать только два.

У прозрачных минералов определению поляризации мешают внутренние рефлексы. Однако если вращать поляризатор, выводя его из скрещенного положения, можно наблюдать момент, когда внутренний рефлекс почти не будет виден, а различно ориентированные зерна прозрачного анизотропного минерала станут различимыми. При повороте столика микроскопа на 360° это явление наблюдается вполне отчетливо.

Явления поляризации минералов отчетливо могут быть выявлены путем изучения поляризационных фигур изотропных и анизотропных минералов под микроскопом методом коноскопии.

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ФИГУР В СХОДЯЩЕМСЯ СВЕТЕ*

Описываемый метод состоит из следующего. Применяя объективы больших увеличений ($40\times$ и более), получают в рудном микроскопе сходящийся свет. Свет коноскопируется только объективом, благодаря сильному преломлению идущих через него лучей. Поляризационные фигуры получают так же, как и в проходящем свете: при скрещенных николях с линзой Бертрана или без окуляра (в последнем случае можно использовать накладной тубус с точечным отверстием).

Явления, которые наблюдаются при коноскопии отраженного света у изотропных и анизотропных минералов, несколько различны.

У изотропных минералов: а) при полностью скрещенных николях доводится черный крест, не исчезающий при вращении столика микроскопа (рис. 10, а); б) при повороте анализатора (при работе с микроскопом МИН-9 — поляризатора) черный крест распадается на две гиперболы, расходящиеся в стороны по диагональным направлениям поля зрения (рис. 10, б); в) у многих минералов в белом свете гиперболы также характеризуются цветными каймами (рис. 11, а и б).

У анизотропных минералов: а) в положении полного угасания минерала при коноскопировании появляется черный крест (рис. 12, а); б) при повороте столика на 45° в любое из двух положений максимального просветления черный крест распадается на две гиперболы, расходящиеся вдоль диагоналей поля зрения на определенное для данного минерала расстояние (рис. 12, б); в) у многих минералов в белом свете гиперболы также характеризуются цветными каймами.

Эти поляризационные фигуры внешне очень сходны с коноскопическими фигурами в проходящем свете, однако причины их возникновения иные. Ю. Н. Кэмерон дает следующее физическое истолкование наблюдаемых явлений.

По выходе из объектива образуется пучок сходящегося света с различными азимутами колебаний. В этом пучке лучи, падающие на полированную поверхность изотропных минералов или изотропных сечений одноосных кристаллов вдоль ортогональных направлений поля зрения сохраняют плоскости колебаний прежней ориентировки (параллельно направлению поляризатора). При отражении их азимут колебания не изменяется и они гасятся анализатором. Все остальные лучи пучка вследствие поворота при преломлении в объективе имеют направления плоскостей колебания, ориентированные под углом к колебаниям в анализаторе. Величина поворота или, как более принято говорить, величина вращения плоскости поляризации падающих лучей в пределах четырех квадрантов усиливается в сторону от оптического центра поля и от ортогональных диаметров.

* Этот раздел написан Ю. С. Бородаеву (1965) и Ю. Н. Кэмерону (1966).

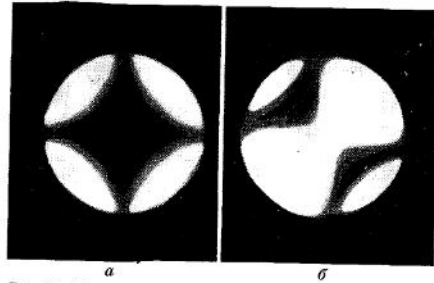


Рис. 10. Поляризационная фигура хромита (по Кэмерону)
 а — при скрещенных николях; б — при анализаторе, выведенном из положения скрещивания

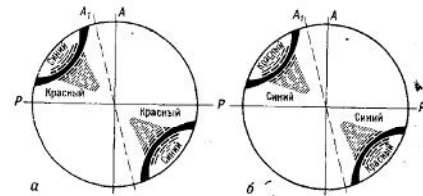


Рис. 11. Дисперсионные каймы, возникающие у поляризационных фигур некоторых изотропных минералов при вращении анализатора (по Кэмерону)
 В каждом случае анализатор повернут от положения скрещивания А против часовой стрелки до А'. а — дисперсия $v > r$; б — дисперсия $r > v$

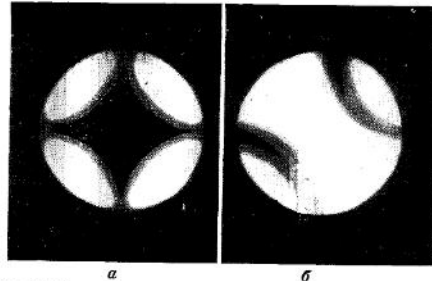


Рис. 12. Поляризационная фигура молибденита (по Кэмерону)
 а — в положении погасания минерала; б — в 45°-ном положении. Николи скрещены

При отражении возникает дополнительное некомпенсированное вращение, величина которого зависит от ориентировки колебания падающего луча и усиливается с углом падения и с расхождением плоскости колебания и плоскости падения луча. Это вращение, которое Кэмерон называет вращением отражения, обусловлено тем, что компоненты колебания, параллельные и перпендикулярные плоскости падения, отражаются с различными амплитудами.

Таким образом, при вынужденном вращении или включенной линзе Бертрана в поле зрения возникает черный крест (см. рис. 10), напоминающий интерференционную фигуру, получаемую в проходящем свете на базальных сечениях одноосного минерала. Балки креста являются геометрическим местом точек, где плоскости колебаний падающих и отраженных лучей не испытывают вращения и лучи гасятся анализатором. Промежуточные участки поля, в которых плоскости колебания лучей лежат под разными углами к плоскости поляризации анализатора, остаются освещенными.

При повороте анализатора по или против часовой стрелки от положения полного скрещивания вследствие отмеченного выше симметричного изменения углов вращения отражения крест распадается на две изогипсы (гиперболы). По мере увеличения поворота анализатора изогипсы расходятся вдоль одного из диагональных направлений поля зрения. Каждая гипербола есть геометрическое место точек, в которых плоскости колебаний отраженных лучей перпендикулярны направлению колебаний в повернутом анализаторе (см. рис. 10).

Часто наблюдающиеся при наблюдении в белом свете вдоль выпуклых и вогнутых сторон гипербол цветные каймы возникают в связи с дисперсией угла вращения отражения для разных длин волн. Для каждой длины волны по обеим сторонам гипербол гасятся только те лучи, плоскости колебания которых перпендикулярны направлению повернутого анализатора. Если углы вращения синего света больше, чем красного, то на вогнутых сторонах гипербол возникают синие каймы, на выпуклых — красные (см. рис. 11 а, б). Эти явления Кэмерон (1950) назвал относительной дисперсией отражения и предложил обозначать первую схему дисперсии $DR_r = v > r$, вторую — $DR_r = r > v$. Дисперсия $v > r$ характерна, например, для пирита и кобальтина. Для галенита, магнетита, сфалерита, хромита $DR_r = r > v$. Если величина дисперсии незначительна, то каймы окрашены слабо или могут совсем отсутствовать (лентландит). Таким образом, относительная дисперсия вращения отражения может служить в качестве определенного диагностического признака.

Причины, вызывающие поляризационные фигуры у анизотропных минералов в разрезах, не параллельных изотропным сечениям, более сложны. В данном случае помимо вращения, вызванного отражением, имеет место вращение плоскости поляризации, обусловленное анизотропией минерала. Это вращение равно нулю, когда разрез минерала находится в положении темноты, и максимально, когда он повернут в любую сторону на 45° . Эффект вращения вызывается тем, что луч света, падающий на полированную поверхность, распадается (на этот раз вследствие анизотропии минерала) на две составляющие, которые отражаются обратно с различными амплитудами. Когда анизотропный минерал находится в одном из четырех положений максимального угасания и вращение, обусловленное анизотропией, равняется нулю, действует только вращение отражения. В этом случае имеют место все явления, описанные выше для изотропных минералов, т. е. в конюскопии виден черный крест, распадающийся на две изогипсы при повороте анализатора. Вдоль гипербол также могут возникать цветные каймы, указывающие на дисперсию вращения отражения. Последнее позволяет и у анизотропных минералов в положении полного угасания

определить относительную дисперсию вращения отражения. Дисперсией $DR_r = r > v$ обладают, например, антимонит, ковеллин, гематит, никелин; обратная дисперсия наблюдается у халькопирита, арсенопирита, марказита.

При повороте минерала на 45° от положения темноты вращение, обязанное анизотропии, достигает максимума и должно суммироваться с вращением отражения. Поскольку вращение отражения вдоль ортогональных направлений поля зрения равняется нулю, то проявляется только вращение, вызванное анизотропией. В связи с наличием этого вращения вдоль данных диаметров темноты не возникает и черный крест отсутствует. В пределах квадрантов поля действует суммарный эффект вращения.

Направление вращения, обязанное анизотропии, постоянно для всех точек поля. Направление вращения отражения различно в двух парах противоположных квадрантов. В одной паре квадрантов оба вращения имеют одинаковое направление и складываются; в другой — они противоположны и вычитаются. В последнем случае, поскольку угол вращения отражения в пределах квадранта увеличивается от оптического центра и ортогональных диаметров, должна иметься система точек, где оба вращения противоположны по знаку, равны и взаимно компенсируются. В таких точках направления колебаний остаются перпендикулярными к анализатору и свет гасится. В поле зрения (рис. 12) видны две изогирь, которые и являются геометрическим местом точек компенсации. Эти изогирь по внешнему виду сходны с теми, которые пользуются в сходящемся свете у прозрачных двусосных минералов в срезах, перпендикулярных острой биссектрисе.

При положении столика 45° расстояние между изогирями максимально для каждого минерала. Вращение столика в сторону любого из ближайших положений темноты вызывает сближение изогир, вплоть до восстановления креста в момент полного погасания минерала. В зависимости от направления вращения столика и частного положения темноты изогирь будут двигаться по диагоналям. При повороте столика на 360° движение изогир в эти пары квадрантов сменится дважды.

Таким образом, причины возникновения описанной выше поляризационной фигуры комплексны, и степень расхождения изогир для данной системы микроскопа обусловлена, с одной стороны, вращением отражения, и с другой — вращением, вызванным анизотропией минерала. Максимальное расхождение изогир у каждого минерала будет в срезах с наибольшей анизотропией (например, параллельных оси c у одноосных кристаллов). В этих же сечениях максимальным будет и угол вращения, обусловленный анизотропией.

Степень расхождения изогир, оцененная в процентах относительно всей длины диаметра поля зрения, является характерным признаком минералов. Так, у молибденита она достигает 90%, у антимонита — 70%, у марказита — 20% и минимальна у халькопирита — всего 5%. Величина наибольшего угла вращения, обязанного анизотропии, представляет собой важную константу анизотропных минералов.

Для определения угла вращения в конюскопии анизотропному минералу необходимо придать положение 45° , получив тем самым максимальное расхождение изогир, затем поворотом анализатора из положений скрещивания добиться восстановления креста. Вдоль ортогональных диаметров поля зрения отражаются лучи, испытывающие вращение только за счет анизотропии минерала, поэтому число градусов поворота анализатора, при котором эти лучи гаснут (восстанавливается крест), и есть мера угла вращения, вызванного анизотропией. Поскольку у поглощающих кристаллов угол вращения зависит также от эллиптичности колебаний, то полученная величина для руд-

ных минералов по существу не есть истинное значение угла вращения анизотропии, и Ю. Н. Кэмерон предложил называть ее видимым углом вращения с символом A_r .

Видимый угол вращения также испытывает дисперсию, характерную для каждого минерала. Благодаря ей изогирь, возникающие при повороте столика, имеют цветные каймы, аналогичные уже описанным. По ним также можно судить о характере относительной дисперсии (DA_r), однако явления в этом случае намного сложнее и с большим трудом подвергаются истолкованию. У некоторых минералов дисперсия настолько сильна, что цветные каймы не дают возможности вос-

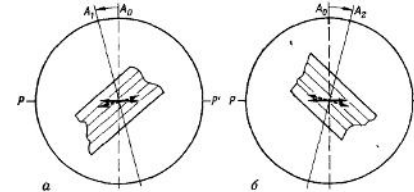


Рис. 13. Вращение падающего плоско поляризованного света, вызванное зерном молибденита при двух 45° -ных положениях, отстоящих друг от друга на 90° (по Кэмерону)

а — ориентировка спайности. Направление колебания падающего света (сплошная стрелка) в результате отражения испытывает вращение против часовой стрелки. Пунктирной стрелкой показано направление колебания отраженного луча. Анализатор необходимо повернуть от A_2 (положение скрещивания) до A_1 , чтобы восстановить темноту; б — зерно повернуто на 90° , отраженный луч теперь вращается по часовой стрелке, и, чтобы восстановить темноту, анализатор нужно повернуть также по часовой стрелке до положения A_2 . PP' — плоскость колебания поляризатора

становить четкий крест и тем самым получить точные отсчеты на шкале анализатора. Поэтому целесообразно измерения A_r проводить в монохроматическом свете. При этом разность значений A_r для крайних длин волн видимой части спектра дает абсолютную величину дисперсии видимого угла вращения в градусах и позволяет судить о схеме дисперсии.

Углы видимого вращения колеблются для разных анизотропных минералов в достаточно широких пределах. Так, для света с длиной волны 589 мкм, по данным Ю. Н. Кэмерона, они варьируют от $0,0^\circ$ — у арсенопирита до $11,9^\circ$ — у ковеллина и $16,3^\circ$ — у графита. При длине волны 650 мкм A_r ковеллина достигает $23,2^\circ$.

Дисперсия видимого угла вращения также очень различна. Если взять разность величин A_r , определенных Кэмероном при длинах волн 470 и 650 мкм, то у некоторых минералов, имеющих схему дисперсии $v > r$, значения DA_r составят: у молибденита — $0,5^\circ$, пирротина — $0,7^\circ$, марказита — $1,0^\circ$, антимонита — $1,3^\circ$, арсенопирита — $1,6^\circ$. У ковеллина и пираргирита, обладающих относительно $DA_r = r > v$, эти величины соответственно равны $0,2^\circ$ и $17,5^\circ$.

Такое разнообразие значений с несомненностью указывает, что определение этих констант может оказать существенную помощь при диагностике минералов. Поскольку величина зависит от кристаллографической ориентировки среза, то за константу, характеризующую данный минерал, принимают максимальное значение видимого угла вращения, которое получается на главном сечении кристалла, обладающем максимальным эффектом анизотропии.

Одновременно с измерением A_r можно получить еще один существенный для диагностики признак — направление вращения (RS), вызванного анизотропией, относительно каких-либо кристаллографических элементов минерального зерна (удлинения, спайности — рис. 13, двойникового шва и т. п.). Это определяется по тому, как вращается анализатор при вращении креста — по направлению к выбранному кристаллографическому элементу или от него.

Таким образом, исследование поляризационных фигур позволяет определять следующие новые константы и свойства рудных минералов. 1) видимый угол вращения — A_r ; 2) абсолютную и относительную дисперсию видимого угла вращения — DA_r ; 3) относительную дисперсию вращения отражения — DR ; 4) величину расхождения гипербол при вращении столика микроскопа; 5) направление вращения, вызванного анизотропией, относительно кристаллографических элементов ($\pm RS$).

Все эти свойства характерны для анизотропных минералов, и только относительная дисперсия угла вращения присуща также изотропным минералам.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Выше было отмечено, что отражательная способность характеризует степень отражения света, падающего на полированную поверхность минерала.

В определительных таблицах, принятых в данном курсе, все рудные минералы разбиты на три группы: к первой группе отнесены минералы, отражательная способность которых больше, чем у галенита; ко второй — минералы, отражательная способность которых равна или ниже галенита, но не ниже, чем у сфалерита; к третьей группе отнесены минералы, отражательная способность которых равна или меньше сфалерита.

При определении отражательной способности минерала в полированном шлифе поступают следующим образом. Ищут в шлифе место, где исследуемый минерал попал в одно поле зрения с эталонным минералом, и определяют, какой из них светлее или темнее эталонного минерала галенита или сфалерита.

Если в шлифе с определяемым минералом нет эталонных минералов и нет известных минералов, близких по отражательной способности к эталонному минералу, то поступают следующим образом. Пришлифовывают одну из боковых сторон изучаемого шлифа и шлифа с минералом-эталонном. Затем прикладывают один к другому оба шлифа по пришлифованной поверхности и монтируют с помощью ручного прессы так, чтобы полированные поверхности обоих шлифов лежали в одной плоскости (рис. 14). После этого отражательную способность изучаемого минерала сравнивают с минералом-эталонном, как было описано.

Более совершенным методом сравнения отражательной способности минерала с эталонном, если в поле зрения нет известного по отражательной способности минерала, является метод сравнения с помощью камеры Ионостранцева.

Камера состоит из металлического футляра, внутри которого помещены четыре призмы (рис. 15). Две поставлены посередине рядом и две — по краям.

Для работы с камерой Ионостранцева нужно иметь два одинаковых микроскопа. На один микроскоп помещают минерал, отражательную способность которого нужно определить; на другой — минерал-эталон. В окуляре сравнительной камеры одновременно наблюдаются минерал-эталон и неизвестный минерал, разделенные тонкой границей.

Если отражательная способность у минерала-эталона больше, чем у неизвестного минерала, то последний будет более темным и тусклым.

Сравнительный микроскоп МС-51 предназначен для работы в проходящем свете. Однако если между объективами и тубусами его микроскопов поместить опак-иллюминаторы (рис. 16), то его можно использовать и для работы в отраженном свете.

Имеется специальная, более усовершенствованная, чем камера Ионостранцева, сравнительная насадка ОКС-1, но ее можно применить только к микроскопу МИН-9. Измерение отра-

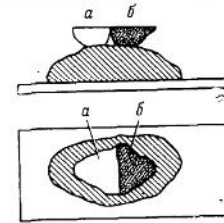


Рис. 14. Сравнение отражательной способности минерала с эталонным минералом.
а — шлиф с эталонным минералом; б — шлиф с определяемым минералом

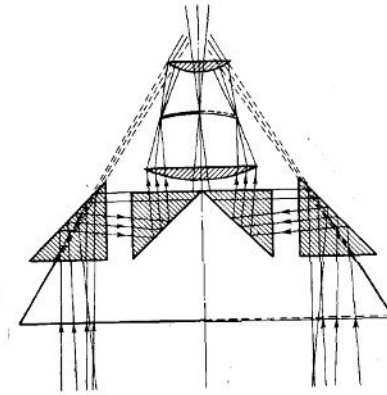


Рис. 15. Схема хода лучей в сравнительной камере Ионостранцева

жательной способности нужно проводить в монохроматическом свете (желтом, оранжевом и зеленом). Светофильтры помещают над окуляром сравнительной камеры микроскопа.

Сравниваемые минералы будут в одинаковых условиях, что облегчает оценку их отражательной способности. Выбор светофильтра при этом имеет большое значение. Отражательную способность минералов, у которых в отраженной волне преобладает красный цвет (золото, медь, борнит и т. д.), нужно определять с красным светофильтром — в этом свете таким минералам свойственна наибольшая отражательная способность; с синим или зеленым светофильтрами их отражательная способность будет наименьшей. У минералов, у которых в отраженной волне преобладают синие цвета, максимальная отражательная способность будет с синим и зеленым светофильтрами, а минимальная — с красными и т. д.

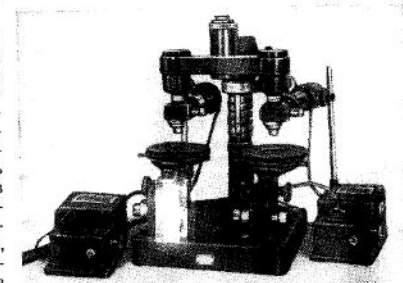


Рис. 16. Сравнительный микроскоп МС-51 с прикрепленными опак-иллюминаторами

Таблица 2

Двуотражающие минералы				
а) Оптически одноосные минералы				
Минералы	В воздухе		С иммерсией	
	o	e	o	e
Брейтгаунтит	Светлый, желто-красный	Красновато-фиолетовый	Нежно-розовый	Светлый, розово-фиолетовый
Никелин	Светлый, желто-розовый	Светлый, коричневаторозовый	Бело-розовый	Коричневаторозовый
Псиломелан	Серовато-белый	Серый	Светло-серый	Очень темно-серый

б) Оптически двуосные минералы

Минералы	В воздухе		С иммерсией	
	o	e	o	e
Антимонит	Серый, темно-серый, ярко-белый	Белый	Те же тона более темные и значительно усилены контрасты	
Лурипигмент	Серый	Светло-серый	Светлый сероватый	
Бертьерит	Коричневато-розовый, серовато-белый, белый		Темный бархатистый	
Галеновисмутит	Желтовато-белый, серовато-белый, светло-серый до розово-красного		Зеленовато-белый	
Ильвант	Светло-серый до розового, темный синевато-серый		Те же тона	
Кермезит	Светло-серый, серовато-коричневый		Полобные, но более темные тона	
Клапротолит	Желтовато-белый		Те же тона	
Псиломелан	Белый, серый		Различие тонов очень усилено	
Рубиновая слюда	Белый, тускло-серый		Те же тона усилены	
Сильванит	Светлый, хромово-белый		Голубовато-белый, темный тускло-серый	
			Те же тона	

Сильно двуотражающие минералы

Минералы	В воздухе		С иммерсией	
	o	e	o	e
Валлерит	Светлый, желтовато-белый	Тускло-серый с фиолетовым оттенком	Светлый, коричневатобелый	Очень темно-серый
Графит	Светло-серый до оранжевого	Темно-голубоватосерый	Светло-серый до бурого	Бархатно-черный
Клокманнит	Темно-серый до оливокового	Серовато-белый	Темно-серый до коричневого	Голубовато-белый
Ковеллин	Темно-синий	Голубовато-белый	Пурпурно-красный	Зеленовато-белый
Молибденит	Ярко-белый	Сероватый	Белый	Темно-серый
Патронит	Очень светло-серый	Коричневатосерый	Светло-серый	Темный
Риккардит	Карминово-красный	Фиолетово-серый	Красный до цвета семги	коричневатосерый
Умангит	Грязноватый фиолетовокрасный	Синевато-серый	Фиолетовокрасный	Тускло-серый

В определителе, принятом в настоящем курсе, минералы размещены в группы по наибольшему значению их отражательной способности. В таблицах для каждого минерала имеются данные количественного измерения их отражательной способности, выраженные в процентах. Измерения отражательной способности проведены в зеленом (первая цифра), оранжевом (вторая цифра) и красном (третья цифра) свете.

Отражательная способность изотропных минералов имеет одно значение и не зависит от разрезов кристаллических зерен минерала в шлифе.

У одноосных и двуосных минералов двуотражение определяют по изменению интенсивности отраженного света от разных сечений минерала в полированных шлифах при одном поляризаторе.

Двуотражение более отчетливо проявляется при вращении столика микроскопа. Контрастность различно отражающих сечений особенно резко выступает в иммерсии (табл. 2).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Цвет минералов в отраженном свете под микроскопом служит одним из наиболее существенных диагностических признаков. Его различают по яркости (отражательная способность минерала) и по оттенку (дисперсия отражательной способности).

Цвет рудных минералов устанавливают методом сравнения с эталонными. В качестве эталонных минералов используют галенит и сфалерит (эталонные бесцветных минералов). Строго говоря, в отраженном свете нет бесцветных минералов, так как световая волна, отражаясь от поглощающих сред, всегда приобретает цветовой оттенок, однако интенсивность цветового тона у бесцветных минералов выражена настолько слабо, что их условно можно считать бесцветными.

В определителе, принятом в настоящем курсе, минералы по цвету их в отраженном свете разбиты на две группы: цветные (цветной тон отчетливо наблюдаем) и бесцветные, такие, как галенит и сфалерит. С галенитом сравнивают окраску минералов двух первых диагностических групп по отражательной способности, сфалерит используется для минералов, отражательная способность которых не больше сфалерита.

Методика определения цвета рудных минералов в отраженном свете сводится к следующему. Если в полированном шлифе поблизости от неизвестного минерала имеется минерал-эталон, то можно довольно точно определить не только его цвет, но и слабые оттенки. Если в шлифе такого минерала нет, то поступают следующим образом. Одну из боковых сторон изучаемого шлифа и боковую сторону шлифа с минералом-эталонном пришлифовывают, затем пришлифованные плоскости прикладывают друг к другу и монтируют с помощью ручного прессы так, чтобы полированные поверхности обоих шлифов лежали в одной плоскости (см. рис. 14). Необходимо также, чтобы оба минерала попадали в поле зрения микроскопа или по возможности располагались близко друг от друга.

Сравнивая изучаемый минерал с минералом-эталонном, можно определить его окраску и особенно цветовой оттенок минерала так называемой бесцветной группы. Определение оттенка бесцветных минералов в отраженном свете облегчается и уточняется применением красного, желтого и зеленого светофильтров, как уже было отмечено при определении отражательной способности цветных минералов. При зеленом светофильтре наибольшая отражательная способность будет у минералов с зеленым и синим оттенком (пираргирит, прустит, булан-

жерит); при желтом — у минералов с желтым оттенком (пирит, марказит и др.); при красном светофильтре — у минералов с красным, розовым и ованжевым оттенком (арсениопирит, раммельсбергит, хлоантит и др.).

В определительных таблицах количественные значения отражательной способности приведены в зеленом, оранжевом и красном монохроматических цветах, что дает возможность выяснить не только окраску минерала, но и незначительные оттенки бесцветных минералов. Для большей наглядности значения отражательной способности, характеризующие окраску или оттенки цвета минералов, показаны более крупной цифрой.

Умение различать тонкие оттенки цвета минералов дается практикой. При правильном ведении работы эта способность развивается довольно скоро, что позволяет по памяти определять наиболее часто встречающиеся минералы, особенно те, для которых цвет служит довольно существенным диагностическим признаком.

Однако плохое качество полировки мешает определению цвета рудных минералов в отраженном свете. Так, халькозин, голубой при плохой полировке, является белым с голубоватым оттенком при хорошей; пирит — белый с желтоватым оттенком в хорошей полировке, в плохо отполированных шлифах имеет ясно выраженный желтый цвет. Прежде чем приступить к изучению шлифа, нужно его тщательно протереть на замше или куске сукна, чтобы стереть пыль и тонкие пленки, которые часто образуются на легко окисляющихся минералах и мешают определению их цвета.

Минералы обладают более светлыми окрасками при сильных источниках света. Поэтому при определении окраски необходимо пользоваться источником света одной интенсивности и с одними и теми же светофильтрами.

Относительное определение цвета изучаемого минерала зависит также и от окраски окружающих его минералов. Так, халькопирит кажется ярко-желтым в присутствии пирита и галенита; зеленоватым — в присутствии самородной меди; теннантит кажется белым на фоне сфалерита или жильных минералов и серым — в присутствии галенита.

Устранить элементы субъективности при определении цвета рудных минералов в отраженном свете можно, сравнивая окраску изучаемых минералов с эталонными минералами. Ниже приведены некоторые рудные минералы, цвет которых в отраженном свете может быть использован в качестве эталонов: 1) белый — галенит; 2) светло-серый — теннантит; 3) серый — сфалерит; 4) кремовый — пирротин; 5) желтый — халькопирит; 6) кремово-розовый — никелин; 7) синий — ковеллин.

После тренировки глаза на этих минералах можно перейти к сравнению эталонных цветов с цветами других минералов.

У анизотропных минералов, обладающих двуотражением, цвет минерала для сечений по R_e и R_0 может быть неодинаков. Такие минералы обладают цветным двуотражением. Ж. Орсель это явление назвал отражательным плеохроизмом (валлерит желтый по R_0 , фиолетовый по R_e ; умангит красный по R_0 , синий по R_e ; ковеллин голубой по R_e , синий по R_0).

Х. Пиллером (Piller, 1966) описан метод количественного измерения цвета. Для определения цвета рудных минералов применяются соответствующие микроскопы — фотометры, выпускаемые в ряде стран серийно, и точные колориметрические методы, позволяющие оценивать цвет, их яркость при помощи специальных таблиц, публикуемых в руководствах по колориметрии.

Х. Пиллер считает, что можно также определять и цветной эффект анизотропии, используя только спектрофотометры более высокой чувствительности.

32

Бесцветные, белые или серые минералы характеризуются (см. рис. 1) почти прямыми линиями, параллельными оси абсцисс. Минералы с цветными оттенками или ясно окрашенные минералы характеризуются кривыми с пологим подъемом (для минералов со слабым цветным оттенком) и с крутым подъемом (для ясно окрашенных минералов).

Экспериментальные данные основаны на измерении отражательной способности и построении соответствующих дисперсионных кривых, длина волн 410—760 мμ. Число измерений зависит от формы кривых и чем сильнее они искривлены, тем необходимо большее количество измерений. Для построения слегка искривленной линии пирротина необходимо только шесть измерений. Ковелин и умангит характеризуются сильно искривленными дисперсионными кривыми и число измерений соответственно возрастает до 14 и 37. Цвет определяется элементами хроматографии, которые наносятся на хроматографическую диаграмму или цветную карту.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНУТРЕННИХ РЕФЛЕКСОВ

Изучая в отраженном свете прозрачные и полупрозрачные минералы (в полированных шлифах), можно часто наблюдать внутренние рефлексии — отражение света от внутренних частей минерала.

Внутренние рефлексии лучше наблюдать в косом свете, т. е. когда свет от источника направлен непосредственно на полированную поверхность минерала. И. С. Вольнский отмечает, что при косом освещении шлифа лучи, падающие наклонно, встретив на своем пути полированное сечение непрозрачного минерала, отразятся в сторону и не попадут в глаз наблюдателя (рис. 17), поэтому такие минералы в косом свете будут совершенно темными. Лучи света, падающие на полированную поверхность прозрачного или полупрозрачного минерала, частично проникнут в глубь минерала. Если на пути этих лучей встретятся включения непрозрачного минерала, трещина спайности или пузырь воздуха, они отразятся от них и попадут в глаз наблюдателя. Окраска их будет соответствовать окраске прозрачного минерала в проходящем свете.

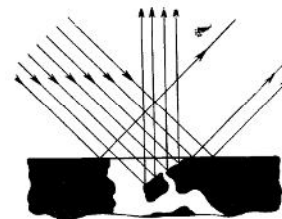


Рис. 17. Схема хода лучей при косом освещении полированного шлифа (по Вольнскому)
черное — рудный минерал; белое — прозрачный минерал

Более совершенным методом анализа внутренних рефлексив является применение поляризованного отраженного света.

При изучении прозрачных и полупрозрачных минералов в отраженном свете при скрещенных николях одновременно улавливаются лучи, отраженные от полированной поверхности минерала, и лучи, отразившиеся внутри минерала. Характер этих двух типов лучей легко установить, если постепенно поворачивать анализатор от 0° до 90° . Свет, отраженный от полированной поверхности, постепенно гасится анализатором, в то время как лучи света, отразившиеся внутри минерала, не гасятся. При этом отчетливо будет выявлена их окраска. Это явление особенно ясно наблюдается у изотропных (прозрачных или полупрозрачных) минералов.

У прозрачных анизотропных минералов (аурипигмент, киноварь, малахит, церуссит и др.) эллиптически поляризованный свет мешает полностью погасить лучи, отраженные от поверхности минералов. По-

3 С. А. Юшко

33

этому всегда глаз будет улавливать оба типа лучей. Лучи, отраженные изнутри минерала, наиболее отчетливо наблюдаются в нормальном положении кристаллов. Во всех других положениях одновременно будут наблюдаться лучи, отраженные и от полированной поверхности минерала, и изнутри.

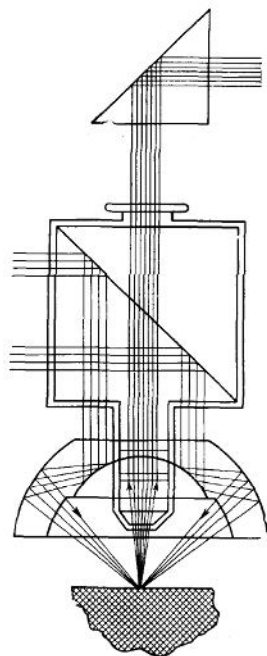


Рис. 18. Схема хода лучей в ультропаке

травяно-зеленый — для малахита;
 темно-зеленый — для алабандина;
 синий — для азурита;
 лимонно-желтый — для аурипигмента;
 белый, желтый до коричневых оттенков — для сфалерита, вуртцита, касситерита;
 светло-желтые до темно-коричневых — для гётита, рутила;
 бесцветный, желтый до бурых — для сидерита;
 желто-бурые — для хромита;
 желто-бурые до темно-бурых — для лимонита;
 желто-красные — для цинкита, реалгара;
 светло-красные до кроваво-красных — для колумбита;
 кроваво-красные — для киновари;
 светло-красные — для куприта, тематита, манганита;
 густо-кроваво-красные — для гаусманита, талталита;
 темно-карминово-красные — для пираргирита;
 кирпично-красные до кроваво-красных — для прустита;
 густо-красные — для франклинита.

Цвета внутренних рефлексов всегда являются дополнительными к оттенку минерала в отраженном свете. Так, серовато-белый с голубоватым оттенком в отраженном свете куприт обладает красными

Еще более отчетливо могут быть выявлены внутренние рефлексы с иммерсией. Применение иммерсии позволяет наблюдать внутренние рефлексы даже у полупрозрачных минералов (гётита, ильменита, вольфрамит и др.). У мелких зерен (менее 0,5 мм) и у малопрозрачных минералов внутренние рефлексы даже с применением иммерсии не всегда можно выявить. В таких случаях нужно применять ультропак или специальные объективы для работы в темном поле.

Ультропак применяют при работе с большими и малыми увеличениями. Он представляет собой комбинацию конденсора темного поля с опак-иллюминатором. С помощью конденсора темного поля создается освещение полированной поверхности шлифа пучком косо направленных лучей, непосредственно в объектив не попадающих (рис. 18). Направление этих лучей таково, что в объектив попадают только лучи, претерпевшие дифракцию на объекте. Существуют конденсоры темного поля для объективов малых увеличений и иммерсионных. С помощью ультропака можно изучать прозрачные и полупрозрачные минералы как в полированных шлифах, так и на поверхности сколов минералов. Ниже приводятся различные цвета внутренних рефлексов для полупрозрачных минералов:

внутренними рефлексами; серый с розоватым оттенком в отраженном свете малахит — зелеными внутренними рефлексами и т. д.

Цвет порошка минерала соответствует цвету его внутренних рефлексов. Поэтому у слабо прозрачных минералов (ильменит, хромит, вольфрамит и др.) цвет внутренних рефлексов можно определять в порошке.

Порошок мягких минералов получают путем царапания полированной поверхности шлифа стальной иглой; порошок твердых минералов — с помощью острых осколков кварца или алмазной иглы.

Внутренние рефлексы в таких минералах можно довольно отчетливо наблюдать с иммерсией при скрещенных николях. Этим же способом определяют характер внутренних рефлексов в мелких зернах.

В определительных таблицах выделены две группы минералов: имеющие внутренние рефлексы и не имеющие их.

Внутренних рефлексов нет у минералов, отражательная способность которых выше галенита, и у минералов, которые обладают ясно выраженной окраской в отраженном свете (борнит, никелин, пирротин, халькопирит и др.).

ПРИМЕНЕНИЕ ИММЕРСИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Если между фронтальной линзой объектива и полированной поверхностью шлифа поместить иммерсионную жидкость, показатель преломления которой больше воздуха, можно в значительной степени повысить разрешающую способность объектива. Вместе с этим увеличивается и четкость изображения.

Для работы с иммерсией необходимы специальные объективы. В микроскопах МИН-6, МИН-9, МП-5, МП-4 и МП-3 такие объективы имеют вблизи фронтальной линзы черную полосу.

Для работы с иммерсией обычно применяют кедровое масло с показателем преломления 1,515. Для учебных целей, при проведении лабораторных занятий, можно с успехом использовать очищенный глицерин. Необходимо только учесть, что показатель преломления у него 1,48, т. е. ниже, чем у кедрового масла. Преимуществом глицерина является то, что он бесцветен и легко стирается с поверхности шлифа.

Техника работы с иммерсией следующая. Иммерсионный объектив берут за оправу и поворачивают фронтальной линзой вверх. С помощью пипетки каплю иммерсионной жидкости накладывают на фронтальную линзу объектива. Объектив осторожно приводят в нормальное положение; капля иммерсионной жидкости при этом свисает с фронтальной линзы. Затем объектив вместе с каплей глицерина (нужно только, чтобы не упала капля) помещают на микроскоп (столик микроскопа должен быть в горизонтальном положении). Тубус микроскопа с помощью кремальеры опускают до соприкосновения капли с полированной поверхностью шлифа. Окончательную центровку ведут с помощью микрометрического винта.

При работе с иммерсией заметно уменьшается отражательная способность у прозрачных и полупрозрачных минералов; часто значительно увеличивается контрастность между R_e и R_o у анизотропных минералов. Эта особенность поведения минералов в иммерсионной среде в значительной степени облегчает обнаружение поляризации у слабо анизотропных минералов (халькопирит, бурнонит и др.). Применение иммерсии помогает определению внутренних рефлексов у прозрачных и полупрозрачных минералов при скрещенных николях, когда поташены лучи света, отраженные от полированной поверхности минерала, а лучи внутреннего отражения видны более отчетливо.

С применением иммерсии увеличивается контрастность у абсорбирующих непрозрачных, у слабо окрашенных и у ясно окрашенных минералов в отраженном свете. Контрастность еще больше увеличивается при применении монохроматического света. Поэтому применение соответствующего светофильтра способствует получению контрастных микрофотографий.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Твердостью минерала называется его способность оказывать сопротивление какому-либо внешнему механическому воздействию. Твердость минералов — это сложное свойство, зависящее как от кристаллохимических факторов (кристаллической структуры минерала, валентности, химических связей между элементами структуры и др.), так и от механических факторов, присущих любому твердому телу, — упругости и пластичности, хрупкости, напряжений, дислокаций, системы элементов скольжения и др.

В лабораторной практике твердость минералов в полированных шлифах под микроскопом в отраженном свете определяют следующими методами:

1) путем царапания полированной поверхности минералов иглами определенной твердости;

2) по характеру рельефа минералов в полированных шлифах;

3) по качеству полировки минералов в шлифе.

А. Г. Бетехтин предложил определять твердость рудных минералов в полированных шлифах под микроскопом в отраженном свете с помощью медной и стальной игл.

Твердость определяется также и по характеру рельефа минералов. Надежный способ определения незначительной разницы в твердости двух соприкасающихся минералов (сфалерит — халькопирит, борнит — халькопирит, сфалерит — пирротин) — изучение движения световой полоски по границе между этими минералами. Световая полоска при поднятии тубуса микроскопа перемещается с более твердого минерала на более мягкий (рис. 19).

Появление пограничной световой полоски обусловлено полировкой шлифа. Мягкие минералы стачиваются быстрее, чем твердые, поэтому последние наблюдаются в шлифе в виде выступов с закругленными полировкой краями, образующими наклонную поверхность по границе срастания двух минералов. Падающие на шлиф вертикальные лучи света отражаются от горизонтальной плоскости вертикально, при отражении от наклонной поверхности, окаймляющей более твердый минерал, отклоняются от вертикали на угол тем больший, чем круче наклон этой поверхности. Эти наклонно отраженные лучи в сочетании с лучами, вертикально отраженными, образуют световую полоску на внешней границе двух минералов. Световая полоска еще резче подчеркивается темной полоской, отвечающей внутренней границе выступающего более твердого минерала. Описываемый способ определения твердости незаменим для зерен малых размеров, если они заключены в массу минералов, твердость которых известна.

Способность минерала воспринимать полировку, а также характер его поверхности в полированных шлифах часто значительно помогают при определении его относительной твердости и могут быть использованы в качестве дополнительного диагностического признака. Например, галенит легко узнается в шлифе по треугольным углублениям, представляющим выкрошившиеся во время полировки участки минерала по плоскостям его совершенной спайности по кубу (рис. 20).

С. И. Лебедева (1963) все рудные минералы подразделяются на семь групп (табл. 3).

Для более точного определения твердости минералов под микроскопом Талмейджем был сконструирован микросклерометр. На этом приборе твердость минералов определяется по положению груза на коромысле и ширине полученной царапины на исследуемом минерале.

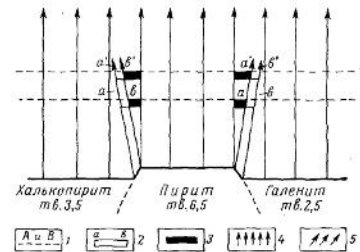


Рис. 19. Определение твердости по пограничной светлой полоске
1 — положение тубуса микроскопа; 2 — светлая полоска; 3 — темная полоска; 4 — лучи вертикально отраженного света; 5 — лучи косо отраженного света

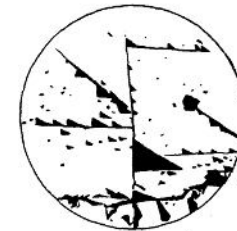


Рис. 20. Треугольники выкрашивания в галените

Шкала твердости рудных минералов
(по Талмейджу)

Обозначение твердости	Типичные минералы (сплово)	Положение гири на коромысле	Давление на острие иглы, Г
Низкая: А	Аргентит	0,2	0,105
В	Галенит	0,4	0,210
Средняя: С	Халькопирит	0,7	0,365
Д	Тетраэдрит	1,0	0,520
Е	Никелин	1,5	0,775
Высокая: F	Магнетит	2,0	1,035
G	Ильменит	3,0	1,550

Таблица 3

При определении твердости царапанием результаты в большой степени зависят от ориентировки зерен, качества полировки, структуры.

Новым методом определения твердости, применяемым при изучении полированных шлифов, является метод вдавливания. С его помощью твердость минералов определяется на основании особенностей формы и размеров отпечатков, полученных путем вдавливания в полированную поверхность испытуемого минерала алмазной пирамиды.

Для определения твердости полированной поверхности минералов и сплавов в полированных шлифах методом вдавливания М. М. Хрущовым и Е. С. Берковичем (1943) были сконструированы приборы ПМТ-2 и ПМТ-3.

М. М. Хрущов и Е. С. Беркович разработали также специальную методику определения микротвердости сплавов, минералов, стекол, эмалей и искусственных абразивов.

С. И. Лебедева (1963) все минералы разделяет по твердости на пять групп (табл. 4).

Таблица 4

Группы твердости
(по С. И. Лебелевой)

Группа твердости	Название групп	Микротвердость, кг/мм ²	Твердость по Моосу
I	Очень мягкие	1—60	1—2
II	Мягкие	60—120	2—3
III	Средней твердости	120—550	3—5
IV	Твердые	550—1100	5—7
V	Очень твердые	Более 1100	7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Определять магнитность рудных минералов в полированных шлифах приходится нечасто, так как минералов с резко выраженными магнитными свойствами очень немного. К числу таких минералов относятся магнетит, пирротин, самородное железо, кубанит, платина самородная и др.

Магнитность у минералов в полированных шлифах определяют с помощью магнитной стрелки и намагниченной стальной иглы. Если в рудном шлифе магнитный минерал содержится в большом количестве, его магнитность устанавливают с помощью магнитной стрелки, надетой на острие. Для этого полированную поверхность шлифа подводят к магнитной стрелке.

Если магнитный минерал в шлифе наблюдается в виде микроскопических выделений или имеется несколько магнитных минералов; то магнитность каждого минерала определяют по магнитности их порошков. Порошок минерала можно получить царапанием его полированной поверхности иглами: стальной (минералы низкой и средней твердости) и алмазной (твердые минералы). Если порошок минерала обладает магнитными свойствами, он будет прилипать к подведенному к нему концу магнитной стрелки или острою намагниченной иглы. Определение магнитности порошка ведется под микроскопом при малых и средних увеличениях (30×; 60×; 80× и 100×).

Если размер магнитных минералов не позволяет применить один из вышеописанных методов, а также в тех случаях, когда в шлифе присутствуют разновидности минералов, отличающихся по степени магнитности (моноклинный и гексагональный пирротин, магнетит, маггемит и др.), для определения их магнитных свойств с успехом может быть применен метод магнитной порошковой графики. Этот метод впервые в рудной микроскопии был применен М. А. Грабовским и О. Н. Жерденко в 1960 г.

Сущность метода магнитной порошковой графики заключается в следующем.

Вначале готовится концентрированный мыльный раствор, для получения которого лучше применять детское мыло, дающее более устойчивые мыльные растворы. После этого к мыльному раствору добавляют определенное количество тонко истертого магнитного порошка*. В качестве магнитного порошка может быть использован тонко истертый тщательно отобраный или искусственно полученный магнетит. Однако лучше употреблять порошки, применяемые при звукозаписи, которые изготавливаются заводом химреактивов*. Особенно рекомендуется применять для этой цели феррит кобальта с частицами

* Элиасберг И. И. Порошки для магнитных лент. Тр. Всес. ин-та звукозаписи, 1956, вып. 6.

сферической формы размером 0,1 мкм и коэрцитивной силой (H_c) 600—700 э. Бурая окраска феррита кобальта позволяет наблюдать его пленки покрытия на полированной поверхности минералов при скрещенных николях или в косом свете.

Небольшое количество такого мыльного раствора с порошком переносят на предметное или препаративное стекло и тщательно сбивают до получения стоячей пены. Последняя легко может быть получена путем втягивания и выталкивания мыльного раствора с порошком пипеткой либо с помощью стеклянной палочки.

Полученную эмульсию наносят с помощью стеклянной палочки на полированную поверхность исследуемого минерала. При наличии более крупных выделений или при наличии в шлифе нескольких магнитных минералов полированную поверхность всего шлифа желательно погружать в сбиту пену эмульсионного раствора и выдерживать определенное время (1—2 мин), в течение которого происходит осаждение магнитных частиц на полированную поверхность минерала.

Осторожно смывают мыльную эмульсию с полированной поверхности шлифа. Смывание эмульсии проводят с помощью пипетки, наполненной водой или лучше спиртом. При этом шлиф несколько наклоняют, выводя его из горизонтального положения.

Просушивание полированной поверхности можно проводить с помощью фильтровальной бумаги, позволяя последнюю к краю шлифа (шлеза) промокать шлиф фильтровальной бумагой, так как это может нарушить структуру покрытия порошка).

После всех этих операций на полированной поверхности магнитных минералов оседает магнитный порошок. При изучении шлифа под микроскопом наблюдают характер покрытия порошком минералов.

В то время как сильно магнитные минералы — маггемит, магнетит, моноклинный пирротин и др. покрываются сплошной пленкой, на поверхности слабомагнитных минералов (гексагональный пирротин) оседают лишь единичные зерна порошка; поверхности немагнитных минералов, трюилита, ильменита и др., остаются совершенно чистыми. При использовании достаточно концентрированной мыльной эмульсии и соответствующем выборе времени, которое устанавливается по эталонным минералам, можно получать пленки различной плотности. Одновременно можно подобрать условия, подчеркивающие магнитную неоднородность в минералах. Последнее позволяет выявлять у некоторых магнитных минералов характер доменных структур (Мелешина, 1960). Более отчетливо магнитная неоднородность минералов, как это отмечает М. А. Грабовский и О. Н. Жерденко (1967), проявляется при применении так называемого «мокрого» метода магнитной порошковой графики, т. е. метода магнитной коллоидной суспензии. Сущность этого метода заключается в том, что на полированную поверхность минерала наносится капля коллоидной суспензии магнетита в мыльном растворе*. Капля раздавливается покровным стеклом и весь процесс осаждения магнитного порошка наблюдается под микроскопом. Коллоидные частицы магнитного порошка будут концентрироваться над магнитными минералами в первую очередь в местах значительных градиентов магнитных полей, проявляющихся вблизи поверхности минералов. Частицы магнитных минералов в суспензии вначале будут оседать на границах между доменами, очерчивая их форму и расположение в зернах минерала, а затем на всей полированной поверхности магнитного минерала. Отсюда вытекает преимущественное значение «мокрого» метода магнитной порошковой графики. Таким образом «сухой» метод магнитной порошковой графики применяют при диагностике сильно- и слабомаг-

* Т. С. Дубенко, И. Д. Ветюшкин. Техника изготовления магнитной суспензии. «Геология рудных месторождений», 1965, № 6.

нитных минералов, а «мокрый» метод магнитной суспензии — для выявления характера магнитной неоднородности отдельных зерен минералов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Некоторые исследователи указывают на возможность диагностики рудных минералов по их электропроводности. Электропроводность рудных минералов определяют с помощью двух игольчатых наконечников в соответствующей оправе, соединенных цепью из сухой электрической батареи (для карманного фонаря) и амперметра. Зерна исследуемого

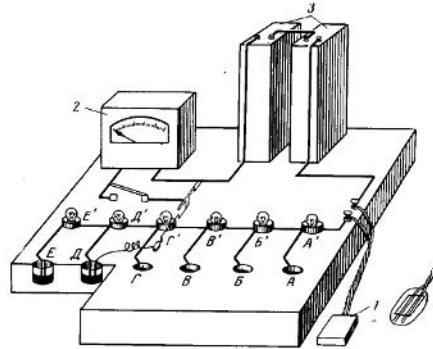


Рис. 21. Схема прибора для определения электропроводности минералов по Керру и Кебину
A—E — стаканы с ртутью; A'—E' — лампочки; 1 — образец;
2 — миллиамперметр; 3 — сухие элементы

дуюемого минерала должны иметь не менее 2 мм в поперечнике. Опыты показали, что изменение расстояния между иглами от одного сантиметра до долей миллиметра не оказывает существенного влияния на показания амперметра.

С помощью этого прибора минералы могут быть подразделены на три группы: 1) минералы, обладающие электропроводностью такой же, как медь; 2) минералы, проводящие электричество, но обладающие сопротивлением большим, чем медь; 3) минералы, совсем не проводящие электричества.

Несколько более усовершенствованным прибором (рис. 21) для определения электропроводности пользовались Керр и Кебин (1925 г.).

Их прибор состоит из шести маленьких электрических лампочек, смонтированных на эбонитовой доске; источником тока служит сухая батарея от карманного фонаря. Ток проходит через лампочки и через две иглы, укрепленные на эбонитовой ручке на расстоянии 0,3—0,5 мм друг от друга, и замыкается через зерно рудного минерала. В зависимости от степени электропроводности последнего загорается то или иное количество лампочек.

В случае слабого тока (рудные минералы — плохие проводники) лампочки не загораются, и в цепь включают миллиамперметр, смонтированный на той же эбонитовой доске. Об электропроводности судят по отклонению стрелки прибора. В приборе устроены переключатели

для введения в цепь одной, двух или более лампочек, а также для включения и выключения из цепи миллиамперметра (рис. 22).

С помощью этого прибора все минералы разделены на шесть групп. К первым трем группам относятся хорошие проводники; к четвертой и пятой — слабые проводники, электропроводность которых определяется с помощью миллиамперметра; к последней группе — минералы, не проводящие электричества.



Рис. 22. Прибор для определения электропроводности (МГРИ)

При определении таким способом электропроводности рудных минералов в полированных шлифах часто нет полной уверенности, что полученные данные относятся именно к исследуемому минералу, так

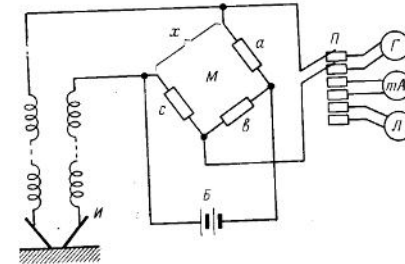


Рис. 23. Схема установки для определения электропроводности, предложенная И. С. Вольнским

как обычно не известна его пространственная конфигурация. В таких случаях измеренная электропроводность, возможно, представляет некоторый суммарный эффект от ряда соседних минералов. Поэтому определение электропроводности описываемым способом пока существенного значения при диагностике рудных минералов не имеет.

В 1928 г. Р. Д. Гарвеем измерялось сопротивление рудных минералов в омах с помощью мостика Уитстона и гальванометра. Минералы, обладающие малым сопротивлением, измерялись с помощью мостика Уитстона, а высоким — при помощи гальванометра (табл. 5).

И. С. Вольнский сконструировал специальное приспособление для измерения электропроводности минералов по методу Гарвея, которое

Таблица 5

Электропроводность рудных минералов по Гарвею			
Минерал	Сопротивление, ом (пределы колебаний)	Минерал	Сопротивление, ом (пределы колебаний)
Самородные металлы			
Висмут	Около 1	Реальгар	Непроводник
Золото	10 ⁻¹ -1	Станнин	10 ² -10 ⁸
Медь	10 ⁻¹ -1	Тиллит	10 ² -10 ⁸
Мышьяк	Около 1	Халькозин	Около 1
Серебро	10 ⁻¹ -1	Халькопирит	10-10 ²
Сурьма	Около 1	Штрмейерит	Около 10
Теллур	1-10	Эритродимит	Непроводник
Арсениды			
Альгозонит	1	As-соединения	
Гунгит	10 ⁻¹ -1	Аргиропирит	10 ⁻¹ -1
Домейкит (серый, проводит ток лучше кремневого)	10 ⁻¹ -1	Арсенопирит	10-10 ²
Леллингит	1-10	Баумгауерит	Непроводник
Никелин	Около 1	Врбанит	»
Скюттерудит	Около 1	Герддорфит	1-10 ²
Шмальтин	Около 1	Гитерманит	Непроводник
Антимониды			
Брейтгауит	Около 1	Дюфренуазит	»
Дискразит	10 ⁻¹ -1	Иорданит	»
Теллуриды			
Алтаит	Около 10	Кобальтин	10 ² -10 ³
Гессит	Около 10	Ленгенбахит	Непроводник
Калаверит	Около 1	Лорандит	»
Колорадонит	Меньше 1	Люзонит	10 ² -10 ⁴
Креннерит	10 ⁻¹ -1	Псарит	10 ² -10 ³
Наггацит	10 ²	Прустит	Непроводник
Сильванит	Меньше 1	Ратит	»
Тетрадимит	Меньше 1	Регулит	10 ² -10 ³
Селениды			
Агиларит	1-10	Тенантит	10 ² -10 ³
Гуаяхуатит	1-10	Энаргит	10 ² -10 ³
Клаусталит	1-10 ²	Sb-соединения	
Лербахит	10-10 ²	Андорит	Непроводник
Тиманнит	1-10	Бертьерит	10 ⁴ -10 ⁵
Сульфиды			
Альбадин	Около 10 ⁷	Буданжерит	Непроводник
Антимонит	Непроводник	Бурнонит	10 ² -непроводник
Аргентит	»	Виллманит	10 ⁴ -1
Аурипигмент	»	Геокронит	Непроводник
Борнит	Около 1	Джемсонит	10 ² -10 ³
Висмутин	10 ² -10 ⁷	Цилиндрит	Непроводник
Вуртцит	10 ² -10 ⁴	Ливингстонит	»
Галенит	10 ² -10 ⁴	Менегинит	»
Гауерит	10 ² -10 ⁴	Мизартит	»
Киновар	Непроводник	Пирартирит	»
Ковеллин	10 ⁻¹ -1	Плагионит	»
Кубанит	Около 10 ⁴	Семсцит	»
Марказит	10 ² -10 ⁴	Стефанит	»
Метациннабарит	10-10 ²	Тетраэдрит	10 ² -непроводник
Миллерит	10 ⁻¹ -1	Ульманит	10 ⁻¹
Молибденит	Около 10 ⁵	Франкеит	10 ² -10 ⁶
Пентландит	Меньше 1	Цинкенит	Непроводник
Пирит	10 ⁻² -10 ²	Bi-соединения	
Пирротин	10 ⁻¹ -1	Айкинит	Непроводник
Полидимит	10-10 ²	Беегерит	10 ⁴ -10 ⁵
		Виттихинит	10 ⁶
		Галеновисмутит	Непроводник
		Козалит	10 ² -10 ³
		Ребанит	10 ² -10 ⁶
		Шапбахит	10 ⁴
		Эмлектит	10 ² -10 ⁵
		Оксиды	
		Гаусманнит	Непроводник
		Гематит	»
		Делафоссит	»
		Ильменит	10 ⁴ -10 ⁵

Продолжение табл. 5

Минерал	Сопротивление, ом (пределы колебаний)	Минерал	Сопротивление, ом (пределы колебаний)
Касситерит	10 ⁶ -непроводник	Франклинит	Непроводник
Куприт	10 ⁴ и больше	Хромит	»
Купроделуазит	Непроводник	Разные	
Магнетит	Около 10 ²	Аргиродит	»
Пирролизит	Около 10 ⁴	Браунит	»
Псиломелан	10 ⁴ -10 ⁶	Вольстит	»
Рутил	Непроводник	Кермезит	»
Тенорит	»	Лимонит	»
Уранинит	Около 10 ⁶	Манганит	»

представляет собой миниатюрное устройство, укрепленное на объективе микроскопа с помощью откидного хомутика.

Установка И. С. Вольнского (рис. 23) состоит из батареи питания *Б* (4,5 в), мостика Уитстона *М* и измерительного приспособления *И*, включаемого в одно из плеч мостика. В качестве прибора, контролирующего отсутствие тока в диагонали мостика, используют лампочки *Л* от карманного фонаря, миллиамперметр *мА* или чувствительный гальванометр *Г*. При отсутствии тока в диагонали мостика сопротивление минерала *x* вычисляется по формуле

$$x = a \frac{c}{b}$$

МАКРО- И МИКРОРАДИОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ *

Макрорадиографический метод

Макрорадиографический метод важен для диагностики и особенно для изучения текстурно-структурных особенностей радиоактивных минералов и руд.

Для получения радиографий в полной темноте лист рентгеновской пленки (чувствительностью «ХХ» или «Х») кладется на совершенно гладкую поверхность; на нее накладываются полированные шлифы и шлифовки так, чтобы их полированные стороны плотно прилегали к пленке. После того как все предназначенные для работы объекты уложены на лист (или листы) рентгеновской пленки, необходимо отметить на пленке номера шлифов и обвести их контур для последующего сопоставления радиографий и шлифов, с которых они получены. Лучше всего это сделать методом «засвечивания» (на небольшое время на расстоянии 0,5 м от стола, на котором лежит материал, включается слабый источник света), при этом вся поверхность пленки, не прикрытая плотно прилегающими полированными поверхностями шлифов, засвечивается, в результате контуры шлифов могут быть точно совмещены с радиографией.

После «засвечивания» пленку с наложенными шлифами убирают в светонепроницаемый ящик для экспозиции. Время экспозиции зависит от радиоактивности минералов. Оно колеблется от нескольких часов до нескольких суток. По истечении этого срока шлифы аккуратно снимают с пленки, которую затем (в полной темноте) проявляют и фиксируют обычным порядком.

* Глава написана Г. Н. Пилипенко (МГРИ, кафедра полезных ископаемых).

Состав проявителя (растворять при 70°С последовательно): метол — 1 г, сульфит безводный — 20 г, гидрохинон — 4 г, поташ — 19 г, бромистый калий — 1 г, вода — до 1 л.

Проявлять 5—8 мин при 18—20°С. Промывать.

Фиксация: гипосульфит — 250 г на 1 л воды (10 мин). Тщательно промыть.

Микрорадиографический метод

Микрорадиографический метод разработан Е. И. Железновой. С его помощью можно производить качественную, количественную характеристику и определять природу радиоактивности мельчайших зерен минералов непосредственно в твердой породе, в прозрачных или полированных шлифах без исключительно трудного, а часто и невозможного специального выделения минералов.

На полученных с помощью этого метода микрорадиографиях фиксируются следы пробега α -частиц в толстом эмульсионном слое специальной фотопластины. Эти следы имеют вид штрихов-треков той или иной густоты (в зависимости от концентрации α -излучателя в минералах, времени экспозиции и частично размеров радиоактивных образований). Так как максимальная длина пробега α -частиц наибольшей энергии (в частности тория) в эмульсии ± 50 мкм, наблюдения микрорадиографии производятся под микроскопом (как и шлифов, с которых они приготовлены) при увеличении в 50—500 раз.

Для приготовления микрорадиографии используют специальные толстослойные пластинки типа А-2, имеющие толщину эмульсионного слоя 50—60 мкм. Эмульсия этих пластинок чувствительна только для α -излучения (а также осколков деления). Работать с этими пластинками можно при фонаре, снабженном специальным матовым желто-зеленым светофильтром № 117 или 118. Пластинки разрезают алмазом (с неэмульсионной стороны) до формата шлифов. После этого на них накладывают прозрачные шлифы (со снятым покровным стеклом) или полированные шлифы так, чтобы эмульсионная поверхность плотно прилегала к поверхности шлифа. Если поверхность шлифа была загрязнена, ее нужно предварительно промыть бензином.

Далее необходимо сделать на пластинке пометки, по которым можно было бы при работе с микрорадиографией точно совмещать ее со шлифом; это достигается тщательным обведением контура шлифа острым предметом (иглой) или методом засвечивания, описанным выше для макрорадиографий. Предварительно (в светлом помещении) на края стеклянных пластинок шлифов черной тушью наносят значки, по которым после отпечатывания их на радиографии последняя будет точно совмещаться со шлифом.

Время экспозиции определяется содержанием радиоактивных элементов в минералах, а также назначением радиографии в зависимости от того, делается ли она для качественного или количественного исследований.

Для количественного изучения удобнее давать экспозицию такую, чтобы количество следов α -частиц (на площадь в 0,02 см² пластинки) было не более нескольких десятков, иначе подсчет их становится затруднительным. В зависимости от процентного содержания радиоактивного элемента в минерале экспозиция будет составлять:

45—70% — 20 мин
15—20% — 1 ч
5—10% — 2 ч
0,5—1% — 5 ч

При дальнейшем уменьшении содержания урана, а также величины зерен радиоактивного минерала экспозицию нужно значительно увеличивать (до нескольких суток).

Для качественного изучения, когда значительные сгущения следов α -частиц создают большую четкость картины, выдержка увеличивается в 5—10 и более раз (по сравнению с предназначенными для количественного анализа) и составляет несколько суток. Так, для тысячных долей процента радиоактивного элемента в породе (в целом) экспозиция должна быть 10—20 суток (чтобы не слипались пластинки, воздух должен быть сухим и температура 10—12°).

По истечении срока экспозиции фотопластины осторожно отделяют от шлифа и подвергают проявлению, фиксированию и т. д.

Проявление производят в растворе, приготовленном путем последовательного растворения (на 100 см³ воды) амидола — 0,6 г, сульфита натрия (кристаллического) — 2,5 г, бромистого калия — 0,2 г. Продолжительность проявления 25 мин при температуре 22 \pm 1°.

Промывка осуществляется в проточной воде в течение 3—5 мин. Стоп-ванна. В 1%-ном растворе уксусной кислоты при температуре 5—7° пластинки выдерживают в течение 10—15 мин.

В дистиллированной воде ватой со стороны эмульсии снимают *никогда появляющийся черный налет (осторожно)*.

Фиксирование проводят в растворе гипосульфита (40 г на 100 см³ воды) при температуре 5—7° в течение 90 мин.

Промывка в проточной воде.

Сушка (при комнатной температуре).

Все растворы готовят на дистиллированной воде и перед употреблением фильтруют.

Согласно рекомендации А. Н. Комарова (Изв. АН СССР, серия геол., № 1, 1968), обработка пластинок А-2 может проводиться при комнатной, а не пониженной, как по Инструкции, температуре.

В последние годы рядом исследователей предложена разновидность микрорадиографического метода с применением жидких ядерных фотоэмульсий (обычно типа А-2), наносимых непосредственно на прозрачный непокрытый шлиф. После выдержки шлиф вместе с эмульсией проявляют, высушивают, а затем просматривают под микроскопом. Этот метод обеспечивает как максимальный контакт эмульсии со шлифом, так и сохранение точного соответствия местонахождения источника α -частиц и их следов.

А. Н. Комаров рекомендует следующую технику подготовки и нанесения жидкой эмульсии.

Эмульсию плавят при 40—50°С, разводят дистиллированной водой (1 мл воды на 4 мл эмульсии) и фильтруют через влажную марлю. Перед поливом на 1 мл эмульсии добавляют 1 каплю пластификатора, состоящего из равных частей этилового спирта и глицерина. Шлиф тщательно протирают спиртом, опускают в 0,33% раствор желатин, а затем высушивают в вертикальном положении. Эмульсию либо выливают на большой шлиф из расчета 1 мл эмульсии на 24 см² шлифа, либо наносят каплями — 10 капель на 6 см² и быстро разравнивают стеклянной палочкой. Температура шлифа должна быть 25—30°С.

После 20—30 ч сушки при комнатной температуре слой эмульсии имеет толщину приблизительно 50 мкм. Эмульсию проявляют обычным путем. Затем для предотвращения коробления эмульсионный слой опускают в 2—4%-ный раствор глицерина. В случае необходимости удаление эмульсионного слоя производят в теплой воде.

Анализ микрорадиографий

Качественное изучение микрорадиографий лучше проводить при увеличении около 50—100. Радиографию при помощи двух маленьких кусочков пластилина, накладываемых на свободные края пластинки,

приклеивают к стеклянной подложке шлифа, с которого она получена. Склеенный шлиф и радиография помещаются под микроскоп. Метки, нанесенные на шлифе и перепечатанные на радиографию (с помощью засвечивания), помогут совместить их так, чтобы микрорадиография каждого зерна руды точно находилась над участком этого зерна в шлифе. Между шлифом и радиографией должен быть небольшой зазор, иначе радиография будет поцарапана.

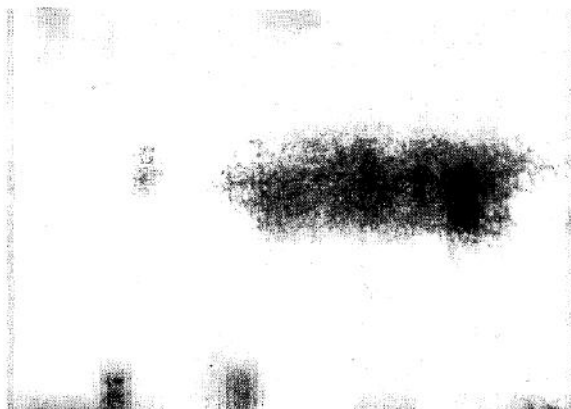


Рис. 24. Микрорадиографии прозрачного шлифа

Опуская или поднимая тубус микроскопа, мы наблюдаем участки шлифа (руды) и полученные с них радиографии. Густота следов — треков α -частиц над определенными минеральными зернами, распределение участков разного сгущения этих следов, формы и размеры участков и т. д. видны под микроскопом. При этом важно, что увеличение размеров участка сгущения следов α -частиц по сравнению с величиной радиоактивного зерна, с которого они получены, составляет всего 30—40 $\mu\text{м}$ (рис. 24).

При количественном изучении микрорадиографии подсчитывают число следов α -частиц, приходящееся на определенную площадь радиографии. Так как количество этих следов будет прямо пропорционально концентрации радиоактивного элемента в данном минерале (в времени экспозиции пластинки, которое известно), то расчет величины концентрации не представляет трудности.

Для пластинок А-2 количество следов α -частиц, фиксируемых от 1% содержания урана на 1 мм^2 площади пластинки при экспозиции в 1 ч (q), является постоянным и равно $q = 46 - 48 \frac{\alpha\text{-частиц}}{\text{мм}^2 \cdot \text{ч}}$ (величину эту можно уточнить при помощи радиографии с эталона). После этого остается подсчитать количество следов α -частиц, зафиксированных на микрорадиографии интересующих нас минеральных зерен, на определенной площади подсчета (мм^2). Подсчет удобнее производить при увеличениях микроскопа 500 \times . Площадь для подсчета количества лучше выбрать в виде квадрата со стороной 0,15 мм , т. е. равной $0,0225 \text{ мм}^2$

(соответствующая сетка нитей вводится в окуляр микроскопа). Проматривают и просчитывают несколько десятков таких полей (вплотную друг к другу, если это позволяют размеры включений радиоактивных минералов). Если размеры радиоактивных включений большие (несколько миллиметров в диаметре), количество просчитываемых полей должно увеличиваться (≈ 100). Ведется запись (табл. 6).

Таблица 6

№ поля	Площадь поля, мм^2	Количество α -следов
1	0,0225	N 1
2	0,0225	N 2
100		N
	ΣS	ΣN

Для подсчета берут следы с минимальной длиной пробега 6—7 $\mu\text{м}$, что приблизительно соответствует размерам 5 зерен бромистого серебра.

Расчет содержания радиоактивного элемента (A) делается по формуле

$$A = \frac{\Sigma N}{\Sigma S \cdot T \cdot q}$$

где T — экспозиция в часах и $q = 46 - 48 \frac{\alpha\text{-частиц}}{\text{мм}^2 \cdot \text{ч}}$ от 1% U.

Подобные подсчеты производят для каждого из радиоактивных минералов (или их разновидностей), содержащих разные концентрации радиоактивного элемента и соответственно имеющих разную густоту α -частиц на микрорадиографии.

Определение природы радиоактивности

В основе метода определения природы радиоактивности минералов по их микрорадиографиям лежит различие максимальных энергий, а следовательно, и зафиксированных на пластинках длин пробегов, α -частиц в рядах урана и тория.

Известно, что важнейший α -излучатель в ряду тория (ThC') обладает энергией, которой соответствует максимальный пробег этих частиц в воздухе, а именно 8,57 см . В то же время в ряду урана важнейший α -излучатель (RaC') обладает энергией с соответствующим максимальным пробегом в 6,91 см . Пробег α -частиц в эмульсии значительно короче, чем в воздухе (1 см пробега в воздухе соответствует всего 6,0 $\mu\text{м}$ в эмульсии).

Таким образом, зафиксированные на микрорадиографии максимальные следы пробегов в ряду урана будут иметь длину не более 42 $\mu\text{м}$ (около 7 см в воздухе), все следы большей протяженности соответствуют уже ряду тория. При смешанной природе обнаруживаются следы разной длины.

Длина следов в микрорадиографиях измеряется с помощью окуляр-микрометра, градуированного в микронах. Измеряют только следы, достаточно длинные, располагающиеся приблизительно параллельно поверхности столика микроскопа (перпендикулярные линии наблюдения).

Одновременно подсчитывается количество следов. За наименьшую длину следов, входящих в подсчет, принимают длину 34,8 мкм. Количество следов, имеющих длину от 34,8 до 42 мкм, даст нам величину n_2 , а при длине их большей 42 мкм, — величину n_1 .

Соотношение урана и тория рассчитывают по формуле:

$$\frac{C_{\text{тория}}}{C_{\text{урана}}} = \frac{3,3}{n_2/n_1 - 0,8} = K.$$

Если $K=0,1-0,4$, природа существенно урановая; если $K=0,4-1,0$ — смешанная, а при $K>1,0$ — ториевая.

ГЛАВА III

МЕТОДЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ГЛАВНЫМ ОБРАЗОМ ПРИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В предыдущей главе было приведено описание главнейших физических свойств минералов и методов качественного их определения в отраженном свете. Более точная диагностика минералов внутри диагностической группы проводится с помощью дополнительного определения их химических свойств. Главная масса рудных минералов с помощью совокупности всех этих методов может быть достаточно точно диагностирована. Однако точное определение минералов с близкими физическими и химическими свойствами (например, некоторые минералы из группы сульфосолей свинца, серебра и меди, теллуридов золота, арсенидов кобальта, никеля и окислов титана, ниобия, тантала и некоторые др.) затруднено. В таких случаях решающим является сравнение их количественных значений отражательной способности и микротвердости. Поэтому в определительных таблицах для всех минералов приведены эти количественные данные.

Методы количественного измерения всей совокупности физических констант рудных минералов в отраженном и отраженном поляризованном свете еще в недостаточной степени разработаны. Основной задачей этих методов является уточнение диагностики рудных минералов и сокращение времени, затрачиваемого на определение рудных минералов, в полированных шлифах под микроскопом в отраженном свете. Количественное измерение физических констант рудных минералов в лабораторной практике производится следующими методами.

Методы количественного измерения отражательной способности минералов в отраженном свете. Фотометрический метод количественного измерения отражательной способности был разработан Ж. Орседем (1932 г.), Р. Е. Фолинсби (1949), С. А. Вахромеевым (1957 г.), И. С. Волинским (1959 г.). И. С. Волинским была разработана новая конструкция фотометрического окуляра для количественного измерения отражательной способности рудных минералов в отраженном свете. М. Грей и А. П. Миллман (1962) предлагают проводить измерение дисперсии отражательной способности с помощью сульфидно-кадмиевого фотоэлемента.

Разработкой новых электрометрических методов количественного измерения отражательной способности занимались Н. В. Королев и Л. С. Агроскин (1959 г.), А. Д. Ракчеев (1960 г.), И. А. Пудовкина, А. Л. Якубович и А. А. Ширявцев (1961 г.), М. Н. Пономарева (1957, 1962 гг.). Недостатком этих методов является то, что отражательная способность минералов определяется по отношению к эталонному минералу. В качестве эталонных минералов обычно используют галенит и

сфалерит. Количественные значения отражательной способности этих минералов условны, так как у различных их разновидностей отражательная способность колеблется в довольно широких пределах. Если эти приборы будут снабжены стандартными эталонами отражательной способности, то измерения отражательной способности минералов могут быть более точными.

Методы количественного определения эффекта анизотропии. Сложность этого явления и недостаточная разработанность теории отраженного поляризованного света не способствуют широкому внедрению этого метода в практику лабораторного исследования руд. Количественные значения эффекта анизотропии минералов в основном характеризуют угол поворота плоскости поляризации и фазы запаздывания между отраженными компонентами. Наиболее полно методика количественного определения этих оптических констант рудных минералов описана в работах М. Берека (1936 г.), А. Ф. Турнера, И. Р. Бенфорда и В. И. Маклина (1945 г.), Ю. Н. Кэмерона (1966).

Методы количественного измерения микротвердости. Эти методы имеют большое значение при проведении специальных исследований по уточнению диагностики некоторых весьма сходных по физическим и химическим свойствам минералов (например, теллуридов и селенидов золота, арсенидов никеля и кобальта, минералов тантала и ниобия и др.).

Методы инфракрасной микроскопии. Некоторые рудные минералы, такие как вольфрамит, колумбит—танталит, сульфосиды и др., непрозрачны в видимой области спектра, прозрачны в ближней инфракрасной области. Изучение непрозрачных минералов в ближнем инфракрасном свете было предпринято в 1935 г. Байи (Baillu, 1938, 1947), который заменил окуляр поляризационного микроскопа фотоэлементом, чувствительным к инфракрасному излучению. Впоследствии эти работы расширились (Beugnies, 1958; 1966—1967; Toubeau, 1961, 1964; Gervell и др., 1966).

Бэни (Beugnies, 1958) установил на окуляре микроскопа инфракрасную камеру, имеющую преобразователь отражений. Принцип микроскопического исследования заключается в изучении прозрачно-полированных шлифов, изготовленных из рудных (непрозрачных) минералов. Шлиф помещают на столик микроскопа и освещают от источника инфракрасного света; с помощью преобразователя невидимое изображение, полученное на фотокатоде, превращается в видимое на флуоресцирующем экране—аноде. В ближнем инфракрасном свете определяют оптические константы, которые обычно измеряют для прозрачных минералов: двупреломление, угол оптических осей, угол погасания, оптический знак.

Тубо (Toubeau, 1961) установил, что прозрачными в инфракрасном свете являются антимонит, молибденит, аргиродит, стеганит, пираргирит, прустит, тетраэдрит, теннантит, фаматинит, энаргит, бурнонит, буланжерит, джемсонит, гематит, ильменит, рутил, гётит, хромит, колумбит—танталит, вольфрамит. Для этих минералов им было измерено двупреломление, угол погасания, определена осьность, измерен угол оптических осей.

Таким образом, используя метод изучения непрозрачных минералов в ближнем инфракрасном свете, исследователь получает целый набор дополнительных оптических констант с численными характеристиками, ранее известных только для прозрачных минералов.

Метод количественного определения химического состава с помощью рентгеновского микроанализатора. В последнее время при изучении рудных минералов в отраженном свете применяется электронно-зондовый рентгеновский микроанализатор. Он предназначен для проведения качественных и количественных

анализов микроучастков в полированных шлифах без предварительного их разрушения. Принцип этих анализов заключается в следующем. На образец направляют узко сфокусированный пучок электронных лучей. Отраженные от полированной поверхности изучаемого объекта в полированном шлифе лучи разлагаются в спектр при помощи вакуумного рентгеновского спектроскопа. Измеряя длину волн и интенсивность характеристических рентгеновских лучей, можно определить, какие элементы и в каком количестве находятся в данном участке образца.

Этот метод сейчас широко применяется при изучении микровключений, недоступных для точной диагностики обычными микроскопическими методами. С помощью рентгеновского микроанализатора диагностирован и заново открыт ряд минералов Pt, Se, Te, Bi, Sn и др. Метод исследования на рентгеновском микроанализаторе подробно изложен в работах О. Е. Юшко-Захаровой и Л. А. Черняева и в специальном руководстве коллектива авторов (С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева и И. Е. Максимюк «Диагностические свойства рудных минералов», 1969).

Ниже приводится описание методов и приборов для количественного измерения физических констант рудных минералов.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Фотометрический окуляр И. С. Вольнского (рис. 25) представляет собой обычный окуляр, в фокальную плоскость которого вводится прозрачный оптический клин. Последний изготовлен путем «клиновидного» напыления платины на одной продольной половине прямоугольной сте-

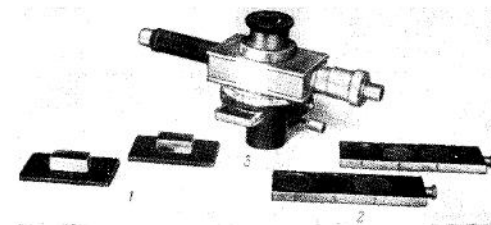


Рис. 25. Прибор ОКФ-1
1 — эталоны; 2 — светофильтры; 3 — общий вид

клянной пластины (область а, рис. 26). Вторая половина пластины (область б) не покрыта пленкой напыления; ее светопропускаемость принимается за единицу. Границы раздела двух областей клина проходят через центр поля зрения.

Клиновидная пленка напыленного металла представляет собой оптический клин: в тонком конце напыления он сходит на нет. Светопропускание клина в этом конце пластины приближается к 1. В толстом (темном) конце клин обладает минимумом светопропускания—около 0,2.

Светопропускание по всей его длине убывает от 1 до 0,2 по закону геометрической прогрессии, выражаемому для клина длиной 8 мм формулой

$$d = 0,9^{2l},$$

где l — линейное расстояние от начала клина до какой-либо его части в мм;
 d — соответствующее этой части светопропускание клина (в долях единицы).

На продольной половине стеклянной пластины, не покрытой металлической пленкой, нанесены на равных расстояниях штрихи линейной измерительной шкалы.

Перед работой клин должен быть проградуирован способом точного фотометрирования в проходящем свете и для каждого деления должны быть рассчитаны значения d и $1-d$.

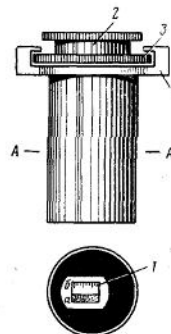


Рис. 26. Фотометрический окуляр (ОКФ-1) Волынского

1 — пластинка с оптическим клином; 2 — глазная линза; 3 — механизм для передвижения оптического клина; 4 — защелки

а — область клиновидного выпячивания пластины; б — область, не покрытая выпячением пластины

Условия работы:

1. Граница определяемого минерала и минерала-эталоны устанавливается в центре поля зрения и должна совпадать с линией раздела двух областей пластинки.

2. Минерал с большей отражательной способностью (R_1) устанавливают под светопоглощающей областью пластинки. Минерал с меньшей отражательной способностью (R_2) — под областью полного светопропускания пластины. После этого вводят шторку со щелью и уравнивают освещенности обоих минералов путем постепенного затемнения минерала с большей отражательной способностью. Момент равенства освещенностей (d) и отражательную способность минерала определяют по формуле

$$R_2 = R_1 \cdot d.$$

Для характеристики отражательной способности бесцветных минералов достаточно измерения в желтом свете. Для цветных минералов измерение должно быть проведено в желтом, красном и зеленом свете. Это даст возможность полнее характеризовать дисперсию отражательной способности этих минералов.

Таким образом, с помощью фотометрического окуляра можно определить дисперсию отражательной способности, т. е. цвет или оттенок минерала в отраженном свете. Цвет или оттенок минерала в белом свете характеризуют кривые дисперсии отражательной способности, которые строят по результатам измерения отражательной способности для различных участков монохроматического спектра с помощью введения в систему зеленого (440—486), желтого (520—589 нм) и красного (626—700 нм) светофильтров.

Для минералов, оптически анизотропных, измеряют главные показатели отражения R_g , R_p , R_e и R_o и соответственно определяют их максимальную и минимальную отражательную способность и дисперсию отражательной способности минералов (двуотражение) по формулам

$$\Delta R_{g-p}^{abc} = R_g - R_p,$$

$$\Delta R_{g-p}^{opt} = \frac{\Delta R_{g-p}^{abc}}{R_g} = 1 - \frac{R_p}{R_g}.$$

С помощью фотометрического окуляра можно ориентировочно определять ось и оптический знак анизотропных минералов.

На точность измерения отражательной способности оказывают влияние дефекты полировки шлифа и резкая разница между минералами по относительному рельефу.

Р. Е. Фолинсби (1949) измерял отражательную способность с помощью стандартного фотометрического экспонометра, укрепленного на тубусе микроскопа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ С КАМЕРОЙ ИНОСТРАНЦЕВА ПО МЕТОДУ ВАХРОМЕЕВА

С. А. Вахромеевым была разработана методика количественного измерения отражательной способности минералов с помощью камеры Иностранцева.

Измерения отражательной способности производят в поляризованном свете. В качестве эталонов применяют полированную пластинку платины, отражательная способность которой равна 70%. При повороте анализатора от 0 до 90° происходит постепенное изменение освещенности платины. Это и дает возможность сравнивать отражательную способность платины с отражательной способностью исследуемых минералов.

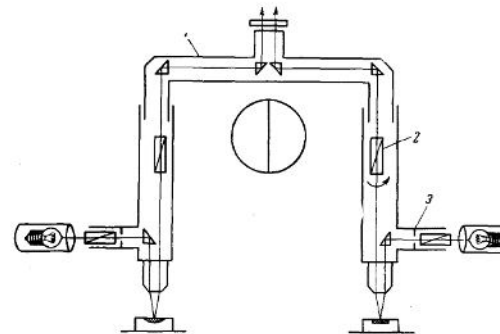


Рис. 27. Установка с камерой Иностранцева для определения отражательной способности минералов в отраженном свете (по Вахромееву)
 1 — камера Иностранцева; 2 — вращающийся анализатор; 3 — поляризатор

Известно, что энергия световой волны пропорциональна квадрату синуса угла поворота николя, поэтому отражательная способность исследуемого минерала равна отражательной способности эталона, умноженной на квадрат синуса угла поворота анализатора. Таким образом, если на один микроскоп сравнительной установки (рис. 27) поместить исследуемый минерал, а на другой эталон — платину, установив предварительно николи обоих микроскопов в параллельное положение, то отражательную способность минерала и платины можно сделать почти одинаковой. Это достигается поворотом анализатора микроскопа, на котором установлена платина.

Отражательная способность исследуемого минерала вычисляется по формуле

$$R_m = R_s \cdot \sin^2 \alpha,$$

где R_m — отражательная способность минерала;

R_s — отражательная способность эталона;

α — угол поворота николя.

С. А. Вахромеевым была построена кривая, с помощью которой отражательную способность минералов определяют по углу поворота анализатора (рис. 28).

Пример. Определение минералов группы окислов и гидроокислов железа. В основу диагностики минералов группы окислов и гидроокислов железа в отраженном свете в полированных шлифах положено количественное значение их отражательной способности.

Автором данного руководства построена кривая отражательной способности для окислов и гидроокислов железа и марганца (рис. 29). На ординате отложены значения отражательной способности от 45 до 0%. На абсциссе даны значения поворота николя от 0 до 90°, соответствующие различному отражению платины, от темного до светлого. При этом для наглядности вертикальный масштаб диаграмм взят в три раза больше горизонтального.

По этой кривой отражательная способность исследуемого минерала может быть определена графически. Точность метода колеблется: 1—2% для минералов с низкой отражательной способностью, 5—10% для минералов с высокой отражательной способностью. Это связано с особенностью восприятия света глазом, который достаточно тонко различает отражательную способность низкоотражающих минералов.

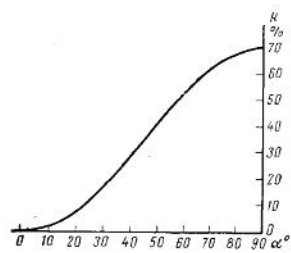


Рис. 28. Кривая для определения отражательной способности (по Вахромееву)

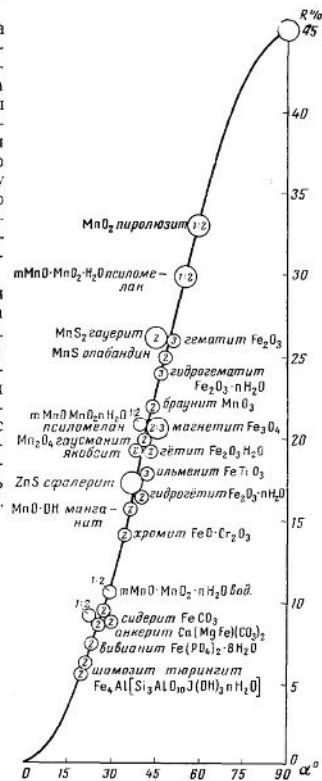


Рис. 29. Кривая для определения отражательной способности минералов группы окислов и гидроокислов железа и марганца (составлена С. А. Юшко)
 R — отражательная способность в %; α — угол поворота николя
 1 — прямой отпечаток с уксуснокислым бензидином; 2 — растворитель HCl (1:1); проявитель красная кровяная соль; 3 — растворитель азотная кислота (1:1); проявитель желтая кровяная соль

К высокой степени отражения света у минералов с большой отражательной способностью чувствительность глаза значительно меньше.

На этой кривой минералы группы окислов и гидроокислов железа расположены следующим образом. Наибольшей отражательной способностью из группы окислов и гидроокислов железа обладает гематит, отражательная способность его равна 26%. Несколько меньшую отражательную способность обнаруживает гидрогематит, причем его отражательная способность теснейшим образом связана с содержанием в нем воды и изменяется от 24 до 22%. Для магнетита характерна отражательная способность 21%, для гётита 20%. Минералы группы гидрогётита характеризуются отражательной способностью от 19 до 17%. Наименьшей отражательной способностью обладают минералы с большим содержанием воды. Количественные выражения отражательной способности этих хорошо различимых на глаз минералов отличаются настолько незначительно, что малоопытному исследователю не всегда удается точно ее измерить. Поэтому рекомендуется использовать также цвета внутренних рефлексов, на основании которых все окислы и гидроокислы железа легко могут быть разбиты на три основные группы.

Первая группа (гематит — гидрогематит) характеризуется малиново-красными внутренними рефлексамии. Вторая группа непрозрачных минералов (магнетит) характеризуется полным отсутствием внутренних рефлексов. Третья группа (гётит и гидрогётит) характеризуется коричневыми и желтыми оттенками внутренних рефлексов.

Пользуясь этими свойствами и зная отражательную способность, можно не производить точные количественные измерения для всех минералов этих трех групп, а достаточно измерить отражательную способность лишь одного минерала. Все же остальные минералы могут быть установлены по отражательной способности путем сравнения с данным минералом. Так, если в полированном шлифе имеется магнетит, то обе группы гидроокислов железа могут быть выделены путем сравнения их отражательной способности с отражательной способностью магнетита и определения цвета их внутренних рефлексов.

Как видно на рис. 29, минералы марганца, обладающие отражательной способностью большей, чем магнетит (псиломелан, пиролюзит), в отличие от минералов группы гематита — гидрогематита, или не обладают вовсе внутренними рефлексамии (пиролюзит), или, если и обладают, то окраска их коричневая или бурая. Наоборот, минералы группы гидроокислов марганца, отражательная способность которых ниже, чем у магнетита (бурнонит, гаусманит и др.), характеризуются красными внутренними рефлексамии. Поэтому, будучи одинаковыми по отражательной способности с минералами группы гётита и гидрогётита, отличаются от них внутренними рефлексамии.

Для уточнения диагностики отдельных минералов этих групп применяются микрохимические реакции.

ФОТОЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Фотоэлектрометрический метод основан на измерении отражательной способности минералов с помощью фотоэлектрического эффекта. Фотоэлектрическим эффектом называется выделение электронов из вещества под действием света. Эйнштейн обосновал теоретически количественную связь между энергией, полученной электроном, и частотой падающего света ν . По Эйнштейну, закон фотоэффекта выражается формулой $E = h\nu$, где $h = 6,547 \cdot 10^{-27}$ эрг-сек — постоянная Планка. Интенсивность света определяется числом квантов, падающих на по-

верхность в единицу времени. Число освобожденных электронов должно быть пропорционально числу падающих квантов; при этом, как показывает опыт, лишь малая часть квантов передает свою энергию отдельным электронам.

При выяснении зависимости силы фототока от длины волны установлено, что с уменьшением длины волны (λ) сила тока на единицу поглощенной энергии возрастает (рис. 30). Это означает, что свет более короткой волны более эффективен. Чем короче волна падающего света, тем в единице поглощенной энергии меньше квантов.

Опыты показали, что ход зависимости, изображенный на рис. 30, не всегда имеет место.

У ряда металлов наблюдается следующая особенность: сила тока имеет резко выраженный максимум для определенного спектрального участка и быстро спадает по обе его стороны — селективный или избирательный фотоэффект. В данном случае электроны в металле как будто бы обладают собственным периодом, так что по мере приближения частоты возбуждающего света к собственной частоте электронов амплитуда их возрастает, и они преодолевают работу выхода.

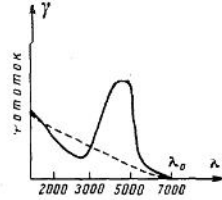


Рис. 30. Кривые, характеризующие зависимость силы фототока от длины волны света

Ландсберг, в подтверждение подобного взгляда, считает, что явление селективного фотоэффекта сильно зависит от направления поляризации света и угла падения. Если падающий свет поляризован так, что электрический вектор параллелен плоскости падения, то эффект резко усиливается. Наоборот, при повороте плоскости поляризации на 90° селективный эффект исчезает.

Приборы, с помощью которых световая энергия преобразуется в электрическую, называются фотоэлементами.

При облучении фотоэлемента светом в нем возникает фотоэлектродвижущая сила, а в цепи, содержащей фотоэлемент, появляется электрический ток. Сила такого фотоэлектрического тока прямо пропорциональна интенсивности света. Поэтому измерение интенсивности света этим методом сводится к измерению силы электрического тока.

Существуют вакуумные фотоэлементы и фотоэлементы с запирающим слоем. Наиболее широко применяются фотоэлементы с запирающим слоем.

Впервые фотоэлектрический эффект при измерении интенсивности отраженного света от полированной поверхности минералов был применен Ж. Орседем (1937 г.). Для этой цели им были использованы щелочные вакуумные фотоэлементы и селеновые фотоэлементы с запирающим слоем. Позднее для измерения отражательной способности минералов селеновые фотоэлементы были применены И. С. Волюнским (1947 г.) и И. А. Пудовкиной (1957).

Однако с помощью этих приборов можно измерять отражательную способность только у относительно крупных выделений минералов в полированных шлифах в отраженном свете. При измерении более мелких объектов необходимо применять большие увеличения и сильно диафрагмировать отраженный световой пучок. Вследствие этого чувствительность фотоэлементов становится недостаточной, особенно если измерения производить в монохроматическом свете. Н. В. Королевым и Л. С. Агроскиным был смонтирован весьма чувствительный прибор для измерения отражательной способности рудных минералов в видимой и ультрафиолетовой области спектра по методу светового зонда

(1959 г.). Этот прибор позволяет измерять отражательную способность минералов, зерна которых составляют 0,01 мм. Несмотря на большие достоинства этой фотоэлектрической установки, схема ее сложна, что затрудняет ее монтаж в обычных минералогических лабораториях.

А. Д. Ракчевым смонтирована более простая установка для определения отражательной способности рудных минералов, размер зерен которых не превышает сотые доли миллиметра. Установка приспособлена для работы на поляризационном микроскопе МП-3 с опак-иллю-

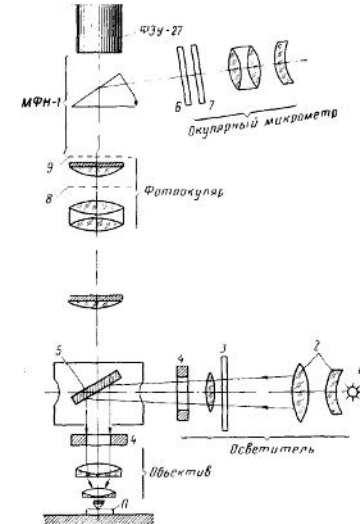


Рис. 31. Схема прибора для определения отражательной способности и твердости (ФЭУ-27) по Пудовкиной
1 — объектив света; 2 — конденсатор; 3 — светофильтр; 4 — диафрагма; 5 — отражательная пластинка; 6 — подвижная сетка; 7 — неподвижная сетка; 8 — диафрагма; 9 — интерференционный светофильтр; П — предмет

минатором. Измерения отражательной способности производились с помощью фотоэлектронного умножителя. Применение последнего позволяло многократно увеличить чувствительность прибора и в значительной степени упростить измерение отражательной способности минералов. Дисперсно отражательной способности А. Д. Ракчевым измерял с помощью микрофотометра МФ-2. Им же созданы установки для определения показателя поглощения и показателя преломления, а также установка для прямого определения отражательной способности (А. Д. Ракчев, 1960—1967 гг.).

И. А. Пудовкиной для измерения отражательной способности и дисперсии отражательной способности минералов в отраженном свете сконструирована специальная фотоэлектрическая приставка к прибору ПМТ-3 (рис. 31). Эта фотоэлектрическая приставка включает фото-

электронный умножитель ФЭУ-27 с областью спектральной чувствительности $3 \cdot 10^{-11}$ лм.

Для определения дисперсии отражательной способности с целью количественной характеристики цвета рудных минералов в отраженном свете в рабочем комплекте прибора имеется набор интерференционных светофильтров в диапазоне длин волн 403—688 мкм. Светофильтры размещены в кассете, прикрепленной к фотоэлектрической приставке. Устройство последней обеспечивает полуавтоматическую подачу одного из 28 светофильтров на фотоокуляр тубуса микроскопа ПМТ-3, который необходим для получения соответствующего монохроматического света.

В фотоокуляр прибора вставлена диафрагма с тремя отверстиями диаметром 3,0; 1,0 и 0,5 мм; с помощью последних можно выделить на шлифе участок для измерения отражательной способности и дисперсии отражательной способности рудных минералов. С помощью этой диафрагмы можно подвергать измерению участки шлифа размером до 0,03 мм. В качестве регистрирующего прибора фотоэлектронного тока используется микроамперметр теневого типа М-194.

Преимуществом прибора конструкции И. А. Пудовкиной является его компактность и портативность. Кроме того, он снабжен специальным блоком питания, благодаря чему устранена потребность в аккумуляторе и выпрямителе для питания источника света. Не нужен и систематический контроль над стабильностью света в процессе измерения, так как силовая часть прибора обеспечивает необходимую точность и стабильность источника света при колебаниях питающего напряжения в пределах $\pm 10\%$.

Измерения отражательной способности и дисперсии отражательной способности на приборе И. А. Пудовкиной проводят следующим образом.

На столик прибора ПМТ-3 помещают шлиф с минералом и выбирают наиболее чистый участок у минерала, обладающего наибольшей отражательной способностью в шлифе; затем открывают шторку, закрывающую фотоэлектронный умножитель, и направляют отраженный от минерала световой поток на фотокатод электронного умножителя. По показаниям микроамперметра определяют интенсивность отраженного света. При этом если интенсивность света превышает 100—120 мкА, необходимо с помощью диафрагмы уменьшить световой поток до величины, не превышающей 120 мкА. После этого можно переходить к измерению отражательной способности определяемого минерала и минерала-эталона. Отражательную способность минерала определяют, подставляя данные измерения в следующую формулу:

$$R_m = \frac{R_s}{I_s} \cdot I_m,$$

где R_m — отражательная способность минерала;

R_s — отражательная способность эталона;

I_m — ток ФЭУ при измерении отраженного светового потока исследуемого минерала;

I_s — ток ФЭУ при измерении светового потока эталона.

При оценке дисперсии отражательной способности необходимо строго фиксировать длины волн светофильтров, применяемых при измерении отражательной способности минералов. По окончании работы по полученным данным измерения отражательной способности минерала в монохроматическом свете строятся кривые подобные тем, которые изображены на рис. 1. Максимумы на таких кривых, отвечающие определенным спектральным отрезкам монохроматического света, характеризуют окраску или оттенок минералов в белом свете. Наиболее

совершенным прибором из сконструированных в ВИМСе является «Яшма». Прибор типа «Яшма» (А. Л. Якубович, А. А. Ширяшев и др., 1965 г.) разработан на базе фотоэлектронных умножителей. Он включает в себя рудный микроскоп МИН-6, блок усилительно-регистрающего и питающего устройства и две фотометрические насадки, размещенные над и под микроскопом. Каждая из фотометрических насадок состоит из ФЭУ с делителем напряжения, заключенных в дуралюминиевый и пермаллиевый экраны; экраны защищают ФЭУ от постороннего света, а также от влияния электрических и магнитных полей.

Этот прибор позволяет на одном участке микрообъекта получать кривые дисперсии R и T (пропускаемость) в видимой и коротковолновой ИК-области спектра без применения эталонов в процессе измерения. В видимой части спектра измерение R и T осуществляется с помощью сменных интерференционных светофильтров (10 шт.), устанавливаемых перед лампой осветителя микроскопа. Минимальный размер участка для измерения R составляет 0,01—0,05 мм. Он совпадает с минимальным участком для измерения T , занимая примерно десятую его часть.

С помощью прибора «Яшма» определения проводятся по отношению отраженного от образца светового потока, или прошедшего через него, к падающему на объект световому потоку, приведенному к 100%. Это осуществляется с помощью поворотной прозрачной пластинки опалчллюминатора, имеющей два фиксированных положения. Такое устройство позволяет градуировать прибор перед измерениями и контролировать результаты в процессе измерения.

В качестве измерительного прибора используется микроамперметр типа М-24 на 100 мкА. Весь диапазон измеряемых величин разбит на пять шкал: 10%, 20%, 40%, 60% и 100%, что позволяет производить отсчеты с точностью соответственно: 0,1%, 0,2%, 0,4%, 0,6% и 1,0%. Это позволяет производить измерения в разных диапазонах спектра. Точность измерения R и T на приборе «Яшма» составляет $\pm 2\%$ относительных.

В 1963 г. оптической промышленностью СССР была выпущена малой серий фотометрическая насадка ФМЭ-1, которую можно установить на любой поляризационный микроскоп, имеющий гнездо для насадки окулярных тубусов (МИН-8, МИН-9, МИН-10). Измерение отражательной способности проводится в белом свете и в монохроматическом свете видимой части спектра длин волн от 430 до 700 нм. В осветительную систему может быть включен один из девяти светофильтров с длинами волн 438, 466, 486, 520, 554, 589, 626 и 700 нм. В качестве приемника регистрации светового сигнала при микрофотометрических работах используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-32.

Относительная погрешность измерения коэффициентов отражения и пропускания не превышает 2%. Наименьший размер измеряемых зерен 0,02 мм.

Общий вид насадки ФМЭ-1, установленной на микроскопе МИН-9, изображен на рис. 32. Лучи света (рис. 33), прошедшие через объектив микроскопа 1, идут через осветительные линзы 2, которые проектируют изображение объекта на вогнутое зеркало 3. Плоское зеркало 4 и ахроматический объектив 5 переносят изображение на фокальную плоскость окуляра 6. В слое алюминия вогнутого зеркала оставлено «отверстие» диаметром 0,5 мм. Через это отверстие проходит узкий пучок света, который при помощи отрицательной линзы 8 широким пучком направляется на катод фотоэлектронного умножителя 9. Отверстие в слое алюминия вогнутого зеркала проектируется в поле зрения окуляра в виде небольшого темного пятна. Между вогнутым зеркалом и

отрицательной линзой вставляется сменный монохроматический свето-фильтр 7.

Блок питания обеспечивает преобразование световых потоков в электрический сигнал и его измерение компенсационным методом в относительных единицах. От блока питания стабилизированное напря-

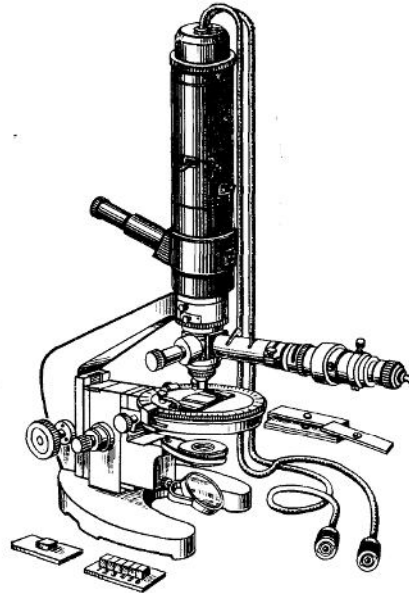


Рис. 32. Общий вид микрофотометрической насадки на рудном поляризационном микроскопе МИН-9

жение поступает в цепь фотоэлектронного умножителя, компенсационную измерительную цепь и на усилитель постоянного тока.

Метод измерения отражательной способности на приборе ФМЭ-1 относительный. Он основан на сравнении отражательной способности исследуемого минерала с эталоном, в связи с этим существенную роль играет выбор эталона.

Таблица 7
Эталон, применяемые для определения отражательной способности минералов

Пределы коэффициента отражения измеряемого минерала, %	Рекомендуемый эталон для отраженного света
1—15	Эталон из набора стеклянных пластинок № 1 № 2
10—60	
40—100	

При измерении исследуемых минералов с различными коэффициентами отражения рекомендуется применять эталоны в соответствии с табл. 7.

Измерение коэффициентов отражения и пропускания производится путем сравнения показаний магазина сопротивления эталона с коэффициентом отражения измеряемого минерала.

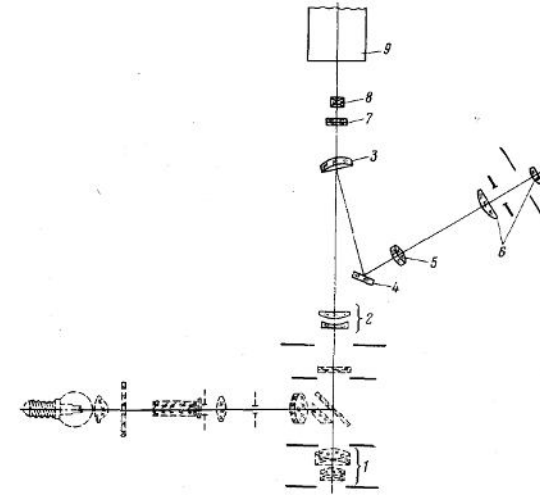


Рис. 33. Оптическая схема микрофотометрической насадки совместно с оптической схемой рудного поляризационного микроскопа МИН-9
1 — объектив микроскопа; 2 — осветительные линзы; 3 — вогнутое зеркало с «отверстием» в слое алюминия; 4 — плоское зеркало; 5 — ахроматический объектив микрофотометрической насадки; 6 — окуляр; 7 — сменные монохроматические фильтры; 8 — отрицательная линза; 9 — фотоэлектронный умножитель. Детали микроскопа показаны пунктиром

Наличие рассеянного света в приборе, вызванного рефlekсами от деталей микрообъектива, вносит погрешность при измерении коэффициентов отражения и поглощения, поэтому его необходимо учитывать.

Конструкторским бюро ВСЕГЕИ разработана и внедрена для измерения отражательной способности установка ПООС-1*.

В отличие от прибора ФМЭ-1 установка ПООС-1 позволяет исследовать меньшую площадь объекта, более стабильна и удобна в работе. Установка состоит из спектрофотометрической насадки, гальванометра и измерительного пульта. П-образный металлический корпус насадки монтируется на тубусе поляризационного микроскопа типа МИН или МП (рис. 34).

Оптическая схема ПООС-1 (рис. 35) включает в себя оптическую насадку и микроскоп. Изображение объекта проектируется линзами 1,

* Г. Н. Бурз, В. Е. Клейнбок «Установка ПООС-1 для измерения отражательной способности микрокомпонентов углей, минералов и других объектов». (Описание и инструкция по эксплуатации). Министерство геологии СССР (ВСЕГЕИ), Л., 1966.

2, 3 на алюминированную поверхность линзы 6. Линза 6 наклонена под углом 10° , что дает возможность при помощи зеркала 4, объектива 5 и сменного окуляра наблюдать изображение объекта. На алюминированной поверхности линзы 6 в центре с участка диаметром 0,2 мм снят слой алюминия. Это отверстие в алюминированном слое, расположенное в плоскости изображения объекта, является полевой диафрагмой и позволяет в зависимости от увеличения применяемого объектива выделять на объекте малые участки диаметром до нескольких микрон. Диа-

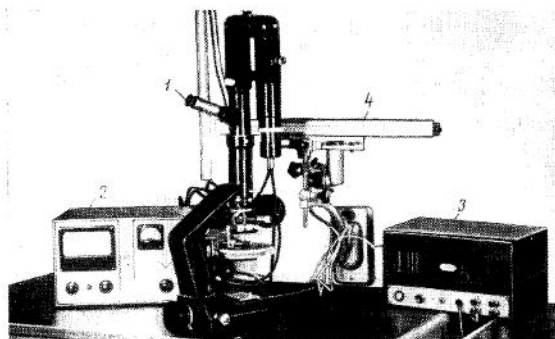


Рис. 34. Общий вид прибора ПООС-1
1 — оптическая насадка; 2 — измерительный блок; 3 — блок питания; 4 — шкала гальванометра

фрагма видна в поле зрения в виде темного, расположенного в центре кружочка. Свет, прошедший через это отверстие, при помощи объектива 7 и зеркала 8 попадает на дифракционную решетку 9 (600 штрихов на 1 мм) и разлагается в спектр. На плоскость щели свет направляется объективом 10. Вырезанный щелью участок спектра направляется коллективной линзой 11 на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), вызывая соответствующий фототок, который измеряется высокочувствительным гальванометром. Дифракционная решетка 9 может поворачиваться соответствующим микрометрическим механизмом, освещая щель различными участками спектра; при ширине щели 0,3 мм спектральная частота света, падающего на ФЭУ (12), 8 нм. В опак-иллюминаторе микроскопа используются для освещения лампы типа СЦ-61 со специальным патроном и центрировочным устройством.

Таким образом, оптическая схема установки позволяет выделить на объекте микроучасток для фотометрирования и направить свет, отраженный от этого участка и предварительно разложенный в спектр, на фотокатод электронного умножителя.

Определение отражательной способности основано на измерении фототока, вызванного светом, отраженным от поверхности исследуемого и эталонного объектов, и характеризует отражательную способность объекта.

В измерительном пульте находятся высоковольтный преобразователь для питания ФЭУ, полупроводниковый стабилизатор низкого напряжения для питания лампочки осветителя микроскопа и источника питания. В комплект установки входит также набор эталонов.

Для определения отражательной способности объекта в воздухе на столик микроскопа помещают эталон и, изменяя коэффициент усиле-

ния ФЭУ, устанавливают на шкале гальванометра значение коэффициента отражения эталона в процентах. Затем эталон снимают, и компенсируют ток ФЭУ и фототок. В этом случае стрелка гальванометра должна быть на нуле. После этого устанавливают исследуемый объект и по шкале гальванометра непосредственно берут отсчет, соответствующий коэффициенту отражения объекта в процентах. Наименьший размер измеряемых зерен 0,002 мм. Дисперсия отраженного и проходящего света измеряется в диапазоне длин волн 400—600 нм.

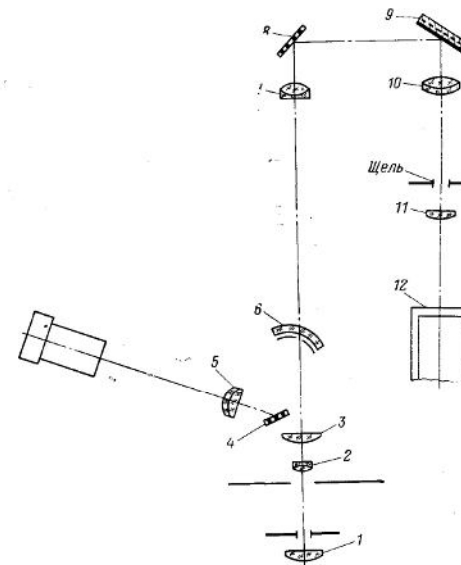


Рис. 35. Оптическая схема прибора ПООС-1

Монохроматизация света в ПООС-1 производится с помощью дифракционной решетки.

Применение монохроматического света, получаемого либо с помощью светофильтров, либо с помощью монохроматоров или дифракционной решетки, позволяет измерять отражательную способность избирательно в различных участках длин волн от 400 до 700 нм и устанавливать дисперсию отражательной способности, т. е. количественно охарактеризовать цвет и оттенок минерала в отраженном свете.

Таким образом, с помощью всех вышеописанных фотометрических и фотоэлектронметрических приборов количественное измерение отражательной способности и дисперсии отражательной способности может осуществляться непосредственным сравнением исследуемого минерала с соответствующими эталонными минералами (установки Р. Е. Фолинсби, М. Грея и Пильмана и др.) или измерением фототока.

Полученные в результате измерения отражательной способности значения R для различных условий монохроматического освещения тре-

буют соответственной обработки и систематизации независимо от того, каким из методов они проводились.

Одним из наиболее распространенных способов систематизации данных является графическая обработка результатов — построение кривых дисперсии (Ж. Орсель, 1934 г.). Строятся такие кривые по координатной системе. Значения длин волн света (в нм) откладываются по оси абсцисс (1 см на каждые 10 нм длины волны 400—700 нм), а значения отражательной способности (в %) — по оси ординат (1 см на 1%). Серии полученных точек объединяются на графике в виде кривых. Такие кривые представляют графическое выражение дисперсии отражательной способности. Характер кривых дисперсии отражательной способности изотропных минералов одинаково для всех сечений. Для минералов анизотропных и особенно обладающих ясно выраженным двуотражением получено несколько кривых (см. рис. 1). Кривые дисперсии отражательной способности минералов могут быть использованы для количественной колориметрической характеристики минералов в белом свете (цвет и оттенок минералов в отраженном свете) (Pillet, 1966).

В настоящее время в периодической литературе и в справочных руководствах приведены результаты измерения отражательной способности подавляющего большинства рудных минералов. Отражательная способность определялась с помощью различных фотометрических и электрофотометрических насадок к обычным рудным микроскопам, а также специально сконструированными для этой цели приборами. При этом измерения проводились как в белом, так и в монохроматическом свете. Так как измерения велись в основном по методу сравнения, то в качестве эталонов сравнения применялись либо природные минералы (галенит, пирит, сфалерит и др.), либо специально изготовленные для этого искусственные эталоны. Отсутствие стабильности условий при измерении привело к значительным колебаниям в величинах отражательной способности большинства рудных минералов, приводимых различными исследователями в соответствующих справочных руководствах. Главными причинами таких расхождений могут быть неодинаковая чувствительность в разных областях спектра применяемых измерительных устройств, измерение отражательной способности при белом свете с непостоянной хроматической устойчивостью, недооценка влияния на полученные результаты измерений различной ориентировки направлений колебаний падающего поляризованного света (если измерения проводились с использованием поляризованного света), а также интенсивности последнего, недооценка влияния характера изоморфных примесей, условий образования измеряемого минерала и качество его полировки. Однако отсутствие стандартных эталонов несомненно является главной причиной непостоянства результатов измерения величины отражательной способности.

Вследствие этого комиссией по рудной микроскопии при Международной минералогической ассоциации было принято решение рекомендовать в качестве основных эталонов для слабо отражающих минералов алмаз и кристаллы синтетического корунда; для минералов со средними значениями отражательной способности — металлический кремний; для минералов высоко отражающих — металлический галлий, платину, алюминий и ртуть. Т. Н. Шадлун предложила в качестве международного эталона использовать пирит из Берёзовского золоторудного месторождения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ АНИЗОТРОПНОСТИ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

М. Берекон (1936 г.) сконструирован специальный компенсатор для измерения константы отраженного эллиптически поляризованного

света. Эту константу он назвал характерным углом τ . Угол представляет собой сдвиг фазы между направлением колебаний отраженного света и колебаниями света в поляризаторе. Для оптически одноосных кристаллов угол τ почти всегда постоянный и не зависит от среза зерна рудного минерала в плоскости полированного шлифа. У оптически двуосных минералов этот угол варьирует от -90° до $+90^\circ$ в зависимости от пространственной ориентировки срезов зерен в шлифе. Следовательно, если в полированном шлифе имеется два или более срезов зерен одного минерала, то оптически одноосные минералы могут быть легко отличены от двуосных.

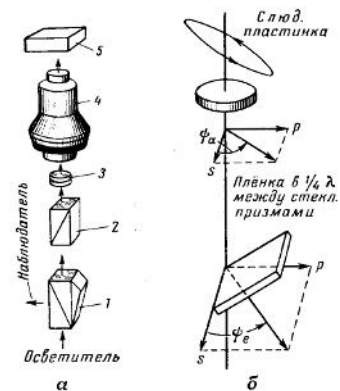


Рис. 36. Схема микроскопа для определения степени эффекта анизотропии в отраженном поляризованном свете
а — элементы оптической системы компенсатора
1 — призма Фостера (поляризационная вертикальная иллюминаторная призма); 2 — ротационный компенсатор (пленка в $1/4 \lambda$ между стеклянными призмами); 3 — эллиптический компенсатор (тонкая слюдяная пластинка); 4 — объектив; 5 — объектив
б — изменение в состоянии поляризации света, прошедшего через компенсатор

Компенсатор был сконструирован для работы на поляризационном рудном микроскопе с opak-иллюминатором.

Поверхность полированного шлифа должна быть строго перпендикулярна к оси микроскопа и параллельна плоскости столика микроскопа. В противном случае одна часть поля зрения шлифа будет освещена лучше, чем другая, а при вращении столика освещение различных участков шлифа будет меняться, что сильно мешает изучению анизотропии.

Метод шлифовки и полировки шлифа также сильно влияет на степень анизотропии минералов в отраженном свете. Характерный угол τ обычно бывает много меньше у плохо отполированных минералов. Наиболее высокие значения дают естественные кристаллические грани минералов. Уменьшение угла τ стоит в связи с аморфной пленкой, образующейся на поверхности минералов при их полировке. Чем тоньше аморфная пленка, тем больше угол τ и тем он ближе к истин-

ному для минерала углу τ , определенному на естественных гранях минералов.

Турнер, Бенфорд и Мак-Лин (1945 г.), основываясь на теории, разработанной Берком, сконструировали аппаратуру для работы с этой более совершенной оптической системой, использующей кальцитовую призму Фостера (рис. 36).

Для определения констант эллиптически отраженного поляризованного света применены два компенсирующих прибора: 1) для измерения сдвига фазы и 2) для измерения вращения плоскости поляризации.

В СССР методика изучения поляризационных фигур была освещена Ю. С. Бородаевым (1965). В работе отмечается, что для изучения поляризационных фигур в сходящемся свете наиболее пригоден микроскоп МИН-8 с опак-иллюминатором ОИ-12 благодаря наличию линзы Бертрапа и вращающегося анализатора со шкалой, а также хорошему качеству самой оптической системы. Наилучшие результаты могли быть получены при объективе 40X, позволяющем работать с зернами минимального размера порядка 0,1 мкм, которые пригодны для изучения коноскопических фигур. Монохроматический свет получался с помощью трех имеющихся в микроскопе МИН-8 интерференционных светофильтров с длинами волн 486, 589 и 620 нм.

Для измерения углов поворота анализатора шкала с ценой делений 5° недостаточна и должна быть заменена на более дробную шкалу с делениями через 1°. Введение соответствующего нониуса позволит повысить точность отсчета до 0,1°.

Поскольку при измерениях приходится вращать анализатор в обе стороны от его нулевого положения, соответствующего полному скрещиванию, необходимо, чтобы это нулевое положение находилось в середине шкалы. Для этого опак-иллюминатор вместе с находящимся в нем поляризатором нужно повернуть на 45° вправо от его нормального положения.

Последовательность наблюдений и измерений поляризационных фигур на анизотропных сечениях следующая.

1. а) При точно скрещенных николях выбранное зерно ставится в положение максимального угасания. Удаляется окуляр или вводится линза Бертрапа. В поле зрения появляется черный крест.

б) Вращают анализатор. Крест распадается на две гиперболы. Наблюдают характер цветных кайм и делают вывод об относительной дисперсии отражения (DR_r).

II. а) Восстанавливают нулевое положение анализатора. В поле зрения снова возникает крест. Берут отсчет на столике и записывают его как нулевую точку.

б) Поворачивают столик микроскопа на 45° по часовой стрелке. Изогиры, на которые распадается крест, расходятся на максимальное расстояние. Наблюдают цветные каймы, свидетельствующие об относительной дисперсии видимого угла вращения (DA_r), оценивают степень расхождения изогир в процентах к диаметру поля зрения.

III. а) Заменяют белый свет на монохроматический. Вращением анализатора восстанавливают крест. Отмечают направление поворота анализатора относительно определенного кристаллографического элемента минерала и тем самым определяют направление вращения, вызванного анизотропией, по отношению к тем же элементам.

б) Определяют по шкале угол поворота анализатора, величина которого соответствует видимому углу вращения (A_r).

в) Для уточнения полученной величины столики микроскопа поворачивают по часовой стрелке еще на 90°, сохраняя прежнее смещенное положение анализатора. Изогиры расходятся на величину в два раза большую, чем в первом случае. Вращая анализатор в сторону, проти-

воположную предыдущему повороту, снова восстанавливают крест и берут отсчет по шкале в качестве повторного значения A_r .

г) Поворачивают столик микроскопа на 45° от нулевой точки против часовой стрелки. Повторяя те же операции, получают еще два значения A_r .

Среднее арифметическое из всех четырех отсчетов принимается за окончательную измеренную величину видимого угла вращения.

Впервые поляризационные фигуры при отражении сходящегося поляризованного света были описаны Нейербургом в 1947 г., который, однако, не дал им физического объяснения. С 1950 г. изучением этих явлений занималась группа исследователей во главе с Ю. Н. Кэмероном в лаборатории экономической геологии Висконсинского университета (США). Ю. Н. Кэмерон и его сотрудники в ряде статей дали правильное физическое истолкование поляризационных фигур, рассматривая их как результат вращения плоскости поляризации отраженного света. Они в деталях описали методику наблюдения этих фигур и предложили использовать их для получения дополнительных диагностических признаков и констант рудных минералов (Cameron, Green, 1950; Cameron, 1957, 1966; Cameron, Hutchinson, Green, 1953). Математический вывод всех фигур впервые произведен бельгийским исследователем Бёни (Beugnies, 1958). Предложенный метод при минераграфических исследованиях успешно использовался целым рядом ученых. Группой Ю. Н. Кэмерона получены соответствующие константы для 82 рудных минералов. Грей и Миллман изучали зависимость вращательных свойств от отражательной способности. Хейс использовал поляризационные фигуры для диагностики минералов из группы теллуридов и т. д.

Как правило, крест, восстанавливаемый вращением анализатора, получается не очень четким. Поэтому рекомендуется каждый замер A_r повторить не менее 5 раз. Для повышения четкости поляризационных фигур, особенно в монохроматическом свете, полезно усилить источник света, а также по возможности заменить поляризатор в анализаторе на призму николя. Последнее легче всего сделать, используя накладной анализатор.

При измерениях необходимо учитывать возможные ошибки, главными источниками которых, согласно Кэмерону (1966), являются:

- 1) наличие натяжения в объективах;
- 2) неточность скрещивания николей;
- 3) дополнительное вращение, вызываемое отражающей пластинкой опак-иллюминатора.

Применение объективов с заметным натяжением совершенно исключено. Точность скрещивания можно легко проверить, установив на столик какой-нибудь слабо поглощающий изотропный материал (например, сфалерит). При правильном положении николей в сходящемся свете в поле зрения должен быть четкий ненарушенный крест.

Влияние пластинки может быть скорректировано путем построения кривой, получаемой для каждого используемого микроскопа. Для этого, работая в условиях проходящего параллельного света, поляризатор поворачивают в одну сторону последовательно через 5° и каждый раз восстанавливают темноту поворотом анализатора. Последний всегда поворачивается на большее число градусов, чем поляризатор. Разница отсчетов углов на шкалах анализатора и поляризатора и составляет величину вращения, вызываемого отражающей пластинкой для соответствующих положений анализатора.

В настоящее время во многих зарубежных странах получил распространение метод изучения рудных минералов в сходящемся отраженном свете.

По решению Международной комиссии по рудной микро-

скопии, полное стандартное описание рудных минералов должно включать константы, полученные этим методом. Судя по опубликованной литературе, в нашей стране исследование рудных минералов в коноскопии до сих пор не получило распространения.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МИКРОТВЕРДОМЕРА ПМТ-3

Конструкция первого в СССР микротвердомера и методики определения на нем микротвердости твердых тел были разработаны М. М. Хрущовым и Е. С. Берковичем (1943, 1950 г.). В последние годы вышли специальные руководства по определению микротвердости минералов на приборе ПМТ-3 С. И. Лебедевой (1963 г.) и Г. А. Ильинского (1963 г.).

Микротвердомер ПМТ-3 (рис. 37) состоит из массивного штатива, на котором смонтированы принадлежности для наблюдения в отраженном свете и индентор с механизмом нагружения, к которому прикреплена четырехгранная алмазная пирамида. Предметный столик смонтирован на штативе прибора. Столик можно поворачивать на 180°, что позволяет перемещать шлиф с исследуемым минералом от объектива до острия алмазной пирамиды. Оптическая схема прибора позволяет вести наблюдения в светлом и темном полях. Это осуществляется перемещением осветительного устройства микроскопа с помощью специального рычага.

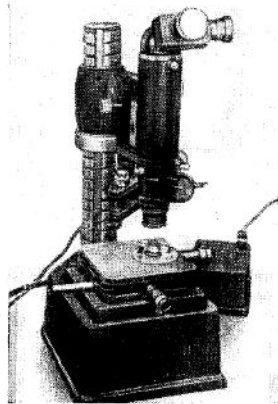


Рис. 37. Микротвердомер ПМТ-3 М. М. Хрущова и Е. С. Берковича

При работе на приборе ПМТ-3 на предметном столике под объективом закрепляют предварительно установленный в горизонтальное положение полированный шлиф с исследуемым минералом. Микротвердость можно определять также в прозрачно-полированных шлифах. Исследуемый минерал ориентируют или относительно его спайности, или относительно удлинения вытянутых кристаллов и осторожно, чтобы не повредить линзы объектива, наводят на фокус. После этого исследуемый минерал устанавливают на перекрест нитей окуляра. Затем на механизм нагружения индентора помещают определенного веса груз (шайбу).

Установив груз, столик прибора поворачивают на 180° (до упора), чтобы исследуемый минерал попал под острие алмазной пирамиды, и производят вдавливание. Операцию вдавливания проводят путем медленного поворота, слегка нажимая на арретир индентора одним пальцем левой руки, на себя до упора. После этого быстро убирают руку и выдерживают 5—10 сек. В течение этого времени алмазная пирамида под весом груза опускается в полированную поверхность исследуемого минерала. Опыт показывает, что 5—10 сек — это время статического давления алмазной пирамиды. По истечении этого времени рукоятку арретира приводят в прежнее положение, поворачивают столик назад на 180° и изучают характер полученного отпечатка под микроскопом в отраженном свете. Если центр отпечатка не попал на перекрест нитей, объектив центрируют и вновь производят вдавливание алмазной пира-

миды, как было описано выше. Эту операцию повторяют до тех пор, пока отпечаток от алмазной пирамиды не попадает точно на перекрест нитей окуляра. После этого производят измерение диагоналей отпечатка с помощью окуляра-микрометра, которым снабжен микротвердомер (рис. 38).

Микротвердость минералов определяют, используя формулу

$$H = \frac{P}{F} \text{ (кг/мм}^2\text{)},$$

где H — микротвердость; P — нагрузка на индентор; F — площадь боковой поверхности квадратной пирамиды.

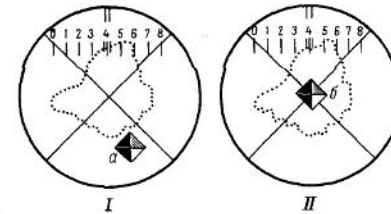


Рис. 38. Центрировка микротвердомера I-II — положения отпечатков в процессе центрировки а и б — отпечатки

Площадь боковой поверхности квадратной пирамиды с известным углом при вершине (136°) и известной длиной диагонали основания может быть легко вычислена. Поэтому формула для вычисления микротвердости может быть представлена в следующем виде:

$$H = \frac{1854 \cdot P}{d^2} \text{ (кг/мм}^2\text{)},$$

где d — диагональ отпечатка.

Нагрузку выбирают в соответствии с предполагаемой твердостью измеряемого минерала таким образом, чтобы размер диагонали отпечатка находился как правило в пределах 15—22 мкм в зависимости от хрупкости минерала и размеров его выделения (конечно, могут быть небольшие отступления в обе стороны).

В случаях, когда для исследуемого минерала твердость по Моосу неизвестна, то измерение микротвердости производят с грузами 2,5 и 10 г последовательно, начиная с самого малого. В отдельных случаях при исследовании микровключений размер диагонали отпечатков может быть и значительно меньшим (8—12 мкм), тогда и измеренная микротвердость должна восприниматься как ориентировочная из-за большей ошибки измерения, а также учитывая, что у большинства минералов (твердых) микротвердость несколько увеличивается при уменьшении нагрузки.

При выборе нагрузки ориентировочно можно руководствоваться табл. 8.

Минералы, как и все твердые кристаллические тела, обладают анизотропией физических свойств (электрических, оптических и пр.). Анизотропия твердости, как показали исследования, обнаруживается у всех

Таблица 8
Рекомендуемые нагрузки при определении микротвердости минералов

Твердость по Мосу (от—до)	Микротвердость, кг/мм ²	Рекомендуемые оптимальные нагрузки, Г
1—2 ^{1*}	7—30*	3—5
1 ¹ / ₂ —2	30—60	5—10
2—3	60—120	10—20
3—4	120—200	20—30
4—4 ¹ / ₂	200—350	30—50
4 ¹ / ₂ —5	350—550	50—100
5—6	550—800	100—150
6—7	800—1100	100—200**
7	1100	150—200

* Все интервалы даны приблизительно.
** Для очень крупных минералов применяются нижние пределы нагрузок.

кристаллических минералов, только выражена она в разной степени. Различают два вида анизотропии твердости в минералах²:

I рода (полярную), зависящую от направления при измерении твердости в пределах одной плоскости (грани), и II рода (ретикулярную), зависящую от атомной плотности грани, сечения кристалла при измерении на разных гранях или семействах граней в одном и том же кристалле. Анизотропия I рода зависит не только от чисто кристаллохимических связей в разных направлениях, атомного строения данной плоскости и т. д., но и от механических свойств — пластической деформации и упругого восстановления при вдавливании, элементов скольжения, дислокаций и др., которые различны по разным направлениям в кристаллическом теле. Поэтому в понятие «анизотропия твердости минерала I рода» вкладывают суммарное свойство проявления анизотропии в кристалле, зависящее как от структурных особенностей данного минерала, так и от проявления при вдавливании алмазной пирамиды некоторых его механических свойств (пластических, упругих и др.).

Для количественной оценки степени анизотропии твердости в 1961 г., а затем в 1963 г. С. И. Лебедевой был предложен коэффициент анизотропии твердости минерала K_{H_1} : $K_{H_1} = \frac{H_{max}}{H_{min}}$, где H_{max} — максимальное, а H_{min} — минимальное значения микротвердости, полученные в одном минерале (K_{H_1} — для анизотропии I рода, K_{H_2} — для анизотропии II рода).

При таком расчете коэффициент анизотропии — величина относительная и всегда больше единицы. Чем сильнее выражена анизотропия твердости у минерала, тем больше и коэффициент анизотропии. При расчете коэффициента анизотропии по предлагаемой формуле исключают

* В последнее время А. С. Поваренных (1963) выделяет три вида анизотропии твердости, дополнительно подразделяя анизотропию I рода на две: полярную и структурную.

ется влияние ошибки измерения; влияет лишь микронеоднородность минерала, которая может этот коэффициент несколько исказить. Тем не менее условно можно принять, что K_{H_1} является константой, т. е. величиной постоянной для каждого минерала или будет колебаться в небольших пределах, поэтому он может быть использован в качестве дополнительной характеристики при диагностике близких по твердости минералов.

По мнению С. И. Лебедевой, прибор микротвердости М. М. Хрущова и Е. С. Берковича необходимо снабдить поляризующим устройством. Это позволит проводить измерение микротвердости с учетом оптической ориентировки минерального зерна и изучать анизотропию твердости минералов.

К настоящему времени на основании накопленного опыта применения метода микротвердости в минералогии можно наметить несколько видов использования его в минералогических исследованиях: а) для диагностики минералов, б) для тонких исследований монокристаллов минералов, в) для определения по твердости изменения химического состава минералов, а также, г) для выявления или подтверждения различных генераций минералов и типогенетических особенностей одного минерала из различных генетических типов месторождений.

ГЛАВА IV

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

В лабораторной практике при диагностике минералов в отраженном свете применяются такие химические методы, как диагностическое травление и реакции кристаллохимического и капельного анализа на отдельные элементы. При определении карбонатных минералов большое значение приобрели реакции пленочного анализа, а при диагностике минералов в окисленных рудах — фазовый анализ, который проводят с помощью метода отпечатков и капельного анализа.

В последнее время для определения микровключений в рудных и нерудных минералах стали применять микроотпечатки, а при изучении радиоактивных минералов — макро- и микрорадиографические анализы. Вот почему описанию этих методов в данном руководстве уделено такое большое внимание.

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ

При полировке шлифов образуется тонкая (толщиной в тысячные доли миллиметра) аморфная пленка из минералов, составляющих шлиф. Таким материалом заполняются тонкие трещинки в минералах. При воздействии на шлиф растворителя вначале растворяется аморфная пленка и обнаруживается структура минералов агрегата; дальнейшее действие растворителя выражается в различной степени разъедания поверхности минерала, уничтожающего выявленную вначале структуру. Кроме того, вслед за растворением могут образоваться различного цвета осадки (иризирующие пленки).

Различные минералы неодинаково растворяются химическими реактивами. В свое время это свойство минералов было положено в основу при построении первых определителей для непрозрачных минералов (Ж. Мердок, В. Дэви и С. Фарнгам, М. Шорт и др.).

Реактив, применяемый для определения минерала, должен отвечать следующим требованиям: 1) действовать быстро и сильно; 2) не давать с исследуемым минералом труднорастворимых солей, маскирующих результаты реакции; 3) действовать по возможности одинаково на различные кристаллографические плоскости исследуемого минерала; 4) быть химически чистым.

Таким требованиям отвечали следующие шесть реактивов: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 , KOH или NaOH . Они были использованы при диагностике минералов Мердоком, а затем и другими исследователями при построении определителей. По нашему мнению, наиболее четкие результаты диагностического травления получаются при действии кон-

Иризирующая пленка может образоваться и в том случае, если капля реактива удалена не полностью, и на поверхности минерала происходит испарение оставшегося раствора. В таком случае весьма легко сделать ошибочное заключение о результатах травления. Для проверки необходимо на это место положить каплю воды, которая опять переведет в раствор соль, образующуюся при высыхании реактива.

Положительными считают такие реакции, при которых после снятия капли и промывания водой на полированной поверхности минерала остается какой-нибудь след (структура, шероховатая поверхность, иризирующая пленка); отрицательные — те реакции, при которых следов не остается. Иногда раствор реактива не оказывает никакого действия на минерал, а его пары изменяют поверхность минерала вокруг капли, и минерал тускнеет. Эта реакция также считается отрицательной.

МЕТОДЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ МИНЕРАЛОВ

При изучении качественного химического состава руды или отдельных рудообразующих минералов применяются только такие химические реакции, которые не требуют сложных операций разделения элементов. В данном курсе приведены наиболее чувствительные и специфичные реакции кристаллоскопического, капельного, пленочного анализов и реакции по методу отпечатков.

Так как успех определения химического элемента зависит от количества его в испытуемом растворе, то нами приведены способы получения растворов и подготовка их для проведения химических реакций на отдельные элементы.

Получение испытуемых растворов. Методика получения испытуемых растворов зависит от степени растворимости минералов. О последней можно судить на основании реакций диагностического травления этих минералов.

Существует несколько методов получения испытуемых растворов: 1) получение испытуемых растворов путем травления (растворения) полированной поверхности минералов соответствующими растворителями; 2) получение испытуемых растворов путем травления полированной поверхности минералов соответствующими растворителями с применением электрического тока; 3) получение испытуемых растворов путем сплавления порошка минералов, полученного царапанием полированной поверхности минералов или с помощью микросверла и сплавлением с содой и селитрой, едким калием или натрием или фосфорной солью и последующим растворением плавней в соответствующих растворителях.

1) При получении испытуемого раствора путем травления минерала на его полированную поверхность накладывают каплю растворителя (HNO_3 или HCl) соответствующей концентрации и выдерживают до появления травленной поверхности или густой иризирующей пленки (проверить под микроскопом). Затем каплю полученного испытуемого раствора переносят на фильтровальную бумагу (для проведения реакций капельного анализа) или на предметное стекло (для проведения реакций кристаллоскопического анализа). Некоторые химические реакции можно проводить непосредственно на полированной поверхности минералов (реакции на свинец, мышьяк, сурьму и др.).

Проводить химические испытания этим способом можно одновременно с реакциями диагностического травления. Тогда в качестве испытуемого раствора служит капля, снятая фильтровальной бумагой, полученная при диагностическом травлении. Это в значительной степени сохраняет от дальнейшей порчи полированную поверхность минералов в шлифах.

2) Если минерал плохо растворим и под действием растворителя нельзя получить (даже при увеличении времени травления) отчетливой травленной поверхности, применяют электрический ток. В качестве источника тока используют батарейку карманного фонаря (к электродам прикрепляют платиновые проволоочки и концы их вводят в каплю растворителя, рис. 39), если минерал не является проводником, или один электрод вводят в каплю (—), а другой (+) приводят в контакт с полированной поверхностью минерала, если испытуемый минерал и окружающие его минералы хорошие проводники электричества. После получения отчетливой травленной поверхности раствор переносят на фильтровальную бумагу или предметное стекло для проведения химических реакций.

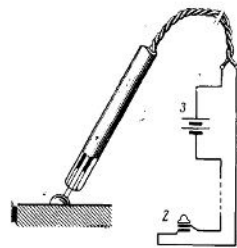


Рис. 39. Растворение минерала с электрическим током
1 — электроды; 2 — клемма; 3 — электрическая батарея

3) Если минерал нельзя растворить даже с помощью электрического тока, то его порошок, полученный путем царапания полированной поверхности минерала или с помощью микросверла, смешивают с равным количеством сухой соды и селитры (или едкого калия или натрия, фосфорной соли или буры), сплавляют в ушке платиновой проволоочки в пламени газовой горелки или паяльной трубки (лучше). Полученные плавни растворяют в растворителях (HNO_3 , HCl , H_2SO_4). Испытуемый раствор переносят на фильтровальную бумагу или на предметное стекло для проведения реакции химического анализа.

При необходимости химического опробования штучных образцов поступают следующим образом. Кусочек руды измельчают в стальной ступке. Небольшое количество измельченной пробы помещают в фарфоровую или агатовую ступку и растирают в тонкий порошок. Чем лучше растерта проба, тем полнее произойдет ее растворение. Однако необходимо помнить, что некоторые химические элементы в процессе растирания могут окислиться кислородом воздуха и изменить свою валентность. При анализе корочек и налетов на плоскостях руды их необходимо аккуратно соскоблить на белый лист бумаги и истирать в ступке отдельно. Для получения испытуемого раствора истертые в порошок пробы растворяют в HNO_3 или HCl необходимых для анализа концентраций. При анализе образца с плотной массивной текстурой растворение его проводят прямо на поверхности образца, нанося на него 1—2 капли HNO_3 или HCl соответствующих концентраций. Спустя 2—3 мин после прекращения вскипания (если имеют дело с карбонатными минералами или минералами, включенными в карбонатную породу) полученный раствор вместе с образовавшимся в нем осадком переносят или на фильтровальную бумагу (размещая в виде капель на достаточном расстоянии одну от другой), или на предметное стекло, или на фарфоровую пластинку.

В первом случае ждут, чтобы раствор впитался в бумагу; затем его переворачивают обратной стороной так, чтобы на верхней стороне фильтровальной бумаги был сосредоточен чистый (отфильтрованный) раствор. Растворитель диффундирует в порах бумаги быстрее, чем раствор вещества; в связи с этим концентрация раствора повышается в центральной части пятна. Это явление имеет большое значение при работе с труднорастворимыми минералами. Во втором случае реакцию проводят после предварительного отделения раствора от осадка.

При землистой или пористой текстуре образца растворение нельзя осуществить непосредственным нанесением азотной кислоты на обра-

зец — кислота быстро впитывается. При крупнокристаллической структуре образца минералы, легко различимые невооруженным глазом, выщербивают и помещают на предметное стекло или двухгнездовую фарфоровую пластинку и растворяют каждый в отдельности. Для проведения соответствующих реакций растворы каждого из минералов переносят на полоску фильтровальной бумаги или предметное стекло.

Минералы, нерастворимые в кислотах и даже в царской водке, сплавляют с содой и селитрой или с щелочью, фосфорной солью, или бурой следующим образом. Небольшое количество минерала растворяют в ступке и смешивают с 2- и 3-кратным количеством соды (или соды с селитрой, или KOH , или фосфорной соли, или буры). Полученную смесь набирают в ушко платиновой или заменяющей ее проволоочки и сплавляют в окислительном пламени паяльной трубки. Окончание сплавления определяют по получению равномерно окрашенного перла.

Окраска перла характерна для некоторых химических элементов, и ею можно иногда руководствоваться для их определения. Однако окраска перла для окислительного и восстановительного пламени не всегда одинакова. Для получения испытуемого раствора перл растворяют в H_2O , H_2SO_4 , HCl или HNO_3 в той концентрации, которая необходима для проведения реакции на данный химический элемент. Осаждение химических элементов реактивами из испытуемого раствора выполняют на предметном стекле, в пробирке, тигле, на часовом стекле или на полированной поверхности шлифа путем добавления капилляром или пипеткой к испытуемому раствору реактива. Как недостаток осаждающего реактива, так и его избыток могут привести к неполному осаждению определяемого элемента. Поэтому необходимо, чтобы отношение количества испытуемого раствора и реактива было не более чем 1:1.

Отделение осадка от раствора может быть выполнено фильтрованием с помощью специального фильтровального прибора или капилляра.

В воронкообразно расширенную трубку прибора помещают небольшое количество размоченной фильтровальной бумаги, затем эту часть прибора опускают в раствор с осадком и через отводную трубку прибора ртом оттягивают раствор, который поднимается через воронкообразную трубку и через капиллярную трубку сливается в специально приготовленный сосуд (пробирку, часовое стекло и т. д.).

Фильтрование с помощью капилляра применяют при работе с небольшим объемом жидкости (1—2 капли). Для этого берут кусочек фильтровальной бумаги квадратной формы размером 1 см, складывают его вчетверо, смачивают водой и помещают возле капли с раствором, который необходимо отфильтровать. После этого нажимают на бумагу концом капиллярной пипетки, следя за тем, чтобы отверстие ее плотно прилегло к бумаге, и, подвинув бумагу вместе с капилляром к краю капли с осадком, отсасывают ртом жидкость. Чистый раствор, набравшийся в капилляр, переносят на предметное стекло, часовое стекло или на фильтровальную бумагу для выполнения соответствующих микрохимических реакций.

Для реакций капельным методом фильтрование растворов с осадком иногда можно осуществить непосредственно с помощью фильтровальной бумаги. Так, если на полоску бумаги поместить каплю раствора с осадком, то фильтрат будет распределяться вокруг пятна, образованного осадком. Это свойство фильтровальной бумаги позволяет в ряде случаев избежать длительных операций разделения элементов (осаждения, фильтрования, отгонки). Часто, чтобы избежать операций фильтрования, раствор с осадком помещают на два сложенные листочка фильтровальной бумаги. При этом осадок останется на верхнем листочке, а на нижнем будет чистый отфильтрованный раствор.

Промывание осадков производят обычным способом. Отсос промывной жидкости производят так же, как фильтрование раствора с осадком с помощью фильтровального аппарата или с помощью капилляра.

Если необходимо промыть осадок, образующийся на фильтровальной бумаге при проведении реакций капельного анализа, поступают следующим образом. В капилляр набирают дистиллированную воду в количестве, которое удерживается капиллярными силами (капля жидкости не должна висеть на кончике капилляра), затем конец капилляра прижимают к середине пятна с осадком и дают воде стекать: фильтруясь через осадок в поры бумаги, вода промывает его.

Если цвет осадка на фильтровальной бумаге маскируется окрашенным раствором, то раствор отмывают в чистой воде, для чего фильтровальную бумагу погружают в стакан с водой на 2—3 мин. В течение этого времени окрашенный раствор (например, раствор роданистого железа) будет полностью выщелочен, и цвет осадка будет отчетливо выявлен.

Чувствительность реакций. При проведении микрохимического опробования руды нужно учитывать чувствительность и специфичность реакций для каждого открываемого химического элемента. Под чувствительностью реакции понимают то наименьшее количество химического элемента, которое может быть обнаружено в определенном объеме растворителя с помощью реактива, образующего с этим элементом специфичную реакцию.

Если реакция мало чувствительна и для анализа взята небольшая часть испытуемого раствора, то результат может быть отрицательный. Поэтому, если минерал плохо растворяется, то испытуемый раствор нужно выпарить до небольшого объема и только после этого начинать определение химического элемента.

В качественном анализе для характеристики реакции применяют такие термины, как «открываемый минимум» и «пределная концентрация». Открываемый минимум не больше 50 гамм ($\gamma = 10^{-6}$ г), а минимальная концентрация представляется отношением 1:1000 (1 часть вещества к 1000 мл H_2O).

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ МИКРОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

При проведении химического опробования используются реакции кристаллоскопические, капельные и пленочные, а также реакции по методу отпечатка.

Кристаллоскопический анализ

С помощью кристаллоскопических реакций определение в растворе одного или нескольких элементов производится путем введения в раствор соответствующих реактивов, вызывающих осаждение солей искомого элемента в виде кристаллов. При определении серы, кобальта, серебра, золота, олова реакции ведутся на предметном стекле; при определении свинца, мышьяка, фосфора, сурьмы — на шлифе и наблюдаются под бинокляром или под микроскопом. Искомый элемент определяется по цвету и особенностям кристаллической формы (рис. 40, в конце книги). Очень немногие из них дают аморфные осадки, тогда определение металла основывается главным образом на цвете осадка. Кристаллоскопические реакции имеют большие преимущества перед обычными реакциями качественного анализа, особенно в отношении экономии времени и материала.

78

Но не все элементы могут быть определены с помощью частных реакций, а применение систематического кристаллоскопического анализа требует много времени и дополнительной аппаратуры. Однако для таких элементов, как мышьяк, сурьма, сера, фосфор, свинец, серебро, олово и частично кобальт и ртуть, реакции кристаллоскопического анализа наиболее специфичные. На рис. 40 приведены реакции кристаллоскопического анализа на цинк, серебро, кобальт и др.

Капельный анализ

В основу этого анализа положено различие скоростей диффузии растворенных веществ, которые адсорбируются фильтровальной бумагой, задерживаясь в ее капиллярах. Благодаря этому при нанесении капли на фильтровальную бумагу увеличивается концентрация растворенного вещества в соответствующих участках влажного пятна на фильтровальной бумаге. Эта же фильтрующая способность бумаги позволяет производить отделение одних элементов от других, не прибегая к методам осаждения и фильтрования.

Реактивы, выполняющие роль разделителей элементов, обычно носят название подстилок, или маскирующих.

Капли испытуемого раствора и реактивов помещают на пористую фильтровальную бумагу, нарезанную в виде полосок размером 2×4 см, где искомым элементом определяют по цвету пятна. Если эти реакции образуют с искомым элементом легко растворимую соль, то последняя уносится на периферию капли, где открывается в виде кольца. В том случае, когда в растворе имеется несколько элементов, реагирующих с одним и тем же реактивом, и искомым элементом образует нерастворимую соль, то искомым элементом открывается в центре капли или на ее периферии, где после удаления легко растворимых элементов промыванием или отмыванием он выступает в виде цветного пятна или кольца.

Таким образом, анализ заключается в том, что искомым элементом с помощью одних реактивов концентрируется в каком-нибудь определенном месте капли, где этот элемент и открывается с помощью реактивов, образующих с ним специфическое окрашивание.

Промывание нерастворимых осадков на фильтровальной бумаге производят при помощи пипетки, наполненной дистиллированной водой. При этом не происходит размывания центрального осадка, что очень важно, особенно в тех случаях, когда концентрация в растворе испытуемого элемента мала.

Часто в процессе проведения некоторых реакций (например, железо с ртутно-родановой солью) образуется роданистое железо, окрашивающее раствор в красно-бурый цвет. В таких случаях окраска осадка в пятне и в кольце будет почти полностью замаскирована, и для ее выявления необходимо осадок на фильтровальной бумаге отмыть водой от роданистого железа, которое представляет собой не осадок, а окрашенный раствор. Последний может быть удален выщелачиванием.

Ниже приводятся примеры реакций капельного анализа.

Определение искомого элемента по цвету пятна. Для определения свинца испытуемый раствор, полученный растворением Pb-минерала, переносят на фильтровальную бумагу, полученную растворением Pb-минерала, переносят на фильтровальную бумагу, помещают каплю 5%-ного раствора йодистого калия. Раствор йодистого калия должен быть бесцветным, так как желтая реакция на свинец будет маскироваться бурой окраской йода. С помощью йодистого калия свинец открывается почти во всех содержащих его минералах, так как все они, даже плохо растворимые, истертые в тонкий порошок, растворяются в азотной кислоте 1:1.

79

Определение искомого элемента по цвету кольца.
а) Для определения цинка в присутствии железа испытуемый раствор переносят на фильтровальную бумагу и на середину влажного пятна помещают каплю раствора $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и $\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$. В присутствии цинка вследствие большой подвижности водных растворов Zn образуется сине-фиолетовое кольцо, при очень больших количествах цинка — пятно ртутно-родановой соли Cu и Zn . Если цинка нет, на фильтровальной бумаге образуется желто-зеленое пятно комплексной ртутно-родановой соли меди. В присутствии большого количества железа окраска кольца и пятна на фильтровальной бумаге будет замаскирована красно-бурой окраской образующегося при этом роданистого железа. Чтобы выявить окраску ртутно-родановой соли Cu и Zn и обнаружить цинк, роданистое железо следует отмыть водой. Для этого фильтровальную бумагу помещают на 2—3 мин в стакан с водой; роданистое железо будет выщелочено, и фиолетовая окраска кольца и пятна будет выявлена.

б) Для определения никеля в присутствии железа испытуемый раствор переносят на фильтровальную бумагу. На середину влажного пятна помещают пипетку, наполненную NH_4OH 10%-ным. При наличии железа образуется нерастворимый в NH_4OH гидрат окиси железа, который фиксируется на фильтровальной бумаге в виде пятна; Ni в аммиачной среде растворим, поэтому он будет вынесен за пределы пятна, где и открывается с диметилглиоксимом в виде малинового кольца. Если железа нет, Ni можно открывать также и в пятне.

Определение в испытуемом растворе одного из четырех элементов с помощью одного реактива. В целях сокращения количества реактивов для лабораторного набора были отобраны реактивы, с помощью которых можно определять не один, а несколько элементов. Например, если в испытуемом растворе нужно определить один из таких элементов, как железо, молибден, медь и уран, которые с 5%-ным раствором желтой кровяной соли дают окрашенные осадки, поступают следующим образом. Если в испытуемом растворе присутствует окисное железо, то пятно на фильтровальной бумаге под действием 5%-ного раствора желтой кровяной соли окрасится в синий цвет вследствие образования берлинской лазури; в присутствии молибдена пятно окрасится в коричневый цвет, в присутствии меди — в розово-коричневый, а в присутствии урана — в шоколадно-коричневый. Оттенки коричневого цвета различить трудно, поэтому для определения металла окрашенное пятно обрабатывают 5%-ным раствором едкого калия, покрывая им всю его поверхность. Если в испытуемом растворе присутствует железо или молибден, то окраска исчезнет; в присутствии меди коричневая окраска перейдет в голубую вследствие образования гидрата меди; в присутствии одного лишь урана коричневая окраска через некоторое время сменяется желтой вследствие образования гидрата уранила.

Если в испытуемом растворе некоторые из этих элементов присутствуют совместно, для определения каждого из них необходимо применять маскирующие реактивы или открывать их с помощью других реакций, указанных для этих элементов в главе IV.

Пленочный анализ

Образование цветных пленок на поверхности минералов происходит вследствие того, что минерал адсорбирует на своей поверхности цветные ионы из реактива. Например, кальцит в отличие от доломита и арагонита при погружении в молярный раствор азотнокислой меди адсорбирует на своей поверхности голубую окись меди; арагонит

в отличие от кальцита адсорбирует соль $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ сине-фиолетового цвета.

Окрашенные пленки на поверхности минералов могут также образовываться вследствие обычных обменных химических реакций. Например, если опустить анкерит или сидерит в раствор $\text{K}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный + HCl (1:20), то на поверхности минералов образуется синяя пленка за счет железа сидерита и анкерита. Прокрашивание с целью диагностики карбонатов лучше проводить на шлифованных поверхностях образцов или полированных шлифов. На таких образцах удается установить площадное распределение и относительное содержание минерала.

Примеры пленочных реакций.

Кальцит рекомендуется определять с помощью пленочной реакции, обрабатывая его молярным раствором азотнокислой меди в течение 3—4 ч. Появляющаяся на поверхности кальцита голубая окраска усиливается при действии на кальцит аммиака. Однако длительное воздействие последнего полностью уничтожает окраску. Прокрашивание с целью диагностики кальцита лучше проводить на шлифованных поверхностях образцов или полированных шлифов. На таких образцах удается установить площадное распределение и относительное содержание кальцита в карбонатных породах. Эта реакция широко может быть применена при исследовании карбонатных осадочных горных пород, а также при изучении гидротермальных изменений рудомещающих пород (доломитизация, кальцитизация).

Если доломит или какая-либо другая порода пронизана очень тонкими прожилками кальцита, наблюдаемыми только под микроскопом, то применением азотнокислой меди вряд ли удастся установить структурные взаимоотношения этих минералов. В таких случаях лучшие результаты дают окрашивания прозрачного шлифа.

Для таких исследований шлиф оставляют без покровного стекла.

На поверхность шлифа накладывают каплю лиловой чернил, подкисленных соляной кислотой. Подкисление проводят путем титрования чернил соляной кислотой (1:20) до появления в них зеленого оттенка. Реакция основана на различной растворимости карбонатов в слабой соляной кислоте. Интенсивное растворение кальцита сопровождается нейтрализацией чернил и восстановлением первоначальной лиловой окраски на поверхности кальцитовых выделений. С помощью этой реакции можно установить взаимоотношения кальцита с другими минералами, выяснить его площадное распространение и приблизительное содержание в шлифе. Однако окрашивание кальцита чернилами можно с успехом проводить и на полированных шлифах. Необходимо следить за тем, чтобы капля подкисленных чернил не оставалась на поверхности шлифа более 1 мин. По истечении этого срока прокрашенную поверхность тщательно просушивают листочками фильтровальной бумаги. При длительном воздействии подкисленных чернил на поверхность доломита последний также может окраситься в лиловый цвет. Лиловую пленку с поверхности кальцита легко удаляют спиртом.

Анкерит окрашивается в синий цвет вследствие образования на его поверхности синей пленки турбулентной сини. Для выполнения этой реакции образец (шлифовку или шлиф) опускают в 5%-ный раствор красной кровяной соли, к которому предварительно добавлено равное по объему количество соляной кислоты (1:20).

По истечении 1 мин образцы вынимают из раствора, тщательно промывают водой и просушивают фильтровальной бумагой. При прокрашивании анкерита в прозрачном шлифе на последний накладывают каплю приготовленного раствора красной кровяной соли, по истечении 30—60 сек промывают водой и просушивают между листами фильтро-

вальной бумаги. Если в шлифе присутствует кальцит, то последний будет растворяться со вскипанием. Поэтому прокрашивать шлиф красной кровяной солью рекомендуется после того, как определено содержание в нем кальцита. Подбирая соответствующие концентрации соляной кислоты при составлении реактива ($K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный + $HCl(1:1)$; $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный + $HCl(1:20)$ и т. д.) можно последовательно прокрашивать различные карбонаты кальция, магния и железа и выявить в шлифе распространение брейнерита, анкерита, параанкерита, пистомезита, сидероплезита и сидерита. Если в шлифе присутствует манган-анкерит или кальцит, содержащий марганец, поверхность этих минералов покроеется бурой пленкой вследствие образования осадка $Mn[Fe(CN)_6]$.

Для определения сидерита многие исследователи рекомендуют применять солянокислый ализарин. Эту реакцию лучше всего проводить на прозрачных шлифах. При обработке этим раствором прозрачного шлифа на поверхности его образуется малиновая пленка ализаринового лака.

Г. И. Теодорович и другие (1961 г.) для диагностики карбонатных минералов в прозрачных шлифах проводят пленочные реакции следующим образом. В открытом прозрачном шлифе участок испытуемого минерала обводят мягким грифельным карандашом и в середине оконченного участка помещают применяемый для прокрашивания реактив; выдерживают необходимое для реакции время и снимают фильтровальной бумагой. Проводимая таким методом реакция пленочного анализа оставляет чистой всю остальную поверхность прозрачного шлифа, так как реактив никогда не попадает за пределы грифельной каймы.

Англезит в руде можно установить путем окрашивания образца, шлифовки, полированного или прозрачного шлифа 5%-ным раствором иодистого калия. Под влиянием этого реагента англезит покрывается желтой пленкой вследствие образования иодистого свинца. Для выполнения данной реакции на поверхность образца, шлифовки, полированного или прозрачного (непокрытого) шлифа накладывают каплю 5%-ного KI . По истечении одной минуты каплю снимают фильтровальной бумагой. Если в шлифе присутствует англезит, на его поверхности образуется желтая пленка. При наблюдении пленки в отраженном свете участки, соответствующие площади распространения англезита, будут окрашены в голубой цвет. Церуссит указанной реакции не дает. Этой реакцией легко устанавливать англезит, находящийся даже в тонких сростаниях с церусситом.

Церуссит в руде можно установить окрашиванием образца, шлифовки или прозрачного и полированного шлифа 5%-ным раствором иодистого калия, подкисленного соляной или серной кислотой. Реакцию проводят так же, как при окрашивании англезита, только к KI добавляется равное по объему количество $HCl(1:20)$ или $H_2SO_4(1:20)$. С помощью этой реакции церуссит может быть легко установлен в образце, шлифовке, прозрачном и полированном шлифах, когда он заключен в массу, состоящую из других карбонатных минералов.

Смитсонит и гидродинкит можно легко обнаружить в прозрачном (непокрытом) шлифе путем окрашивания его поверхности растворами $Cu(NO_3)_2 + HNO_3(1:20)$; $HgCl_2 + KCNS$. Под влиянием этих растворов на поверхности смитсонита и гидродинкита образуются фиолетовые пленки ртутно-родановой соли, меди и цинка. С помощью указанной реакции площади распространения этих минералов в прозрачных шлифах могут быть легко выявлены среди других карбонатных минералов.

Реакции по методу отпечатков

Реакции по методу отпечатков применяют для установления химических элементов, входящих в состав рудообразующих минералов, в целях диагностики и для выяснения площадей их распространения на поверхности полированного шлифа или шлифовки. Реакции по методу отпечатков с успехом могут быть применены при сплошном опробовании кернов, так как с помощью отпечатков можно получить развертки керна (рис. 41), на которых проявляются площади распространения минералов, содержащих определенные химические элементы.



Рис. 41. Получение отпечатка с керна
а — закатка керна в фотобумагу; б — развертка отпечатка керна (после проявления)

Реакции по методу отпечатков проводят на фотобумаге, которую предварительно обрабатывают раствором гипосульфита для удаления солей серебра с ее поверхности. В раствор гипосульфита (100 г сухой соли на 500 мл воды) погружают фотобумагу на 20—40 мин, после чего ее тщательно промывают водой и просушивают. Еще лучше пользоваться обрезками желатинированной, не содержащей серебра бумаги, которые можно получить на фабрике фотоматериалов, поскольку эту бумагу не нужно обрабатывать гипосульфитом.

Для получения реакции по методу отпечатка желатинированный слой фотобумаги пропитывают растворителем, который применяют для растворения открываемого минерала, плотно прижимают ее к гладкой поверхности руды (в керне, шлифовке, в полированном и прозрачном шлифах), выдерживают в течение времени, необходимого для его растворения. Чтобы обеспечить наиболее полный контакт фотобумаги с поверхностью изучаемого образца, можно использовать обычный ручной пресс с монтированным на нем грузом. Полученный отпечаток проявляют реактивом, образующим цветную реакцию с элементом, входящим в состав минерала.

Для получения стойкого отпечатка реактив, применяемый в качестве проявителя, должен давать с испытуемым химическим элементом нерастворимые в воде соли. В противном случае при промывании отпечатка водой цвет осадка становится очень бледным и может полностью исчезнуть. Иногда один и тот же реактив может дать цветные реакции с несколькими химическими элементами, входящими в состав анализируемых минералов. Если один из этих элементов образует с реактивом растворимую в воде соль, ее можно отмыть водой, и на отпечатке проявятся элементы, образующие нерастворимую соль.

Время экспозиции, т. е. время, необходимое для растворения испытуемого минерала, должно быть установлено предварительно по качеству и стойкости отпечатка. Качество отпечатка устанавливается по его

цвету, который должен соответствовать цвету соли, полученной при взаимодействии исследуемого химического элемента с соответствующим реактивом. Стойкость отпечатка зависит от того, в каком месте желатины фиксируется растворенный химический элемент. Если растворитель и время экспозиции выбраны удачно, то раствор фиксируется только в порах желатины, отпечаток после проявления получается стойкий и не смывается водой. Если применяют слишком сильный растворитель и длительную экспозицию, раствор выходит за пределы пор желатины на ее поверхность. После проявления цветная пленка образуется на поверхности желатины и легко сползает при промывке отпечатка водой.

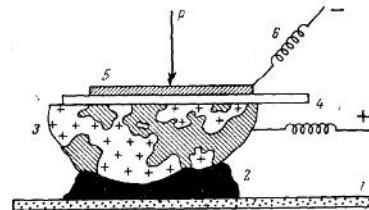


Рис. 42. Получение отпечатка с применением электрического тока
1 — стеклянная пластинка; 2 — пластина; 3 — шлиф; 4 — фотобумага; 5 — платиновая пластинка; 6 — провод; P — пресс, прижимающий пластинку

Для получения реакций на химические элементы, входящие в состав рудообразующих минералов, можно применять фотобумагу, предварительно обработанную соответствующими реактивами. Для получения отпечатка после предварительной обработки раствором желтой кровяной соли и просушки достаточно пропитать фотобумагу растворителем, просушить фильтровальной бумагой и привести в контакт с полированной поверхностью зерна, шлифовки или шлифа. По истечении времени, предварительно установленного экспериментальным путем, удастся получить контактные отпечатки без проявления на закисное железо, медь, уран, молибден. Если бумагу обработать раствором ртутно-родановой соли и азотнокислым раствором цинка, то для получения отпечатка достаточно пропитать ее азотной кислотой (1 : 1) и привести в контакт с поверхностью зерна, шлифовки или полированного шлифа; по истечении 2—3 мин можно получить отпечаток на кобальт и т. д.

Некоторые минералы очень плохо растворимы не только в слабых, но и в сильных кислотах. Отпечатки для таких минералов получают после предварительной обработки полированной поверхности шлифа. Например, чтобы получить четкий, стойкий отпечаток халькопарита или сфалерита, полированную поверхность шлифов, содержащих эти минералы, обрабатывают парами царской водки до появления густого коричневого налета. Полированную поверхность шлифа, содержащего молибденит, обрабатывают щелочным раствором перманганата до появления призрающей пленки, после чего шлиф должен быть промыт водой. После обработки поверхность шлифа приводят в соприкосновение с фотобумагой, пропитанной растворителем.

Растворимость некоторых труднорастворимых минералов, проводящих электричество, повышается при применении электрического тока (рис. 42). Для получения отпечатков таких минералов автором был

сконструирован пресс (рис. 43). Однако большая часть минералов окисленных руд обладает слабой электропроводностью или совсем не проводит электричество. В этом случае применение электрического тока неэффективно, поэтому для получения отпечатков рекомендуется употреблять сильные растворители.

Таким образом, для получения четких, не расплывающихся на фотобумаге отпечатков необходимо строго придерживаться следующих технических условий.

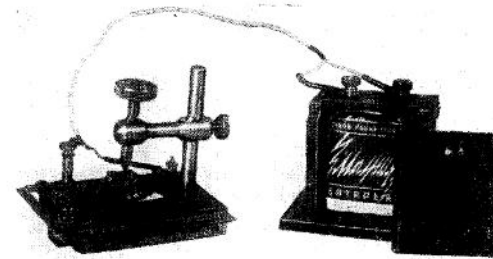


Рис. 43. Пресс для получения отпечатков (по Юшко)

1. Перед получением отпечатка поверхность шлифа или зерна должна быть очищена, а если проводят реакцию с полированной поверхностью, то последнюю следует перед реакцией снова отполировать.
 2. Фотобумага перед получением отпечатка должна быть влажной (но не мокрой). Для этого избыток реактива, применяемого в качестве растворителя, следует аккуратно удалить, помещая фотобумагу после обработки растворителем между двумя листочками фильтровальной бумаги.
 3. При проявлении фотобумаги последовательно несколькими реактивами перед нанесением нового реактива избыток предыдущего должен быть тщательно снят фильтровальной бумагой.
 4. Четкость отпечатка может быть увеличена, если перед проявлением желатинированный слой бумаги покрыть фильтровальной бумагой. В этом случае даже при передержке экспозиции цветные осадки не будут расплываться. Их избыток будет фиксироваться в порах фильтровальной бумаги. Особенно хорошо этим методом проводить нейтрализацию аммиаком испытуемых растворов минералов в порах желатинированного слоя фотобумаги, полученных при растворении их крепкими кислотами.
- Таким образом, химический анализ методом отпечатков может быть использован для выявления закономерностей распределения в полированных шлифах химических элементов и содержащих их минералов. При удачном подборе проявителя полученные отпечатки могут до некоторой степени заменить микрофотографии структур и текстур (см. рис. 41 и 44 в конце книги).

РЕАКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ

В этой главе для каждого металла приведены наиболее специфические реакции кристаллоскопического, капельного и пленочного анализов. Выбор реакций при проведении химического опробования руд зависит

от того, в каких минералах данный металл представлен в руде, а также с какими минералами других металлов он ассоциирует. Последние могут маскировать реакцию определяемого элемента, если они содержат элементы, образующие цветную реакцию с тем же реактивом. Поэтому для каждого металла приведена не одна, а несколько специфических реакций, что позволяет при определении химического элемента для каждого случая подобрать наиболее подходящую реакцию.

При проведении кристаллоскопических и особенно капельных реакций необходимо строго соблюдать указанную последовательность реакций.

Знак плюс (+) перед реактивом указывает на последовательность хода реакции. Количество капель реактива ни в коем случае не должно превышать количества капель испытуемого раствора.

Ванадий

Главная масса ванадиевых минералов растворима в концентрированных азотной и серной (1:1) кислотах. Для получения испытуемого раствора крупинку минерала растирают в ступке и растворяют в азотной или серной (1:1) кислотах в течение 1—3 мин. Силикаты ванадия не растворимы в кислотах, поэтому чтобы получить испытуемый раствор, их предварительно сплавляют с фосфорной солью, а затем растворяют в серной кислоте (1:1). Перл ванадия с фосфорной солью в окислительном пламени имеет желтую окраску, а в восстановительном — зеленую.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор + уксуснокислый бензидин. Образуется синее пятно.

2. Испытуемый раствор + серная кислота + H_2O_2 3%-ная. Через 1—2 мин образуется оранжево-красное или розово-оранжевое пятно. Эту же реакцию можно вести на фарфоровой пластинке или в пробирке путем смешивания нескольких капель испытуемого раствора с каплей H_2SO_4 и прибавления через несколько минут 1—2 капель 3%-ного раствора H_2O_2 . В зависимости от количества ванадия образуется красное или розовое окрашивание. При большом количестве ванадия выпадает красный осадок.

Открываемый минимум 2,5 μ . Предельная концентрация 1:20 000.

Висмут

Все висмутовые минералы легко растворимы в азотной (1:1) и соляной (1:1) кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора минерал растирают в ступке и растворяют в нескольких каплях этих кислот или полированную поверхность минерала подвергают травлению последними в течение 1—2 мин.

Реакция кристаллоскопического анализа

На предметное стекло переносят 1—2 капли испытуемого солянокислого раствора (1:1) и вводят в каплю кристаллики йодистого калия и хлористого цезия. Выпадают кроваво-красные кристаллики гексагональной сингонии.

Реакция на шлифе. Минерал травят концентрированной HNO_3 , свободную HNO_3 удаляют фильтровальной бумагой. Плохо растворимые минералы травят при помощи электрического тока. На травяное место, просушенное фильтровальной бумагой, накладывают каплю HCl :

86

в каплю вводят кристаллы хлористого цезия и йодистого калия. Выпадает кроваво-красный кристаллический осадок комплексной соли йодистого калия, хлористого цезия и висмута.

Примечание. Реакции мешает сурьма.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Капля цинхонина (или хинина) с йодистым калием + испытуемый раствор (солянокислый). Появляется оранжево-красное пятно. Открываемый минимум 0,14 μ . Предельная концентрация 1:350 000.

Реакции мешают медь, ртуть и свинец. В их присутствии реакцию ведут следующим образом.

2. Цинхонин (или хинин) с йодистым калием + испытуемый раствор (задержать капилляр).

Появляются четыре зоны: а) белый центральный кружок — ртуть; б) оранжево-красное кольцо — висмут; в) желтое кольцо — свинец; г) бурое кольцо — йод, выделяющийся под влиянием солей двухвалентной меди.

3. Испытуемый раствор (минерал) в данном случае растворяется в азотной кислоте (1:1) + тиомочевина (10%-ный раствор).

Появляется желтое пятно, исчезающее от 5%-ной KOH .

Вольфрам

Почти все минералы вольфрама растворяются в концентрированных азотной и соляной кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора крупинку минерала растирают в ступке и растворяют в нескольких каплях азотной или соляной кислот. Ферберит и вольфрамит не растворяются в кислотах даже в порошке. Чтобы получить испытуемый раствор, их необходимо сплавливать с бурой, фосфорной солью или со щелочью и сплав растворять в азотной или соляной кислоте.

Реакция микрохимического анализа

1. На фарфоровой пластинке.

Порошок минерала, сплавленный с фосфорной солью или с содой и селитрой, дает бесцветное стекло в окислительном пламени и чисто голубое — в восстановительном. Полученный сплав растворяют в концентрированной HCl . Раствор переносят на фарфоровую пластинку и смешивают с 2—5 каплями $SnCl_2$. Через некоторое время образуется синий осадок или синее окрашивание.

Открываемый минимум 5 μ . Предельная концентрация 1:10 000.

2. В пробирке или тигле.

Порошок минерала кипятят в концентрированной HCl с металлическим оловом. В присутствии вольфрама минерал окрашивается в голубой цвет.

При обработке шеелита хлористым оловом или концентрированной соляной кислотой с кусочком металлического олова шеелит окрасится в синий цвет (пленочная реакция).

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

HCl концентрированная + испытуемый раствор, полученный сплавлением порошка минерала с сухим KOH и растворением в HCl (1:1) или в HNO_3 (1:1).

+ $KCNs$ 20%-ный.

+ $SnCl_2$ насыщенный раствор.

87

Образуется сине-зеленое пятно.
Примечание. В присутствии железа от прибавления KCNS образуется красное пятно, исчезающее при добавлении SnCl_2 ; в присутствии молибдена от прибавления KCNS образуется красное пятно, не исчезающее при добавлении SnCl_2 , но исчезающее от концентрированной HCl.

Открываемый минимум 4 γ. Предельная концентрация 1:12500.

Железо

Почти все минералы железа растворимы в концентрированных кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора крупинку минерала растирают в ступке, и порошок минерала растворяют несколькими каплями азотной, соляной или серной кислот, а полированную поверхность минерала обрабатывают кислотами в течение 1—2 мин.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор (азотнокислый или серноокислый) + KCNS 20%-ный.
Образуется красное пятно, исчезающее от SnCl_2 .
2. Испытуемый раствор.
+ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.
Получается синее окрашивание вследствие образования берлинской лазури (открывается трехвалентное железо).
Открываемый минимум 0,1 γ. Предельная концентрация 1:500000.
Примечание. В присутствии больших количеств других металлов, образующих с $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ окрашенные осадки, реакция может быть замаскирована.
3. Испытуемый раствор, полученный растворением минерала в H_2SO_4 (1:1) или HCl (1:1)
+ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.
Образуется синее окрашивание вследствие образования турбулентной сини (открывается закисное железо).

Золото

Все минералы золота растворимы в концентрированной азотной кислоте, поэтому для получения испытуемых растворов крупинку минерала растворяют в концентрированной азотной или соляной кислотах и разбавляют до концентрации 1:1. В шлифе полированная поверхность минерала растворяется в царской водке в течение 1—2 мин.

Реакция кристаллоскопического анализа

Минералы золота (теллуриды и другие) растворяют в HCl (конц.) или царской водке. Раствор пипеткой переносят на предметное стекло и выпаривают досуха, после чего накладывают каплю SnCl_2 . Выпадает металлическое золото или образуется кашнево-пурпур — коллоидальное золото с $\text{Sn}(\text{OH})_2$. Если осадок растворить аммиаком, получается жидкость красного цвета.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ уксуснокислый бензидин.
Появляется синее окрашивание.

Открываемый минимум 0,02 γ. Предельная концентрация 1:500000.
Реакция не пригодная, если в растворе присутствуют сильные окислители.

Кобальт

Все минералы кобальта довольно легко растворимы в азотной и соляной кислотах. Для получения испытуемого раствора крупинку минерала растирают в порошок и растворяют в HNO_3 (1:1) или HCl (1:1).

Реакция кристаллоскопического анализа

Минерал травят HNO_3 (конц.). Раствор пипеткой переносят на предметное стекло и после прибавления капли фосфорной кислоты выпаривают досуха; затем накладывают капли ртутно-родановой соли. Выпадают синие кристаллы двойной родановой соли кобальта и ртути.

Примечание. Испытуемый раствор должен быть нейтральным или слабнокислым. К кислым растворам перед проявлением необходимо прибавлять $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5%-ный.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор
+ спиртовый раствор рубеновой кислоты 1%-ной + NH_4OH 25%-ный.
Образуется желтое окрашивание.
Открываемый минимум 0,03 γ. Предельная концентрация 1:660000.
Примечание. Испытуемый раствор должен быть нейтральным или слабнокислым; раствор нейтрализуют, помещая в центр пятна каплю 25%-ного раствора аммиака. Мешают никель и медь. Окраску этих элементов можно обесцветить обработкой пятна KCN 1%-ным.
2. Испытуемый раствор (лучше уксуснокислый) + α-нитрозо-β-нафтол.
Образуется кирпично-красное окрашивание.
Открываемый минимум 0,05 γ. Предельная концентрация 1:100000.
3. Испытуемый раствор
+ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.
В присутствии кобальта образуется красно-бурое окрашивание, не изменяющееся в отличие от марганца под действием KOH 5%-ного.
4. Испытуемый раствор (азотнокислый)
+ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 1%-ный.
+ ртутно-родановая соль.
В присутствии кобальта образуется изумрудно-синее окрашивание.
Примечание. Мешает железо (отмывается H_2O).

Марганец

Почти все минералы марганца растворимы в концентрированных азотной и соляной кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора порошок минерала растворяют несколькими каплями HNO_3 или HCl. Силикаты марганца не растворяются в кислотах. Поэтому предварительно порошок сплавляют с бурой, фосфорной солью или щелочами. Перл буры с марганцем в окислительном пламени имеет красновато-фиолетовую окраску, а перл фосфорной соли с марганцем окрашен в фиолетовый цвет.

Реакция капельного анализа на фарфоровой пластинке

Минерал растворяют в горячей HCl (конц.); раствор переносят на фарфоровую пластинку и к нему прибавляют NaBiO_3 . В результате появляется розовое до пурпурного окрашивание раствора.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.

В присутствии марганца образуется кирпично-красная окраска. Последняя, в отличие от кобальта, становится темно-коричневой от прибавления KOH.

KOH наносится на середину капли, чтобы изменения окраски были более резко заметны.

Медь

Все минералы меди растворимы в концентрированной азотной, а некоторые и в соляной кислоте. Для получения испытуемого раствора крупинку медного минерала растирают в ступке и растворяют несколькими каплями HNO_3 (1:1) или HCl (1:1). При сплавлении медных минералов с бурой, фосфорной солью или щелочами получают перлы, окрашенные в голубой или синеватый цвет в окислительном пламени. Минералы в шлифах растворяются в NH_4OH 10%-ной или HNO_3 (1:20) после предварительной обработки в парах царской водки в течение 3—5 мин.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор
+ рубиновая кислота + NH_4OH 10%-ный.
Серо-зеленое окрашивание.
Открываемый минимум 0,006 γ. Предельная концентрация 1:2 500 000.

Примечание. Мешает никель.

2. Испытуемый раствор

+ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный

Образуется розово-коричневое окрашивание.

Примечание. Мешает избыток железа, молибдена и урана. В отличие от молибдена и урана медь при обработке KOH 5%-ным меняет розово-коричневую окраску на голубую.

Молибден

Главная масса минералов молибдена растворима в концентрированной азотной и соляной кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора тонкорастертые молибденовые минералы растворяют в HNO_3 (1:1) или HCl. Для получения испытуемого раствора из молибденита последний предварительно сплавляют с бурой, фосфорной солью или со щелочами. Сплав растворяют в азотной (1:1) или соляной кислотах. Перл с фосфорной солью в окислительном пламени окрашивается в зеленый цвет.

Реакция кристаллоскопического анализа

Порошок минерала сплавляют с фосфорной солью или с содой и селитрой в ушке платиновой проволоки. Изумрудно-зеленый сплав растворяют в HCl (1:1). В раствор вводят несколько крупинок ксантогената калия — образуется розовое окрашивание.

90

Примечание. Применение крепких растворителей — как HNO_3 (конц.) — не рекомендуется, так как ксантогенат калия ими разлагается с образованием бурой окраски, маскирующей реакцию на молибден.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор

+ $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.

В присутствии молибдена образуется коричневое окрашивание.

2. HCl (1:1)

+ испытуемый раствор

+ KCNS 20%-ный.

Образуется красно-малиновое окрашивание, не исчезающее от прибавления SnCl_2 .

Открываемый минимум 0,1 γ. Предельная концентрация 1: 500 000.

Примечание. В присутствии железа появляется красное окрашивание, исчезающее от SnCl_2 или Na_2SO_3 .

Мышьяк

Все минералы мышьяка, растертые в порошок, растворяются в концентрированной азотной кислоте. Поэтому для получения испытуемого раствора порошок минерала растворяют в HNO_3 (конц.) в течение 1—3 мин.

Реакция кристаллоскопического анализа

1. Каплю испытуемого раствора переносят на предметное стекло. В раствор вводят кристаллик или небольшое количество порошка $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. Через 1—2 мин образуется желтый мелкокристаллический осадок молибденовокислого мышьяка $(\text{NH}_4)_3\text{AsO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$.

Примечание. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ в водном растворе применять нельзя — выпадает гидрат белого цвета.

2. Минерал на шлифе травят HNO_3 (конц.); на травленное место помещают сухую соль (порошок) $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$. Через 1—2 мин образуется желтый кристаллический осадок.

Примечание. Мешает фосфор.

3. В тигелек наливают несколько капель испытуемого раствора и разбавленной HCl, туда же помещают несколько крупинок шпика или порошок магния. Закрывают воронкой на которую накладывают кружок фильтровальной бумаги, смоченной раствором азотнокислого серебра. Под влиянием AsH_3 выделяется металлическое серебро, и фильтровальная бумага чернеет.

Открываемый минимум 1 γ. Предельная концентрация 1:50 000.

Примечание. Реакция применяется при больших количествах фосфора, никеля и меди в растворе.

Никель

Почти все минералы никеля растворимы в азотной (1:1) и соляной (1:1) кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора крупинку никелевого минерала растирают в ступке и растворяют несколькими каплями различной концентрации азотной или соляной кислот.

91

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор
+ диметилглиоксим
+ NH_4OH 10%-ный
Появляется малиново-розовое пятно или кольцо.
В присутствии большого количества железа или меди поступают следующим образом:
 2. $\text{NH}_4\text{N}_2\text{PO}_4$
+ испытуемый раствор
+ обработка аммиаком
+ диметилглиоксим (обвести вокруг капли).
Образуется малиновое кольцо.
Открываемый минимум 0,015γ.
Предельная концентрация 1 : 3 300 000.
3. Испытуемый раствор
+ рубеоановая кислота + NH_4OH .
В присутствии никеля образуется сине-фиолетовое окрашивание.
При малом количестве никеля в испытуемом растворе образуется розовое окрашивание.
Примечание. В качестве растворителя употребляются HNO_3 разных концентраций (1 : 1; 1 : 20; 1 : 40). Для легкорастворимых минералов в качестве растворителя применяют NH_4OH .

Олово

Минералы олова очень плохо растворимы даже в концентрированных кислотах, поэтому для получения испытуемых растворов порошок минерала предварительно сплавляют с трехкратным количеством буры, фосфорной соли или щелочи. Сплав растворяют в соляной (1 : 1) кислоте. Перл олова с бурой в восстановительном пламени обладает рубиново-красной окраской.

Реакции кристаллоскопического анализа

1. Минерал на шлифе травят HCl (1 : 1) при пропускании электрического тока. Раствор переносят на предметное стекло и прибавляют каплю AuCl_3 . Выпадает металлическое золото или кассиев пурпур — коллоидальное золото со смесью $\text{Sn}(\text{OH})_2$. Кассиев пурпур растворяют NH_4OH 10%-ным. Раствор окрашивается в красный цвет.
2. В касситерите олово открывают следующим образом. На минерал накладывают каплю HCl (1 : 1 или конц.) и покрывают порошком металлического цинка. Образуется пленка металлического олова, которая после промывания водой проявляется более резко. Пленку металлического олова лучше наблюдать в косом свете: минерал в этом месте теряет внутренние рефлексы и становится непрозрачным.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ насыщенный HNO_3 (конц.) раствор.
В присутствии двухвалентного олова образуется синее пятно. Мешает двухвалентное железо, дающее аналогичную по цвету реакцию. Чтобы капля на воздухе не бурела добавляют раствор, содержащий мышьяк.

Ртуть

Минералы ртути плохо растворимы даже в концентрированных кислотах. Большая летучесть ртути при нагревании исключает сплавление минералов с плавнями. Поэтому для получения испытуемого раствора порошок минерала растворяют на фильтровальной бумаге в концентрированной соляной кислоте с добавлением нескольких капель перекиси водорода.

Реакция кристаллоскопического анализа

Минерал растворяют в HNO_3 (конц.) или в царской водке; на травленое место помещают одну каплю H_2O и порошки NH_4CNS и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. Выпадают синие игольчатые кристаллы комплексной родановой соли кобальта и ртути. В присутствии железа реакция ведется так же, как для кобальта, с прибавлением H_3PO_4 . Реакцию лучше вести на предметном стекле и наблюдать под микроскопом или бинокулярном.

Примечание. Мешают крепкие кислоты.

Определение ртути в киновари. Если зерна последней не меньше 1 мм в поперечнике, определение проводят следующим образом. В ушке платиновой или заменяющей ее проволоки сплавляют или буру, или соду, или фосфорную соль; горячий плавень приводят в соприкосновение с полированной поверхностью киновари. Ртуть будет возгоняться и в виде капель металлической ртути осаждаться на холодной поверхности шлифа в виде ореола вокруг плавня. Наблюдение нужно вести под микроскопом в косом свете или под бинокулярном.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. KJ 5%-ный
+ испытуемый раствор
+ As_2O_3 раствор.
Образуется исчезающее оранжевое кольцо йодистой ртути.
2. Дифенилкарбазид
+ испытуемый раствор.
Образуется фиолетовое пятно, темнеющее от паров NH_4OH .
Мешает избыток меди и кадмия.
Открываемый минимум 0,1 γ.
Предельная концентрация 1 : 500 000.
3. Испытуемый раствор
+ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 5%-ный
+ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 20%-ный
+ KCNS 20%-ный.
В присутствии ртути образуется синее окрашивание.
Примечание. При применении в качестве растворителя царской водки или крепких кислот каплю испытуемого раствора с образовавшимся осадком необходимо просушить фильтровальной бумагой, а осадок растворить в HNO_3 (1 : 20) и только после этого производить реакцию на ртуть.

Свинец

Все минералы свинца растворимы в азотной и соляной кислотах. Поэтому для получения испытуемого раствора порошок минерала растворяют в азотной (1 : 1) или соляной кислотах. Если выпадающая металлическая сера задерживает растворение, добавляют 1—2 кристаллика бертолетовой соли или несколько капель перекиси водорода.

Реакция кристаллокопического анализа

Минерал на шлифе травят HNO_3 (конц.), каплю снимают фильтровальной бумагой. На травленное место накладывают каплю KJ 5%-ного, образуются желтые кристаллы йодистого свинца.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. H_2SO_4 (1:20)

+ испытуемый раствор

+ H_2O (промывка)

+ KJ или K_2S (перечеркнуть капилляром).

В первом случае в центре образуется оранжевое пятно йодистого свинца; во втором — черное пятно сернистого свинца.

Примечание. Другие металлы образуют с K_2S черные пятна на периферии капли, куда они были смыты водой.

Открываемый минимум 10 μ .

Предельная концентрация 1:5000.

2. Испытуемый раствор

+ сернистый или щелочной раствор дитизона.

Образуется красное окрашивание.

Примечание. Испытуемый раствор должен быть нейтральным или слабощелочным. Мешают: медь (дает желто-коричневое окрашивание пятна); ртуть (зеленое); висмут (оранжевое); олово (пурпурно-красное); торий (красное) и цинк (окрашивает раствор в пурпурно-красный цвет).

Открываемый минимум 0,4 μ .

Предельная концентрация 1:250 000.

Селен

Почти все минералы селена растворимы в концентрированной азотной кислоте. Поэтому для получения испытуемого раствора селеновый минерал в полированном шлифе обрабатывают этой кислотой в течение 1—2 мин. Только истертый порошок селенового минерала можно растворить в HNO_3 (1:1).

Реакция кристаллокопического анализа

1. Минерал в шлифе травят HCl (конц.), к раствору прибавляют SnCl_2 . Выпадает кирпично-красный осадок металлического селена.

Примечание. Мешает молибден.

2. При травлении некоторых минералов HNO_3 выпадает красный осадок металлического селена.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор

+ тиомочевина 10%-ная.

В присутствии селена образуется красное окрашивание.

Сера

Реакция кристаллокопического анализа

Реакция на предметном стекле

Минерал растворяют в HNO_3 (1:1). Каплю переносят на предметное стекло и добавляют раствор хлористого бария. Выпадают водяно-прозрачные кристаллы сернокислого бария.

Электрографический метод определения серы (реакция Штемпрока)

Реакцию на сульфидную серу проводят в капилляре под влиянием электрического тока, для чего используют прибор для электротравления. Капилляр наполняют раствором SbCl_3 , в него вводят платиновую проволочку, соединенную с положительным полюсом батарейки, и приводят в контакт с полированной поверхностью шлифа. Отрицательный полюс прибора электротравления также приводят в контакт с полированной поверхностью шлифа. В присутствии серы в кончике капилляра выпадает оранжевый осадок сернистой сурьмы (Sb_2S_3).

Серебро

Почти все минералы серебра, растертые в порошок, растворяются в азотной кислоте (1:1). Поэтому для получения испытуемого раствора крупинку серебряного минерала растирают в порошок и растворяют в HNO_3 (1:1).

Кристаллокопические реакции

Крупинку минерала на предметном стекле покрывают насыщенным раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в концентрированной азотной кислоте. Через 1—2 мин появляются оранжево-красные кристаллы $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Эту реакцию дает только серебро. Описываемую реакцию на серебро можно проводить на полированных шлифах, покрывая реактивом полированную поверхность минерала.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

K_2CrO_4 20%-ный

+ испытуемый раствор

+ NH_4OH (раствор в центре задержать)

+ уксусная кислота.

Образуется коричнево-красное пятно хромовокислого серебра.

Открываемый минимум 2 μ . Предельная концентрация 1:25 000.

Примечание. Мешают медь (дающая с реактивом синеватое окрашивание) и железо (зеленое окрашивание).

Сурьма

Все минералы сурьмы растворимы в концентрированной азотной кислоте. Поэтому для получения испытуемого раствора порошок минерала растворяют в HNO_3 (1:1) или HCl (1:1) с добавлением по каплям перекиси водорода 10%-ной.

Реакция кристаллокопического анализа

1. При обработке поверхности кристалла антимонита KOH 20%-ным минерал растворяется и образуется оранжево-красный осадок сурьмы оксисульфид-соли.

2. Минерал травят HNO_3 . Каплю снимают фильтровальной бумагой. На травленное и просушенное фильтровальной бумагой место помещают каплю HCl (1:1); с двух сторон капли вводят кристаллики KJ и CsCl . Образуется красный кристаллический осадок комплексной соли йодистого калия, хлористого цезия и сурьмы.

Примечание. Мешает висмут, дающий аналогичную по цвету реакцию.

3. Минерал травят HNO_3 (конц.). Раствор набирают в ушко платиновой проволоки и приводят в соприкосновение с металлическим

цинком до прекращения выделения пузырьков. Ушко платиновой проволоки при этом чернеет от выделяющейся металлической сурьмы. В отличие от других металлов последняя не растворима в концентрированной HCl.

Примечание. Реакция менее чувствительна, чем первая. Мешает большой избыток свинца, железа и олова. Применяется в присутствии висмута.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Фосфорномолибденовая кислота (насыщенный раствор)
+ испытуемый раствор
+ пары воды.
Появляется интенсивное синее окрашивание вследствие восстановления молибдена с образованием молибденовой сини.
Открываемый минимум 0,2 μ . Предельная концентрация 1:250 000.
Примечание. Мешает двухвалентное олово.

Теллур

Все минералы теллура растворимы в азотной кислоте. Поэтому для получения испытуемых растворов порошок минералов растворяют в HNO₃ (1:1) или в HCl с добавлением по каплям H₂O₂ 10%-ной.

Реакция кристаллоскопического анализа

1. Минерал растворяют в HNO₃. Каплю снимают фильтровальной бумагой. На травленое место помещают каплю HCl (конц.). Последнюю переносят на предметное стекло. В каплю вносят кристаллик CsCl.

Выпадают лимонно-желтые кристаллики комплексной соли кубической сингонии.

Примечание. Селен этой реакции не дает.

2. Порошок минерала при нагревании с концентрированной H₂SO₄ (до появления паров) окрашивает раствор в малиново-красный цвет.

Примечание. Бурюю окраску раствору концентрированной кислоты придают органические вещества. Нагревание порошка минерала вести на предметном стекле.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ CsCl (10%-ный)
+ HCl (конц.)
+ KJ (5%-ный) — обвести вокруг капли.
В присутствии теллура образуется черное кольцо.
Примечание. Если в качестве растворителя применяется HCl, то в реакцию HCl можно не вводить.

Титан

Почти все минералы титана не растворимы в кислотах. Поэтому для испытуемых растворов порошок минералов сплавляют с тройным количеством фосфорной соли или сухим NaOH. Перл с фосфорной солью бесцветен, при прибавлении олова он становится фиолетовым, а небольшая присадка железа окрашивает его в кроваво-красный цвет. Для получения испытуемого раствора сплав растворяют в H₂SO₄ (1:4).

Некоторые минералы (ильменит) иногда довольно хорошо растворяются в H₂SO₄ (1:1) с добавлением нескольких капель H₂O₂ 10%-ной.

96

Реакция кристаллоскопического анализа

1. Сплав минерала с NaOH растворяют H₂SO₄ (1:20); в раствор по каплям добавляют H₂O₂ 3%-ную; появляется окрашивание желтого цвета.

2. Сплав минерала с содой растворяют в HCl, затем в раствор кладут кусок металлического олова и кипятят; фиолетовое окрашивание раствора укажет на присутствие титана.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ хроматроповая кислота.
Образуется красно-бурое окрашивание.
Примечание. Мешают железо (дающее зеленое окрашивание), золото (черное) и ртуть (желтое).
Чувствительность реакции повышается, если испытуемый раствор близок к нейтральному, для чего прибавляют к проявителю CH₃COOH + CH₃COONa.
Открываемый минимум 5 μ . Предельная концентрация 1:10 000.

Уран

Все минералы урана растворимы в азотной кислоте; поэтому для получения испытуемого раствора крупинку минерала растирают в порошок и растворяют в HNO₃ (1:1).

Реакция на фотопластинке

Полированный шлиф в темном помещении кладут на фотопластинку высокой чувствительности на 12—24 ч; пластинку проявляют и фиксируют гипосульфитом. Благодаря действию α -лучей на фотопластинке образуются темные пятна.

При употреблении фотопластинок нормальной чувствительности время экспозиции увеличивается до 2—3 и даже 7 суток.

Примечание. Аналогичный результат дает торий.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

Испытуемый раствор
+ K₄Fe(CN)₆ 5%-ный.
Образуется коричневое пятно.
Открываемый минимум 0,92 μ . Предельная концентрация 1:54 000.
Примечание. Мешают железо, медь, молибден. В их присутствии перед проявлением K₄Fe(CN)₆ фотобумагу обрабатывают иодистым калием и гипосульфитом (для удаления йода).

Хром

Минералы хрома трудно растворимы даже при действии электрического тока, поэтому порошок минерала сплавляют с четырьмя частями соды и двумя частями KNO₃ в ушке платиновой проволоки. Сплав зеленого цвета растворяют в воде, подкисленной уксусной кислотой, на предметном или часовом стекле. Добавляют порошок Na₂O₂ + NaOH. После чего раствор вместе с осадком переносят на фильтровальную бумагу.

7 С. А. Юшко

97

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

- 1) Испытуемый раствор (с горошком $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$) + бензидин (обвести вокруг капли).
Образуется синее кольцо бензидиновой сини.
Открываемый минимум 0,25у. Предельная концентрация 1 : 200 000.
- 2) Испытуемый раствор + AgNO_3 5%-ный.
В присутствии хрома образуется коричнево-красное окрашивание.

Хлор

Реакция кристаллоскопического анализа

Минерал растворяется в HNO_3 (1 : 1).
Раствор переносят на предметное стекло и прибавляют каплю 5%-ного водного раствора азотнокислого серебра.
В присутствии хлора мгновенно выпадает белый творожистый осадок хлористого серебра.

Примечание. В воздухе лаборатории всегда имеется небольшое количество хлора, поэтому незначительное помутнение раствора может появиться и при отсутствии хлора в минерале. Во избежание ошибок реакцию на хлор ведут параллельно с глухим опытом (т. е. без испытуемого раствора).

Фосфор

Реакция кристаллоскопического анализа

Минерал растворяется в HNO_3 (конц.). Раствор переносят на предметное стекло и прибавляют несколько крупинок $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$.

Выпадают лимонно-желтые кристаллы фосфорномолибденовой соли.

Аналогичную реакцию дает мышьяк; в присутствии фосфора желтый осадок образуется мгновенно, а в присутствии мышьяка только при подогревании или по истечении 1—2 мин.

Открыть фосфор в апатите с молибденовокислым аммонием можно методом сухого анализа, для чего тонкорастертый порошок минерала смешивают с порошком молибденовокислого аммония и смачивают 1—2 каплями HNO_3 . Через некоторое время образуется ясно выраженное лимонно-желтое окрашивание порошка. Мышьяк этой реакции обычно не дает.

Цинк

Все минералы цинка растворимы в азотной и соляной кислотах. Поэтому для получения испытуемых растворов крупинки минералов растирают в порошок и растворяют в HNO_3 (1 : 1) или HCl (1 : 1). Плохо растворяется в кислотах сфалерит. Однако если к растворителям (HNO_3 и HCl) добавить несколько капель H_2O_2 10%-ной, сфалерит растворяется хорошо.

Реакция кристаллоскопического анализа

Минерал травят HNO_3 или царской водкой. Раствор переносят пипеткой на предметное стекло; прибавляют 1—2 капли фосфорной кислоты, осторожно выпаривают досуха; после этого накладывают каплю двойной соли родана и ртути.

Выпадают белые, наподобие снежинок, кристаллы двойной соли роданистого калия, цинка и ртути.

Примечание. Мешают железо, кобальт, медь.

Реакция капельного анализа на фильтровальной бумаге

1. Испытуемый раствор.
+ $\text{Si}(\text{NO}_3)_2$ 0,1-ный (в центре капли).
+ ртутно-родановая соль (обвести вокруг капли).
В присутствии цинка образуется сине-фиолетовое кольцо.
Примечание. В присутствии железа реакция на цинк маскируется роданистым железом. Последнее легко можно удалить, если промыть пятно на фильтровальной бумаге путем ее погружения на 2—3 мин в стакан с водой.

2. Испытуемый раствор (солянокислый или азотнокислый) + $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный.
В присутствии цинка образуется оранжево-желтое окрашивание.
Примечание. Мешают кобальт, марганец и железо.

ГЛАВА V

МАКРО- и МИКРОФАЗОВЫЙ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУД

Под фазовым анализом понимается химический анализ, с помощью которого можно устанавливать в руде минеральные формы химических элементов. Это осуществляется путем избирательного растворения в руде одного или нескольких минералов, близких по растворимости.

Таблица 9

Области применения микрохимических реакций фазового анализа

Микрохимическое образование штучных образцов, кернов и пришлифовок	Диагностика минералов в полированных шлифах	Изучение микровключений	Документация закономерностей площадного распределения минералов, содержащих определенные химические элементы в шлифе, керне и пришлифовке
Реакции			
1. Капельного анализа на фильтровальной бумаге 2. Пленочного анализа (окрашивания) на поверхности минералов, штучных образцов, кернов и пришлифовок 3. По методу отпечатков на фотобумаге	1. Диагностического травления 2. Микрокапельного анализа на фильтровальной бумаге 3. Электрографического анализа в камере 4. Микропленочного анализа (окрашивания) на поверхности минералов 5. На коллоидной и целлофановой пленках 6. По методу отпечатков на фотобумаге 7. Кристаллоскопического анализа	1. Микропленочного анализа на коллоидной пленке и целлофане 2. Микропленочного анализа на поверхности шлифа, пришлифовки, керна и штучного образца 3. По методу отпечатков на фотобумаге	1. По методу отпечатков на фотобумаге 2. Пленочного анализа (окрашивания) на поверхности шлифа, пришлифовки, керна и штучного образца

Наиболее трудным этапом при проведении фазового анализа является подбор растворителя, одинаково действующего на один и тот же минерал. Разновидности одного и того же минерала из разных месторождений часто обладают различной растворимостью в одном и том же

растворителе, а иногда и совсем не растворяются. Как известно, способность минералов растворяться зависит от изоморфных примесей, крупности кристаллического зерна и степени кристалличности последнего. Если при проведении обычного фазового анализа характером кристаллического зерна до некоторой степени можно пренебречь, так как анализируемая проба может быть очень тонко растерта, то при проведении фазового анализа методом отпечатка кристаллическое зерно (его размеры, степень кристалличности и ориентировка) может иметь большое влияние на растворимость минерала. На последнюю оказывают влияние ассоциирующие с ним минералы, особенно если какой-нибудь из них

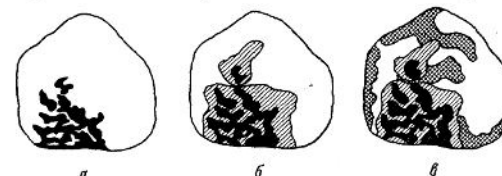


Рис. 45. Схема проведения фазового анализа медной руды
 а — медь в халькантите (черное), растворитель H_2O , время экспозиции 1–2 мин, проявить желтая кровяная соль; б — медь в малахите (штриховка) и халькантите (черное), растворитель азотная кислота 1:10, время экспозиции 1–2 мин, проявить тот же; в — медь в борните (сетка), малахите (штриховка) и халькантите (черное), растворитель азотная кислота 1:1, время экспозиции 1 мин

растворяется более энергично, чем исследуемый минерал. Так, присутствие легкорастворимого даже в слабых кислотах кальцита препятствует переходу в раствор других минералов, с ним ассоциирующих и менее растворимых.

Отпечаток почти точно соответствует площади, занимаемой в полированном шлифе минералом, в состав которого входит данный элемент. Если в шлифе присутствует несколько минералов, содержащих один и тот же химический элемент, и все минералы растворяются одинаково, то после проявления на фотобумаге образуются окрашенные отпечатки, соответствующие суммарной площади, занимаемой в полированном шлифе всеми этими минералами. Если же удастся подобрать такой реагент, который растворяет только один минерал, то после проявления окрашенные участки на фотобумаге будут соответствовать площади, занимаемой только этим минералом. Чтобы в полированном шлифе определить с помощью отпечатка все минеральные формы химического элемента, необходимо заранее экспериментальным путем подобрать растворители для каждого минерала.

Во избежание порчи полированной поверхности шлифа обработку его следует начинать наиболее слабыми растворителями (рис. 45). На отпечатке, полученном с помощью самого слабого растворителя, после проявления обнаружатся участки, отвечающие площади распространения в полированном шлифе только легче растворимого минерала. Все же остальные отпечатки, полученные с помощью более сильных растворителей, могут соответствовать одновременно нескольким минералам. Интенсивность окраски на отпечатке для каждого из них различна: более интенсивная относится к минералу более растворимому.

Области применения фазового анализа по методу отпечатков при изучении руд: 1) для выявления окисленных минералов меди, никеля, железа, свинца и цинка и площадей их распространения в полированных шлифах; 2) при диагностике микровключений рудных минералов в рудных и нерудных минералах (табл. 9).

Примеры выявления с помощью фазового анализа минералов и площадей их распространения в полированном шлифе методом отпечатка

Определение минералов свинца (рис. 46, в конце книги). Если в шлифах присутствуют галенит, англезит, церуссит, ванадинит, вульфенит и пюмбюррозит и необходимо выяснить площади распространения каждого из этих минералов, то поступают следующим образом.

Для установления в шлифе пюмбюррозита фотобумагу пропитывают очень слабым раствором HNO_3 (1:40), приводят ее в контакт с полированной поверхностью образца и по истечении 2 мин проявляют 5%-ным раствором KJ . На фотобумаге проявятся участки лимонно-желтого цвета, соответствующие площадям распространения пюмбюррозита в шлифе.

Для определения железа в пюмбюррозите фотобумагу пропитывают раствором слабой HNO_3 (1:40), приводят в соприкосновение с полированной поверхностью руды и по истечении 2 мин проявляют красной кровяной солью. Железо, входящее в состав пюмбюррозита, проявится на фотобумаге в виде синих участков, площади которых почти точно соответствуют площади распространения пюмбюррозита. С помощью этой реакции в полированном шлифе можно определить пюмбюррозит, который очень трудно обнаружить оптическими методами.

Чтобы установить площади распространения в руде церуссита, фотобумагу пропитывают раствором HNO_3 (1:20) и приводят в контакт с полированной поверхностью руды. По истечении 2 мин фотобумагу обрабатывают 5%-ным раствором KJ , при этом проявляются участки желтого цвета, соответствующие площади распространения церуссита. Одновременно с церусситом могут проявиться и площади распространения ванадинита.

Чтобы установить площади распространения ванадинита, необходимо получить отпечаток и на ванадий. Для этого новый листок фотобумаги пропитывают HNO_3 (1:20) и приводят в контакт с полированной поверхностью шлифа. По истечении 2 мин отпечаток обрабатывают концентрированным раствором уксуснокислого бензидина или 10%-ным раствором H_2O_2 . При проявлении бензидином на фотобумаге проявятся участки, окрашенные в синий цвет, соответствующие площади распространения ванадинита. При проявлении перекисью водорода в тех же местах на фотобумаге появятся участки красно-оранжевого цвета. Отпечатки, обработанные H_2O_2 , неустойчивы. При сравнении отпечатка, полученного при проявлении йодистым калием, с отпечатками, проявленными бензидином или перекисью водорода, можно установить площади распространения в шлифе ванадинита и церуссита.

Чтобы определить площадь распространения англезита, фотобумагу пропитывают HNO_3 (1:1), приводят в контакт с полированной поверхностью руды и по истечении 2 мин проявляют 5%-ным раствором KJ . На фотобумаге проявятся участки лимонно-желтого цвета, почти точно соответствующие площади распространения англезита.

Если фотобумагу обработать HNO_3 (1:1), привести в контакт с полированной поверхностью шлифа и по истечении 2 мин проявить 5%-ным раствором KJ , то на фотобумаге проявятся лимонно-желтые и зеленовато-желтые участки, отвечающие площади распространения вульфенита и галенита. Однако часто отпечаток быстро зеленеет, а потом чернеет вследствие разложения йодистого свинца в присутствии выделяющегося при растворении галенита сероводорода. Чтобы этого избежать, проявление нужно проводить через фильтровальную бумагу.

102

Для определения молибдена в вульфените фотобумагу пропитывают HNO_3 (1:1), приводят в контакт с полированной поверхностью шлифа и по истечении 2 мин проявляют желтой кровяной солью или роданистым калием и хлористым оловом. На фотобумаге, проявленной желтой кровяной солью, проявляются участки, окрашенные в коричневый цвет, соответствующие площади распространения в шлифе вульфенита. Отпечатки вульфенита, проявленные роданистым калием и хлористым оловом, окрашиваются в красно-бурый цвет. Те и другие соответствуют площади распространения в шлифе вульфенита. Однако отпечаток, полученный при проявлении роданистым калием и хлористым оловом, нестойк; при промывании водой расплывается и постепенно обесцвечивается.

Определение минералов цинка (рис. 47, в конце книги). Если в руде одновременно присутствуют сфалерит, смитсонит, монгеймит, каламин, гидрочинкит, аурихальцит и госларит, то поступают следующим образом.

Чтобы установить в руде присутствие и площади распространения госларита, фотобумагу пропитывают водой, лучше дистиллированной, и приводят в контакт с полированной поверхностью руды. По истечении 2 мин фотобумагу обрабатывают 1%-ным раствором азотнокислой меди или азотнокислого кобальта, а затем раствором ртутно-родановой соли. На отпечатке проявятся участки сине-фиолетового цвета ртутно-родановой соли меди и цинка, соответствующие площади распространения в шлифе госларита. При применении в качестве проявителя азотнокислого кобальта и ртутно-родановой соли на фотобумаге проявятся участки голубого цвета (ртутно-родановая соль кобальта и цинка), соответствующие площади распространения госларита*.

Если фотобумагу пропитать слабым раствором HNO_3 (1:40) и привести в контакт с полированной поверхностью руды, через 2 мин проявить азотнокислой медью или азотнокислым кобальтом и ртутно-родановой солью, то на фотобумаге проявятся участки в первом случае сине-фиолетового, а во втором — голубого цвета, точно соответствующие площади распространения гидрочинкита. Раствором ртутно-родановой соли часто вместе с цинком проявляется и железо, которое в качестве изоморфной примеси входит в состав гидрочинкита. Железо маскирует реакцию на цинк. Для выявления последнего отпечаток промывают, погружая его на 2—3 мин в стакан с водой, при этом бурно-красный цвет роданистого железа исчезает, а сине-фиолетовая окраска ртутно-родановой соли цинка и меди или голубая окраска ртутно-родановой соли цинка и кобальта будет четко выражена. Более темные и нестойкие участки на фотобумаге соответствуют площади распространения госларита. Если в шлифе совместно с гидрочинкитом присутствует аурихальцит, то фотобумагу пропитывают HNO_3 (1:40); сине-фиолетовое окрашивание появляется при проявлении ртутно-родановой солью без добавления соли меди.

Чтобы определить площадь распространения в шлифе аурихальцита, фотобумагу пропитывают слабым раствором HNO_3 (1:40) и через 2 мин обрабатывают раствором желтой кровяной соли или рубеоановой кислоты и аммиака для получения отпечатка на медь. Площади распространения аурихальцита окрасятся соответственно в коричневато-розовый или серо-зеленый цвет.

Чтобы установить в руде площадь распространения каламина, фотобумагу обрабатывают раствором HNO_3 (1:20) и приводят в соприкосновение с полированной поверхностью шлифа. По истечении 2 мин после проявления растворами азотнокислой меди или азотнокислого кобальта и ртутно-родановой соли на фотобумаге проявятся участки

* Другими методами обнаружить присутствие в руде госларита не удается.

в первом случае сине-фиолетового, во втором — голубого цвета, соответствующие площади распространения каламина. Вместе с каламином на отпечатке проявятся госларит, гидросинкит и аурихальцит. Отпечатки этих минералов нестойкие (вследствие применения сильного растворителя), легко смываемые водой.

При определении в руде смитсонита и его железосодержащей разновидности монгеймита фотобумагу обрабатывают раствором HNO_3 (1:1) и приводят в контакт с полированной поверхностью руды. Через 2 мин отпечаток проявляют растворами азотной кислоты меди или азотнокислого кобальта и ртутно-родановой соли. После обработки первым реагентом на фотобумаге проявятся участки сине-фиолетового, вторым — голубого цвета. Эти цвета очень интенсивно маскируются роданистым железом в тех участках фотобумаги, которые соприкасались с монгеймитом. Сине-фиолетовая или голубая окраска может быть восстановлена путем отмывания водой роданистого железа.

В связи с малой растворимостью сфалерита применяют сильные растворители. Вполне удовлетворительные отпечатки можно получить на фотобумаге, пропитанной царской водкой (1 часть HNO_3 конц. + 2 части HCl (конц.) + 1 часть H_2O). По истечении 2—3 мин отпечаток проявляют 1%-ным раствором азотной кислоты меди и ртутно-родановой соли. После промывания отпечатка водой (для удаления роданистого железа) на нем проявляются сине-фиолетовые участки, соответствующие площадям распространения сфалерита*.

Определение минералов никеля (рис. 48, в конце книги). Если в шлифе одновременно присутствуют пирротин и пентландит, то для определения никеля в пентландите фотобумагу пропитывают HNO_3 (1:1) и приводят в контакт с полированной поверхностью шлифа. Через 1 мин отпечаток проявляют диметилглиоксимом или рубановой кислотой с последующей обработкой аммиаком. В первом случае на отпечатке проявятся участки малинового, а во втором — сине-фиолетового цвета, точно соответствующие площадям распространения пентландита в шлифе. При этом если в шлифе, кроме пентландита, присутствует также и виоларит, то окраска площади его распространения на отпечатках будет более интенсивная.

Для определения в минералах микровключений, размер которых составляет сотые доли миллиметра, рекомендуется применять метод фазового анализа на целлофановых и желатиновых пленках с изучением хода и результатов реакций под микроскопом.

Реакции микрофазового анализа на целлофане проводятся следующим образом. Целлофан пропитывают растворителем + проявитель путем погружения кусочков целлофановой пленки в эти реактивы на 1—2 ч. После этого влажную целлофановую пленку наклеивают на изучаемый участок полированного шлифа и быстро просушивают фильтровальной бумагой. Результаты реакций наблюдают под микроскопом при увеличении от 20× до 400×. Полученный отпечаток на целлофановой пленке можно сохранить в виде препарата, заклеенного

* Фиолетовая окраска ртутно-родановой соли Zn и Cu получается только в том случае, если количество цинка, участвующего в реакции, относится к количеству меди как 1:4. В противном случае фиолетовая окраска не образуется, так как будет маскироваться зеленовато-желтой окраской ртутно-родановой меди. Поэтому, ввиду плохой растворимости сфалерита и особенно его прозрачных разновидностей нужно перед получением отпечатка полированную поверхность сфалерита обработать парами царской водки, а в растворитель добавить 1—2 капли H_2O , 10%-ной, что обеспечивает получение фиолетовой окраски отпечатка. Применение $\text{Co}(\text{NO}_2)_2$ делает реакцию на цинк более чувствительной. Голубое окрашивание ртутно-родановой соли Co и Zn получается при соотношении количества Co и Zn 10:1. Это соотношение будет тем больше, чем лучше будет растворен сфалерит (проверить под микроскопом полированную поверхность сфалерита).

между предметным и покровным стеклами; такие препараты можно изучать также под микроскопом в проходящем свете.

Реакции микрофазового анализа на желатиновой пленке проводятся следующим образом. Капля свежеприготовленного желатина* смешивается в равном объеме с растворителем + проявитель и наносится на изучаемый участок полированной поверхности шлифа. После полного высыхания желатина в его порах будут происходить реакции, результаты которых наблюдают под микроскопом.

Для трудно растворимых минералов до наложения коллоидной пленки необходимо предварительно подвергать травлению полированную поверхность минерала, содержащего микровключения.

Химические реакции, проводимые на коллоидной пленке, более специфичны, что позволяет в значительной степени повышать открываемый минимум химического элемента и применять растворители более слабых концентраций.

Набор применяемых здесь реакций тот же, что и при анализе методом с помощью отпечатков.

В случае удачно подобранных реагентов микровключения в минерале покрываются окрашенными пленками, и отчетливо выявляется их форма и особенности строения.

Микроскопическое зондирование

При изучении микровключений часто размер минеральных выделений настолько мал, что травление их полированной поверхностью путем наложения капель не может быть осуществлено. Всегда будет затронута полированная поверхность включающих микровключения минералов, что будет отражаться на чистоте полученного испытуемого раствора и на качественном характере диагностического травления (может быть получена ложная иризирующая пленка или, наоборот, поверхность испытуемого минерала останется чистой и не будет подвергаться травлению). В этом случае полезно применять специальную насадку на объектив. На кафедре полезных ископаемых геологоразведочного института ассистентом Л. Д. Оникенко предложена специальная насадка на объектив (рис. 49), с помощью последней может быть до минимума сокращен диаметр капли реактива, накладываемого на полированную поверхность минерала, и обеспечивается точное нанесение реактива на исследуемый минерал. Методика растворения минералов с помощью микронасадки заключается в следующем:

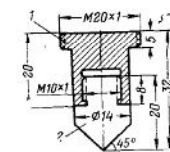


Рис. 49. Коническая насадка
1 — переходник (дюраль);
2 — конус (плексиглас)

1. Исследуемый в шлифе минерал подводят на крест нитей (объектив предварительно должен быть тщательно центрирован).
2. Отвинчивают оптическую часть объектива и на его место привинчивают специальную насадку с тонко заостренным штырьком.
3. К концу штырька подводят стеклянную пластинку с каплей растворителя, которую приводят в соприкосновение с острием штырька.
4. Стеклянную пластинку убирают, а конец острия микронасадки с микрокаплей растворителя приводят в соприкосновение с поверхностью испытуемого минерала, затем микронасадку осторожно убирают. В результате на полированную поверхность испытуемого мине-

* 10—15 г сухого желатина замачивают в небольшом количестве холодной воды на 1—2 ч. После полного разбухания желатина добавляют до 20—25 мл воды и па- тревляют на слабом огне до получения однородного коллоидного раствора.

рала будет наложена микрокапля (0,1, 0,001 мм). После этого оптическую часть объектива вновь помещают на свое место, продукт реакции промывают водой и наблюдают под микроскопом. Таким же путем может быть проведено определение характерного элемента в исследуемом минерале. В этом случае к капле растворителя, обеспечивающего фазовое растворение минерала, добавляется соответствующий реагент. Полученная реакция на заданный элемент будет наблюдаться в виде соответствующей цветной пленки. Последняя может быть детально изучена с применением иммерсии. На испытуемую каплю помещается покровное стекло, капля раздавливается и на покровное стекло помещается глицерин, в который вводится иммерсионный объектив соответствующего увеличения. Объектив наводят на фокус и изучают характер и цвет кристаллического осадка.

С помощью такого микрохимического «зондирования» в полированных шлифах могут быть получены цветные пленки при изучении главной массы минералов никеля, кобальта, меди, железа, свинца, серебра, сурьмы, селена, мышьяка, цинка, висмута, марганца, серы, золота, хрома, титана, ванадия и др.

Эффективность проведенных реакций зависит от удачно подобранных растворителей (обеспечивающих фазовое растворение испытуемого минерала) и специфичности реагента, дающего цветную, нерастворимую в воде пленку на полированной поверхности минерала. Для трудно растворимых минералов соответствующих металлов цветная пленка может получиться только после предварительной обработки поверхности минерала с помощью паров царской водки, соответствующих концентрированных кислот и щелочей или путем прибавления к растворителям перекиси водорода или перекиси натрия. При получении отрицательной микрохимической реакции необходимо проделать испытание на растворимость минерала.

При микрохимическом зондировании труднорастворимых минералов микрохимические реакции проводят на коллоидной пленке. Применение коллоидных пленок может значительно понизить открываемый минимум минерала.

Кроме того, применение микронасадки, с одной стороны, сохраняет полировку шлифов, так как травлению подвергают только микроскопические участки шлифа. При этом шлиф строго фиксирован и растекание реактивов по полированной поверхности шлифа, полностью исключается. С другой стороны микронасадка предохраняет от травления оправу объектива.

ГЛАВА VI

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛОВ В ПОЛИРОВАННЫХ ШЛИФАХ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

Измерение минеральных выделений (зерна, прожилки и т. п.) имеет особенно большое значение при установлении методов технологической обработки руды (обогащение, металлургия). Наиболее простым прибором для измерения является микрометр-окуляр. В фокальной плоскости микрометр-окуляра вставлена стеклянная пластинка, на которой 1 см разделен на десять делений, каждое из которых в свою очередь разделено еще на десять делений. С помощью микрометрического винта верхнюю линзу окуляра устанавливают на ясную видимость.

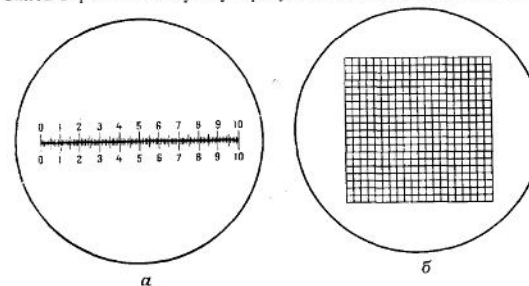


Рис. 50. Окуляр
а — с микрометрической линейкой; б — с микрометрической сеткой

Затем определяют, какое количество делений микрометр-окуляра отвечает длине или ширине выделения минерала. Каждое деление микрометрического окуляра соответствует при данном увеличении определенному числу долей миллиметра. Так как измеряется не предмет, а его изображение, то при каждом новом увеличении цена деления микрометрического окуляра будет меняться, поэтому предварительно необходимо определить цену деления увеличения (объектива и окуляра вместе). Для установления цены делений микрометрического окуляра пользуются объект-микрометром. Последний представляет собой небольшую стеклянную или отполированную металлическую пластинку, на которую нанесены деления в сотых долях миллиметра. При определении цены деления микрометрического окуляра объект-микрометр помещают

вместо шлифа на столик микроскопа и подсчитывают, скольким делениям объект-микрометра соответствует одно деление микрометренного окуляра (рис. 50).

Пример. 14 делений микрометренного окуляра соответствуют 16 делениям объект-микрометра; так как каждое деление объект-микрометра равняется 0,01 мм, то одно деление микрометренного окуляра будет равно $\frac{0,16}{14} = 0,011$ мм.

Для удобства практической работы полезно заблаговременно составить табличку цены делений микрометренного окуляра для различных увеличений (комбинаций окуляр плюс объектив).

Если нужно произвести более точные измерения (например, измерение ширины черты при определении твердости минералов с помощью микросклерометра), можно применять винтовой окуляр-микрометр. В последнем при помощи микрометренного винта передвигается паутинная нить; на ось винта насажен барабан, полные повороты которого указываются делениями на подвижной и чертой на неподвижной верхней пластинке; неполные обороты подсчитываются числом делений, нанесенных на барабане. Ободок этого барабана разделен на 100 равных частей. Винтовой микрометренный окуляр вставляется на место окуляра микроскопа и прикрепляется к тубусу с помощью особого винта. Измерение минерального выделения производится путем последовательного совмещения нити с одним, затем с другим его краем и одновременным отсчетом делений на барабане винтового окуляр-микрометра.

Вычисления производятся по разности отсчетов с учетом цены делений барабана для объектива, с которым ведется изучение. С помощью винтового окуляр-микрометра можно измерять величины с точностью до 0,0001 мм.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФЕ

Количественный минералогический состав руды может быть определен с помощью химического анализа. Но последний требует много времени; кроме того, для пересчета полученных результатов на минералогический состав необходимо знать хотя бы ориентировочные количественные содержания минералов в шлифе (например, для расчетов меди и железа на минералы при содержании в руде халькопирита, борнита и теннантита). В практике для быстрого получения данных о количественном минералогическом составе руды существует ряд методов. Главнейшими из них являются планиметрический, линейный и точечный.

Планиметрический метод. Под микроскопом в шлифе измеряют площади, приходящиеся на долю каждого минерала в отдельности, что производится с помощью квадратно-клетчатого окуляр-микрометра. В фокальной плоскости последнего вставлена стеклянная пластинка с квадратными делениями; квадратная сетка имеет в каждой стороне по 20 делений, или всего 400 клеток (рис. 51).

Измерение производится следующим образом. В случае неравномерного распределения минералов измерению подвергается вся площадь шлифа. Если же минералы распределены более или менее равномерно и руда обладает мелкозернистым строением, то в шлифе выбирают небольшое квадратное поле (например, в 1 см²). Последнее рекомендуется очертить цветным или алмазным карандашом. Затем закрепляют столик микроскопа так, чтобы он не вращался и чтобы при передвижении шлифа с помощью салазок (препаратоводителя) можно было последовательно осмотреть намеченное к измерению поле. После

этого устанавливают шлиф таким образом, чтобы квадратная сетка окуляр-микрометра находилась в одном из углов поля, выбранного для измерения, и подсчитывают количество клеток, покрывающих каждый минерал; при этом соединяют и дополняют на глаз неполные клетки до целых. После подсчета всех минералов, наблюдаемых в пределах квадратной сетки окуляр-микрометра, передвигают шлиф с помощью препаратоводителя так, чтобы граница нового предназначенного к подсчету квадрата точно совпала с границей только что подсчитанного, и так далее, пока не будут подсчитаны все минералы в пределах всего

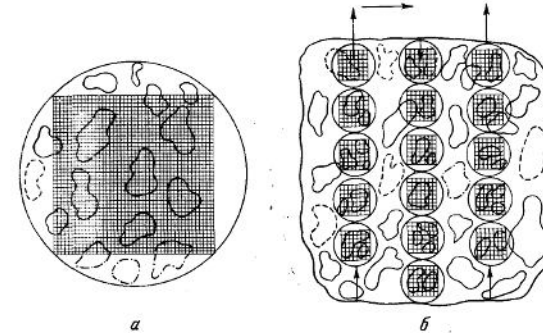


Рис. 51. Площадный метод определения количественного содержания минералов в полупрозрачном шлифе
а — одно поле зрения; б — общая схема подсчета

намеченного поля. Чем большая площадь шлифа будет охвачена подсчетом, тем точнее цифры, характеризующие количественные соотношения минералов в шлифе. Подсчеты обычно производятся при увеличении в 60—80 раз (для мелкозернистого агрегата).

Пример. В изучаемом шлифе руды основную массу составляет сфалерит; в массе последнего равномерно распределены в виде зерен и жилкообразных выделений кварц, пирит и галенит. Измерения производились квадратно-сетчатым окуляр-микрометром. Площадь поля, выбранного для подсчета, 1 см²; в пределах его с помощью квадратно-сетчатого окуляр-микрометра было подсчитано четыре квадрата (табл. 10).

Таблица 10
Результаты расчета содержания минералов в шлифе

Квадраты	Количество клеток			
	Пирит	Сфалерит	Галенит	Кварц
1	53,5	245	45	56,5
2	83,5	229,5	Нет	87
3	97,5	247,5	4,5	50,5
4	61,5	221	32,5	85
Всего	296	943	82	279

Что соответствует в %:	
Сфалерит	59,0
Пирит	18,5
Кварц	17,4
Галенит	5,1
Сумма	100,0

Для получения объемных отношений подсчитанного слоя его толщина условно принимается равной единице; при этом предполагается, что количественные соотношения минералов в пределах этого слоя сохраняются те же, что были установлены в плоскости шлифа. При вычислении химического состава руды по данным количественного минералогического подсчета пользуются молекулярными количествами элементов и их соединений, входящих в состав минералов. Можно также пользоваться приведенными в справочниках и учебниках цифрами процентных содержаний металлов для определенных минералов. Так, теоретическое содержание цинка в сфалерите 67%, поэтому содержание цинка в изучаемом шлифе будет равно $\frac{59 \cdot 67}{100} = 39,5\%$.

Таким образом можно вычислить полный химический состав изученного образца.

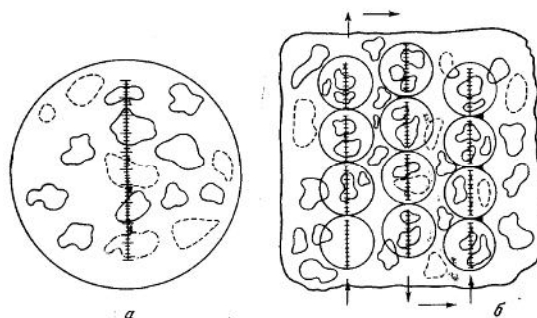


Рис. 52. Линейный метод подсчета количественного содержания минералов в полированном шлифе
а — одно поле зрения; б — общая схема подсчета

Однако результаты, полученные с помощью планиметрического метода, по точности уступают даже техническому химическому анализу. Тем не менее в практической работе часто пользуются этим методом, так как он позволяет получить относительно быстро результаты (в течение 2—3 ч, максимум 5 ч); данные полного химического анализа, даже технического, могут быть получены не ранее чем через 4—5 дней.

Линейный метод. Этот метод основан на том, что отношение площадей, занимаемых сечениями минералов в плоскости шлифа, приравниваются к отношению длин линий, пересекающих эти сечения.

Для проведения подсчетов этим методом можно пользоваться окуляром Гиршвальда. Последний вставляется в тубус микроскопа вместо окуляра. В фокальной плоскости окуляра Гиршвальда помещена пластинка с двумя пересекающимися линейками: одна из них может передвигаться с помощью винта, другая неподвижна. На неподвижной линейке имеется пять крупных делений, из которых каждое разделено на десять делений; подвижная линейка разделена на десять крупных

делений, из которых каждое в свою очередь разделено на десять делений. Техника подсчета с помощью окуляра Гиршвальда заключается в следующем. Подвижная линейка устанавливается на верхнее деление неподвижной линейки и на последней подсчитывается количество елений, покрывающих отдельные минералы. Дальнейший подсчет производят, постепенно передвигая винтом подвижную линейку с деления на деление неподвижной линейки, пока не достигнут пятидесятого деления последней, после чего передвигают шлиф с помощью препаровочного стола так, чтобы граница нового предназначенного к подсчету квадрата точно совпала с границей только что подсчитанного, и ведут подсчет таким же образом.

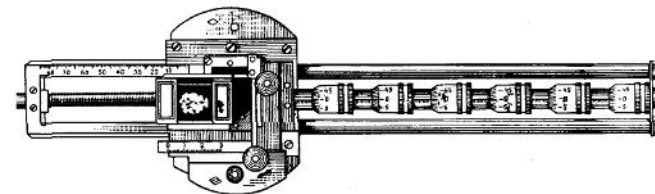


Рис. 53. Интеграционный столик (ИСА) конструкции Аядина

Для количественного минералогического подсчета линейным методом пользуются окуляр-микрометром (рис. 52), а также интеграционным столиком (рис. 53), который помещается на столик микроскопа. Интеграционный столик состоит из металлической рамы, на которой смонтированы шесть измерительных барабанов, снабженных винтами. С помощью каждого из них шлиф может быть перемещен в одном направлении. Для перемещения шлифа в перпендикулярном направлении имеется специальный винт (без измерительного барабана), которым шлиф может быть перемещен на 0,1 мм. Прибор прикрепляется к столику микроскопа и устанавливается так, чтобы движение производилось параллельно нитям окулярного креста. Затем с точкой пересечения нитей совмещают границу зерна минерала и вращают одним из винтов с измерительным барабаном до совмещения с этой точкой следующей по ходу границы этого же зерна. То же делается и с другим минералом при вращении винта другого барабана и т. д. После окончания подсчета последнего квадрата суммарная длина отрезков отвечает количественному содержанию минералов (см. табл. 10).

Точность измерений по линейному методу зависит от числа измеренных отрезков. По А. А. Глаголеву, наиболее точные результаты подсчета для равномернозернистых руд по этому методу получаются, если линии подсчета на площади шлифа брать на расстояниях, равных среднему поперечнику зерен.

Точечный метод*. Этот метод основан на следующем положении: если в плоскости полированного шлифа равномерно распределить некоторое количество точек (порядка 1000), то соотношение чисел точек, пришедших на долю каждого минерала, может быть приравнено к соотношению суммарных площадей, занимаемых сечениями этих минералов в шлифе, а следовательно, и суммарных объемов, занимаемых зернами этих минералов в образце.

Для проведения подсчета точечным методом исследуемый шлиф помещается на столик микроскопа; с помощью одного из винтов пре-

* Предложен А. А. Глаголевым в 1933 г.

паратоводителя шлиф передвигается скачками, равными среднему диаметру зерен. Сначала шлиф передвигают по одной линии, причем отмечают определенными значками минералы, попадающие в данный момент на пересечение нитей окуляра микроскопа (рис. 54). Затем передвигают шлиф другим винтом препаратоводителя на расстояние, равное среднему диаметру зерен, и продолжают регистрацию минералов, попадающих на пересечение нитей окуляра, по следующей, параллельной линии, и т. д., пока не будет просмотрен весь шлиф.

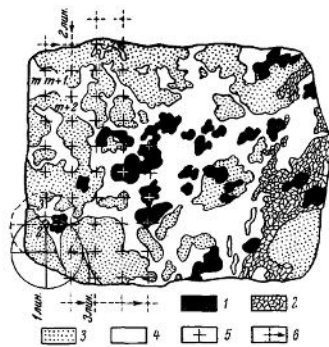


Рис. 54. Точечный метод подсчета количественного содержания минералов в полированном шлифе

1, 2, 3 и 4 — соответственно первый, второй, третий и четвертый компоненты; 5 — удары по счетным клавишам; 6 — линейное перемещение шлифа

Зная теоретический состав подсчитанных минералов, вычисляют процентное содержание металла в руде. По Глаголеву, точность количественного минералогического анализа, произведенного точечным методом, определяется по формуле:

$$\beta = 0,67 \sqrt{\frac{100 - \alpha}{n}}$$

где β — вероятная погрешность в определении объемного содержания какого-либо компонента (β выражена в процентах к сумме анализа, принимаемой за 100%);

α — истинное содержание (в объемных процентах) данного компонента в шлифе;

n — общее число равномерно расположенных в шлифе точек.

При общем числе точек около 1000 и содержаний компонента в шлифе 50% вероятная погрешность определения будет около 1%.

По Глаголеву, точечный метод при числе точек, равном числу зерен в шлифе, дает наибольшую возможную точность определения количественного состава равномернозернистого агрегата по данному шлифу.

Для автоматической регистрации минералов при просмотре шлифа А. А. Глаголевым был сконструирован специальный прибор — пуш-интегратор. Последний состоит из счетчика-регистратора и препаратоводителя. Регистратор помещается на столе рядом с микроскопом у правой руки наблюдателя. Связь регистратора с подающим механизмом препаратоводителя, помещающегося на столике микроскопа, осуществляется с помощью гибкого фотоспуска. Регистратор пуш-интегратора позволяет производить подсчет шестикомпонентного агрегата. Состоит он из счетчиков и шести соответствующих клавиш. Перед

112

началом работы необходимо записать показания счетчиков (последние не переводятся автоматически в нулевое положение).

Регистрация минерала, попавшего на пересечение нитей окуляра, производится ударом по клавише, закрепленной за данным минералом шлифа. Число ударов отсчитывается счетчиком и определяется в конце измерений по разности конечного и начального показаний счетчика. Автоматическое перемещение шлифа в новое положение происходит при ударе по клавише вследствие нажима на общую педаль, расположенную под всеми клавишами. Эта педаль с помощью рычага нажимает на конец фотоспуска, прикрепленного к задней стенке регистра-

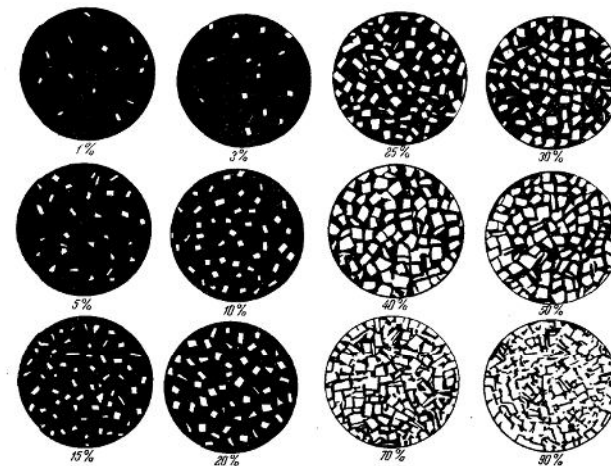


Рис. 55. Определение относительного количества минералов в полированном шлифе методом стандартного препарата (по Вахромееву)

тора. Фотоспуском толчок передается подающему механизму препаратоводителя. При нажатии на фотоспуск механизм подачи препаратоводителя произведет передвижку шлифа в прямом или обратном (в зависимости от установки) направлении. Препаратоводитель пуш-интегратора приспособлен для установки на различных микроскопах.

Сравнивая точность геометрических методов измерений количественного состава руды, А. А. Глаголеву указывает, что для определения количественного минералогического состава шлифа лучшие результаты дает планиметрический метод; менее точны линейный и точечный. Последний метод дает наиболее точные результаты при определении количественного состава всего агрегата.

Метод стандартного препарата. Этот метод был предложен С. А. Вахромеевым. Количественное содержание минералов в шлифе устанавливается путем визуального сравнения с заранее приготовленными эталонными кружками, на черном фоне которых имеется определенное количество белых фигур. Эталонные кружки сравнения приведены на рис. 55. Относительное количественное содержание минерала в шлифе устанавливается по данным сравнения, проводимым по всему шлифу (9—12 полей).

8 С. А. Юшко

113

Классификация минеральных сростаний в рудах по И. Ф. Григорьеву (1928)

Структура минеральных сростаний в рудах	Типы структур и частота их проявления в рудах				
	отложе- ния	распаде- ния смеси	замеще- ния	метакон- лоидные	давления
Зернистая	Часто	—	—	—	Часто
Порфиroidная	Редко	—	—	—	—
Графическая	»	Редко	Часто	—	—
Субграфическая	Часто	»	»	—	—
Зональная	»	»	Редко	Часто	—
Полосчатая	»	—	Часто	—	Часто
Оолитовая	Редко	—	—	Редко	—
Петельчатая	Часто	Часто	—	—	—
Решетчатая	—	»	Часто	—	—
Эмульсионная	—	»	»	—	—
Неоднородная	—	»	—	—	—
Нитеобразная	—	—	Часто	—	—
Раскрошенная	—	—	Редко	—	—
Скелетная	—	—	»	—	—
Дендритовая	Редко	Редко	Часто	—	—
Цементная	»	—	Редко	—	—
Кольмоформная	—	—	—	Часто	—
Перлитовая	—	—	—	Редко	—
Сферолитовая	—	—	—	»	—
Тельная	—	—	—	—	—
Смятая	—	—	—	—	Часто
Раздробленная	—	—	—	—	»

ВВЕДЕНИЕ

Эта глава посвящена методике изучения структур и текстур руд, характеризующих особенности строения руд. Структуры отражают особенности физико-химических и термодинамических условий образования минералов в руде и последовательность их выделения. Текстуры руд позволяют установить взаимосвязь между слагающими руду минеральными агрегатами и дают возможность выделить этапы и стадии минерализации, увязать их с общей геологической обстановкой.

В рудах различного генезиса часто наблюдаются на первый взгляд весьма сходные по морфологии структуры и текстуры. Для распознавания их необходимо тщательное изучение формы, строения и изменения минерального зерна и минерального агрегата.

Структурные и текстурные особенности руд принимаются во внимание при выборе методов технологической обработки рудного сырья, так как для рационального извлечения полезного компонента необходимо знать закономерности сростания и распределения слагающих руду минералов и минеральных агрегатов.

Первую классификацию структур руд и определение терминов «структура» и «текстура» руд дал в 1928 г. И. Ф. Григорьев. Структурами он называет сростания минералов, наблюдаемые под микроскопом, а текстурами — сростания минералов, наблюдаемые макроскопически. Классификация И. Ф. Григорьева охватывает только сростания минералов, наблюдаемые под микроскопом (структуры). Он подразделяет их на структуры отложения, распада смеси, замещения, метаконлоидные и давления (табл. 11).

В 1937 г. А. Г. Бетехтин предложил классификацию структур и текстур руд. По его определению, «под структурой руды подразумеваются ... особенности строения минеральных агрегатов... которые обуславливаются формой, размерами и способом сочетания кристаллических зерен, слагающих данный минеральный агрегат... Под текстурами руд подразумеваются те черты строения их, которые обусловлены формой, размерами и способом сочетания минеральных агрегатов как составных частей руды, отличающихся друг от друга по составу и часто по структуре».

А. Г. Бетехтин выделил пять генетических групп: 1) структуры кристаллизации минералов из жидких расплавов и растворов, 2) структуры распада твердых растворов, 3) структуры перекристаллизации и раскристаллизации вещества в твердом состоянии, 4) структуры катакlastические, 5) структуры руд осадочного происхождения (табл. 12).

Текстуры он подразделил на три генетические группы: 1) текстуры эндогенных руд, 2) текстуры экзогенных руд, 3) текстуры метаморфогенных руд (табл. 13).

В классификации, предложенной С. А. Вахромеевым в 1950 г., термины структура и текстура употребляются в том же смысле, что и у А. Г. Бетехтина. Различные типы структур С. А. Вахромеев объединяет в пять генетических групп: 1) структуры кристаллизации, 2) структуры распада твердых растворов, 3) структуры перекристаллизации коллоидов, 4) структуры коррозионные, 5) структуры давления.

Текстуры С. А. Вахромеев подразделяет по условиям их образования, вводя геологическое обоснование понятия «текстура». Так, он считает, что «закономерное расположение, или, вернее, сочетание минеральных агрегатов в пространстве регулируется в большинстве случаев геологическими факторами (сегрегацией, метасоматизмом, инъекцией и др.). В некоторых случаях текстурный рисунок может быть обусловлен неоднородностью химического состава в различных точках минерального вещества к моменту его кристаллизации». С. А. Вахромеев выделяет текстуры следующих шести генетических групп: 1) магматические, 2) контактово-метасоматические, 3) гидротермальные, 4) выветривания, 5) осадочные, 6) метаморфогенные. По форме минерального агрегата в каждой из этих групп выделены текстуры однородные (равномерные) и неоднородные (табл. 14).

В 1954 г. был опубликован Атлас структур и текстур руд, составленный сотрудниками ВСЕГЕИ С. И. Талдыкиным, Н. Ф. Гончарик, Г. Н. Еникеевой и Б. Б. Розиной. Под термином «структура» авторы понимают «особенности строения рудной массы, обусловленные формой, размерами и взаимоотношением слагающих компонентов», а под текстурой — «пространственное расположение слагающих руду структурно однородных или разнородных минеральных агрегатов».

В 1958 г. вышла новая работа коллектива сотрудников ИГЕМ под редакцией А. Г. Бетехтина «Структуры и текстуры руд», которая содержит детальное описание различных генетических типов рудных структур и текстур.

Классификация главных структур руд по А. Г. Бегетину (1937)

Структуры кристаллизации минералов в жидких расплавах или растворах		Структуры распада твердых растворов	Структуры дискресталлизации	Структуры изобластические	Структуры руд осадочного происхождения
Зернистые	Коррозивные				
1. Аллотриоморфно-зернистая (и панакиоморфнозернистая)	1. Разделение	1. Эмульсионная	1. Гранобластическая	1. Структура омиагия	1. Обломочная
2. Гипидиоморфнозернистая	2. Пересечений	2. Пластинчатая или решетчатая структура дистектики	2. Порфиробластическая	2. Гранобластическая	2. Органогенная
3. Порфиroidная	3. Петельчатая и решетчатая структуры замещения	3. Петельчатая структура дистектики	3. Пойкилобластическая	3. Порфирокластическая	3. Осадочная
4. Пойкилитовая	4. Структуры остатков от замещения	4. Зернистая структура дистектики	4. Идиобластическая		4. Кристаллобластическая
5. Этекстическая (и этекторитовая)	5. Графическая структура замещения	5. Этекстолная			
6. Скелетнокристаллическая и гольвая	6. Скелетная структура замещения				

Классификация главных типов текстур руд по А. Г. Бегетину (1937)

Структуры эндогенных руд		Структуры экзогенных руд				
Текстуры руд осадочных путей метасоматоза	Текстуры руд, отложенных путем выполнения пустот	Текстуры (интеграция) руд	Текстуры коллоидных рудных отложений	Текстуры осадочных руд	Текстуры метаморфических руд	
1. Массивная 2. Вкрапленная 3. Пегматитовая 4. Пегматитовая (флюктуационная) 5. Псевдоосадочная 6. Брекчиевидная 7. Брекчиевидная	1. Пересечения (жильная текстура) 2. Полочатая выстилка 3. Равноосадочная 4. Равноосадочная 5. Брекчиевидная 6. Брекчиевидная 7. Вкрапленная 8. Пегматитовая (флюктуационная) 9. Полочатая 10. Полочатая 11. Сложная (как результат последовательного отложения) 12. Крустификационная 13. Кокарловая 14. Метаконглолитовая 15. Рельефно-посадочная 16. Коломорфовидная 17. Атакситовая	1. Корковая 2. Концентрическая-зоновальная 3. Порфириковая 4. Охристая (сказитовая) 5. Пегматитовая (кавернозная) 6. Ячеистая (сетчатая)	1. Массивная 2. Губчатая 3. Коломорфовидная 4. Сталикатовая 5. Концентрическая-зоновальная 6. Желобчатая 7. Дупчатая 8. Дупчатая 9. Пустотная 10. Ноздренатая 11. Сложная 12. Концентрическая	1. Корковая 2. Петельчатая (и решетчатая) 3. Концентрическая-зоновальная 4. Игнитовая 5. Массивная 6. Коломорфовидная	1. Слоистая 2. Коломорфовидная 3. Линоидная 4. Концентрическая 5. Конгломератовая 6. Брекчиевидная 7. Равноосадочная 8. Равноосадочная 9. Равноосадочная 10. Равноосадочная 11. Равноосадочная 12. Равноосадочная	1. Сланцеватая 2. Плотчатая 3. Полочатая (как результат развешивания сульфидных руд) 4. Брекчиевидная 5. Равноосадочная 6. Равноосадочная 7. Равноосадочная 8. Равноосадочная 9. Равноосадочная 10. Равноосадочная 11. Равноосадочная 12. Равноосадочная 13. Равноосадочная 14. Равноосадочная 15. Равноосадочная 16. Равноосадочная 17. Равноосадочная

Таблица 14

Классификация важнейших текстур руд по С. А. Вахромеву (1960)

Морфологические группы	Геологические (селективные) группы				
	Магнетические	Контакто-метасоматические	Гидротермальные	Выветрившая	Оседлые
Омгоровидные (граномерные)	Массивная Выраженная	Массивная Вкрапленная	Массивная Вкрапленная	Пористая Пороскопная	Массивная (не- реоложенная)
Удлиненные (плоско-вытянутые)	Полосчатая (флюктуационная)	Слоистая (реликтозная)	Полосчатая Жильчатая Линзовидная Круглоцилиндрическая	—	Слоистая Линзовидная
Округлые	Нодулярная	—	Конглоидная Коллоидная	Концентрически-зональная Конглоидная Коллоидная Полосчатая	Сонглоидная Конглоидная
Несферические	Тактовая (шпировая) Брекчневидная	Пятнистая Друзовая Брекчневидная	Пятнистая Друзовая Брекчневидная Брекчневая	Корковая Жезловая Друзовая Ячеистая Степчатая Пегматитовая Ориентированная (реликтовая)	Брекчневая (об- ломочная) Ориентированная (реликтовая)
Площадчатая	—	—	—	—	—

118

Таблица 15

Выявление зернистого строения выделений рудных минералов в полированных шлифах

Минерал	Поляризованный свет	Структурное травление
Молибденит	Внутренняя структура выявляется всегда отчетливо	
Стибнит	То же	
Ковеллит	»	
Манганит	»	
Никелин	»	
Пирротин	Внутренняя структура выявляется отчетливо	Магнитная суспензия в течение 1—2 мин (сухой метод) и 35—30 сек (мокрый метод)
Арсенопирит	Внутренняя структура выявляется отчетливо	1 часть $KMnO_4$ +2 части KOH (20%-ного) в течение 10—20 сек
Вуртит	Внутренняя структура выявляется отчетливо	1. $KMnO_4$ +2 капли H_2SO_4 в течение 10 сек 2. Пары царской водки в течение 10—20 сек
Халькопирит	Внутренняя структура выявляется не всегда отчетливо	1. Пары царской водки в течение 10—20 сек 2. NH_4OH и несколько капель H_2O_2 (10% мой в течение 20—30 сек 3. 1 часть $KMnO_4$ +1 часть KOH (20%-ного) в течение 10—40 сек
Сфалерит	Структура не выявляется, так как минерал изотропен	1. Пары царской водки в течение 10—20 сек 2. $KMnO_4$ +1—2 капли H_2SO_4 в течение 10—30 сек (остаток снимается мягкой тряпочкой)
Пирит	Структура не выявляется, так как минерал изотропен	1. 1 часть $KMnO_4$ +1 часть KOH (20%-ного) в течение 10—20 сек 2. Насыщенный раствор CaF_2 в HNO_3 (конц.)
Магнетит	То же	1. HCl (конц.) в течение 1—5 мин (лучше паром HCl) 2. Магнитная суспензия в течение 1—2 мин (сухой метод)
Галенит*	Структура не выявляется, так как минерал изотропен	1. 7 частей HCl (конц.) + 10 частей H_2O ; электрический ток в течение нескольких секунд. 2. HBr (60—70%-ный) в течение 8—10 сек. 3. 75—85 частей HNO_3 (конц.) + + 15—25 частей C_2H_5OH (смесь готовить осторожно—может взорваться) в течение 2—10 сек. 4. Насыщенный водный раствор $NaCl+FeCl_3$ (несколько капель) в течение 10—30 сек. 5. CrO_3 (5%-ный) в течение 5—10 сек

* Структура хорошо выявляется методом несовершенной полировки.

травления, позволяющая своевременно прекратить опыт, пока шлиф не затравился полностью.

Для крупнозернистых агрегатов капельный способ травления непригоден, так как даже большая капля может покрыть лишь одно зерно или выявить границу двух крупных зерен, а характер внутренней структуры минерала остается неустановленным. В таких случаях всю полированную поверхность шлифа погружают в реактив. Это травление лучше проводить в часовых стеклах или в плоской фарфоровой чашке. Реактив берут в таком количестве, чтобы вся полированная поверхность шлифа смачивалась полностью. После травления полированную поверхность шлифа промывают водой или осторожно просу-

121

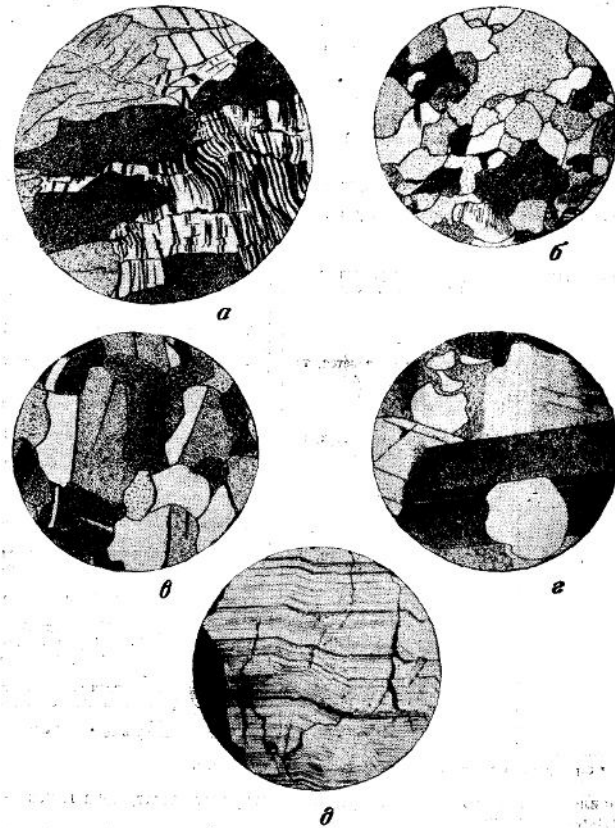


Рис. 56. Внутренние структуры минералов, выявленные с помощью поляризованного света и структурного травления в полированных шлифах

a — аллотриоморфная и полисинтетически двойниковая структура антимонита. Поляризованный свет, $\times 60$; *b* — неравномернозернистая аллотриоморфная структура антимонита. Поляризованный свет, $\times 60$; *c* — аллотриоморфнозернистая структура халькопирита. Травление парами царской водки, $\times 60$; *d* — полисинтетически двойниковая и зернистая структура сфалерита. Травление парами царской водки. Белое — реакты парета, $\times 60$; *e* — зональная структура арсенопирита. Травление $KMnO_4 + KOH$, $\times 60$.

В рудах наблюдаются выделения минералов с идиоморфными и аллотриоморфными очертаниями, кроме того, встречаются выделения неопределенной формы, а также в виде кластического материала, осколков и обломков зерен (табл. 16).

Идиоморфными, или эвгедральными называют минеральные выделения, ограниченные собственными гранями; они представляют собой хорошо образованные кристаллы. Понятие идиоморфизма является групповым, охватывающим все разнообразие кристаллических форм минералов различных сингоний. Минеральные выделения с неполным развитием кристаллических граней называют гинидиоморфными.

шивают фильтровальной бумагой и изучают под микроскопом или макроскопически.

Недостатком этого способа структурного травления является невозможность контроля за ходом травления шлифа, в результате чего шлиф часто приходит в негодность из-за слишком сильного протравливания. Для повторного структурного травления требуется новая полировка шлифа.

Внутренняя структура некоторых минералов (слабо реагирующих с реактивами в нормальных условиях) отчетливо выступает при пропускании через каплю слабого электрического тока. Структурное травление можно проводить также парами реактива. Для этого полированную поверхность минерала подвергают действию паров, поднимающихся из банки с концентрированными кислотами. Этот способ травления наиболее удобен для выявления внутренней структуры минералов, легко растворимых в кислотах. Преимуществом указанного способа травления является возможность быстрого удаления результатов реакции легкой полировкой шлифа насухо.

Для магнитных минералов (магнетит, пирротин и др.) структура может быть выявлена методом магнитной порошкографии (см. стр. 38).

В тех случаях, когда минералы не травятся химическими реактивами, для выявления внутренней структуры применяется метод несовершенной полировки.

Иногда для выявления формы и строения единичных зерен минералов, неразличимых в полированных шлифах, применяют реакции окрашивания. С помощью этих реакций выявляются также типы сростаний близких по физическим свойствам минералов. На поверхности одного из минералов под влиянием соответствующих реактивов появляется цветная пленка. Она образуется вследствие химической реакции между минералом и реактивом или вследствие адсорбции цветных ионов поверхностью минерала.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ

Многие исследователи (А. Е. Ферсман, В. Маухер, П. П. Пилипенко, Н. Ю. Икорникова, Я. Д. Готман и др.) отмечали, что такие особенности минерального зерна, как его форма, размер, внутреннее строение и некоторые другие физические свойства, более или менее постоянны для минералов определенного генезиса. Особенности минеральных зерен, в известной мере характеризующие условия их образования, С. А. Юшко (1947 г.) предложила называть морфогенетическими. Е. В. Рожкова предложила такие особенности называть типогенными.

Форма минеральных выделений

В рудах наблюдаются выделения минералов с идиоморфными и аллотриоморфными очертаниями, кроме того, встречаются выделения неопределенной формы, а также в виде кластического материала, осколков и обломков зерен (табл. 16).

Идиоморфными, или эвгедральными называют минеральные выделения, ограниченные собственными гранями; они представляют собой хорошо образованные кристаллы. Понятие идиоморфизма является групповым, охватывающим все разнообразие кристаллических форм минералов различных сингоний. Минеральные выделения с неполным развитием кристаллических граней называют гинидиоморфными.

Таблица 16

Морфогенетические особенности минеральных выделений

Группа*	Морфогенетические особенности минеральных выделений				Способы образования	Изменения
	Форма	Размеры**	Строение	Включения		
1	Идиоморфная	Весьма крупные (20 мкм)	Однородное	Газообразные, жидкие, твердые	Кристаллизация расплавов и растворов Метасоматизм Коагуляция коллоидов	Дробление и смятие минералов Распад твердого раствора Перекристаллизация минералов
2	Гипидноморфная	Крупные (от 20 до 2 мкм) Мелкие (от 2 до 0,2 мкм)	Зональное Неоднородное	Изоморфные примеси		
3	Аллоотриоморфная	Тонкие (от 0,2 до 0,02 мкм)	Двойниковое Коллоидное			
4	Коллоидная	Весьма тонкие эмульсионные (от 0,02 до 0,002 мкм)				
5	Эмульсионная	Субмикроскопические (от 0,002 до 0,0002 мкм)				
6	Пластинчатая	Коллоидно-дисперсные (0,0002 мкм)				
7	Реликтовая (остатки)					
8	Осколочная (обломочная)					

* 1, 2, 3, 4 — групповые формы, характерные для всех минералов агрегата; 5, 6, 7, 8 — формы, характерные для отдельных минералов агрегата.

** Размеры минеральных зерен и их осколков и обломков приведены по данным В. А. Глазковского (1954 г.).

Очертание аллотриоморфных или ксеноморфных выделений зависит от формы заполняемого ими пространства. Такие выделения называют также ангедральными.

Если минеральные выделения образуются при кристаллизации растворов и расплавов, их называют кристаллическими зернами. Минеральные выделения, образовавшиеся в процессе метасоматоза, называют метазернами. При коагуляции коллоидных растворов возникают различные формы коллоидных образований. При перекристаллизации и раскристаллизации коллоидов — бластозернами. Характерной особенностью всех этих минеральных выделений является их кристаллическое или коллоидное строение.

Форма минеральных выделений, образующихся в процессе кристаллизации расплавов и растворов (кристаллических зерен), зависит от кристаллизационной способности вещества, линейной скорости и силы кристаллизационного роста зерна. Началом кристаллизации считается такой момент состояния расплава или раствора, когда в них возникают кристаллизационные центры, т. е. зародышевые кристаллы. Количество зародышевых центров в единице объема характеризует кристаллизационную способность вещества. После возникновения зародышевых кристаллов начинается их рост. Линейная скорость роста кристаллического зерна (в миллиметрах в минуту) и есть скорость роста. Если она одинакова во всех направлениях, образуются кристаллические зерна изометрической формы. Если скорость имеет векторный характер, возникают зерна пластинчатой, игольчатой и других форм.

В определенный момент для дальнейшего хода кристаллизации создается стесненная обстановка, и растущие кристаллы «начинают борьбу за свободное пространство». Способность кристаллического зерна развиваться в этих условиях собственные кристаллические формы называется силой кристаллизационного роста. Если кристаллические зерна обладают большой силой кристаллизационного роста, то образуются идиоморфные кристаллы. Если сила кристаллизационного роста минерала меньше, чем у окружающих его других минералов, то образуются зерна с аллотриоморфными очертаниями.

Характерной особенностью кристаллических зерен различных минералов в агрегате является то, что границы ранее образованных зерен всегда несут следы коррозии в результате физико-химических изменений раствора в процессе кристаллизации.

Форма метазерен, образующихся в процессе метасоматизма, зависит главным образом от силы кристаллизационного роста минералов. В этом случае идиоморфные очертания будут иметь только зерна минералов, обладающих наибольшей силой и скоростью кристаллизационного роста. Например, при замещении серпичитовых сланцев шпритом кристаллы последнего всегда имеют идиоморфные очертания. Такие кристаллы обычно называются метакристаллами. Если в процессе метасоматизма образуются минералы, обладающие различной силой кристаллизационного роста, то зерна одних минералов будут иметь идиоморфные, а других аллотриоморфные очертания и т. д.

Характерной особенностью агрегата, образованного в процессе метасоматизма, является его неравномерностерное строение и наличие в метазернах большого количества реликтов замещенных минералов. Метазерна минералов с большой силой кристаллизационного роста в случае их расположения по краю замещаемого минерала или минерального агрегата приобретают на границе с незамещенными участками гипидноморфные очертания с ровными границами. Как правило, метазерна отличаются повышенной микротвердостью по сравнению с кристаллическими зернами того же минерала.

Форма минеральных выделений, образующихся при перекристаллизации и раскристаллизации ранее образованных минералов или коллоидов, зависит от относительной силы и скорости кристаллизационного роста слагающих руду минералов. Образование минеральных зерен в этом случае происходило в твердом состоянии, поэтому они называются бластозернами*. В зависимости от силы кристаллизационного роста минералов могут возникать бластозерна с идиоморфными, гипидноморфными и аллотриоморфными очертаниями. Для некоторых агрегатов относительная сила кристаллизационного роста минералов может быть представлена кристаллобластическим рядом, в котором минералы расположены по степени относительного идиоморфизма их зерен. Например, в агрегате, состоящем из галенита, сфалерита и халькопирита, после перекристаллизации зерна галенита, обладающего наибольшей силой кристаллизационного роста, имеют идиоморфные очертания по отношению к сфалериту и халькопириту; зерна сфалерита идиоморфны только по отношению к халькопириту; зерна халькопирита всегда аллотриоморфны по отношению как к галениту, так и к сфалериту.

Характерная особенность бластозерен различных минералов в агрегате — их ровные границы (без признаков коррозии).

Среди вышеописанных групп особое место занимают минеральные выделения эмульсионной и пластинчатой формы, образованные в про-

* Новообразования зерен, возникающие в процессе перекристаллизации агрегатов в твердом состоянии, называются бластами (βλαστοί — росток).

цессе распада твердого раствора. В отличие от идиоморфных и аллотриоморфных минеральных выделений, эмульсионная и пластинчатая формы характерны только для отдельных минералов в агрегате.

Формы коллоидного вещества. Как известно, коллоидные системы состоят из дисперсной фазы и дисперсионной среды. Дисперсная фаза может быть жидкой, твердой и газообразной. Размер частиц дисперсной фазы — от 10^{-5} до 10^{-7} м.

Важнейшим свойством коллоидных систем является устойчивость их частиц к коагуляции. Коагуляция коллоидных систем может быть вызвана разными факторами (например, изменением состава дисперсионной среды, температуры, добавлением электролита). При этом, с одной стороны, происходит укрупнение коллоидных частиц, с другой — расслоение коллоидного раствора, а также образование студней.

Обладая большой вязкостью и большой силой поверхностного натяжения, коллоидные системы в первом случае способствуют выделению минералов в виде скопленений неопределенной формы с участками, имеющими сферические поверхности и концентрическое строение, а во втором случае приводят к образованию сложных натечных форм *коллоидного строения. Характерной особенностью таких образований* является их теловое или метамиктное строение. Такие выделения возникают иногда в процессе кристаллизации в разреженных пространствах как следствие резкого пересыщения гидротермального раствора. Эти образования обычно характеризуются скрытокристаллическим строением.

Форма минеральных выделений, образующихся в процессе дробления и смятия под влиянием динамометаморфизма. Осколки хрупких минералов обладают угловатыми очертаниями (пирит, арсенопирит, кварц и др.). Осколки мягких и ковких минералов имеют сплюснутый вид и сглаженные контуры (золото, серебро, медь, платина и др.). Осколки минералов с резко выраженной спайностью в одном направлении имеют вид чешуек, пластинок (молибденит, графит, серицит и др.).

Форма осколков, образующихся при выветривании, зависит также от физических и химических свойств минералов.

На форму осколков большое влияние оказывает степень их окисленности. Осколки минералов, легко окисляемых, отличаются неправильной формой и извилистыми очертаниями (сфалерит, халькопирит, пирротин и др.); устойчивые к растворению и окислению минералы характеризуются хорошей сохранностью зерен и их обломков (гранат, кварц, касситерит и др.).

Осколки, окатанные и округленные при переносе водными потоками, называются *обломками*.

Размеры минеральных выделений

Размер кристаллических зерен зависит от способности раствора или расплава кристаллизоваться, а также от линейной скорости роста кристаллических зерен. Насыщенные и перенасыщенные растворы обладают наибольшей кристаллизационной способностью вещества, поэтому кристаллические зерна, образованные в таких условиях, обычно наиболее мелкие. Разбавленные растворы содержат наименьшее количество кристаллических центров в единице объема; в этом случае происходит образование более крупных кристаллических зерен.

Быстрое падение температуры в процессе кристаллизации ведет к появлению мелких кристаллических зерен. Медленное изменение температуры способствует образованию более крупных зерен. Различные по размерам зерна образуются при кристаллизации раствора или

расплава под давлением. Наиболее мелкие зерна возникают при резком понижении давления.

Размер метазерен и бластозерен, так же как и кристаллических зерен, зависит от количества кристаллизационных центров в единице объема твердого минерального агрегата и от силы кристаллизационного роста минералов.

По размеру выделяют минеральные зерна и осколки весьма крупные (более 20 мм в поперечнике), крупные (от 20 до 2 мм), мелкие (от 2 до 0,2 мм), тонкие (от 0,2 до 0,02 мм), весьма тонкие (от 0,02 до 0,002 мм), субмикроскопические (меньше 0,002 мм) и коллоидно-дисперсные (меньше 0,0002 мм) (см. табл. 16).

Строение минеральных выделений

Различают минеральные зерна однородного и неоднородного строения. Минеральные выделения однородного строения в поляризованном свете равномерно темнеют, а при травлении равномерно покрываются призматической пленкой. У минеральных выделений неоднородного строения в поляризованном свете или при травлении обнаруживается зональное, секториальное или двойниковое внутреннее строение (см. табл. 16).

Зональное строение является одной из характерных особенностей целого ряда минералов (шмальтерит, герсдорфит, касситерит, пирит, арсенопирит и др.) и может быть использовано как диагностический признак для их определения. Зональное строение минералов является следствием особых условий их образования: или изменения состава маточного раствора в процессе кристаллизации, или перерывов в процессе кристаллизации, или наличия механических примесей, взвешенных в растворе в виде субмикроскопической мути. Например, зональность сфалерита может зависеть от содержания железа в растворе, из которого выделялись кристаллы. Зональность некоторых зерен касситерита часто обусловлена механическими примесями микрокристаллов вольфрамитов и колумбитов, зарождающихся на гранях растущего кристалла касситерита. Зональность кальцита — чередование светлых и мутных зон в кристалле — является следствием периодического (годичного) появления в растворе взвешенных глинистых частиц.

В случае собирательной кристаллизации коллоидов с концентрически-зональным строением иногда образуются зерна или кристаллы с зональным строением.

Секториальное строение выражается в различной скорости роста граней и ребер кристалла минерального вещества с сохранением особенностей его кристаллографической структуры.

Двойниковое строение — основной диагностический признак некоторых минералов. Например, сфалерит и антимонит имеют полисинтетически-двойниковое строение.

Полисинтетически-двойниковое строение может являться следствием динамометаморфизма рудного агрегата. Такие двойники обычно называют двойниками скольжения, или пластинчатыми. Двойники скольжения образуются в минералах под влиянием одностороннего давления; ориентированы они перпендикулярно давлению. Изучая закономерности расположения таких двойников в ориентированных полированных шлифах, можно судить о направленности давления при послерудном динамометаморфизме. Особенностью таких двойников является то, что двойниковые полоски очень тонкие и, в отличие от двойников роста, одинаковой ширины. Часто наряду с пластинчатыми двойниками сохраняются реликты прежнего полисинтетического двойникового строения. Наконец большой интерес представляют двойники превращения. Их образование, как показали экспериментальные исследования

ния, обусловлено температурной обработкой минералов после их выделения. Поэтому если бы удалось точно диагностировать этого типа двойники, то их можно было бы использовать в качестве своего рода геологических термометров метаморфизма.

Включения в минеральных зернах

В процессе кристаллизации минералы захватывают микроскопические количества маточного раствора. У прозрачных минералов последние наблюдаются в виде пузырьков в тонких срезах (под бинокляром и микроскопом). Значительно реже такие включения различимы макроскопически. Включения в минералах могут быть однородными (однофазовыми, содержащими только жидкость или только газ) и неоднородными (многофазовыми — жидкость + газ или жидкость + газ + твердая фаза). Однородные включения в кристаллах наблюдать затруднительно. Неоднородные включения представляют большой интерес, так как, определив их температуру гомогенизации, можно установить порядок температур образования содержащего их минерала. Очень много в этой области сделано Н. П. Ермаковым, Г. Г. Леммлейном и др. Ими были сконструированы приборы, позволяющие путем нагревания минералов от 100 до 600° и более проводить включения в включения к однородным. Температура гомогенизации в непрозрачных минералах определяется по методу декрепитации. С помощью специальных приборов со слуховыми датчиками определяется температура взрыва таких пузырьков, характеризующая переход содержимого включений в газообразное состояние.

Твердые включения в минералах образуются или при захвате в процессе кристаллизации взвешенных в маточном растворе частиц ранее выделившихся минералов или при распаде твердых растворов.

Известно, что ряд минералов, кристаллизующихся из расплавов или горячих растворов, может выделяться сначала в виде однородных твердых растворов (например, титаномагнетит). При дальнейшем понижении температуры и давления твердые растворы становятся неустойчивыми и происходит их распад с образованием паров новых минералов (эмульсионные выделения халькопирита в сфалерите, пластинки ильменита в магнетите и т. д.) (см. табл. 18).

Способы образования и изменения минеральных выделений в агрегатах

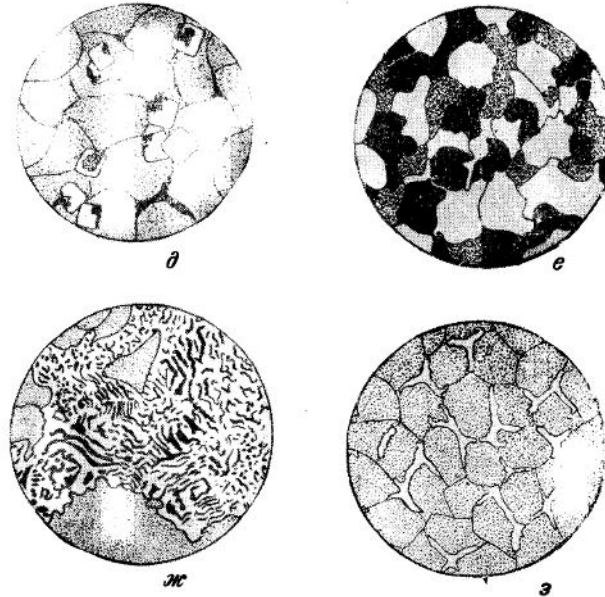
Образование минеральных выделений связано с первичными и вторичными процессами минералообразования. В процессе кристаллизации расплавов и растворов (горячих и холодных) образуются кристаллические зерна. Результатом процессов метасоматизма являются минеральные агрегаты, сложенные метазернами. Процессы коагуляции коллоидов и тонкодисперсных взвесей кристаллов и обломков минералов в растворах приводят к образованию минеральных выделений в форме коллоидного вещества. Изменение минеральных выделений, представляющих собой твердые растворы, происходит в процессе распада последних. Глубокое изменение минеральных выделений происходит при раскристаллизации и перекристаллизации минеральных агрегатов. В результате всех этих изменений, происходящих в твердом состоянии, образуются бластозерна.

Изменения совершенно другого характера испытывают минеральные выделения под влиянием выветривания и метаморфизма. В процессе выветривания минералы дробятся, растворяются и метасомати-

Разновидностью гилдиоморфнозернистой структуры является сидеронитовая. Она характерна для руд магматического генезиса и представлена агрегатом кристаллических зерен силикатных (пироксены, плагиоклазы и др.) и рудных (магнетит, ильменит, пирротин, пентландит, халькопирит и др.) минералов. Силикаты кристаллизовались раньше рудных и поэтому их зерна имеют идиоморфные очертания. Рудные минералы кристаллизовались позднее, поэтому они заполняют промежутки между зернами силикатных минералов и обладают аллотроморфными очертаниями.

Для гилдиоморфнозернистой и сидеронитовой структур характерно наличие коррозионных (зазубренных) границ у зерен минералов, выделившихся раньше.

Порфиroidная структура — разновидность гилдиоморфнозернистой структуры. Она отличается тем, что кристаллические зерна минерала, выделившегося ранее, значительно крупнее по размерам зерен минерала, кристаллизовавшегося позднее. Характерно, что границы зерен более раннего по времени образования минерала всегда коррозионные.



кристаллизации раствора и расплавов
Зарисовка шлифованного образца натур. вел.; б — гилдиоморфнозернистая (сидеронитовая) структура (черное) пирротина, пентландита, халькопирита; а — порфиroidная. Идиоморфнозернистой массе халькопирита (белое), сфалерита (штриховка) и галенита (точки), вставкой кинновари (точки) заключены мелкие игольчатые кристаллики антимонита (белое), кристаллы пирита (белое) в массе крупнокристаллического сфалерита (точки). Промежутки коррозионные участки в зернах пирита. Зарисовка полированного шлифа, $\times 40$; в — алло- (белое) и галенита (точки). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 60$; ж — графический рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 40$; з — субграфический. Выделения галенита (точки). Зарисовка полированного шлифа, $\times 40$

Пойкилитовая структура также является разновидностью гипидноморфнозернистой. Она характеризуется беспорядочным прорастанием мелких зерен одного из рудных минералов в крупных кристаллических зернах другого рудного минерала (вроски одного минерала в другом). Мелкие зерна иногда обладают идиоморфными очертаниями. Этот тип структур в рудах встречается довольно часто; наиболее характерен он для кристаллических зерен сфалерита, халькопирита и пирита в колчеданных рудах и антимонита в киновари.

Аллотриоморфнозернистая структура характерна для минеральных агрегатов, кристаллические зерна которых имеют неправильную форму и взаимно прорастают, образуя извилистую границу между зернами. Особенностью минеральных агрегатов с аллотриоморфнозернистой структурой является одновременное выделение минералов.

Разновидностью аллотриоморфнозернистой структуры является графическая структура. Она характеризуется прорастанием двух минералов типа структуры письменного гранита. Эта структура в рудах наблюдается очень редко и возникает в минеральном агрегате большей частью при кристаллизации минералов по типу эвтектики.

Субграфическая структура — разновидность графической. В этом случае один из двух срастающихся минералов (позднее образовавшийся) всегда присутствует в меньшем количестве и имеет вид отдельных вросков, напоминающих по форме и расположению письменную структуру. Субграфическая структура в рудах встречается довольно часто. Она характерна для борнита и халькопирита, сфалерита и халькопирита, сфалерита и галенита, халькозина и ковеллина и др.

Афанитовая (скрытокристаллическая) структура минерального агрегата характеризуется тем, что отдельные кристаллические зерна неразличимы даже с помощью микроскопа. Образуется такая структура при быстрой кристаллизации минералов из пересыщенных растворов. Пересыщение раствора иногда происходит вследствие испарения растворителя под влиянием резкого уменьшения давления (кристаллизация раствора, попавшего в разреженное воздушное пространство).

Коррозионные структуры

Образование коррозионных структур (рис. 58) происходило в минеральных агрегатах в процессе кристаллизации растворов и расплавов при изменении нормального хода процесса. Так, резкие изменения температуры или давления при кристаллизации или изменении концентрации рудоносного раствора или расплава способствуют значительному растворению кристаллических зерен ранее образованных минералов. Вследствие этого по мере растворения последних в минеральном агрегате последовательно развиваются структуры графическая, субграфическая, разъедания, скелетная и реликтовая. В отличие от зернистых структур кристаллизации, коррозионные структуры характерны только для отдельных минералов агрегата.

Графическая и субграфическая структуры замещения образуются при последовательном выделении минералов в процессе кристаллизации расплава или раствора в том случае, когда интерстиции (промежутки) между частично корродированными зернами ранее выделившегося минерала заполнены зернами минерала, кристаллизующегося позднее. Субграфическая структура такого типа характерна для сфалерита и халькопирита; галенита и сфалерита и т. д. Описанные структуры напоминают графическую и субграфическую структуры кристаллизации расплава и раствора и отличаются от них зазубренными границами зерен у ранее образованных минералов.

Структура разъедания образуется при последовательном выделении минералов, когда зерна ранее выделившегося минерала частично подвергались коррозии. Корродированные участки заполняются более поздним по времени кристаллизации минералом, который как бы залечивает пораженные коррозией участки зерен ранее выделившихся минералов; поэтому границы между обоими минералами всегда извилистые и зазубренные.

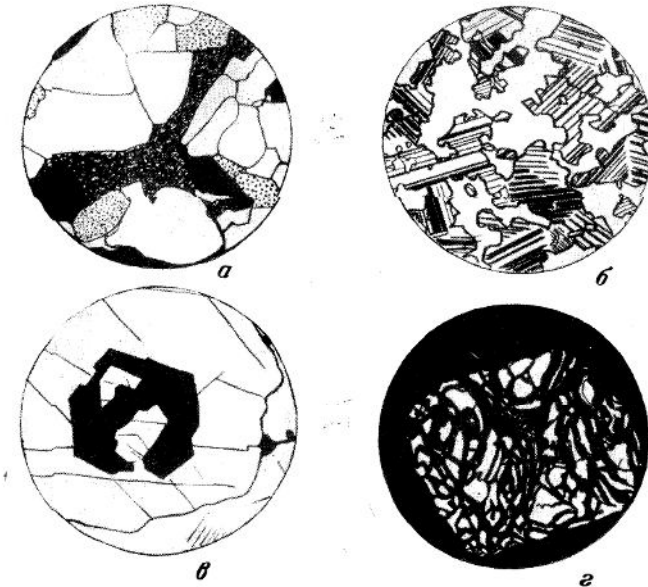


Рис. 58. Коррозионные структуры кристаллизации растворов и расплавов
 а — коррозионная. Агрегат зерен пирита (белое), халькопирита (черное), сфалерита (серое) и теннанита (точки). Зерна пирита слегка корродированы и раздроблены в процессе кристаллизации. Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 30$; б — коррозионная. Сильно корродированные зерна сфалерита (штриховка) заключены в галените (белое). Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; в — скелетная. Идиоморфный корродированный кристалл кварца (черное) в халькопирите (белое). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 60$; г — реликтовая (остаточная). Сильно корродированные в процессе кристаллизации минерального агрегата остатки раздробленного зерна пирита (белое) в кварце (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 90$

Скелетная структура образуется при последовательном выделении минералов при кристаллизации, когда от идиоморфных кристаллов ранее выделившегося минерала в результате коррозии остаются лишь краевые части кристаллов — скелеты. Последние цементируются минералами, кристаллизующимися позднее с образованием скелетной структуры. Такая структура характерна для срастаний пирита и халькопирита, пирита и сфалерита, арсенопирита и кварца, арсенопирита и галенита и т. д.

Реликтовая структура образуется при последовательном выделении минералов из раствора и расплава, когда кристаллические зерна ранее выкристаллизованных минералов раздробились под влия-

нем резкого изменения физико-химических условий. Осколки кристаллических зерен, подвергшиеся сильной коррозии, затем были сцементированы минералом, кристаллизовавшимся позднее. Характерной особенностью реликтовой структуры является такое расположение реликтов, при котором почти всегда сохраняется общий облик прежнего кристалла. Такая структура характерна для сроставий пирита и сфалерита, пирита и халькопирита, пирита и гипогенного борнита и т. д.

Структуры, образованные в процессе метасоматизма

Структуры этой генетической группы (рис. 59) характерны для минералов всего минерального агрегата. Морфологической единицей этих структур является метазерно. Форма и размеры метазерна зависят главным образом от силы и скорости кристаллизационного роста

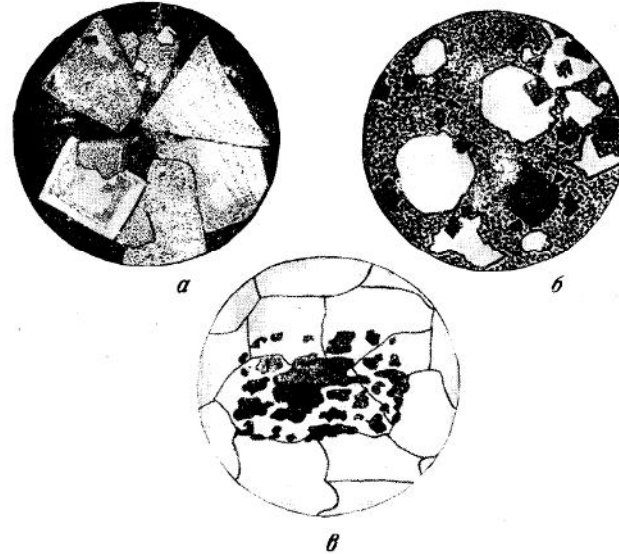


Рис. 59. Структуры метазернистые

a — идиоморфнометазернистая. Метакристаллы пирита (белое) в серицитовом сланце (черное). Пирит метасоматически замещается гидроокислами железа (точка). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 60$; *b* — идиоморфнометазернистая. Метакристаллы пирита (черное) и сфалерита (белое) в массе породы (серое). Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 40$; *v* — аллотриоморфнометазернистая. Кобальтин (черное) замещает скарн (белое). Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 60$

новообразованных при метасоматизме минералов. Структуры таких минеральных агрегатов называются метазернистыми. Различают структуры идиоморфнометазернистые, гипидиоморфнометазернистые, аллотриоморфнометазернистые, графические и субграфические — метазернистые и скрытометазернистые.

Характерной особенностью всех этих морфологических типов метазернистых структур является их неравномернозернистое гипидио-

морфное строение, а также постоянное присутствие в метазернах большого количества реликтов подвергшихся замещению минералов. Так, метазерна пирита содержат много включений замещенного им серицитового сланца, метазерна кобальтина — большое количество замещенного им скарна и т. д.

Метазернистые структуры наиболее широко развиты в рудах контактово и гидротермально-метасоматического генезиса, а также часто встречаются в минеральных агрегатах зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения.

Идиоморфнометазернистая структура появляется тогда, когда метазерна отдельных минералов, образующихся в процессе метасоматизма, обладают большой силой и скоростью кристаллизационного роста. Метазерна минералов имеют вид кристаллов, отвечающих данному минералу по сингонии. Характерной особенностью идиоморфнометазернистой структуры является то, что отдельные метакристаллы имеют прямые, без следов коррозии, очертания, содержат реликты замещенных ими минералов, обладают зональным строением и повышенной микротвердостью.

Гипидиоморфнометазернистая структура образована сроставиями метазерна с идиоморфными и аллотриоморфными очертаниями.

Разновидностью гипидиоморфнометазернистой структуры является скелетная; по рисунку она аналогична скелетной коррозионной структуре. Для метазернистой скелетной структуры характерно то, что скелеты кристаллов имеют ровные, не коррозионные очертания, кроме того, в них обычно содержатся реликты замещенного минерального агрегата (сфалерит в халькопирите).

Аллотриоморфнометазернистая структура наблюдается в минеральных агрегатах, в которых метазерна минералов обладают небольшой силой кристаллизационного роста. Такие метазерна имеют неправильную форму с ровными, не коррозионными очертаниями и содержат большое количество мельчайших реликтов замещенных ими минералов.

Графическая и субграфическая метазернистые структуры весьма сходны с графической и субграфической структурами кристаллизации и отличаются от них неоднородной зернистостью и наличием в зернах реликтов замещенных минеральных агрегатов.

Афанитовая метазернистая структура характерна для минеральных агрегатов, образовавшихся в процессе метасоматизма; в этом случае метазерна отдельных минералов не различимы с помощью микроскопа. Скрытометазернистая структура минерального агрегата устанавливается только по наличию в нем включений замещенных им минералов.

Структуры, образованные при коагуляции коллоидов и осаждении механических взвесей минеральных зерен из растворов

К этой генетической группе относятся структуры минеральных агрегатов, образовавшихся в процессе коагуляции гидротермальных коллоидных растворов, и структуры минеральных агрегатов, возникающих в процессе седиментации и диагенеза. Минеральные агрегаты, образующиеся при выветривании руд, часто характеризуются развитием различных типов коллоидных структур. Особенностью коллоидальных минеральных агрегатов является аморфное или скрытокристаллическое строение.

Коллоидные структуры в рудах сохраняются очень редко, однако с наличием таких первичных структур в руде можно судить косвенным

образом — на основании развития различных метакolloидных структур, образование которых происходило при раскристаллизации коллоидов.

Среди коллоидных структур различают гелевую, колломорфию и афанитовую.

Гелевой структурой обладают минеральные агрегаты с аморфным строением. Однако среди сплошной массы минералов с гелевой структурой обычно наблюдаются трещины усыхания и участки сферической и радиальнолучистой формы, имеющие концентрическое строение. Такие структуры характерны для гидроксидов марганца, железа и др. Гелевая структура может быть выявлена под микроскопом. Эта структура характерна для минералов и минеральных агрегатов зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения; она также широко распространена в рудах осадочного генезиса.

Колломорфной структурой обладают как отдельные минералы, так и минеральные агрегаты, образование которых происходило при коагуляции коллоидных систем с широким развитием диффузионных процессов. Структуры этого типа представляют собой концентрически чередующиеся зоны, характерной особенностью которых является скрытокристаллическое и аморфное строение. Колломорфный тип коллоидных структур наиболее распространен в рудах осадочного генезиса и в рудах зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения.

Иногда такие структуры наблюдаются у некоторых минералов и минеральных агрегатов гидротермального генезиса. Наиболее характерен описываемый тип структур для минеральных агрегатов пятиэлементной формации (руд никеля, кобальта, серебра, свинца и урана).

Обломочная структура. К этой же группе относятся структуры, образованные при осаждении механических взвесей обломков минералов в водоемах, озерах, болотах, реках. Характерная их особенность — округлость границ, устойчивых по отношению к выветриванию минералов, и неправильная форма обломков минералов, легко подвергающихся коррозии. Обломочный тип структур наблюдается только у минеральных агрегатов, образующихся в процессе осадконакопления.

Структуры, образованные в процессе распада твердого раствора, перекристаллизации и раскристаллизации минерального агрегата

Указанные типы структур возникают после образования руд при последующих изменениях температуры и давления. Под влиянием этих процессов первичные минеральные агрегаты изменяются, что в первую очередь отражается на структуре минеральных агрегатов и отдельных минералов. Происходящие при этом процессы распада твердого раствора, перекристаллизации и раскристаллизации коллоидов в минеральных агрегатах способствуют образованию бластозерен. Форма и размеры последних обусловлены силой и скоростью кристаллизационного роста минералов агрегата. Являясь морфологической единицей описываемого типа структур, бластозерна определяют образующиеся при этом морфологические типы структур руд.

Характерная особенность вторичных структур — отсутствие явлений коррозии между минеральными зернами (бластозернами) и одновременность образования минералов, участвующих в строении вторично измененных агрегатов.

В группу вторичных структур входят следующие типы структур: 1) распада твердого раствора, 2) кристаллобластические, 3) метакolloидные.

Структуры распада твердого раствора

Эти структуры (рис. 60) образуются в строго определенных условиях температуры и давления и следовательно, могут быть использованы в качестве своеобразных геологических термометров. Вот почему выявлению такого типа структур в рудах должно быть уделено большое внимание.

Наиболее распространенными типами структур распада твердого раствора являются неоднородная, графическая, субграфическая, пламеневиная, эмульсионная, пластинчатая, решетчатая, петельчатая и зональная.

Неоднородная структура в рудах наблюдается редко. Она образуется в том случае, когда минералы в твердом растворе находились в близких количественных соотношениях и когда в процессе распада могли возникнуть участки неправильной формы и расположения. Наиболее часто эта структура встречается при распаде твердого раствора халькозина и ковеллина.

Графическая и субграфическая структуры распада твердого раствора практически не отличимы от графических и субграфических структур кристаллизации. Установить их можно только при изучении парагенетических ассоциаций минералов, так как структуры типичны для отдельных минералов, представляющих собой твердые растворы в агрегате. Наиболее характерен этот тип структур для распада твердого раствора: халькопирит + борнит, борнит + аргентит, галенит + фрейбергит, халькозин + штроемерит и др. (табл. 18).

Таблица 18

Структуры распада твердого раствора (эмульсионная, графическая, решетчатая, петельчатая и др.), являющиеся геологическими термометрами

Минералы	Температура, °С	Авторы
Магнетит — ильменит (10:1)	600—700	Рамдор, 1926 г.
Ильменит — гематит	500—700	Рамдор, 1962 г.
Халькопирит — сфалерит	550	Борхерт, 1934 г.
Халькопирит — тетраэдрит (10:1)	500	Эдвардс, 1946 г.
Халькопирит — борнит	475	Шварц, 1931 г.
	275	Филимонова, 1949 г.
Халькопирит — кубанит (любые)	450	Шварц, 1927 г.
Пирротин — пентландит (5:1)	425—450	Ньюхауз, 1927 г. и Хьюитт, 1938 г.
Станнин — халькопирит (5:1)	500	Альфсальд, 1934 г.
Сфалерит — халькопирит (4:1)	350—400	Бюргер, 1935 г.
Халькозин — штроемерит	300	Шварц, 1935 г.
Серебро — дискразит (любые)	275—350	Карпентер, Фишер, 1932 г.
Борнит — тетраэдрит (1:1)	275	Эдвардс, 1946 г.
Галенит — шалбахит (10:1)	210—350	Рамдор, 1938 г.
Халькопирротин — халькопирит—кубанит — пирротин	225	Борхерт, 1934 г.
Аллемонтит — мышьяк — сурьма	200—250	Стилвелл, Эдвардс, 1941 г.
Борнит — халькозин (2:1)	225	Шварц, 1928 г.
Халькозин — ковеллин (2:1)	75	Бетман, Маски, 1932 г.

Часто при распаде твердого раствора халькозин + ковеллин образуются минеральные зерна с неправильными расплывчатыми очертаниями.

Пламеневиная структура — разновидность петельчатой структуры. В этом случае выделения одного из образующихся в процессе распада твердого раствора минералов локализуются по периферии зерен и вдоль трещин спайности другого минерала и имеют вид

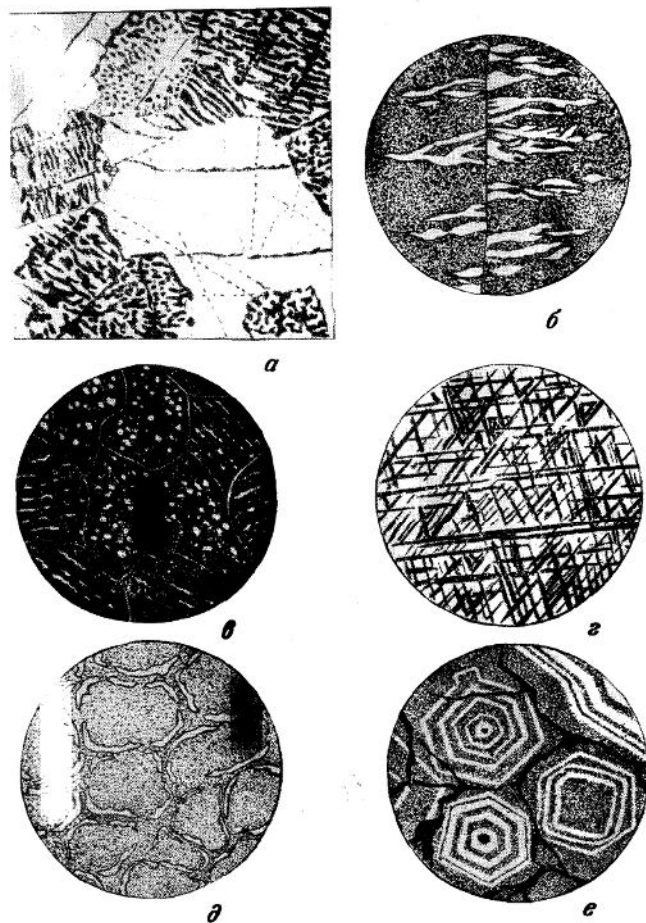


Рис. 60. Структуры распада твердого раствора

a — графическая. Халькопирит (белое) + борнит (черное). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 40$; *b* — ильменитовая. Пирротин (серое) + пентландит (белое). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 60$; *в* — эмульсионная. Сфалерит (черное) + халькопирит (белое). В некоторых зернах сфалерита эмульсионные выделения халькопирита располагаются вдоль двойниковых швов с образованием кристаллографической или направленной структуры распада твердого раствора. Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; *г* — решетчатая. Магнетит (белое) + ильменит (черное). Рисунок с фотографии полированного шлифа, $\times 60$; *д* — петельчатая. Пирротин (серое) + пентландит (белое). Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; *е* — зональная. Магнетит (серое) + гематит (белое). Прожилки нерудного минерала — черное. Зарисовка полированного шлифа, $\times 40$

язычков пламени. Этот тип структур характерен для твердого раствора пирротин + пентландит.

Эмульсионная структура представляет собой сращивание минеральных зерен, образующихся в процессе распада твердого раствора, при котором точечные выделения одного минерала заключены в минеральном зерне другого минерала. Такие эмульсионные выделения имеют ровные, без следов коррозии, очертания. Иногда отмечается закономерность в распределении эмульсионных выделений, например приуроченность к двойниковым швам и спайности вмещающего эмульсионные выделения минерала. Такую разновидность эмульсионной структуры называют кристаллографической структурой.

Эмульсионная структура появляется при распаде твердых растворов халькопирит + сфалерит, пирротин + сфалерит, халькопирит + станнин и др.

Пластинчатая структура образуется, когда выделения одного из образующихся при распаде твердого раствора минералов имеют вид веретенообразных пластинок, приуроченных к спайности другого минерала. Границы между образующимися минералами ровные, без следов коррозии. Количественные соотношения между ними более или менее постоянны для каждой данной пары минералов. Пластинчатая структура распада твердого раствора характерна для таких минералов, как пирротин + пентландит, кубанит + халькопирит, ильменит + магнетит и др.

Решетчатая структура является разновидностью пластинчатой. В этом случае пластинки одного из минералов располагаются по двум взаимно перпендикулярным направлениям, отвечающим спайности другого минерала. Веретенообразная форма пластинок решетки способствует тому, что в местах их взаимного пересечения пластинки сужаются до минимума. Это является характерной особенностью решетчатой структуры распада твердого раствора. Достаточно выдержаны также количественные соотношения образующихся минералов. Этот тип структур характерен для распада таких твердых растворов, как ильменит + магнетит, ильменит + гематит, халькопирит + борнит и т. д.

Петельчатая структура образуется в том случае, если один из выделяющихся минералов локализуется по периферии зерен другого минерала. Этот тип структур наблюдается при распаде твердых растворов пентландит + пирротин, аргентит + галенит.

Зональная структура появляется тогда, когда один из минералов, образующихся в процессе распада твердого раствора, локализуется по концентрическим зонам, которые соответствуют структуре минерального зерна второго минерала. Структуры такого типа дают арсениспирит + данант, магнетит + гематит, пирит + кобальтопирит, браунит + пирит и др.

Кристаллобластические структуры

К описываемым структурам (рис. 61) относятся минеральные сращения в рудах, образовавшиеся в процессе перекристаллизации руд и раскристаллизации коллоидов руд в твердом состоянии под влиянием изменений температуры и давления. Различные морфологические типы кристаллобластических структур определяются формой и размером бластозерен в минеральном агрегате. Главнейшими типами являются идиоморфнобластическая, гипидноморфнобластическая, порфиробластическая, аллотриоморфнобластическая и ориентированно-бластическая структуры.

Идиоморфнобластическая, или идиобластовая структура характеризует такое строение минерального агрегата, когда бластозерна слагающих его минералов имеют более или менее

отчетливо выраженные кристаллографические очертания. Развитие минералов в свойственных им кристаллографических формах обусловлено большей силой кристаллизации минералов и большей скоростью роста их кристаллов.

Этот тип структур наиболее часто встречается в рудах метаморфического генезиса.

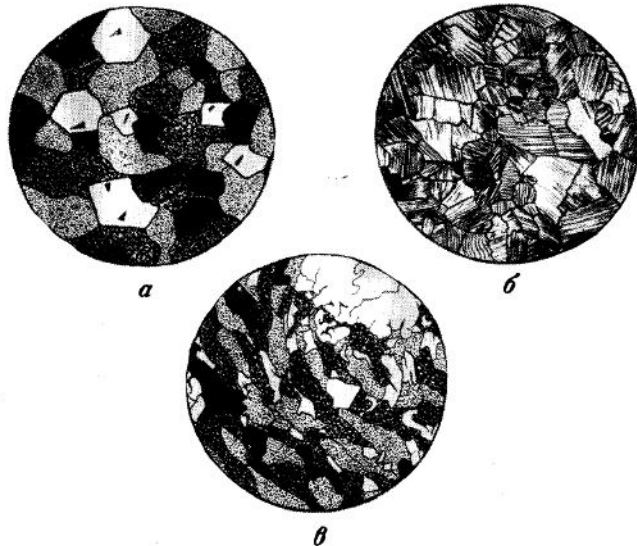


Рис. 61. Кристаллобластические структуры

а — гнидиоморфнобластическая структура перекристаллизации агрегата, состоящего из зерен галенита (белое), халькопирита (светло-серое), борнита (темно-серое) и сфалерита (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; *б* — аллотриоморфнобластическая структура перекристаллизации халькопирита (серые и белые зерна со штриховкой), черного — выделения перудного минерала. Зарисовка полированного шлифа, протравленного ларам царской водки, $\times 60$; *в* — ориентированно-зернистая бластическая структура перекристаллизации халькопирита (светло-серое), сфалерита (темно-серое) и борнита (черное). Белое — раздробленные зерна пирита. Структура образовалась под действием одностороннего давления. Зарисовка полированного шлифа, протравленного ларам царской водки, $\times 60$

Гнидиоморфнобластическая структура образуется в том случае, когда бласто зерна различных минералов обладают разной степенью идиоморфизма. Развитие некоторых минералов в виде кристаллов со свойственными им кристаллографическими формами является результатом не последовательности их образования, а результатом относительной силы кристаллизации минералов и большой скорости роста их зерен. В качестве характерной особенности этого типа структур отмечаются, как правило, четкие и прямые, без признаков коррозии, границы между зернами.

Гнидиоморфнобластическая структура наиболее часто наблюдается в рудах метаморфического генезиса.

Порфиробластическая и пойкилобластическая структуры — разновидности гнидиоморфнобластической структуры. Они сходны с порфирированной и пойкилитовой структурами кристалли-

зации и от последних отличаются отсутствием коррозионных границ между зернами. Различный размер зерен в агрегате — следствие неодинаковой скорости и силы роста минералов.

Аллотриоморфнобластическая структура характерна для минеральных агрегатов, измененных при перекристаллизации и раскристаллизации. Бласто зерна минералов неправильной формы, в сростании имеют прямые, не коррозионные группы. Этот тип структур весьма сходен с аллотриоморфнозернистой структурой кристаллизации, стлчаясь лишь размером зерен. Аллотриоморфнобластическая структура распространена в рудах различного генезиса и определяется по совокупности всех характерных признаков.

Ориентированно-бластическая структура является разновидностью бластических структур. Такая структура образуется в процессе динамометаморфизма минерального агрегата. Бласто зерна минералов удлиненной формы ориентированы перпендикулярно давлению. При этом в бласто зернах некоторых минералов часто образуются пластинчатые двойники скольжения, которые также ориентированы в направлении, перпендикулярном давлению. Наличие ориентированно-зернистых структур в рудах указывает на то, что процесс перекристаллизации происходил при одностороннем давлении.

Ориентированно-бластические структуры характерны для руд метаморфического генезиса и широко распространены в медноколчеданных рудах с полосчатой текстурой.

Структуры, образованные в процессе раскристаллизации коллоидов (метаколлоидные)

Этот тип структур (рис. 62) наблюдается в рудах, минеральные ассоциации которых выделялись из коллоидных растворов. Метаколлоидные структуры образуются в результате раскристаллизации или собирательной кристаллизации минералов в рудах, ранее обладавших колломорфными и гелевыми структурами. Как правило, сферический характер очертания минеральных сростаний почти не изменяется, а минералы приобретают кристаллическое и зернистое строение.

Метаколлоидные структуры широко распространены в рудах различного генезиса, но наиболее характерны для руд осадочных, зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения.

Главнейшие типы метаколлоидных структур — сферолитовая, или радиальнолучистая, концентрически-зональная или колломорфно-метаколлоидная, и афанитовая, или скрытокристаллическая.

Сферолитовая, или радиальнолучистая структура образуется в процессе раскристаллизации гелей однородного состава, если зародышевые кристаллы возникли в центральной части коллоидного вещества или если раскристаллизация коллоидного вещества происходила на поверхности какого-нибудь постороннего включения.

Эта структура широко распространена и особенно характерна для таких минералов, как пирит, марказит, вюрцит, малахит, пиролюзит и др.

Колломорфно-метаколлоидная структура образуется в процессе раскристаллизации полиминерального агрегата, ранее обладавшего коллоидным концентрически-зональным строением. При этом наблюдается отчетливое тончайшее чередование отдельных слоев, сложенных различными минералами.

Афанитовая, или скрытокристаллобластическая структура образуется как в процессе перекристаллизации руд, ранее обладавших кристаллическим строением, так и при раскристаллизации коллоидных образований. Скрытокристаллобластическая струк-

тура часто неразличима даже под микроскопом. Такая структура, как правило, характерна для мономинеральных агрегатов.

Скрытокристаллобластическая структура наиболее распространена в рудах осадочного и метаморфического генезиса, а также в рудах зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения.

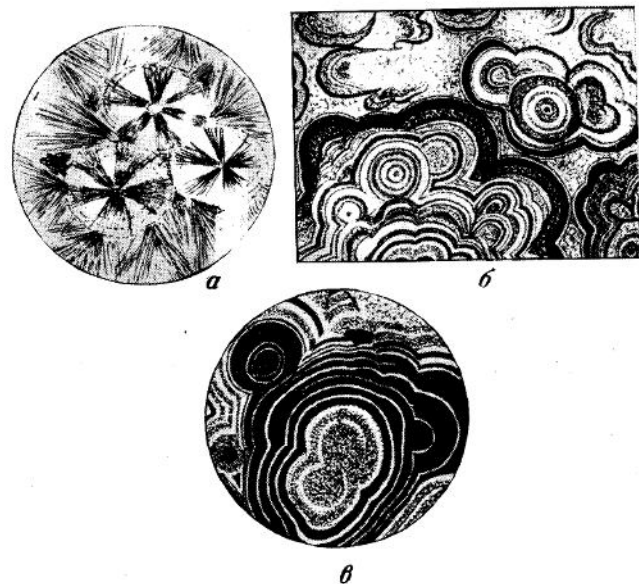


Рис. 62. Структуры метаколлоидные

a — радиальнолучистая метаколлоидная структура раскристаллизации пиролюзита. Зарисовка полированного шлифа. $\times 30$; *b* — коллоидно-метаколлоидная структура раскристаллизации марказита. Зарисовка полированного шлифа. натур. вел.; *v* — концентрическая зональная и коллоидная структура раскристаллизации агрегата, состоящего из пирита (белое), марказита (светло-серое), мелниковита (темно-серое) и кварца (черное). Зарисовка полированного шлифа. $\times 60$.

Структуры, образованные при дроблении и смятии минералов

К этой генетической группе структур (рис. 63) относятся типы минеральных сростаний в рудах, образованные в процессе динамометаморфизма и механического выветривания руд.

На ранней стадии динамометаморфизма руд преобладают структуры дробления, ориентированно-кlastические структуры и различные структуры смятия (пластинчатая, пloyчатая и др.); на более поздних стадиях появляются ориентированно-кlastические и ориентированно-бластические структуры.

Морфологической единицей катакlastических структур являются осколки (класты) минеральных зерен (кристаллических зерен, метазерен, blastозерен) и коллоидного вещества.

Характерными особенностями катакlastических структур являются

пластинчатые двойники скольжения, наблюдаемые в минеральных зернах некоторых пластичных минералов. Они различимы только в поляризованном свете (антимонит, молибденит и др.), а также могут быть выявлены с помощью структурного травления (халькопирит, сфалерит и др.) или несовершенной полировки (например, треугольники выкраивания в галените и др.).

Структуры этого типа наиболее распространены в рудах метаморфического генезиса. Исключение составляют структуры дробления,

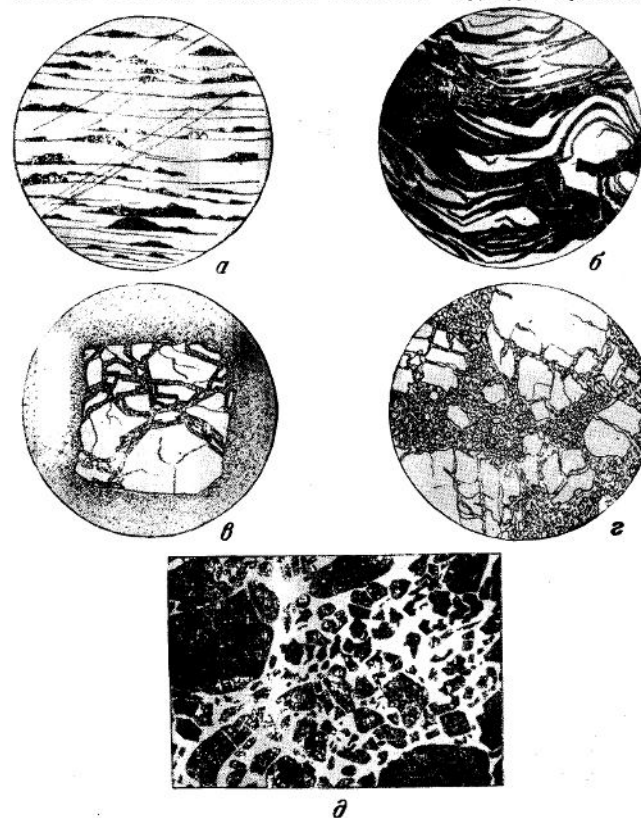


Рис. 63. Структуры дробления и смятия

a — пластинчатая катакlastическая структура смятия галенита (белое). Черное — треугольники выкраивания. Выявлено методом несовершенной полировки шлифа. Рисунок с фотографии. $\times 60$; *b* — пластинчатая структура смятия молибденита, выявленная в поляризованном свете. Рисунок с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; *v* — катакlastическая структура дробления. Разбитое трехшпильное и раздробленное зерно пирита (белое) в массе сфалерита. Зарисовка полированного шлифа. $\times 60$; *d* — то же; *d* — порфирокlastическая структура. Крупные обломки пирита (черное) заключены в массе мелкообломочного агрегата, состоящего из пирита и кварца. Зарисовка прозрачного шлифа. $\times 30$.

10 С. А. Юшко

широко развитые в минеральных агрегатах различного происхождения, в которых этот тип структур служит признаком динамометаморфизма. Главные морфологические типы катакlastических структур следующие: ориентированно-зернистая, смятия (пластинчатая и плейчатая), дробления, гранокластическая, порфирокластическая и ориентированно-кластическая.

Ориентированно-зернистая структура возникает в результате перекристаллизации минералов в твердом состоянии под влиянием одностороннего давления. Она описана нами в группе кристаллобластических структур.

Структура смятия характерна для минеральных агрегатов, содержащих большое количество мягких и ковких минералов. Под влиянием динамометаморфизма последние подвергаются пластической деформации, которая выражается в смятии и разлистывании некоторых минеральных зерен. При этом пластинки последних часто бывают слоены и изогнуты. Такая структура у отдельных минералов агрегата выявляется либо в поляризованном свете (молибденит, антимонит и др.), либо с помощью структурного травления (халькопирит, сфалерит, галенит). В агрегате, состоящем из зерен галенита, структура смятия легко различается также по расположению треугольников выкрашивания. Характерной особенностью структуры смятия является часто наблюдаемая приуроченность двойников скольжения к отдельным пластинкам некоторых минералов.

Структура дробления наблюдается в минеральных агрегатах, разбитых многочисленными трещинами. При этом минеральные зерна хрупких минералов дробятся с образованием осколков разной формы и размера.

Гранокластическая структура — разновидность структуры дробления. Она образуется в результате механической деформации минерального агрегата, состоящего преимущественно из хрупких и ковких минералов. В то время как минеральные зерна хрупких минералов превращаются в осколки, мягкие и ковкие минералы подвергаются пластической деформации и цементируют осколки хрупких минералов. Обломки минералов, обладающих хорошей спайностью, часто могут приобретать прямоугольные очертания. Пластинчатые минералы не только цементируют осколки хрупких минералов, но иногда и мигрируют в них по трещинам. Как характерная особенность гранокластической структуры отмечается одинаковый размер обломков в агрегате.

Порфирокластическая структура — разновидность гранокластической. Характеризуется наличием крупных осколков в мелко-раздробленной массе, состоящей преимущественно из хрупких минералов.

Ориентированно-кластическая, или ориентированно-обломочная структура — разновидность гранокластической и порфирокластической структур. Наблюдается в том случае, если в руде намечается ориентировка осколков хрупких минералов параллельно какой-нибудь плоскости. В некоторых пластичных минералах возникают пластинчатые двойники скольжения; они также соответственно ориентированы.

ГЛАВА II

ТЕКСТУРЫ РУД*

Руды, как правило, сложены несколькими минеральными агрегатами. Однако встречаются мономинеральные агрегатные руды. Изучение текстур сводится к выявлению морфологии слагающих руду минеральных агрегатов, определению их минерального состава, последовательности и условий образования.

Изучение текстур в рудах проводят в забоях, обнажениях, на штучных образцах, при шлифовках, в полированных и прозрачных шлифах. При изучении текстур пользуются также методами окрашивания, отпечатков, радиографическим и люминесцентным.

Метод окрашивания применяют при изучении возрастных взаимоотношений между различными минеральными агрегатами (например, для минеральных агрегатов, сложенных карбонатами железа, сында и т. д.).

Радиографический метод используют при изучении минеральных агрегатов, сложенных радиоактивными минералами.

Люминесцентный метод широко распространен при изучении минеральных агрегатов, сложенных минералами, обладающими способностью холодного свечения в ультрафиолетовых, катодных и рентгеновских лучах (минеральные агрегаты, содержащие шеллит, вилленит, отенит, шрекингерит и др.).

Наиболее важные в генетическом и практическом отношении текстуры необходимо зарисовывать или фотографировать. Образцы, приготовленные для фотографирования, желательно отполировать или пришлифовать. Иногда перед фотографированием проводят выборочное окрашивание некоторых минеральных агрегатов.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО АГРЕГАТА

Признаки, которыми пользуются при определении морфологических типов текстур и их генетических групп, называют морфогенетическими особенностями минерального агрегата. Главнейшими из них являются форма, размер, состав, структура, способы образования, вторичные изменения (см. табл. 19).

* В текстовой части был использован материал М. П. Исаенко (1960 г.).

Форма минерального агрегата

По форме минеральные агрегаты разделяются на три группы: удлиненные, округлые и неправильные.

Минеральные агрегаты удлиненной формы преимущественно развиты в двух или одном направлениях. Примером таких агрегатов являются прослойки марганцевых руд в песчано-глинистых породах, *полосы и ленты гематита и магнетита* в железистых кварцитах, линзы, чечевицы и полоски сфалерита, халькопирита и пирита в кварцево-серпичито-хлоритовых сланцах, прожилки кварцево-молибденитовые и халькопиритовые в измененном монцитоне, сталактиты и сталагмиты бурого железняка, корки малахита и смитсонита в окисленной руде и т. д. Минеральные агрегаты удлиненной формы — слончатые, полосчатые и сланцеватые — вытянуты в одном или двух направлениях. Они образуются в процессе формирования в изверженных, осадочных и метаморфических горных породах, а также в рудных жилах и линзах гидротермального генезиса.

Примерами рудных минеральных агрегатов округлой формы являются конкреции, оолиты, псевдооолиты в осадочных карбонатных породах, гальки и валуны в конгломератах, нодулы хромита в ультраосновных породах и др.

Минеральные агрегаты неправильной формы наиболее широко распространены в природе. Форма их очень разнообразна: вкрапленность, пятна и гнезда рудных минералов в изверженных и в динамометаморфизованных рудах, корки и натеки, друзы, каемки, дендриты, петли и сетки рудообразующих минералов в горных породах или рудах. Нередко рудообразующие минералы цементируют обломки в брекчиях или слагают цемент в песчаниках.

К описываемой группе относятся минеральные агрегаты, которые не имеют определенных морфологических признаков (вкрапленность, пятна, гнезда).

Размеры минеральных агрегатов

Размеры минеральных агрегатов могут широко изменяться — от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Минеральные агрегаты условно можно разделить на две группы в зависимости от их величины и, как следствие, условий наблюдения.

В первую группу входят минеральные агрегаты размером меньше 2 мм. Размер 2 мм — максимальная величина минерального агрегата, наблюдаемая в поле зрения микроскопа при увеличении в 100 раз, при котором обычно изучают руды в отраженном свете. Часто размеры минеральных агрегатов измеряются десятками долями миллиметра.

Такие минеральные агрегаты наблюдаются с помощью лупы, бинокля или микроскопа. Рудные текстуры, в которых минеральные агрегаты отчетливо различают лишь при увеличении, называют микротекстурами.

Во вторую группу входят минеральные агрегаты размером больше 2 мм; часто они достигают нескольких десятков миллиметров. Такие минеральные агрегаты наблюдаются и изучаются без микроскопа. Рудные текстуры, в которых минеральные агрегаты определяются визуально, принято называть макротекстурами.

При описании рудных текстур разделение на макро- и микротекстуры особенно необходимо для характеристики технологических качеств руд, учитываемых при их обогащении.

Состав минерального агрегата

Обычно минеральные агрегаты сложены как рудными, так и нерудными минералами гипогенного или гипергенного происхождения. В природе широко распространены полиминеральные агрегаты, сложенные несколькими минералами, реже встречаются мономинеральные, сложенные одним минералом.

Строение минерального агрегата

Строение минерального агрегата, т. е. структура, зависит от физико-химических условий, в которых происходило образование слагающих агрегат минералов. Строение минерального агрегата может быть зернистое, коллоидное, метазернистое, кластическое, метаколлоидное и бластическое. Зернистые структуры кристаллизации наблюдаются в минеральных агрегатах при отложении кристаллических зерен из газо-водных растворов в пустотах и трещинах пород и руд. Метазернистые структуры характерны для минеральных агрегатов, которые образовались в процессе метасоматизма. Коллоидные и скрытокристаллические структуры встречаются в минеральных агрегатах, минеральные выделения которых образовались из коллоидных и пересыщенных молекулярных растворов.

Раздробленные, ориентированно-зернистые и ориентированно-кластические структуры наблюдаются в минеральных агрегатах, которые подверглись действию динамометаморфизма.

Большинство минеральных агрегатов в рудах характеризуется разлитием нескольких генетических типов структур.

Способы образования минеральных агрегатов

Способы образования минеральных агрегатов в рудах разнообразны. Рудные агрегаты могут быть отложены либо одновременно с рудо вмещающими горными породами, либо после их образования. Поэтому рудные агрегаты по отношению к вмещающим их горным породам или другим рудным минеральным агрегатам можно разделить на две группы: сингенетические, или одновременные, и эпигенетические, или разновременные.

Сингенетические рудные агрегаты образуются при кристаллизации рудных минералов из магматического расплава в процессе формирования изверженной породы. Примерами минеральных агрегатов этого типа являются вкрапленность и гнезда хромита, алмазов, самородной платины и платиноидов в ультраосновных породах; шпильры, полосы и прожилки титаномагнетитов в основных породах; полосы, линзы и цемент медно-никелевых сульфидов в габбро-норитах; гнезда и полосы магнетита и апатита в сyenитах и т. д.

Кроме этого, сингенетические рудные агрегаты образуются путем отложения рудных минералов в процессе осадконакопления, седиментации и диagenеза. К этой группе относят минеральные агрегаты, согласно залегающие в осадочных породах. Примерами их могут служить слои и прослойки псиломелано-пирролизитовых руд в песчано-глинистых отложениях, конкреции фосфоритов в песчаниках и песках, прослойки и линзы галенита в гипсоносных глинах и др.

Эпигенетические минеральные агрегаты образуются при отложении в пустотах пород и руд, при замещении пород и руд и при одновременном развитии процессов заполнения и замещения. По способу образования эпигенетические минеральные агрегаты принято разделять на две группы.

Первая группа — минеральные агрегаты, образованные путем отложения в пустотах при кристаллизации вещества из газов, растворов, реже расплавов или же при коагуляции коллоидных растворов. Такие минеральные агрегаты отделяются резкими границами от вмещающих образований. Форма и минералогический состав их очень разнообразны. Они встречаются в месторождениях магматического, гидротермального, инфильтрационного и метаморфического генезиса. Наиболее характерно образование минеральных агрегатов путем заполнения пустот для месторождений гидротермального и инфильтрационного генезиса.

Эпигенетические минеральные агрегаты второй группы образуются из газов и растворов путем замещения породы и руды. Как известно, в процессе метасоматизма происходит растворение одного минерала или группы минералов и одновременное отложение другого минерала или группы минералов на их месте. Замещение обычно протекает без изменения объемов.

Процесс замещения — одно из наиболее широко распространенных и разнообразных явлений, с которыми приходится встречаться при изучении месторождений послемагматического, инфильтрационного, метаморфического, осадочного и магматического генезиса. Наиболее часто замещение наблюдается при образовании минеральных агрегатов в контактовых, метасоматических, гидротермальных и инфильтрационных месторождениях.

В осадочных месторождениях метасоматоз проявляется при процессах диагенеза. Минеральные агрегаты, образованные при замещении, обычно не имеют резких границ, они или постепенно переходят в другой минеральный агрегат, или отделяются от более раннего минерального агрегата выпуклыми зубчатыми границами и часто наследуют строение замещаемых пород, руд и минералов.

В природе встречаются руды сложного строения, в которых минеральные агрегаты образуются при отложении в пустотах и при замещении, но обычно какой-нибудь один из этих двух процессов всегда преобладает.

Как показывает изучение вещественного состава и строения руд многочисленных месторождений полезных ископаемых, слагающие их минеральные агрегаты в большинстве случаев образуются в разное время. Образование руд, сложенных несколькими минеральными агрегатами, происходит в течение длительного процесса минерализации, в несколько стадий и этапов.

Вторичные изменения минеральных агрегатов

Изменения минерального агрегата, происходят при метаморфизме в условиях значительного повышения температуры и давления. Явления метаморфизма выражаются в дроблении, смятии, перекристаллизации и раскристаллизации вещества минерального агрегата, а также в частичной его миграции. При динамометаморфизме первичные минеральные агрегаты раскалываются и дробятся на осколки различной формы с образованием брекчиевых и брекчиевидных текстур. Если метаморфизму подвергаются тонкослончатые и полосчатые минеральные агрегаты или агрегаты, состоящие из пластичных минералов, то часто происходит их смятие с образованием сланцеватых, сплошных, гнейсовидных и полосчатых текстур.

Состав и строение минерального агрегата при метаморфизме претерпевают очень сильные изменения. Происходит перекристаллизация и раскристаллизация коллоидного и скрытокристаллического вещества. В это время образуются метаколлоидные, полосчатые, гнейсовидные, линзовидные, очковые и массивные текстуры. Сильно изменяется струк-

тура метаморфизованного минерального агрегата. Первичные зернистые и коллоидные структуры превращаются в кристаллобластические, раздробленные, ориентированно-зернистые, ориентированно-клатестические и структуру смятия. В некоторых минералах, например в сфалерите, халькопирите, пирротине, молибдените, антимоните и других, образуются полисинтетические двойники скольжения. Одновременно происходит перегруппировка атомов и молекул вещества с образованием новых минералов с уменьшенным объемом и повышенным удельным весом (например, лимонит превращается в гематит, боксит в корунд, опал в кварц и т. д.).

Таблица 19

Морфогенетические особенности минеральных агрегатов

Морфогенетические особенности минеральных агрегатов			Структуры	Способы образования	Изменения
Главнейшие формы	Размеры	Минералогический состав			
Полоски, пропеллы и другие минеральные образования удлиненной формы Прожилки и дендриты Почки, солиты, псевдоолиты, нодулы и другие минеральные образования округлой формы Цемент Органогенные Натечные Камчатые Обломки Осколки Реликты-остатки Каркасы Бесформенные	<2 мм (микротекстуры) >2 мм (макротекстуры)	Мономинеральный агрегат Полиминеральный агрегат	Зернистые и коррозионные Метазернистые Коллоидные Кристаллобластические и распада твердого раствора Катаклатические	В процессе магматической ликвации и кристаллизации В процессе седиментации и диагенеза При заполнении пустот в породах и рудах При замещении пород и руд	В процессе выветривания В процессе метаморфизма

Первичные минеральные агрегаты в процессе эрозии подвергаются воздействию агентов выветривания. Механическое и химическое выветривание минеральных агрегатов обусловлено совместным действием кислорода, углекислоты, воды, колебаний температуры и других агентов. При выветривании очень сильно изменяются руды, сложенные сульфидами (например, пиритом, халькопиритом, сфалеритом и др.); карбонаты, легче растворяются, чем силикаты; с большим трудом разлагаются окислы и самородные металлы (например, касситерит, кварц, золото, платина и др.). В процессе механического выветривания породы и руды разрушаются на обломки все более и более мелкие. При химическом выветривании неустойчивые минералы выщелачиваются, а на их месте образуются пустоты различной формы и величины или возникают новые минералы. При этом образуются разнообразнейшие каркасные текстуры: пористые, ячеистые, ящичные, пещеристые, кавернозные.

При дальнейшем интенсивном выветривании первичный минеральный агрегат превращается в агрегат, состоящий из вновь образованных вторичных минералов и обломков устойчивых первичных минералов. Остаточный материал, образовавшийся при выветривании, накоп-

Генетическая классификация текстур руд
Составила

Группа по форме минерального агрегата	Форма минерального агрегата, определяющая морфологический тип текстуры	Текстуры первичные*				
		эпигенетические, образования		эпигенетические, образования		
		в процессе магматической дивазиции и кристаллизации	в процессе седиментации и дивагезации	в процессе заполнения пустот в породах и рудах	в процессе метасоматического замещения пород и руд	
				* текстуры коррозионные	текстуры уцелевшие	
1	Полоски, прослои и другие минеральные образования удлиненной формы	Полосчатая Псевдослоистая	Полосчатая Слоистая Линовидная	Полосчатая Крустификационная		Полосчатая Диффузионно-полосчатая Слоистая Линовидная
2	Прожилки и дендриты	Прожилковая	Прожилковая Просечковая	Прожилковая	Прожилковая Нитеобразная Петельчатая Ретчатая Субграфическая Графическая	
3	Цемент		Цементная			Цементная
4	Почки, оолиты, псевдооолиты, нодулы и другие минеральные образования округлой формы	Нодулярная Вкрапленная Пятнистая	Оолитовая Псевдооолитовая Вкрапленная Конкреционная Секрционная	Секрционная и жеоловая Кокардовая Вкрапленная Пятнистая	Вкрапленная Пятнистая Эмульсионная	Вкрапленная Солитовая Зональная Конкреционная
5	Органогенная		Органогенная			Органогенная
6	Натежная		Колломорфно-метаколлоидная	Колломорфно-метаколлоидная Концентрически-зональная Сталактитовая Сталагмитовая		Колломорфная

* Текстуры, характерные минеральные агрегаты которых сложены первичными минералами.
** Текстуры, характерные минеральные агрегаты которых сложены вторичными минералами.

Текстуры вторичные**, образования
С. А. Юшко

Текстуры вторичные**, образования					
в процессе метаморфизма		в процессе выветривания			
при дроблении и смятии минеральных агрегатов	при течении и перекристаллизации минеральных агрегатов	при выщелачивании и дроблении минеральных агрегатов	при метасоматическом замещении		при заполнении пустот
			текстуры коррозионные	текстуры реликтов (уцелевшие)	
Сланцеватая Плойчатая Линовидная Гнейсовидная	Сланцеватая Плойчатая Линовидная Гнейсовидная			Полосчатая Слоистая	
	Субграфическая Графическая Прожилковая Просечковая		Нитеобразная Петельчатая Ретчатая Субграфическая Графическая Дендритовая		Прожилковая Дендритовая
				Цементная	Цементная
Очковая	Очковая			Конкреционная	Секрционная Кокардовая Жеоловая
	Метаколлоидная реакционно-каемочная				Колломорфная Метаколлоидная Корковая Сталактитовая Сталагмитовая

нералами.

Группа по форме минерального агрегата	Форма минерального агрегата, определяющая морфологический тип текстуры	Текстуры первичные*				
		сингенетические, образованные		эпигенетические, образованные		
		в процессе магматической диваляции и кристаллизации	в процессе седиментации и диагенеза	в процессе заполнения пустот в породах и рудах	в процессе метасоматического замещения пород и руд	
				текстуры коррозионные	текстуры унаследованные	
7	Касчатая				Касчатая Корковая	
8	Обломки		Конгломератовая			
9	Осколки	Брекчиевая Брекчиевидная	Брекчиевидная	Брекчиевая Брекчиевидная		Брекчиевидная
10	Реликты-остатки Скелетная				Скелетная Раскрошенная Реликтовая	
11	Каркасы					
12	Бесформенная Неопределенная	Массивная Вкрапленная	Землистая Порошковая Массивная Вкрапленная	Массивная Вкрапленная	Вкрапленная	Массивная Вкрапленная
Структура минерального агрегата, определяющая генетическую группу текстур		Первичные Зернистая Коррозионная Коллоидная*** Вторичные Распада твердого раствора Метаколлоидная***	Первичные Коллоидная Зернистая*** Вторичные Метаколлоидная	Первичные Зернистая Коррозионная Коллоидная Вторичные Метаколлоидная Распада твердого раствора	Первичные Метазернистая Зернистая*** Коррозионная Вторичные Метаколлоидная Распада твердого раствора	

* Текстуры, характерные минеральными агрегатами которых сложены первичными
 ** Текстуры, характерные минеральными агрегатами которых сложены вторичными
 *** Структура для данной группы не характерна.

Текстуры вторичные**, образованные					
в процессе метаморфизма		в процессе выветривания			
при дроблении и сматывании минеральных агрегатов	при течении и перекристаллизации минеральных агрегатов	при выщелачивании и дроблении минеральных агрегатов	при метасоматическом замещении		при заполнении пустот
			текстуры коррозионные	текстуры реликты (унаследованные)	
			Касчатая Корковая Зональная	Зональная	
		Обломочная			
Брекчиевидная		Брекчиевидная			Брекчиевидная
			Реликтовая Раскрошенная		
		Каркасная Пористая Губчатая Ящичная Пенцистая			
Землистая		Пористая Кавернозная Землистая Порошковая Охристая	Вкрапленная		
Вторичные Катакlastическая Распада твердого раствора***	Первичные Зернистая Коррозионная Вторичные Кристаллобластическая Распада твердого раствора***	Первичные Коллоидная Вторичные Катакlastическая Обломочная Метаколлоидная	Первичные Коллоидная Зернистая*** Вторичные Метаколлоидные		Первичные Зернистая Коллоидная

минералами.

дается в виде рыхлых, сыпучих, обломочных и землистых масс (например, минеральные агрегаты элювиальных россыпей, «колчеданная сыпучка», «баритовая сыпучка») или в виде натеков гидроокислов железа, гидроокислов марганца и т. д. Текстуры остаточных минеральных агрегатов землистые, порошокватые, обломочные, брекчиевые, колломорфные и др.

Минеральные агрегаты, вновь образующиеся при выветривании, иногда имеют форму корки или охристых налетов, или выделяются в виде сетки тонких прожилков (например, корки лимонитов по пириту, халькопириту и сидериту, сетка тонких прожилков скородита по арсенопириту, англезита и церуссита по галениту и т. д.). Для вновь образующихся в зоне окисления минеральных агрегатов характерны текстуры корковые, охристые, каемчатые, петельчатые и сетчатые.

Растворимые продукты выветривания перемещаются поверхностными водами и отлагаются в виде минеральных агрегатов.

В табл. 19 приведены основные морфогенетические особенности минерального агрегата.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТУР РУД

Классификация текстур руд построена по такому же принципу, что и классификация структур.

Морфологические типы текстур по определяющему характерному минеральному агрегату объединены в 12 групп. По условиям образования выделяются шесть генетических групп текстур с указанием определяющих для каждой группы генетических типов структур. В классификации отражены первичные и вторичные текстуры: первые характеризуют типы текстур, образующиеся в рудах при их формировании; вторые — в процессе метаморфизма и выветривания руд.

Классификация текстур приведена в табл. 20.

ОПИСАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГРУПП И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ ТЕКСТУР РУД

Генетические группы текстур рассматриваются в соответствии с их расположением в табл. 20. Описания сделаны по следующему плану: 1) краткая характеристика генетической группы текстур; 2) перечень наиболее распространенных морфологических типов текстур, характерных для данной генетической группы; 3) признаки, на основании которых эти морфологические типы текстур отнесены к данной генетической группе.

Текстуры, образованные при ликвации и кристаллизации магматических расплавов

Особенностью текстур этой генетической группы (рис. 64) является то, что характерный минеральный агрегат и вмещающая его масса сингенетичны по своему образованию и обладают зернистыми структурами кристаллизации расплавов; характерно также наличие вторичных структур распада твердого раствора. В этой генетической группе наиболее распространены следующие морфологические типы текстур: полосчатая и линзовидная, псевдослоистая, прожилковая, нодулярная, вкрапленная, пятнистая, брекчиевая, массивная.

Полосчатая и линзовидная текстуры образуются в процессе ликвационной и кристаллизационной дифференциации магматического расплава и представляют собой чередование полос и линз, состоящих из рудных и нерудных минеральных агрегатов.

Структуры характерного минерального агрегата сидеронитовые и коррозионные. Широко развиты структуры распада твердого раствора.

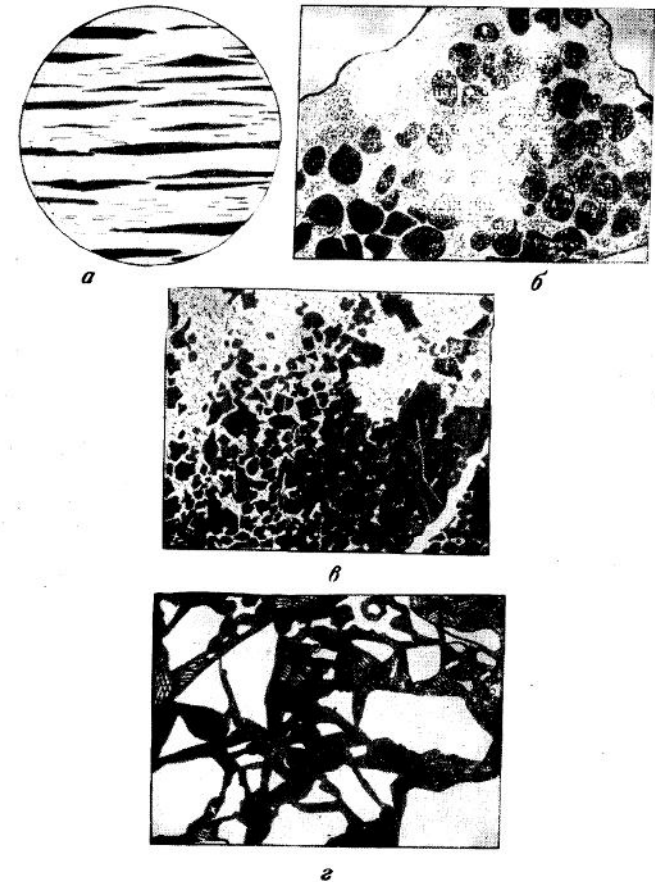


Рис. 64. Текстуры ликвации и кристаллизации магматических расплавов
 а — полосчатая и линзовидно-полосчатая. Образована в процессе ликвационной дифференциации магматического расплава. В массе, состоящей из силикатных минералов (белое), заключены полосы и линзочки рудных минералов (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 30$; б — нодулярная. В серпентинизированном дуните (белое) заключены нодулы хромита (черное). Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; в — вкрапленная, переходящая в пятнистую. Образована в процессе кристаллизации магматического расплава. Рудные минералы (черное) выделялись раньше силикатных полированного шлифа, $\times 10$; г — брекчиевидная и брекчиевая. Образована в процессе кристаллизации магматического расплава. Осколки минерального агрегата, состоящего из силикатных минералов (белое), сцементированы рудными минералами (черное). Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 30$

Псевдослоистая текстура образуется при кристаллизационной дифференциации магмы, когда рудные минеральные агрегаты благодаря различиям в удельном весе обособляются в «прослои», различающиеся между собой по минералогическому составу и структурам (псевдослоистая текстура хромитовых, апатито-магнетитовых, нефелино-apatитовых и других руд).

Структура характерного минерального агрегата — зернистая, сидеронитовая, распада твердых растворов (для рудных агрегатов) и гипидиоморфнозернистая (для силикатных агрегатов).

Прожилковая текстура образуется вследствие одновременности кристаллизации отделившегося магматического расплава. В то время как силикатная часть расплава почти полностью затвердела, рудная часть, находящаяся в расплавленном состоянии, вследствие своей большой подвижности проникает по трещинам растрескивания в массу силикатных минералов и цементирует их. Характерной особенностью прожилковой текстуры является то, что минеральные агрегаты, образующие прожилки, и вмещающая их минеральная масса кристаллизовались из одного и того же магматического расплава. Структура характерного минерального агрегата зернистая.

Нодулярная текстура. Нодули рудного минерала (хромита) имеют овальную, реже округлую или сферическую форму и достигают от 5 до 15 мм в диаметре. Они заключены в массу нерудных минералов (дунита). Нодули расположены то полосами, то беспорядочно; параллельная вытянутость нодул обусловлена течением магмы при кристаллизации.

Нодулярная текстура характерна для хромитовых руд. Нодули и основная масса обладают зернистыми структурами магматического расплава.

Вкрапленная текстура образуется благодаря мелким выделениям минерального агрегата, рассеянного в массе горной породы. Форма отдельных вкрапленников зависит от условий образования (сегрегации кристаллов или прожилки рудных минералов). Размер вкрапленников не превышает 1 см, а их количество в горной породе — не выше 5%. Вкрапленная текстура наиболее распространена в рудах магматического генезиса. Минеральные агрегаты вкрапленников и основной массы характеризуются различными типами структур кристаллизации магматических расплавов.

Пятнистая текстура — разновидность вкрапленной текстуры. Количественные соотношения между минеральными агрегатами, слагающими руду, колеблются от 1:1 до 1:10. Характерной особенностью пятнистой текстуры магматического генезиса является то, что вкрапленники и основная масса сингенетичны. Вкрапленные текстуры постепенно переходят в пятнистые. Структура характерного минерального агрегата зернистая.

Брекчиевая текстура образуется в рудах при изменении условий в процессе кристаллизации магматического расплава. Характерно, что обломки минеральных агрегатов, выделявшихся ранее, сцементированы минеральными агрегатами, кристаллизовавшимися позднее. В рудах магматического генезиса обычно наблюдаются переходы между прожилковой и брекчиевой текстурами.

Брекчиевидная текстура является разновидностью брекчиевой и отличается сглаженными очертаниями оплавленных обломков минеральных агрегатов.

Характерные агрегаты брекчиевой и брекчиевидной текстуры обладают сидеронитовой структурой кристаллизации расплавов и растворов и вторичными структурами распада твердых растворов. В рудах с брекчиевой и брекчиевидной текстурой обломки минеральных агрегатов и цемент сингенетичны по образованию.

Массивная текстура характеризуется равномерным или сплошным расположением рудных минералов и минеральных агрегатов в руде при отсутствии каких-либо пустот и трещин. Образуется она в процессе кристаллизационной и ликвационной дифференциации магматического расплава.

Характерный минеральный агрегат имеет структуры зернистую и распада твердого раствора.

Текстуры, образованные при седиментации и диагенезе

Этот тип текстур (рис. 65) наблюдается в рудах, образованных в процессе седиментации и диагенеза механических, коллоидных, химических и биохимических осадков. Для этой генетической группы характерны текстуры: полосчатая, слоистая, линзовидная, прожилковая, просечковая, цементная, оолитовая, псевдооолитовая, вкрапленная, пятнистая, конкреционная, секреторная, органогенная, колломорфно-метаколлоидная, конгломератовая, брекчиевая, землистая, порочковатая, массивная.

Особенности процесса отложения руд способствуют широкому развитию в рудах коллоидных и метаколлоидных структур: зернистые структуры кристаллизации растворов имеют второстепенное значение и не являются определяющими для этой генетической группы текстур.

Полосчатая текстура образуется при ритмическом осаждении рудных минералов, диффундирующих в гелевые осадки в процессе диагенеза последних и при раскристаллизации коллоидных растворов. Полосчатые текстуры этой генетической группы характеризуются обычно резкими границами между полосками рудных минералов. Преобладающая структура характерного минерального агрегата коллоидная, реже зернистая.

Слоистая текстура характеризуется чередованием слоев и прослоек осадочных отложений различного минералогического состава, структуры, цвета и твердости. Эта текстура образуется во время осаждения осадков и поэтому является типоморфной для руд осадочного генезиса. В зависимости от мощности слоев различают текстуры грубослоистые (от 10 до 0,5 см), тонкослоистые (от 5 до 0,5 мм) и микрослоистые (меньше 0,5 мм). Несмотря на небольшую мощность, слои часто протягиваются на значительные расстояния. В рудных телах осадочного происхождения, как правило, наблюдается чередование рудных прослоек с нерудными. Границы между слоями и прослойками обычно постепенные. Слоистые текстуры часто постепенно переходят в полосчатые, линзовидные и коллоидные.

Характерные минеральные агрегаты слоистой текстуры обладают коллоидной, обломочной структурой, а также различными морфологическими типами зернистых структур.

Линзовидная текстура — разновидность слоистой. Образуется она в случае быстрого выклинивания слоев рудного агрегата; встречается главным образом в месторождениях осадочного генезиса. Характерные минеральные агрегаты линзовидной текстуры имеют коллоидную, обломочную и реже зернистую структуру.

Прожилковая текстура в осадочных рудах образуется в процессе диагенеза, под влиянием которого минералы проникают по трещинам усыхания и отдельности в нерудных минералах. Характерной особенностью текстур этого морфологического типа является то, что прожилки никогда не выходят за границы прослоев; минеральные агрегаты чередующихся прослоев сингенетичны. Структура характерных минеральных агрегатов прожилковой текстуры коллоидная, а также зернистая.

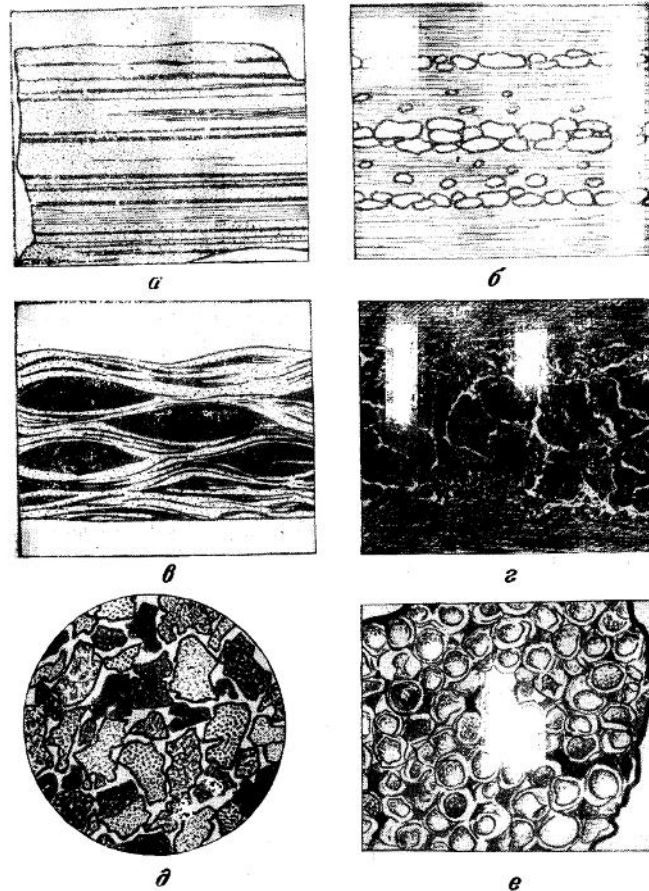
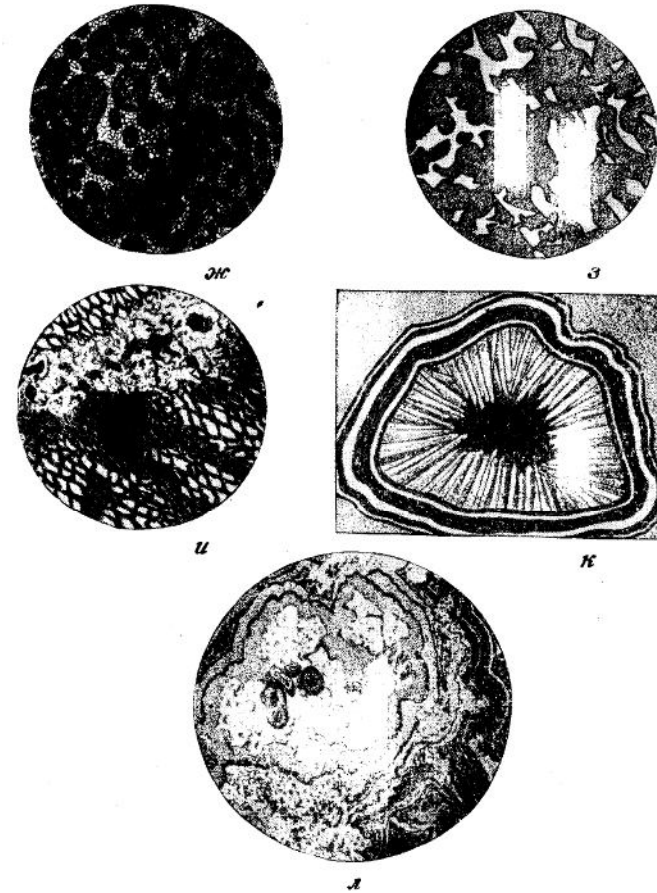


Рис. 65. Текстуры

а — слоистая. В массе, состоящей из обломков силикатных (точки) и глинистых продуктов, за минералов (белое). Зарисовка полированного шлифа, $\times 4$; б — слоистая. Минеральные агрегаты минералами. Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; в — просечковая и слоистая. В прослоях доломита со слоистой текстурой. Рисунок с фотографии полированного шлифа, натур. вел.; д — це из минералами (халькозин+борнит+халькопирит+др.). Зарисовка полированного шлифа, $\times 30$; е — оолит из нерудных минералов (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 12$; ж — псевдоморфоза. Чер окрашенная. Прожидки сульфидов в массе доломита. Зарисовка полированного шлифа, $\times 30$; з — Зарисовка шлифа, $\times 40$; и — органическая. Замещение сульфидов (белое—марказит) дерева с со Почки, состоящая из коллоидных выделений кобальто-никелевых минералов (центральная часть)



седиментации и диагенеза

крупные прослои рудных минералов (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 1/2$; б — слоистая, ховка), заключены прослои крупнообломочного агрегата, состоящего преимущественно из рудных линзовидной формы, состоящие из рудных минералов (черное), ленточно чередуются с нерудными доломита (черное) с оолитовой текстурой заключены просечки галенита (белое). Серое — прослои ментная. Обломки кварца, полевого шпата (серое) и карбоната (черное) цементированы рудными товая. Оолиты боксита (светло-серое с белыми концентрическими агрегатом, состоящим лие — доломит, белое — сульфиды (галенит и пирит) зарисовка полированного шлифа, $\times 30$; в — секреторная. В доломите (точки) пустота вышита кварцем (белое) и сульфидными (черное), хранения особенностей его строения. Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; г — коллоидная, и вторичных минералов (периферическая часть). Зарисовка полированного шлифа, $\times 30$

Просечковая текстура — разновидность прожилковой. Характерно, что минеральный агрегат в форме просечек, которые двусторонне выклиниваются и не выходят за пределы слоя, представлен преимущественно пластичными минералами.

Цементная текстура появляется в рудах в том случае, когда рудообразующие минералы цементируют отдельные гальки и валуны галечников и конгломератов или обломки песчаников. Такая текстура типична для руд осадочного генезиса.

Оолитовая текстура характеризуется скоплением оолитов, представляющих минеральные агрегаты шаровидной или эллипсоидальной формы. Оолиты обладают зернистым, коллоидным, концентрически-скорлуповатым и реже радиальнолучистым строением. Оолиты с радиальнолучистым строением сходны со сферолитами, но отличаются присутствием реликтов с тонкой концентрической зональностью.

Оолиты бывают простые и сложные. Простые оолиты состоят из одного ядра и оболочки, сложные — из двух и более простых оолитов, окруженных общей оболочкой. Сложные оолиты встречаются редко. Отдельные концентры оболочки оолитов могут отличаться от остальных по минералогическому и химическому составу и структуре.

Оолиты достигают 10—12 мм в поперечнике. Оолиты до 2 мм в диаметре принято называть собственно оолитами, а свыше 2 мм — пизолитами. Цемент обычно находится в подчиненном количестве по отношению к оолитам. Если оолиты очень сближены, цемента между ними почти нет.

Оолиты могут быть сложены арагонитом, кальцитом, сидеритом, доломитом, лептохлоритами, гидроокислами железа и марганца, гематитом, магнетитом, опалом, халцедоном, пиритом, марказитом, галенином, баритом, гипсом, гидраргиллитом, диаспором и фосфатами кальция. В некоторых случаях первичное вещество оолита замещено другим минералом (например, кальцит замещается кремнеземом). Часто материал, слагающий оолит, служит и цементом, но обычно в последнем преобладают глинистые минералы и кальцит, а иногда доломит и барит.

Псевдооолитовая текстура образуется ложными оолитами, т. е. сферическими и овальными минеральными агрегатами, не имеющими концентрической слоистости. Псевдооолитовая структура также образуется из обломков пород и органических остатков, округленных механическим воздействием волн и течений до формы обычных оолитов. Их называют ложными оолитами. Они иногда представлены однородными сгустками коллоидного вещества сферической формы. Ложные оолиты часто встречаются вместе с обычными оолитами, но занимают по отношению к ним подчиненное положение.

Разновидность псевдооолитовой текстуры — бобовая с размерами оолитов (бобовин) от 0,5 до 1 см.

Оолитовая или псевдооолитовая текстуры типичны для отложений осадочного генезиса. Они широко распространены в рудах железа и марганца, в бокситах, фосфоритах, в карбонатных породах и др. Характерный минеральный агрегат оолитовой и псевдооолитовой текстуры имеет метаколлоидную и коллоидную структуры.

Вкрапленная текстура характеризуется размещением редких отдельных мелких минералов и минеральных агрегатов в массе пород осадочного генезиса. Особенною вкрапленной текстурой, образованной в процессе седиментации и диагенеза, является сингенетическое образование рудных и нерудных минералов. Структура характерных минеральных агрегатов с вкрапленной текстурой метаколлоидная и коллоидная, обломочная.

Пятнистая текстура седиментации и диагенеза является разновидностью вкрапленной текстуры и отличается от нее размерами

и количеством рудных выделений. Вкрапленные текстуры часто постепенно переходят в пятнистые. Структура характерных минеральных агрегатов вкрапленной текстуры метаколлоидная и коллоидная.

Конкреционная текстура характеризуется образованием конкреций или стяжений шарообразной, овальной, реже неправильной формы в глинисто-карбонатных и глинисто-песчаных породах осадочного генезиса или в рыхлых продуктах выветривания. Величина конкреций колеблется от нескольких миллиметров до 1 м и более в поперечнике. Рост конкреций всегда происходит от центра к наружной части минерального агрегата. Конкрекции и почки иногда представляют собой стяжения коллоидных веществ с характерными концентрическими и радиальными трещинами дегидратации. Поверхность конкреций гладкая, полированная или бугристая. Строение их зернистое, концентрически-зональное или радиальнолучистое. Конкреционные и почковидные текстуры образуются при замещении карбонатных пород в зоне инфильтрации грунтовых вод, а также при явлениях диагенеза в осадочных рудах и породах, когда происходит перераспределение вещества. Состав конкреций различный, в зависимости от типа руд (карбонатный, гидротермический, пирролитовый и т. д.). Текстура такого типа характерна для марганцевых, железных и фосфоритовых руд. Она наблюдается также в отложениях марказита.

Характерный минеральный агрегат конкреционной текстуры имеет метаколлоидную и коллоидную структуры.

Секреционная текстура образуется при заполнении пустот выщелачивания и усыхания изометричной формы. Пустоты заполняются путем отложения минералов от периферии к центру. При отложении минералов, заполняющих пустоты, из просачивающихся слабokonцентрированных растворов секреции могут обладать также и панидиоморфнозернистой структурой.

Органогенная текстура. К этому типу относятся псевдоморфозы гидроокислов железа, смитсонита, пирита и других рудных минералов по древесине и другим органическим остаткам.

Коллоидная, или натечная, текстура руды формируется при отложении минеральных агрегатов из коллоидных и молекулярных растворов. Термин «коллоидные текстуры» охватывает все многообразие морфологических видов сложного строения коллоидных масс. Коллоидные текстуры характеризуются следующими признаками:

1. Слагаются они натечными минеральными агрегатами разнообразной формы — округлой, сферической, удлиненной неправильной; среди них наблюдаются гроздевидные формы, почки, сталактитовые и сосцевидные формы, натечно-скорлуповатые слои, полоски и т. д. Концентрические или извилистые слои и полоски обычно располагаются выпуклым изгибом к более поздним образованиям.

2. Для коллоидных текстур типичны трещины дегидратации, образованные в результате сокращения отвердевающего геля при потере воды. Трещиноватость располагается или параллельно, или почти перпендикулярно (радиально) к сфероидальным границам; иногда имеет сетчатый или ветвистый рисунок. В некоторых коллоидных рудах, сложенных халькозином, уранинитом, гётитом, псиломеделаном, малахитом и другими минералами, трещины дегидратации, разбивающие минералы на мелкие осколки, заполнены перераспределенными минералами. Они обычно приурочены к коллоидным массам и не проникают в кристаллические агрегаты.

3. Для руд с коллоидными текстурами характерно первичное гелевое или скрытокристаллическое строение минерального агрегата и широкое развитие различных метаколлоидных структур.

Конгломератовая текстура представляет собой агрегат окатанных обломков (галеk) рудных и нерудных минеральных агрега-

тов самой разнообразной величины, промежутки между которыми заполнены глинистым, песчано-глинистым и известковистым материалом. Иногда обломки (галечки) сложены рудными минералами: магнетитом (валунчатые руды Урала), фосфоритом и др. Конгломератовая текстура широко распространена в рудах россыпных месторождений золота, платины. Структура характерных минеральных агрегатов конгломератовой текстуры обломочная.

Массивная текстура образуется сплошным однородным рудным агрегатом. Возникает при седиментации и накоплении рудных минералов, при диагенезе и при кристаллизации рудных минералов в водных бассейнах. Характерный минеральный агрегат массивной текстуры имеет коллоидную, коллоидно-метаколлоидную и зернистую структуры.

Порошковатая, или землистая, текстура характерна для несцементированных рыхлых, порошковатых или сыпучих минеральных агрегатов, которые образуются на дне водоёма в процессе осадконакопления в мелководных бассейнах или в прибрежной полосе. Этот тип текстур встречается в рудах осадочного генезиса и выветривания. Минеральные агрегаты обломочной формы обладают различными морфологическими типами коллоидной, метаколлоидной и зернистой структур.

Текстуры, образованные при заполнении пустот

Эта генетическая группа объединяет морфологические типы текстур (рис. 66), образованные при отложении минералов из истинных и коллоидных растворов в пустотах (порах, трещинах отдельных, трещинах расслоения и др.) горных пород и руд.

Главнейшие морфологические типы текстур этой генетической группы: полосчатая, крустификационная, прожилковая, секрессионная и жёловая, кокардовая, вкрапленная, пятнистая, коллоидно-метаколлоидная, концентрически-зональная, сталактитовая сталактитовая, брекчиевая, брекчиевидная, массивная. Характерный минеральный агрегат обладает структурами, относящимися к генетической группе кристаллизации из растворов и расплавов.

Полосчатая текстура характеризуется чередованием полос, различных или по минеральному составу, или по зернистости, или по цвету. Мощность полос составляет от десятых долей миллиметра до нескольких сантиметров, редко достигает десятков сантиметров. Длина полос по простиранию колеблется от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Границы между полосами резкие.

Характерный минеральный агрегат обладает различными морфологическими типами зернистых структур; в некоторых типах руд развиты структуры метаколлоидные и распада твердого раствора.

Крустификационная текстура образуется в рудах при заполнении трещины минеральным веществом. Она характеризуется полосчатым расположением минеральных агрегатов в руде. Полоски минералов отлагаются на стенках трещины от периферии к центру. Каждая последующая полоска повторяет очертания стенок трещины или поверхности полоски ранее отложенного минерального агрегата. Таких полосок может быть несколько; иногда в центре трещины остаются незаполненные пустотки линзовидной формы. Полосы могут состоять из одного минерального агрегата, отличающегося лишь по цвету и структуре (мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые, гребенчатые и т. д.) или из различных минеральных агрегатов.

Крустификационная полосчатость может быть двух родов: симметричная, когда минеральный состав и структура полос, отлагающихся

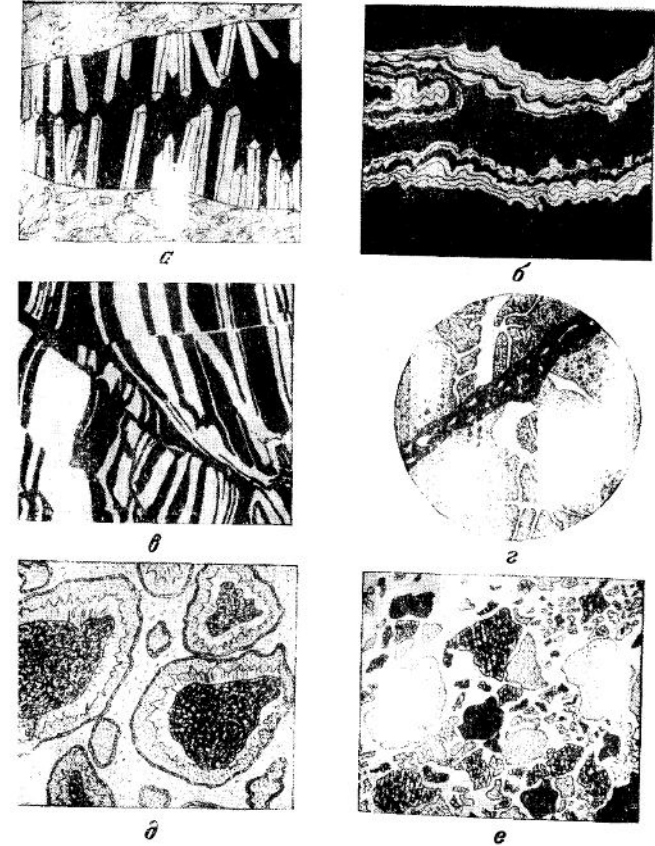


Рис. 66. Текстуры заполнения пустот

— друзинидно-крустификационная. Трещина в породе (серое) заполнена симметрично отлагавшимися на ее стенках кристаллами кварца (белое) и агрегата сульфидных минералов (черное). Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; б — коллоидно-крустификационная. Симметричное заполнение трещины коллоидными образованиями, состоящими из кобальто-никелевых минералов (белое) и карбонатных минералов (черное). Зарисовка полированного шлифа, $\times 2$; в — полосчатая. Чередование полос агрегата рудных (черное) и нерудных (белое) минералов. Руда разбита трещинами и раздроблена. Зарисовка полированного шлифа железной руды, $\times 1/2$; г — прожилковая. Заполнение сети трещин в породе (серое) агрегатом кварца и золотобденита (белое). Черное — карбонатный прожилок с обломками кварца. Зарисовка с фотографии, натур. вел.; д — кокардовая. Обломки породы (серое) и рудных минералов первой генерации (белое — галенит; точки — сфалерит; трихлоридная штриховка — калькопирит) окаймлены и сцементированы минералами второй генерации. Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; е — брекчиевая. Обломки рудных минералов (серое — галенит; точки — сфалерит, темно-серое — кварц) в массе, состоящей из агрегатов карбонатных минералов (белое). Зарисовка полированного шлифа, $\times 1/2$

на противоположных стенках трещины, одинаковы, и асимметричная, когда полосы по минералогическому составу различны у мясчатого и лежачего боков жил.

Характерные минеральные агрегаты крустификационной текстуры имеют идиоморфнозернистую, друзовую, колломорфно-коллоидную структуры. Для некоторых минералов (халькопирит, борнит, галенит, сфалерит и др.) характерно наличие структуры распада твердого раствора.

Прожилковая (штокверковая) текстура возникает вследствие развития прожилков рудных и жильных минералов по трещинам, пересекающим породу или руду в зонах брекчирования и смятия или по трещинам отдельности. В зависимости от количества и характера трещиноватости прожилки — единичные или многочисленные — располагаются параллельно один другому или пересекаются в различных направлениях. В последнем случае они образуют текстуру пересечения. По отношению к вмещающей породе или руде прожилки всегда являются более молодыми, границы их резкие. В тонких прожилках минералы обычно расположены беспорядочно, мелкие прожилки могут иметь сегментное строение. Иногда прожилки заполнены метакристаллами минералов, грани которых совпадают с границами прожилка. Такие прожилки образуются при параллельном развитии процессов метасоматизма и заполнения трещин минеральным веществом.

Прожилковая текстура наблюдается в рудах, отложившихся при одновременном развитии процессов заполнения и замещения.

Характерные минеральные агрегаты прожилковой текстуры обладают зернистой и метаколлоидной структурами, а для некоторых минералов типична структура распада твердого раствора.

Секретионная и жеодовая текстуры формируются при заполнении минеральным веществом небольших пустот более или менее изометричной формы. Нарастание корок внутри полости происходит всегда от периферии к центру. Часто внутри секретий сохраняются пустоты. Минеральные агрегаты, слагающие секретии, характеризуются гелевыми или гребенчатыми структурами. Размеры секретий различные — от нескольких миллиметров в диаметре до очень крупных образований (вплоть до пещер).

Характерные минеральные агрегаты секретсионной и жеодовой текстур обладают структурами зернистыми, метаколлоидными и распада твердого раствора.

Кокардовая текстура — разновидность брекчиевой и крустификационной. Характеризуется отложением минералов цемента в виде колец или корок вокруг угловатых или овальных обломков породы или руды с образованием кокард. Такая текстура возникает в тех случаях, когда трещина частично заполнена обломками.

Характерные минеральные агрегаты кокардовой текстуры имеют структуры: зернистую, распада твердого раствора, иногда метаколлоидную.

Вкрапленная текстура заполнения пустот развивается в том случае, когда рудные минералы обособляются в виде одиночных кристаллов и их агрегатов в массе нерудных минералов, образуя рассеянную вкрапленность.

Характерный минеральный агрегат вкрапленной текстуры обладает структурами зернистой, и метаколлоидной, и распада твердого раствора.

Пятнистая текстура — разновидность вкрапленной; отличается от нее количеством и размером вкрапленных рудных минералов. Пятнистая текстура характерна также для руд с обособлением в виде пятен различных по цвету минералов (например, пятна галенита и сфалерита в массе пирита и халькопирита и др.). Характерной особен-

ностью вкрапленных и пятнистых текстур этой генетической группы является то, что как минералы вкрапленников, так и минералы основной массы кристаллизовались из одного раствора.

Текстуры, образованные в процессе метасоматизма

Текстуры описываемой генетической группы (рис. 67) образуются в процессе метасоматического замещения пород и руд минеральными агрегатами, выделяющимися из истинных и коллоидных растворов. По степени проявления метасоматизма текстуры подразделяются на коррозийные, к которым относятся сростания более поздних минеральных агрегатов с ранее образованными, и унаследованные (реликтовые).

Характерные минеральные агрегаты текстур этой группы обладают различными морфологическими типами структур метасоматического замещения. Как исключение встречаются структуры распада твердого раствора.

Коррозийные текстуры

К ним относятся прожилковая, нитеобразная, петельчатая, решетчатая, субграфическая, графическая, вкрапленная, пятнистая, эмульсионная, каемчатая, корковая, скелетная, раскрошенная и реликтовая текстуры.

Прожилковая текстура, штокверковая, или текстура пересечения образуется при заполнении трещин в минеральных агрегатах, более ранних по времени образования. В зависимости от типа трещин образуются нитеобразные, петельчатые и решетчатые текстуры.

Нитеобразная микротекстура — разновидность прожилковой. Образование ее происходит при метасоматическом замещении первичного минерального агрегата вдоль волосовидных трещинок. Нитеобразные текстуры переходят в сетчатые и решетчатые; возникают они обычно в начале процесса замещения.

Петельчатая, или сетчатая, микротекстура характеризуется наличием тонких прожилков более позднего по времени отложения минерального агрегата в массе руды и породы. Прожилки образуют сложный узор в виде петель и сеток. Границы между прожилками и первичным минеральным агрегатом зазубренные. Такая текстура часто наблюдается в рудах полиметаллических месторождений гидротермального генезиса (прожилки галенита и кальцита в сфалерите, прожилки марказита и карбоната в пирротине и т. д.). Петельчатая текстура указывает на интенсивное развитие процессов метасоматизма в руде.

Решетчатая микротекстура возникает при размещении микропрожилков вдоль кристаллографических направлений (трещин спайности, двойниковых швов) первичного минерального агрегата. При пересечении отдельных прожилков образуется решетчатая текстура. В узлах пересечения прожилки обычно раздуваются. Границы между минеральными агрегатами зазубренные.

Субграфическая микротекстура характерна для неясно выраженных сростаний, напоминающих типичные графические текстуры, в которых более поздний по времени образования минеральный агрегат развит в значительно меньшей степени.

Графическая микротекстура представляет собой прорастание двух разных по времени образования минеральных агрегатов, из которых замещающий минеральный агрегат образует в замещаемом извилистые (червеобразные) участки, сопровождающиеся тонкими прожилками.

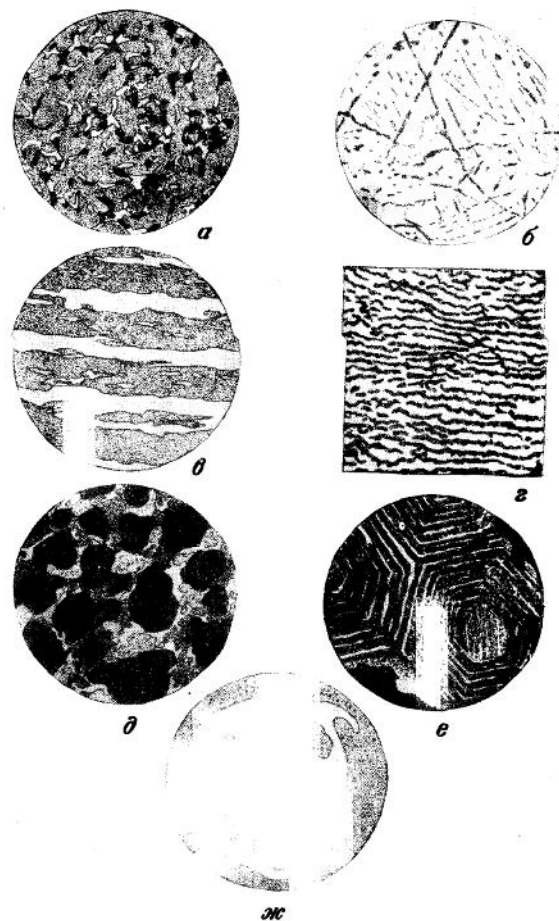


Рис. 67. Текстуры, образованные в процессе метасоматизма
 а — графическая. Метасоматическое замещение породы (серое) агрегатом рудных минералов (белое и черное). Зарисовка шлифа, $\times 30$; б — эмульсионно-пятнистая. В массе сфалерита (белое) точечные включения (черное) агрегата, состоящего из халькопирита и пирротина. Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$; в — полосчатая. Замещение серицитового сланца (серое) агрегатом рудных минералов (белое). Рисунок с фотографии шлифа, $\times 30$; г — диффузионно-полосчатая. Замещение карбоната (белое) сфалеритом (черное). Бурундучная руда. Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; д — цементная. Карбонатный цемент (белое) песчанка (черное) замещен агрегатом рудных минералов (серое). Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 60$; е — зональная. Замещение граната (серое) магнетитом (белое). Черное — скarioвые минералы. Зарисовка полированного шлифа, $\times 30$; ж — органигентная. Замещение органических остатков в карбонатной породе пиритом (белое). Зарисовка полированного шлифа, $\times 60$

Вкрапленная текстура возникает в процессе метасоматического замещения первичного минерального агрегата более поздними по времени образования минеральными агрегатами неправильной формы. Последние представлены или метакристаллами с идиоморфными и типидиоморфными очертаниями (магнетит, кобальтин, пирит, молибденит, арсенопирит, кварц и др.), или метазернами неправильной формы (халькопирит, сфалерит, кварц и др.).

Пятнистая текстура — разновидность вкрапленной (когда соотношение между вкрапленниками и основной массой превышает 1 : 10). Размер вкрапленников в поперечнике значительно больше 1 см. Характерный минеральный агрегат обладает метазернистой структурой.

Эмульсионная микротекстура — разновидность пятнистой. Образуется в процессе замещения одного минерального агрегата другим. При этом более поздний минеральный агрегат развивается в виде участков неправильной или овальной формы. Такая текстура часто наблюдается при срастании сфалерита и халькопирита, отложившихся в разные стадии минерализации.

Каемчатая текстура по форме напоминает кокардовую, но отличается метазернистой структурой характерного минерального агрегата, который образовался путем метасоматического замещения обломков более ранних по времени отложения минеральных агрегатов.

Корковая текстура отличается от каемчатой тем, что каемки, образующиеся в процессе метасоматического замещения, имеют колломорфно-метаколлоидную структуру.

Скелетная микротекстура образуется при замещении внутренних частей минеральных агрегатов или идиоморфных кристаллов первичного минерала минералами более поздних стадий минерализации; при этом от замещаемых кристаллов и минеральных агрегатов остаются узкие каемки или скелеты кристаллов.

Раскрошенная реликтовая микротекстура образуется в случае почти полного замещения первичного минерального агрегата. Сохранившиеся остатки последнего имеют причудливую форму и зазубренные границы (как, например, при замещении пирита халькопиритом, сфалеритом, галенитом и другими минералами более поздней стадии минерализации).

Унаследованные текстуры (реликтовые)

В группу унаследованных входят следующие текстуры: полосчатая, диффузионно-полосчатая, слоистая, линзовидная, цементная, вкрапленная, пятнистая, оолитовая, зональная, конкреционная, органогенная, колломорфная, брекчиевидная, массивная.

Полосчатая и слоистая реликтовые текстуры образуются при псевдоморфном замещении руд и пород с полосчатым, слоистым, сланцеватым и гнейсовидным строением.

Диффузионно-полосчатая, или ритмически-полосчатая, реликтовая текстура развивается в рудах при диффузионном замещении. Такая текстура характеризуется чередованием тонких полосок более поздних по образованию минеральных агрегатов с остатками более ранних. Этот тип текстур широко проявляется в полиметаллических рудах, известных под названием «бурундучных руд».

Линзовидная реликтовая текстура проявляется при избирательном замещении минеральных агрегатов линзовидной формы.

Цементная реликтовая текстура формируется при замещении карбонатного цемента рудными минеральными агрегатами (например, песчанка — халькопиритом и борнитом или марганцевыми минералами и др.). В рудах также встречаются вкрапленная и пятни-

стая текстуры, образующиеся при избирательном псевдоморфном замещении минеральных агрегатов.

Оолитовая реликтовая текстура возникает при избирательном замещении оолитовых известняков рудообразующими минеральными агрегатами.

Зональная реликтовая микроструктура образуется при избирательном замещении некоторых зон в кристаллах более раннего минерала (например, при замещении граната магнетитом, магнетита гематитом и др.). Избирательное замещение зон отражает первоначальную внутреннюю структуру замещаемого минерала. Зональные текстуры наблюдаются в рудах первичных и окисленных.

Конкреционная реликтовая текстура отмечается в случае замещения минеральных агрегатов конкреционной формы.

Органогенная реликтовая текстура встречается в рудах, образовавшихся в результате псевдоморфного замещения органических остатков рудными минералами (например, замещение растительных остатков пиритом, марказитом, халькозинном, халькопиритом; ракушечного известняка — гидроокислами железа, марганца, сидеритом и т. д.).

Колломорфная реликтовая текстура формируется при замещении пород и руд, сложенных минеральными агрегатами почковидной сферической и гроздевидной формы.

Брекчиевидная реликтовая текстура наблюдается при избирательном замещении рудообразующими минералами тектонических или вулканических брекчий.

Массивная реликтовая текстура образуется при почти полном замещении более ранних по времени образования минеральных агрегатов минералами, отложившимися в более поздние стадии минералообразования.

Для таких руд характерна скрытокристаллическая, афанитовая, метазернистая структуры.

Текстуры, образованные при метаморфизме

Эта генетическая группа вторичных текстур (рис. 68) образуется в рудах при изменении слагающих их минеральных агрегатов под влиянием давления, температуры и горячих водных растворов.

В процессе метаморфизма особенно сильно изменяются минеральные агрегаты, в составе которых преобладают сульфидные минералы; последние под влиянием динамометаморфизма относительно легко переходят в пластическое состояние и перекристаллизовываются.

Под влиянием этих процессов в рудах возникают текстуры разнообразных морфологических типов. По характеру процессов метаморфизма выделяют две подгруппы текстур: 1) текстуры дробления и смятия и 2) текстуры течения и перекристаллизации.

Текстуры дробления и смятия

Главнейшими морфологическими типами текстур группы дробления и смятия являются следующие: сланцеватая, пльчатая, линзовидная, гнейсовидная, очковая, брекчиевая, брекчиевидная, землистая, порошокватая, сажистая, массивная.

Сланцеватая текстура образуется в результате ориентированного давления и характеризуется линейным или плоско-параллельным расположением удлиненных минеральных агрегатов. В сланцеватых рудах макроскопически наблюдаются отчетливые поверхности сланцеватости, а под микроскопом обнаруживается определенная вытянутость и ориентировка зерен. Сланцеватость может совпадать или

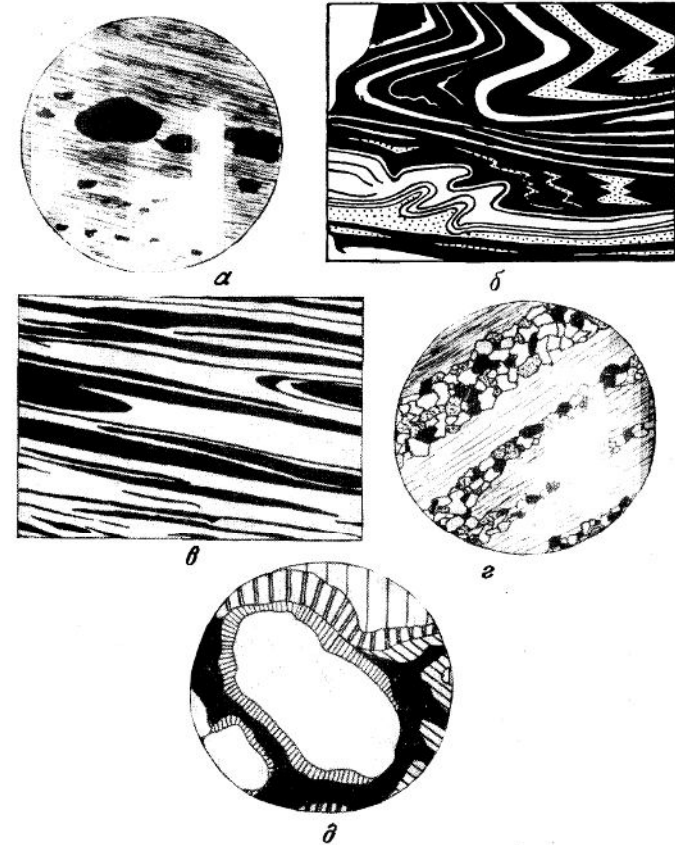


Рис. 68. Текстуры, образованные в процессе динамометаморфизма
 а — сланцеватая и очковая. Серпентиновый сланец (серое) с очковыми и линзовидными выделениями сульфидов — пирит+сфалерит+халькопирит (черное). Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 40$;
 б — пльчатая. Деформированные прослои магнетита (белое) и гематита (точки) в массе кварцита (черное). Зарисовка с фотографии штуфа, натур. вел.;
 в — линзовидно-пльчатая. Черное — магнетит+гематит, белое — кварцит. Зарисовка с фотографии полированного штуфа, натур. вел.;
 г — доломчатая. Расслаивание антимонита и перекристаллизация его вдоль трещин расслаения. Зарисовка с фотографии полированного шлифа, $\times 20$;
 д — реакционно-каемчатая. Полевой шпат (белое) с реакционной каймой биотита (тонкая штриховка). Черное — ильменит+магнетит. Зарисовка прозрачного шлифа, $\times 40$

не совпадают с направлением слонности или полосчатости. Сланцеватая текстура является вторичной; она широко распространена среди динамометаморфизованных руд и пород.

Структуры характерного минерального агрегата сланцеватых текстур ориентированно-зернистая или ориентированно-обломочная. Иногда отдельные зерна минералов представляют собой пластинчатые двойники.

Площчатая текстура — разновидность сланцеватой. Она образуется при смятии и гофрировке прослоек в мелкие складки. Иногда вследствие более поздних процессов динамометаморфизма прослойки оказываются разорванными и смещенными. Сланцеватая и площчатая текстуры широко развиты в динамометаморфизованных медноколчеданных, магнетито-гематитовых и других рудах.

Структуры характерных минеральных агрегатов — ориентированно-обломочная и ориентированно-зернистая, площчатая и пластинчато-двойниковая.

Линзовидная текстура наблюдается в том случае, когда один минеральный агрегат в виде участков округлой или линзовидной формы заключен в массу пластичных минералов. Такие участки обычно ориентированы параллельно сланцеватости породы или руды.

Очковая текстура — разновидность линзовидной текстуры. Гнейсовидная текстура — разновидность сланцеватой и линзовидной текстур.

Брекчиевая и брекчиевидная текстуры по морфологии характерного минерального агрегата аналогичны брекчиевидным текстурам заполнения пустот. Только формы слагающих их минеральных агрегатов являются вторичными и возникли под влиянием процессов метаморфизма.

Структуры характерных минеральных агрегатов — кристаллобластическая, дробления, пластинчато-двойниковая, смятия.

Землистая, порошковая, сажистая текстуры возникли в результате дробления и истирания минералов и минеральных агрегатов в процессе динамометаморфизма руд. Отличаются они лишь крупностью осколков минеральных агрегатов. Обычно возникают в руде вдоль пострудных тектонических трещин и в местах дробления руд.

Характерный минеральный агрегат и отдельные зерна в нем имеют структуры дробления и смятия.

Текстуры течения и перекристаллизации

К этому генетическому типу относятся текстуры, характерные минеральные агрегаты которых либо полностью перекристаллизованы, либо являются образованиями, отложившимися из горячих растворов метаморфического генезиса. Соответственно структуры характерного минерального агрегата в первом случае бластические, во втором зернистые; кроме того, широко развиты структуры распада твердого раствора.

Наибольшим распространением пользуются текстуры сланцеватая, площчатая, линзовидная, гнейсовидная, субграфическая, прожилковая, просечковая, реакционно-каемочная.

Сланцеватая текстура представлена чередованием минеральных агрегатов в форме пластин. Минеральные зерна пластичных минералов часто обладают пластинчато-двойниковым строением, при этом двойниковые полоски, как правило, ориентированы параллельно сланцеватости. Сланцеватая текстура характерна для динамометаморфизованных руд. Структуры характерных минеральных агрегатов ориентированно-бластическая, дробления и смятия.

172

Площчатая текстура — разновидность сланцеватой. Минеральные агрегаты в форме пластин волнообразно изогнуты или сплюснуты.

Линзовидная текстура — разновидность сланцеватой. Отдельные минеральные агрегаты в форме пластин линзообразно выклиниваются. Наиболее часто линзообразные текстуры проявляются в метаморфизованных рудах с первично-полосчатой и пятнистой текстурой, а также в тех случаях, когда в составе руды присутствуют различные по твердости минералы (например, линзовидные участки пирита в рассланцованном халькопирите и сфалерите или агрегат раздробленных зерен кварца и пирита линзовидной формы в массе халькопирита).

Структура характерного минерального агрегата в рудах с линзовидной текстурой обычно раздробленная. Остальные морфологические типы текстур этой группы внешне не отличимы от аналогичных типов текстур других генетических групп. Особенностью их является то, что структуры всех слагающих руду минеральных агрегатов бластические.

Текстуры, образованные при выветривании руд

Текстуры выветривания образуются в процессе дробления, выщелачивания первичных руд и отложения новых минеральных агрегатов, устойчивых в зоне окисления и цементации рудных месторождений. В зависимости от характера проявления процесса выветривания образуются текстуры различных морфологических типов. Объединяя последние по преобладающим условиям образования, можно выделить три генетические группы: 1) текстуры выщелачивания и дробления; 2) текстуры метасоматического замещения; 3) текстуры заполнения пустот. Эти текстуры свойственны минеральным агрегатам, состоящим из вторичных минералов.

Текстуры выщелачивания и дробления

Текстуры этой группы (рис. 69) образуются в процессе выветривания. Под влиянием различных агентов выветривания (O_2 и CO_2 , изменения температуры) руды растрескиваются, дробятся, а неустойчивые минералы и минеральные агрегаты растворяются с образованием более устойчивых минералов и минеральных агрегатов (гётита, гидрогётита, гидрогематита и др.). Характерные текстуры для этой генетической группы — обломочная, землистая, порошковая, сажистая, охристая, брекчиевая, брекчиевидная и каркасные (пористая, кавернозная, ячеистая, ящичная, губчатая).

Обломочные, землистые, порошковые, сажистые и охристые текстуры свойственны несцементированным рыхлым или сыпучим дезинтегрированным минеральным образованиям разнообразной формы и размеров, возникшим в результате процессов выветривания. Такие минеральные агрегаты состоят из обломков первичных минеральных агрегатов. Они также наблюдаются в виде скоплений или налетов в пустотах выщелачивания и на поверхностных выходах пород и руд.

Брекчиевые текстуры выветривания свойственны скоплениям обломков первичных и вторичных минеральных агрегатов, образующихся в процессе механического выветривания первичных и окисленных руд, сцементированных более устойчивыми минеральными выделениями.

Каркасные текстуры образуются в процессе выщелачивания таких неустойчивых в зоне окисления минералов, как галенит, халькопирит, пирит и др. Наличие большого количества железа в пер-

173

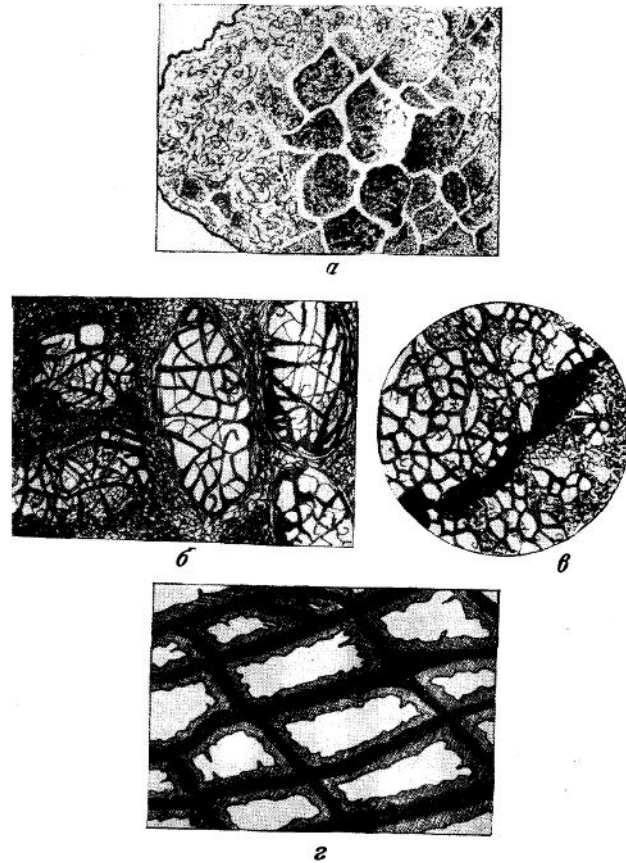


Рис. 69. Каркасные текстуры выщелачивания, образующиеся при выветривании руд
 а — ячеистая. Пустоты от выщелоченного халькопирита заполнены землистым агрегатом гидрогетита и гидрогематита (серое). Зарисовка штуфа. $\times 2$; б — ячеистая. Выщелачивание сфалерита и образование на его месте ячеек гидроокислов железа и смитсонита (черное); серое и темносерое — землистый агрегат гидрогетита и гидрогематита. Зарисовка штуфа. натур. вел.; в — губчатая. Выщелачивание сфалерита и халькопирита и образование на их месте ячеек гидроокислов железа и смитсонита (черное). Зарисовка штуфа. $\times 30$; г — ячеистая. Ячейки гидроокислов железа (серое) и смитсонита (черное) на месте выщелоченного карбоната. Зарисовка части штуфа. $\times 30$

вичных рудах (в виде пирита, халькопирита и др.) способствует отложению в зоне окисления гидроокислов железа, которые в виде каркаса остаются на месте выщелачивания минерала, подчеркивая особенности строения последнего. Наиболее характерными текстурами их являются ячеистая, пористая, кавернозная и др.

Пористая текстура представляет собой систему пор, образовавшихся в руде при выщелачивании неустойчивых минералов и минеральных агрегатов в зоне окисления. Форма и размеры пустот могут быть разнообразными и часто соответствуют форме и размеру выщелоченного минерала или минерального агрегата. Пустоты могут быть частично заполнены скоплением более труднорастворимых минералов. Стенки перегородок между пустотами сложены труднорастворимыми вторичными минералами (кварц, барит, гетит, гидрогетит и др.).

Кавернозная текстура — разновидность пористой. Характеризуется крупными пустотами от выщелачивания минеральных агрегатов неправильной формы размером от 2 мм до 15 см и более.

Ячеистой текстурой называют пористую текстуру, при которой поры отличаются разнообразием формы (прямоугольные, квадратные, изометричные), а перегородки чаще всего состоят из кремнисто-железистых минералов. Последние представляют собой своеобразный минеральный каркас, повторяющий особенности строения замещенных первичных минералов. Этот тип текстур широко развит в железистых шляхах сульфидных месторождений и используется иногда в качестве поискового признака.

Ячеистые текстуры характеризуются особым типом каркаса, представляющим собой систему «ящичков» или «коробочек» со стенками, сложенными гидроокислами железа, опалом или баритом и другими минералами, которые отлагались по трещинам спайности, границам зерен или по трещинкам дробления первичных минералов. Различают ячеистые текстуры по сидериту, галениту, халькопириту, тетраэдриту, пирротину, марказиту, пириту и др. Ячеистые текстуры используются в качестве поисковых признаков сульфидных месторождений.

Губчатая текстура отличается пустотами разнообразных форм и непостоянных размеров (от долей миллиметров до нескольких миллиметров) и по виду напоминает губку. Такая текстура часто образуется при выветривании полиметаллических и медноколчеданных руд.

Текстуры метасоматического замещения

Текстуры метасоматического замещения (рис. 70) подразделяются на две подгруппы: коррозионные и унаследованные.

Коррозионные текстуры

К первой подгруппе относятся такие текстуры, в которых замещающий минеральный агрегат по количеству значительно уступает замещаемому. Характерный минеральный агрегат всегда имеет метазернистую структуру.

Наиболее отчетливо выражены следующие морфологические типы коррозионных текстур: нитеобразная, петельчатая, решетчатая, сетчатая, графическая, субграфическая, дендритовая, цементная, каемчатая, корковая, зональная, реликтовая, раскрошенная и вкрапленная.

Нитеобразная и прожилковая текстуры образуются при метасоматическом замещении первичных минералов вторичными из холодных водных растворов, циркулирующих по тонким трещинам, пересекающим первичные минералы и минеральные агрегаты руд. Характерный минеральный агрегат в рудах с нитеобразной и прожил-

ковой текстурами всегда представлен вторичными минералами, структура их обычно метазернистая.

Петельчатые и сетчатые текстуры представляют собой разновидности нитеобразной и прожилковой. Первичные минералы и минеральные агрегаты в этом случае разбиты густой сетью трещин, поэтому образующийся при замещении первичных минералов минеральный агрегат, состоящий из окисленных вторичных минералов,

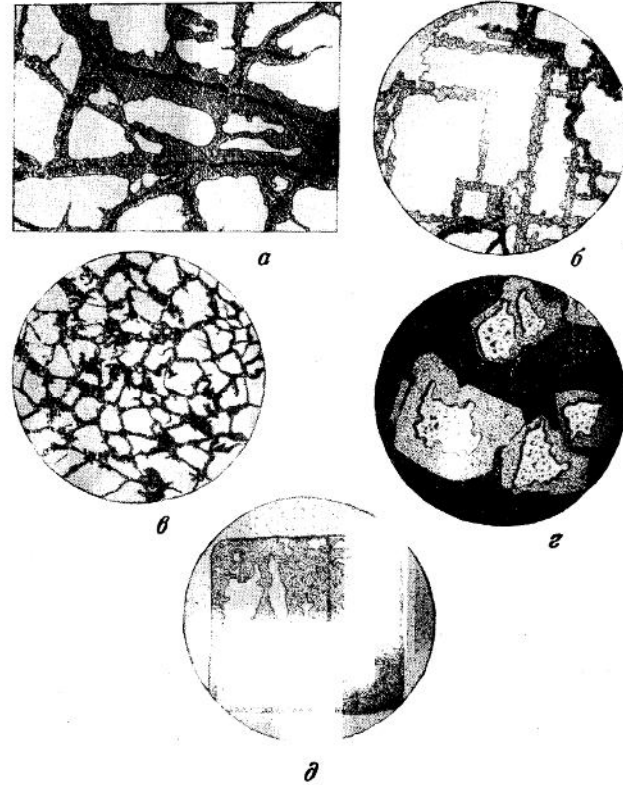


Рис. 70. Коррозионно-метасоматические

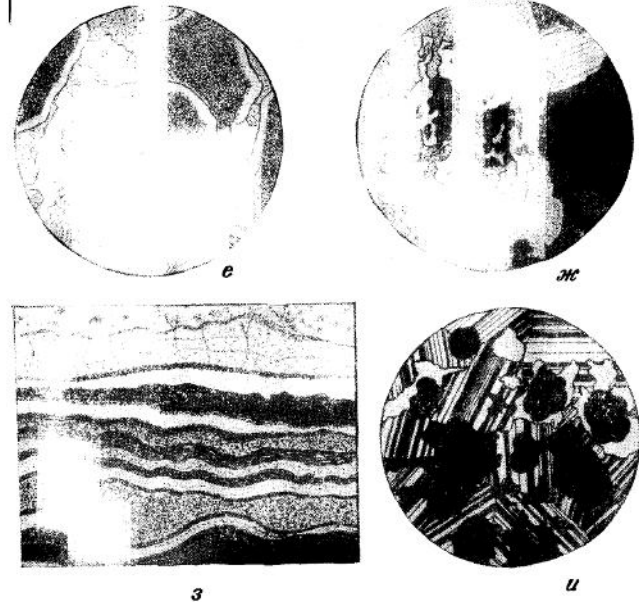
а — прожилково-коррозионная. Метасоматическое замещение халькопирита (белое) гидроокислами железа (серое) и малахитом (черное). Метасоматическое замещение галенита (белое) церусситом (серое) и гидроокислами железа (серое). Метасоматическое замещение тетраэдрита (белое) халькопиритом и ковеллитом (черное). Зарисовка полированного шлифа. $\times 60$; б — кольчатая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Черное — кварц. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; в — кольчатая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Точки — борнит. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 30$; г — кольчатая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Точки — борнит. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; ж — реликтивно-раскисленная текстура сульфидов (борнит, халькопирит, халькозин). Зарисовка полированного шлифа. $\times 60$; з — слоистая текстура. Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; и — зональная (унаследованная) вкрапленность. Зарисовка прозра

имеет форму сетки. Структуры минерального агрегата, характерного для руд данной текстуры, метазернистые.

Решетчатые текстуры являются разновидностью сетчатых. Возникают в результате замещения первичных минералов, которое происходило вдоль трещин спайности или отдельности, поэтому характерный минеральный агрегат имеет форму решетки. Он всегда представлен вторичными минералами и, как правило, имеет метазернистую структуру.

Графическая и субграфическая текстуры, будучи разновидностью нитеобразной и петельчатой текстур, проявляются в тех случаях, когда характерный минеральный агрегат имеет червеобразную форму. Структура этих образований, как правило, метазернистая. Наиболее часто такие текстуры образуются в зоне цементации при замещении халькопирита борнитом.

Реликтовые текстуры образуются при почти полном метасоматическом замещении первичных минералов и минеральных образований, поэтому морфологические типы текстур определяются по форме остатков первичных минералов. Однако для установления генетических



текстуры, образующиеся при выветривании руд

железа (серое) и малахитом. Зарисовка полированного шлифа. $\times 2$; б — решетчатая-коррозионная. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; в — субграфическая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Черное — кварц. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; г — кольчатая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Точки — борнит. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 30$; д — кольчатая-коррозионная. Метасоматическое замещение пирита (белое) гидроокислами железа (серое). Точки — борнит. Зарисовка с фотографии полированного шлифа. $\times 60$; ж — реликтивно-раскисленная текстура сульфидов (борнит, халькопирит, халькозин). Зарисовка полированного шлифа. $\times 60$; з — слоистая текстура. Зарисовка полированного шлифа, натур. вел.; и — зональная (унаследованная) вкрапленность. Зарисовка прозра

групп текстур необходимо руководствоваться особенностями строения и состава новообразованного минерального агрегата, полученного в процессе метасоматического замещения первичных минералов в руде. Структуры новообразований обычно относятся к группе метазернистых.

Дендритовая текстура отличается от аналогичного типа первичной текстуры тем, что минеральный агрегат, имеющий формы дендрита, состоит из вторичных, преимущественно окисленных минералов (гётита, гидрогётита, гидрогематита, пиролюзита, псиломелана, вада и др.), которые метасоматически замещают первичные. Структуры характерного минерального агрегата — метазернистая, коллоидная, реже метаколлоидная.

Каемчатая текстура в руде характеризуется развитием узких каемок вторичных минералов по периферии первичных выделений. Размеры каемок измеряются от долей миллиметра до нескольких сантиметров (макротекстуры). Обычно каемки имеют мелкозернистое, коллоидное или скрытокристаллическое строение. Границы между первичными и вторичными минералами коррозионные. Примером такой текстуры являются каемки вторичного халькозина, ковеллина и борнита вокруг выделений халькопирита и др. Каемчатая текстура характерна для гипергенного замещения.

Разновидностью каемчатой текстуры является зональная текстура, она отличается зональным строением минералов, составляющих каемку, и состоит из агрегата вторичных минералов с метазернистыми структурами.

Зональная текстура может образоваться также в том случае, когда замещение идет по трещинам, подчеркивающим зональное строение минеральных зерен (магнетит с зональным строением замещается гематитом).

Корковая текстура наблюдается у вторичных минералов, отложившихся в виде корок различной толщины на стенках трещин и других пустот в горных породах и рудах. Обычно корки появляются на поверхности минерального агрегата в результате его изменения под влиянием выветривания (корки лимонита по сидериту или церуссита по галениту и др.). Структуры корковых минеральных агрегатов разнообразны: гелевые, скрытокристаллические, метазернистые. Корковая текстура типична для зоны окисления и имеет тесную связь с жезодовой.

Раскрошенная текстура — разновидность реликтовой. Она возникает в том случае, когда твердый минерал замещается мягким минералом или агрегатом мягких минералов. Остатки твердого минерала точно сохраняют конфигурацию первичных образований. В данном случае название морфологического типа текстуры отображает также масштаб (интенсивность) процесса замещения. Генетическая группа текстур должна определяться с учетом особенностей состава и строения новообразованного минерального агрегата, появившегося в процессе метасоматического замещения первичных минералов в руде. Наиболее часто раскрошенная текстура образуется при замещении кристаллов пирита гётитом и гидрогётитом, халькопирита — борнитом и халькозином и другими вторичными минералами.

Унаследованные текстуры

Ко второй подгруппе текстур, образованных при метасоматизме, относятся унаследованные текстуры, они возникают в процессе полного или почти полного метасоматического замещения первичных минералов и минеральных агрегатов вторичными при сохранении (унаследовании) морфологических особенностей структуры и текстуры первичных. Наиболее характерные текстуры этой подгруппы — слоистая, цемент-

178

ная, конкреционная, зональная, брекчиевая; к этой подгруппе относятся также псевдоморфозы вторичных минеральных агрегатов по отдельным первичным минералам (гидроокислы железа по пириту, скородит по арсенопириту и др.). Характерный минеральный агрегат всегда сложен вторичными минералами; структура его метазернистая.

Слоистая текстура наблюдается в том случае, если подвергаемые замещению первичные образования имели слоистую текстуру. Характерными особенностями возникающего минерального агрегата являются метазернистая структура и отсутствие пластинчатых двойников скольжения и ориентировки в расположении зерен.

Цементная текстура формируется при замещении первичных минеральных образований, имеющих форму цемента. Характерный минеральный агрегат сложен гипергенными минералами и имеет метазернистую структуру.

Конкреционная текстура образуется при замещении первичных минералов, обладающих конкреционной текстурой. Характерный минеральный агрегат сложен вторичными минералами, структура его метазернистая.

Зональная текстура возникает, когда первичный минеральный агрегат обладал зональной текстурой. Характерный минеральный агрегат в данном случае также сложен вторичными образованиями и имеет метазернистую структуру.

Брекчиевая текстура наблюдается при замещении первичного минерального агрегата с брекчиевой текстурой. Как обломки, так и цемент сложены вторичными минеральными агрегатами и характеризуются метазернистой структурой.

Текстуры заполнения пустот

Текстуры этой генетической группы (рис. 71) образуются при заполнении пустот выщелачивания в массе первичных и вторичных измененных руд. Минеральные агрегаты, возникающие в этих условиях, характеризуются идиоморфной и гипидиоморфной или колломорфно-метаколлоидной структурами и всегда представлены вторичными минералами. Для данной генетической группы характерны следующие морфологические типы текстур: прожилковая, дендритовая, цементная, секреторная, кокардовая, жезодовая, колломорфная, метаколлоидная, корковая, сталактитовая, сталагмитовая, брекчиевидная.

Прожилковая текстура по форме аналогична прожилковым текстурам заполнения пустот, известным для первичных образований. В отличие от них характерный минеральный агрегат представлен здесь вторичными минералами с идиоморфнозернистой, друзовидной или колломорфно-метаколлоидной и радиальнолучистой метаколлоидной структурами.

Дендритовая текстура. Дендритами называют минеральные агрегаты, имеющие древовидную форму. Последние в виде тонких ветвистых образований зернистой или коллоидной структуры отлагаются по плоскостям трещин отдельности в горных породах, рудах и отдельных минералах (например, дендриты гидроокислов марганца, гидроокислов железа, самородного серебра и др.). Структура характерного минерального агрегата обычно колломорфно-метаколлоидная, а минералогический состав — вторичные минералы.

Цементная текстура этой генетической группы аналогична цементной текстуре группы первичных текстур заполнения пустот и отличается от нее лишь минералогическим составом. Характерный минеральный агрегат в рудах с цементной текстурой представлен вторичными окисленными минералами и обладает друзовой идиоморфнозернистой или метаколлоидной структурами.

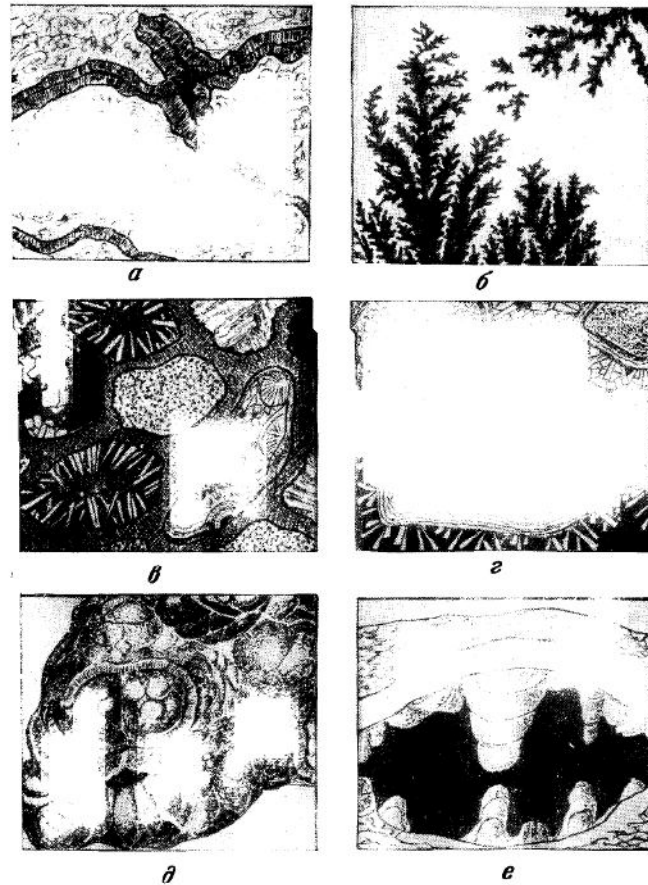


Рис. 71. Текстуры заполнения пустот, образующиеся при выветривании руд
 а — прожниковая. Трещины в массе, состоящей из гидроокислов железа (белое), заполнены агрегатом кристаллов смитсонита и пластинчатого каламина (вертикальная штриховка). Зарисовка позированного штуфа, натур. вел.; б — дендритовая. Выделение пиролюзита и псилометана по плоскостям отдельности в доломите. Зарисовка штуфа, натур. вел.; в — секреторная. Заполнение пустот выщелачивания в окисленной руде, состоящей из гидроокислов железа (серое), кристаллическим агрегатом смитсонита, каламина и кварца (белое). Черное — пустоты выщелачивания. Зарисовка штуфа, натур. вел.; г — кокардовая. Обломки окисленной руды, состоящие из гетита и гидрогетита (точки), окислены и цементированы кристаллическим агрегатом каламина, вульфенита и смитсонита (белое); черное — пустоты. Зарисовка позированного штуфа, натур. вел.; д — почковидная или колломорфная. Почка, состоящая из гидроокислов железа. Зарисовка штуфа, натур. вел.; е — сталагмитовая и сталактитовая. Натечные образования смитсонита, заполняющие выщелие жемчуга. Зарисовка штуфа, натур. вел.

Секреторная текстура образуется в рудах, ранее имевших пористую текстуру; поры и пустоты заполняются окисленными вторичными минералами, кристаллы которых растут на стенках пустот от периферии к центру. Структуры характерного минерального агрегата — колломорфная, метаколлоидная, идиоморфнозернистая и друзовая.

Жеодовая текстура — разновидность секреторной. Здесь пустоты выщелачивания в руде были также заполнены окисленными минералами. Размер пустот достигает нескольких миллиметров. Заполнение пустот происходило от периферии к центру. При этом центральная часть жеоды обычно остается незаполненной. Структуры характерного минерального агрегата — идиоморфнозернистая друзовая, колломорфная или колломорфно-метаколлоидная.

Каемчатая структура образуется в рудах, первоначально имевших брекчиевидную или конгломератовую текстуры и обломочные или раздробленные структуры. Вторичные окисленные минералы выделяются по периферии обломков и осколков рудных и нерудных минералов. Структура характерного минерального агрегата, обычно представленного вторичными минералами, колломорфная, колломорфно-метаколлоидная и идиоморфнозернистая — друзовая.

Корковая текстура — разновидность каемчатой; вторичные окисленные минералы нарастают в виде корок на поверхности первичных руд и горных пород. Структура минерального агрегата в форме корок обычно колломорфная или колломорфно-метаколлоидная.

Колломорфная текстура. Текстура этого типа мало отличается от корковой, каемчатой и концентрически-зональной текстур. Для нее характерно более тонкое чередование различных концентров корковых образований. Структура характерного минерального агрегата колломорфно-метаколлоидная.

Сталактитовая и сталагмитовая текстуры заполнения пустот аналогичны сталактитовым и сталагмитовым морфологическим типам первичных текстур заполнения пустот. От последних отличаются тем, что характерные минеральные агрегаты их состоят из вторичных окисленных минералов и имеют коллоидную и метаколлоидную структуры. Нередко наблюдаются радиальнолучистая и сферолитовая метаколлоидные структуры. Описываемый тип текстур наиболее характерен для руд, состоящих из гидроокислов железа, марганца, малахита, смитсонита и других минеральных образований, выделяющихся из холодных растворов и заполняющих трещины и пустоты.

Брекчиевая текстура заполнения пустот образуется в случае отложения минералов в промежутках между обломками окисленных руд. Структуры характерных минеральных агрегатов идиоморфнозернистая (цемента) и колломорфно-метаколлоидная (обломков).

ГЛАВА III

ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РУД

Текстурно-структурный анализ руд проводят с целью выявления в руде минеральных ассоциаций, закономерностей их распределения, выяснения условий и последовательности их образования в месторождениях.

В штучных образцах, полированных и прозрачных шлифах выявляют прежде всего все слагающие руду минеральные ассоциации и характерные минеральные агрегаты. Определяют формы их проявления в руде (пятна, полосы, прожилки), соответствующие им морфологические типы текстур и типоморфные (типогенные) особенности минералов для каждого минерального агрегата. Далее устанавливают размеры минеральных агрегатов для определений макро- или микротекстуры (более или менее 2 мм).

Текстурно-структурный анализ начинается с детального изучения структур выявленных в руде минеральных агрегатов. Для этого в каждом минеральном агрегате с помощью поляризованного света или структурного травления выявляют прежде всего формы минеральных выделений (идиоморфная, гипидиоморфная, аллотриоморфная, коллоидная) и их внутреннюю структуру (зональная, двойниковая, пластинчатая). Это позволит определить морфологические типы структур, которые указывают на последовательность выделения минералов в минеральных агрегатах. Затем устанавливают морфогенетические особенности минеральных выделений (кристаллические зерна, метазерна, бласто зерна, коллоидные формы, класты) в минеральных агрегатах и определяют, к какой из первичных или вторичных генетических групп относятся выявленные морфологические типы структур (гипидиоморфнозернистая, идиоморфнометазернистая, метаколлоидная и т. д.).

Генетические группы структур указывают, к какой из генетических групп текстур относятся установленные морфологические типы текстур (пятнистые — заполнения пустот, полосчатые — седиментации и диагенеза, прожилковые — метасоматического замещения). Наличие таких вторичных структур в минеральных агрегатах, как структуры дробления, смятия, бластические и др., указывает на степень метаморфизма минеральных агрегатов. Вторичные структуры распада твердого раствора могут быть использованы в качестве геологических термометров. О порядке температур образования минералов можно судить также на основании температур гомогенизации жидких включений в прозрачных минералах.

Обычно при проведении текстурно-структурного анализа руд исследователь прежде всего должен выяснить, как образуется и проявляется

в руде минеральный агрегат, содержащий полезные компоненты, и в каких сочетаниях он находится с минеральным агрегатом или минеральными агрегатами, не содержащими рудных минералов. Поскольку наибольший интерес представляет минеральный агрегат с промышленными минералами, то этот минеральный агрегат и берется в качестве характерного. Его форма, размер и способы сочетания с другими минеральными агрегатами в руде будут характеризовать морфологический тип текстуры руды (пятнистая макротекстура, прожилковая микротекстура, полосчатая или цементная макротекстура и т. д.).

Если минеральные выделения, слагающие характерный минеральный агрегат, представляют собой кристаллические зерна, образовавшиеся в процессе кристаллизации расплава и обособившиеся в массе породы благодаря действию процессов сегрегации и ликвации, то установленная текстура относится к первой генетической группе (пятнистая макротекстура магматической ликвации и кристаллизации; полосчатая микротекстура магматической ликвации и кристаллизации; прожилковая микротекстура магматической ликвации и т. д.; см. табл. 20). Если характерный минеральный агрегат состоит из минеральных выделений, представляющих собой коллоидное вещество, образование которого происходило при коагуляции коллоидов (на что указывает развитие коллоидных и метаколлоидных структур), то все перечисленные выше морфологические типы текстур будут относиться к генетической группе седиментации и диагенеза (пятнистая микротекстура седиментации и диагенеза и т. д.).

При проведении текстурно-структурного анализа часто имеют дело не с одним характерным минеральным агрегатом, а с несколькими, так как каждому новому процессу минералообразования в руде (этапу и стадии) будет соответствовать определенная характеризующая его парагенетическая ассоциация минералов. Такая руда будет характеризоваться наличием нескольких морфологических типов текстур, которые будут обусловлены формой, размерами, пространственной ориентировкой всех характерных минеральных агрегатов в рудах и типами их сочетаний между собой. Определяя условия образования характерных минеральных агрегатов, устанавливают, к каким генетическим группам относятся выявленные морфологические типы текстур (например, кокардовая текстура заполнения пустот, прожилковая метасоматического замещения, каемчатая и каркасная выветривания и т. д.). Все выделенные в результате текстурно-структурного анализа структуры руды важны, так как они указывают на проявления в ней определенных процессов минералообразования, однако количественное проявление этих процессов в руде неодинаково. Текстурами, определяющими генетический тип руды, по нашему мнению, являются те, которые проявились в руде наиболее широко; они хорошо выявляются даже при макрооптическом изучении руды (макротекстура).

Предлагаемая классификация структур и текстур руд (см. табл. 17 и 20) вскрывает различия в существе понятий «текстура» и «структура» руд, а также выявляет существующую связь между ними. Структуры руд указывают на характер физико-химических условий процесса минералообразования и дают основание для определения последовательности выделения минералов в рудах. Текстуры указывают на взаимоотношения между минеральными агрегатами в руде. Изучение их дает основание для выделения в руде этапов и стадий минерализации (каждый этап и стадия в руде представлены соответствующими минеральными агрегатами); увязывая текстуры с общей геологической обстановкой, можно установить закономерности распределения в месторождениях тех или иных минеральных парагенезисов.

Таким образом, как видно из табл. 21, текстурно-структурный анализ руд преследует цель:

Таблица 21

Последовательность проведения текстурно-структурного анализа руд

Объекты исследования	Задачи анализа	Значение текстурно-структурного анализа
<i>Выявление минеральных ассоциаций в рудах</i>		
Руды (совокупность минеральных ассоциаций)	Выявление особенностей форм и размеров минеральных ассоциаций	Определение частот встречаемости и масштабов проявления минеральных ассоциаций в рудах месторождений
	Определение морфологических типов макро- и микротекстур в рудах	Установление последовательности отложения минеральных ассоциаций в рудах
<i>Определение генетических групп текстур</i>		
Минеральные ассоциации (совокупность минералов)	Выявление морфогенетических особенностей минералов морфологических и генетических типов минеральных зерен	Определение механизма образования парагенетических минеральных ассоциаций и последовательности их отложения в рудах
	Определения морфологических типов структур и их генетических групп	Установление этапов в стадии минералообразования в месторождениях и последовательности отложения в них минералов
<i>Определение типоморфных (типогенных) минералов</i>		
Рудообразующие минералы (совокупность химических элементов-хозяина и элементов-примесей)	Определение физических свойств минералов (цвет, отражательная способность, микротвердость, магнитность и т. д.), характеризующих типоморфизм минералов парагенетических минеральных ассоциаций	Выявление признаков типогенеза минералов, определяющих особенности физико-химических условий рудообразования (минералы-индикаторы)
	Определение особенностей химического состава (элементов-примесей) и взаимосвязей химических элементов-хозяина и элементов-примесей в кристаллической решетке минералов	Установление типоморфных (типогенетических) минералов и типичных для них парагенезисов в рудах месторождений, характеризующих особенности физико-химических условий минералообразования
	Определение степени развития кристаллических форм минеральных выделений и особенностей их внутренней структуры и вторичных структур	

**ЗНАЧЕНИЕ ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

При изучении месторождений большое значение имеет выявление всех слагающих рудные тела минеральных ассоциаций. Несомненно практический интерес представляет выделение среди них минеральных ассоциаций, содержащих промышленно ценные минералы, и выявление мест их наибольшей локализации в месторождениях и рудопроявлениях изучаемого района.

Таким образом, как видно из табл. 21, объектом исследования являются руды месторождений, вскрываемые в забоях, естественных обнажениях и кернах.

При изучении забоев и естественных обнажений могут быть выявлены лишь минеральные ассоциации, размер выделений которых не менее 2 мм. Такого размера минеральные ассоциации можно выявить также при изучении кернов, штучных образцов и при макрокопическом изучении полированных шлифов. Для каждой выявленной в рудном теле минеральной ассоциации должны быть детально охарактеризованы особенности их формы проявления в рудах (прожилки, обломок, каемка, оолит, полоска, цемент и т. д.), характер границ (прямолинейные, резкие границы или извилистые и зазубренные). Выясняется связь отдельных минеральных ассоциаций с тектоническими трещинами, трещинами отдельности и сланцеватости и т. д.

В тех случаях, когда выявленные минеральные ассоциации заключены в рудовмещающих породах, необходимо выяснить, в каких из них по составу и строению наблюдается их преимущественная приуроченность. Особенно детально должны быть охарактеризованы морфологические типы макротекстур. Последние могут быть использованы при выяснении последовательности отложения минеральных ассоциаций при формировании месторождений.

Минеральные ассоциации, размер которых составляет десятые и сотые доли миллиметра, могут быть выявлены только при изучении полированных и прозрачных шлифов под микроскопом. Материалом для микроскопического изучения руд являются прозрачные и полированные шлифы, изготовленные из образцов, отобранных в процессе изучения забоев, естественных обнажений, штучных образцов и кернов из скважин. Очень большое значение для выяснения закономерностей пространственного расположения выявленных минеральных ассоциаций, представляет изучение шлифов, изготовленных из ориентированных в пространстве образцов. Типы сростаний и последовательность образования минеральных ассоциаций, выявленных при микроскопическом изучении руд, будут характеризовать особенности микротекстур руд.

Обработка данных, полученных в процессе всех этих исследований, позволит, с одной стороны, установить частоту встречаемости отдельных (особенно это необходимо для минеральных ассоциаций, содержащих промышленно ценные минералы) минеральных ассоциаций в месторождениях и рудопоявлениях изучаемого района. С другой стороны, обработка данных позволит выяснить масштабы их проявления в отдельных рудных телах месторождений и рудопоявлениях.

Данные количественного содержания минеральных ассоциаций можно изобразить графически в виде кружков, в которых секторами показано относительное содержание всех установленных в рудах месторождений минеральных ассоциаций. Если последние нанести на геологическую карту изучаемого района, то можно выявить места локализации отдельных минеральных ассоциаций (рис. 72).

ЗНАЧЕНИЕ ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ И ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Последовательность выделения минералов в парагенетической ассоциации выявляется при изучении структур. Анализ последних позволяет установить их одновременное или последовательное выделение в минеральном агрегате.

При одновременном выделении минералов их кристаллические зерна, срастаясь друг с другом, образуют идиоморфнозернистую, гребенчатую, аллотриоморфнозернистую и графическую структуры, часто обладают зональным и двойниковым внутренним строением, причем двойники являются двойниками роста.

При отложении минералов из коллоидных растворов возникают гелевая, колломорфная, зональная и афанитовая структуры, являющиеся надежным доказательством одновременного выделения этой группы минералов. На одновременность образования минералов указывают также метаколлоидные структуры.

Однозначным доказательством одновременного выделения минералов также служат структуры, образованные при распаде твердого раствора (решетчатая, пластинчатая, эмульсионная и петельчатая) и все морфологические типы бластических структур.

При установлении последовательного выделения минералов должны учитываться в совокупности следующие главные признаки:

- 1) форма кристаллического зерна — идиоморфная, гипидиоморфная, аллотриоморфная и скелетная;
- 2) коррозия, или разъедание одного минерала другим;
- 3) цементация, или залечивание трещинок одного минерала другим.

Идиоморфные и гипидиоморфные формы зерен образуются тремя способами: при ранней кристаллизации в растворе, при перекристаллизации вещества и при метасоматическом замещении. Из них только первый тип кристаллов может свидетельствовать о последовательности выделения минералов. Аллотриоморфные зерна, заполняющие промежутки между идиоморфными и гипидиоморфными, образуются последними.

Минеральные зерна, выделяющиеся из растворов при последовательной кристаллизации, имеют зональное строение. Другой их характерной особенностью является коррозия в процессе кристаллизации. Разъедание или коррозия одного минерала другим определяется по характеру границ. Обычно на более раннее образование минерала указывают зазубренные границы его зерен. Вдоль этих границ в замещающем минерале почти всегда наблюдаются остатки замещаемого минерала. Вследствие разъедания идиоморфных кристаллов часто об-

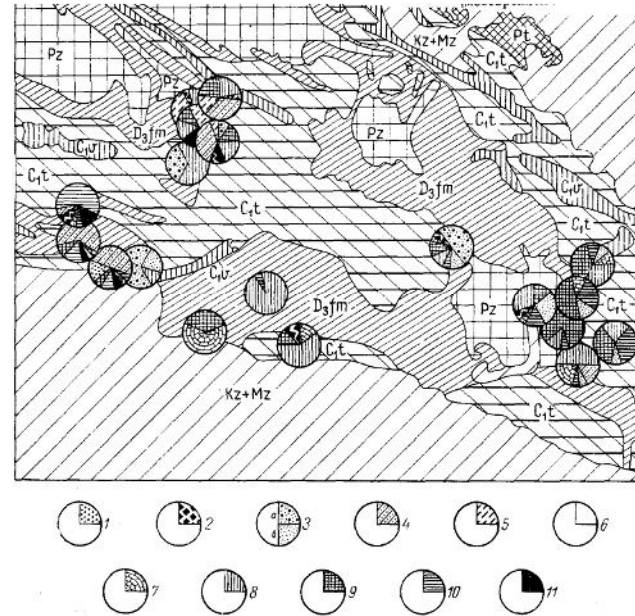


Рис. 72. Закономерность распространения минеральных ассоциаций в рудах месторождений и рудопоявлениях одного из районов распространения свинцово-цинкового оруденения

Kz—Mz — мезо-кайнозойские отложения; C₁ — турбийские отложения; D₃fm — фанезские отложения; Pz — нерасчлененные толщи кембрия, ордовика, силура и девона; Pt — протерозой; γ — кислые интрузии; δ — ультраосновные и основные интрузии. Минеральные ассоциации первичных руд: 1 — пирит, сфалерит, галенит сингенетичные с карбонатными породами; 2 — доломит, галенит, сфалерит, пирит и кальцит; 3 — колчедание; 4 — преобладание пирита; 5 — преобладание сфалерита и галенита; 6 — анкерит, барит, кварц, галенит, сфалерит, халькопирит, серебряные минералы и блеклые руды; 7 — кальцит, флюорит, галенит, сфалерит, пирит, 8 — сульфенит, хальковирит, пирит, кварц и др. Минеральные ассоциации окисленных руд: 9 — вторичные сульфиды; 10 — гидрогетит, гётит, церуссит и др.; 11 — гидрогематит, гидрогетит, смитсонит и др.; 12 — гидрогематит, гидрогетит, окислы марганца, церуссит и другие (вульфенит, пиррофит, карбонаты меди и вторичные сульфиды Zn, Pb, Fe); 13 — цинковые и свинцовые минералы иногда с киноварью (казамия, смитсонит, гидроцинцит, англезит и церуссит)

разуются скелетные формы зерен. Иногда обломки зерен более ранних минералов данной парагенетической ассоциации цементируются минералами, выделившимися последними.

Характерными структурами, указывающими на последовательное выделение минералов, являются гипидноморфнозернистая, сидеронитовая, скелетная и раскрошено-реликтовая.

Возрастные взаимоотношения между минеральными агрегатами, слагающими руду данного месторождения, определяются по текстурным руд.

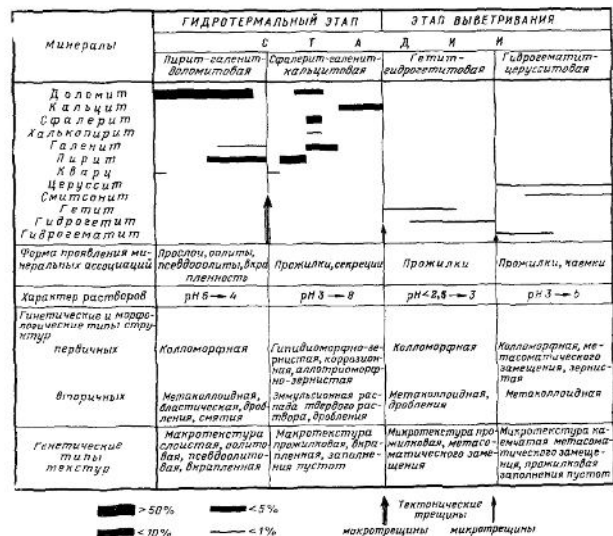


Рис. 73. Схема последовательности минералообразования

При одновременном отложении минеральных агрегатов в рудах наблюдаются коллоидная, массивная, некоторые разновидности вкрапленной и пятнистой текстур.

О последовательном образовании минеральных агрегатов можно судить по развитию в рудах прожилковых, петельчатых, брекчиевых, жеоидовых и крустификационных текстур.

Текстуры являются одним из надежных критериев при выделении этапов стадий минерализации. Каждая выделяемая стадия минерализации, если она действительно является новой стадией, характеризуется определенными, только ей свойственными условиями, которые прежде всего отразятся на морфогенетических особенностях кристаллических зерен, на характере структуры минерального агрегата, на минералогическом составе.

Итогом проведенных минералогических исследований является схема последовательности отложения минералов, в которой могут быть отмечены многие особенности процесса рудообразования. Главнейшими из них являются парагенезисы минералов и их структуры (первичные и вторичные), этапы и стадии минерализации, текстуры (первичные и вторичные).

Если один и тот же минерал определяется в несколько стадий или этапов минерализации, то должны быть указаны отличительные признаки каждой его разновидности (по стадиям или этапам). Такие

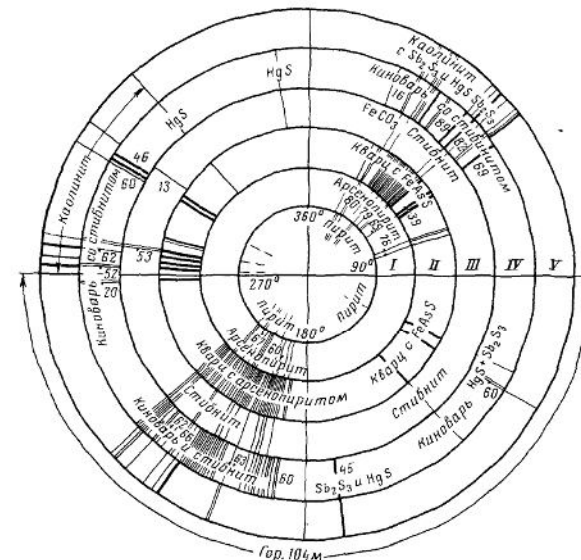


Рис. 74. Структурная диаграмма последовательности минералообразования в месторождениях полезных ископаемых (на примере Никитовского месторождения, по Е. Е. Захарову и Н. И. Корялеву)

разновидности минерала часто отличаются формой выделений, химическим составом, строением, микротвердостью и др.; они получили название генерации минерала.

Для некоторых минеральных ассоциаций характерным бывает какой-нибудь определенный минерал, кристаллизующийся только в этой минеральной ассоциации; он является для нее типоморфным (типичным) минералом.

На схеме могут быть отмечены также некоторые геохимические особенности каждого этапа и стадии минерализации. Анализ парагенетических минеральных ассоциаций определенных стадий и этапов поз-

воляет судить о щелочности и кислотности рудовосного раствора и о характере реакций окисления и восстановления, присущих данному процессу минералообразования.

На схеме последовательности отложения минералов (рис. 73) вертикальные столбцы характеризуют установленные при проведении текстурно-структурного анализа руд стадии и этапы минерализации. Вертикальные линии (границы этих столбцов) отвечают перерывам в процессе рудоотложения, что часто обусловлено тектоническими причинами. Минералы на схеме последовательности минералообразования показывают горизонтальной полоской (иногда линзовидной). Длина такой полоски (линзочки) характеризует начало и конец выделения минерала в данную стадию, ширина — количественное проявление минерала в процессе рудоотложения в месторождении.

В верхней части столбца указаны типоморфные (типогенные) для данной стадии (или этапа) минерализации минералы, отличающие ее среди других стадий (этапов). В нижней части столбца указаны признаки, на основании которых выделяется данная стадия (или этап), форма ее проявления в руде, первичные и вторичные структуры, геохимические особенности.

При изучении рудного поля месторождения иногда удается установить приуроченность различных минеральных ассоциаций к определенным системам трещин, что также можно изобразить графически. На схеме, приведенной на рис. 74, векторами показаны трещины с их азимутальной ориентировкой, отрезками векторов — отдельные стадии или этапы минералообразования, концентрическими окружностями — границы стадий. Окружности соответствуют периодам дробления или другим явлениям, отвечающим перерывам в процессе рудоотложения. Отрезки векторов, ограниченных концентрическими окружностями, для наглядности закрашивают различными цветами. Окраски отвечают определенным минералам или минеральным ассоциациям, кристаллизация которых происходила во время той или иной стадии. Количественное проявление минералов или их ассоциаций на диаграмме показывается различной толщиной линий вектора. Такие схемы можно составлять также и для различных в структурном отношении участков месторождений, что имеет большое значение для выяснения общих закономерностей распределения различных типов минерализации в месторождении и их связи с общей геологической структурой месторождения.

КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД ПО ДАННЫМ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

При выборе наиболее эффективных методов обогащения руд необходимо хорошо знать их вещественный состав, основные свойства слагающих руду минералов, форму и размер их выделений и типы сростаний рудных минералов (содержащих полезные компоненты) с другими минералами. Минералогическому исследованию должны подвергаться также продукты обогащения (концентраты и хвосты). Это особенно необходимо в том случае, когда нужно выяснить причины, вызывающие потери ценных компонентов.

Качество минерального сырья в очень большой степени зависит от характера и количества вредных примесей, содержание которых в руде не должно превышать допустимых количеств. Поэтому при изучении минерального состава руд особенно большое внимание необходимо уделять изучению минералов, содержащих вредные примеси, и форме сростаний, которые они образуют с промышленными минералами.

С помощью минералогического анализа можно установить причины потери ценного компонента в концентрате, если известно, в каких сростаниях находится ценный компонент с минералами, попадающими в

хвосты. Например, если не учесть корочек и каемок церуссита и англита, образующихся на поверхности зерен галенита, то зерна последнего не будут флотироваться и попадут в хвосты.

Некоторые физические свойства минералов помогают объяснить потери ценного компонента. Например, если не учесть хрупкости магнетита, то можно потерять ценный компонент вследствие сильного перемеления руды. Последнее также может нарушить нормальный ход металлургической обработки железных руд. Во избежание потери ценного компонента низкая твердость и совершенная спайность молибдена требуют применения специальных методов дробления.

По форме минеральные выделения подразделяются на пять групп:

- 1) включения изометричной формы, мало отличающиеся друг от друга по трем измерениям;
- 2) включения вытянутой формы (игольчатые, столбчатые, нитевидные, прожилкообразные и др.), в которых одно из измерений значительно больше других;
- 3) включения линзовидной формы, являющиеся промежуточными между 1-й и 2-й группами;
- 4) включения пластинчатой формы (таблитчатые, чешуйчатые и др.), в которых сечения минеральных выделений в двух взаимно-перпендикулярных направлениях значительно превышают третье измерение;
- 5) включения неправильной формы, резко отличающиеся разнообразием конфигурации минеральных выделений в различных сечениях.

При обогащении руд существенное значение имеет изучение размера минеральных выделений, так как их размер определяет крупность дробления, цель которого — разделение минералов.

Так как размер минеральных выделений даже одного и того же минерала в руде колеблется в широких пределах, очень важно установить в руде характерные группы минеральных выделений по размерам.

В. А. Глазковский и В. В. Долго-Добровольский разработали классификацию размеров минеральных выделений, способов их наблюдения и соответствующие данному классу способы технологической обработки руды (в табл. 22 приводится эта классификация в несколько измененном виде).

Сама по себе величина минеральных выделений не может определять применение того или другого метода технологического процесса и служит лишь необходимым условием возможности осуществления процесса обогащения, главное назначение которого — высвобождение подлежащих разделению минералов.

Для полного разделения минералов большое значение имеет характер границ между сростающимися минералами. По характеру сростаний между собой последние подразделяются на две группы: 1) минеральные выделения, образующие гладкие, ровные границы сростаний; 2) минеральные выделения, образующие неправильные, зубчатые границы сростаний.

При обогащении руд существенное значение имеет их строение и сложение (структуры и текстуры). По этому признаку руды подразделяются на группы, соответствующие методам их технологической обработки: 1) потерь не должно быть, 2) потери неизбежны, но в небольшом количестве, 3) потери неизбежны в большом количестве. В таблицах 23 и 24 показано, какое влияние оказывает строение руд на схему предварительной технологической обработки руды.

Во время как руды, характеризующиеся типами минеральных сростаний первой группы, хорошо обогащаются, и высвобождение минеральных выделений происходит почти без потерь, разделение минералов в рудах с минеральными сростаниями второй и третьей групп свя-

Таблица 22

Классификация минеральных выделений по размеру и способы их извлечения из руд

Величина минеральных выделений	Преобладающий размер выделений	Условия наблюдения и измерения	Технологические процессы, обычно применяемые для извлечения минеральных выделений из руд
Крупные	От 20 до 2 мм	Отчетливо наблюдаются невооруженным глазом; размеры определяются непосредственным измерением	Осадка; обогащение в тяжелых средах (суспензиях); иногда сухая магнитная сепарация в сильном или слабом магнитном поле; отчасти — гидрометаллургические процессы; извлечение путем перколяционного выщелачивания
Мелкие	От 2 до 0,2 мм	Наблюдаются невооруженным глазом; размеры определяются непосредственными измерениями и отчасти измерениями под лупой	Концентрация на столах (песковых и шламовых); иногда макромагнитная сепарация в слабом или в сильном магнитном поле (также обогащение в тяжелых средах); электро-статическое обогащение; гидрометаллургические процессы извлечения; перколяционное или агитационное выщелачивание
Тонкие	От 0,2 до 0,02 мм	Различны при помощи лупы или микроскопа; размеры определяются измерениями под микроскопом	Флотация; в редких случаях концентрация на специальных шламовых столах; иногда процессы статического отмучивания; при гидрометаллургическом извлечении — выщелачивание при агитации
Весьма тонкие (эмульсионные)	От 0,02 до 0,002 мм	Наблюдаются и измеряются только под микроскопом	Статическое отмучивание в присутствии электролитов глинистых и других руд; в редких случаях флотация или гидрометаллургическое извлечение
Субмикроскопические	От 0,002 до 0,0002 мм	В обыкновенный микроскоп могут быть видны только при самых больших увеличениях; измеряются специальными методами	Не извлекаются методами механического обогащения; обычно перерабатываются совместно с компонентами вмещающей породы; раздельное извлечение требует разработки специальных методов
Коллоидно-дисперсные	< 0,0002 мм	Не различаются при наблюдении в обыкновенном микроскопе; даже при самых сильных увеличениях требуют специальных методов наблюдения и измерения (например, электронный микроскоп и др.)	

Таблица 23

Значение морфологических типов структур при обогащении руд

Форма минерального зерна, определяющая морфологические типы структур	Группы структур руд в зависимости от потерь ценного компонента при обогащении		
	потери не должно быть (I)	потери имеют место в небольшом количестве (II)	потери неизбежны в большом количестве (III*)
Идиоморфная	Идиоморфнозернистая Идиоморфнобластическая	Идиоморфнометазернистая	
Аллориоморфная	Аллориоморфнозернистая Гипидиоморфнозернистая Порфиroidно-зернистая Спиронитовая Аллориоморфнобластическая Гипидиоморфнобластическая Порфиобластическая Ориентированно-зернистая перекристаллизация Ориентированно-зернистая давления	Гипидиоморфнометазернистая Пойкилитометазернистая Пойкилитобластическая	
Коллоидная		Концентрически-зональная перекристаллизации	Афанитово-зернистая Афанитово-метазернистая Гелевая Колломорфная Колломорфно-метаколлоидная
Эмульсионная			Эмульсионная распала твердого раствора
Пластинчатая	Катакластическая смятия		Пластинчатая, решетчатая, петельчатая, зональная распала твердого раствора
Реликтивно-остаточная		Скелетная, реликтивно-остаточная и разъедания-коррозионные	
Осколки	Дробления Гранокластическая		
Обломки	Порфинокластическая Ориентированно-кластическая		

* Потерь не происходит только в том случае, когда такими структурами обладает один минерал или минералы одного металла, не требующие разделения.

Значение морфологических типов текстур при обогащении руд

Форма минерального агрегата, отделяющая морфологические типы текстур	Группы текстур руд в зависимости от потерь ценного компонента при обогащении		
	потери не должно быть (I)	потери имеют место в небольшом количестве (II)	потери неизбежны в большом количестве (III)
Полоски, прослои и другие минеральные образования удлиненной формы	Полосчатая и псевдослоистая ликвации и кристаллизации Полосчатая, слоистая и линзовидная седиментации и диагенеза Полосчатая, крустификационная заполнения пустот Сланцеватая, пльоччатая, гнейсовидная дробленная и смятая Сланцеватая, пльоччатая, линзовидная и гнейсовидная течения и перекристаллизации	Полосчатая, диффузивно-полосчатая, слоистая и линзовидная метасоматического замещения Полосчатая и слоистая выветривания	
Прожилки и дендриты	Прожилковая ликвации и кристаллизации Прожилковая и просечковая седиментации и диагенеза Прожилковая заполнения пустот Прожилковая выветривания — заполнения пустот	Прожилковая, нитеобразная, петельчатая, решетчатая, субграфического замещения Субграфическая и графическая течения и перекристаллизации Нитеобразная, сетчатая, петельчатая, решетчатая, субграфическая, графическая выветривания	
Цементная		Цементная седиментации и диагенеза Цементная метасоматического замещения Цементная выветривания	

Форма минерального агрегата, отделяющая морфологические типы текстур	Группы текстур руд в зависимости от потерь ценного компонента при обогащении		
	потери не должно быть (I)	потери имеют место в небольшом количестве (II)	потери неизбежны в большом количестве (III)
Почки, оолиты, псевдооолиты, нодулы и другие минеральные образования округлой формы	Нодулярная ликвации и кристаллизации Оолитовая, псевдооолитовая седиментации и диагенеза Оокровая метаморфизма Секрционная, конкреционная, кокардовая и жодовая выветривания	Вкрапленная и пятнистая ликвации и кристаллизации Коккардовая, пятнистая метасоматического замещения Вкрапленная и пятнистая метасоматического замещения	Эмульсивидная метасоматического замещения
Органогенная		Органогенная седиментации и диагенеза	
Натечная			Коллоидно-метаколлоидная, концентрически-зональная, седиментации и диагенеза Коллоидно-метаколлоидная, корковая, сталактитовая и сталагмитовая выветривания
Каемчатая	Коккардовая заполнения пустот	Реакционно-каемчатая метаморфизма Каемчатая, корковая метасоматического замещения Каемчатая и корковая выветривания	

зано с большими трудностями и часто является причиной потери ценных компонентов.

Таким образом при проведении минералогического исследования руд в связи с их обогащением необходимо особенно большое внимание уделять выяснению следующих вопросов:

- 1) определение в руде всех минералов (рудных и нерудных);
- 2) определение количественного содержания минералов, в состав которых входят полезные и вредные компоненты;
- 3) выяснение характерных физических и химических свойств минералов, которые должны быть учтены при выборе метода технологической обработки руд;
- 4) выявление характерных морфологических типов структур и текстур для минералов, содержащих полезные компоненты в их сростании с другими минералами руды.

Все эти данные должны быть помещены в специальную учетную карточку, которая составляется при изучении шлифов, характеризующих определенные типы руд месторождений. Образец такой карточки приведен в табл. 25. Составление карточек облегчает и уточняет работу по систематизации материалов минералогического исследования руд.

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Описание рудообразующих минералов*

АГВИЛАРИТ $Ag_2S \cdot Ag_2Se$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый с зеленым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (35%). Изотропен или слабо анизотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Хрупкий. Хороший проводник электричества. Микротвердость 26—32 кг/мм². Оптимальная нагрузка 5—10 Г.

Травление: HNO_3 — медленно тускнеет и бурет, от паров тускнеет; HCl — не изменяется, от паров иногда тускнеет; KCN — не изменяется, иногда слабо бурет; $FeCl_3$ — иризирует; KOH — не действует; $HgCl_2$ — иризирует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Se (стр. 94).

Форма выделений. Скелетные кубические кристаллы.

Парагенезис. Ассоциируется с аргентитом и самородным серебром, науманитом, клаустолитом, тиманнитом, умангитом, сульфидами, кварцем и карбонатами.

АЗУРИТ $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$

Физические свойства. Сингония моноклинная В отраженном свете серый со слабо заметным розоватым оттенком. Отражательная способность меньше, чем у сфалерита (7—9%), двуотражение слабое. Анизотропен. Внутренние рефлексы синие; порошок голубовато-белый с зеленоватым оттенком. Наблюдению эффекта поляризации мешают синие внутренние рефлексы; твердость 3,5—4.

Травление: HNO_3 — вскипает, поверхность сильно травленая, выявляется структура; HCl — действует аналогично; $HNO_3 \cdot FeCl_3$ — выявляет структуру; $HgCl_2$ и KCN — не изменяется, иногда слабо выявляется структура; KOH — не изменяется, при продолжительном травлении (10 мин) выявляет структуру.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка на **Cu**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:40) или H_2SO_4 (1:20) в течение 2 мин	1) $K_2Fe(CN)_6$ 5%-ный, 2) Рубеановая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Розово-коричневое Серо-зеленое

* Количественные значения отражательной способности минералов приведены по П. Рамдору (1962 г.); данные по микротвердости — по С. И. Лебедевой (1963 г.).

Форма выделений. Натечная; радиальнолучистая; неправильные скопления; зерна полигональной формы.

Парагенезис. Ассоциируется с малахитом, купритом, теноритом, халькозином, ковеллином, самородной медью, гидроокислами железа и марганца, окисленными минералами цинка и свинца. Типичный минерал зоны окисления месторождений меди.

Примечание. В проходящем свете минерал густо-синий, оптически положительный $2V=68^\circ$; $N_g:N_p=1(10)$; по отношению N_g13° : $N_g=1,838$; $N_m=1,758$; $N_p=1,730$; $N_g-N_p=0,108$.

АЙКИНИТ $Cu_2S \cdot 2PbS \cdot Bi_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете кремово-белый; отражательная способность несколько выше, чем у галенита (в зеленом 44%, в оранжевом 37,5%, в красном 38%). Анизотропен; двуотражение выражено ясно: параллельно удлинению — кремово-белый, в перпендикулярном направлении — розово-белый. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость $H=201-246$ кг/мм². Оптимальная нагрузка $P=50$ Г.

Травление: HNO_3 — вскипает и чернеет; HCl — не изменяется, иногда слегка бурет; KCN — не действует; $FeCl_3$ — медленно бурет и выявляет структуру; $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия Bi (стр. 86); Cu (стр. 90); S (стр. 94).

Форма выделений. Игольчатые кристаллы, иногда с вертикальной штриховкой, реже в виде сплошных масс. Спайность совершенная по (010).

Парагенезис. Типичный спутник золота. Ассоциируется с самородным золотом, арсенопиритом, молибденитом, пиритом, галенитом, халькопиритом, кварцем и др. В рудах золото-пирито-кварцевой формации ассоциируется только с сульфидами (пиритом, халькопиритом, блеклыми рудами, галенитом и золотом); иногда встречается с вольфрамитом и шселитом. Очень характерны игольчатые включения айкинита в кварце.

АЛАБАНДИН MnS

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый со слабым зеленоватым оттенком. Отражательная способность меньше, чем у галенита (в зеленом 24%, в оранжевом 21%, в красном 20%); изотропен; зеленые внутренние рефлексы хорошо видны в масле; порошок зеленовато-желтый. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Не электропроводен. Микротвердость $240-266$ кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление. HNO_3 — вскипает, чернеет, выявляет структуру выделяет H_2S , HCl — то же; KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — не действуют.

Структура хорошо выявляется $KMnO_4 + H_2SO_4$.

Микрохимия: S (стр. 94); Mn (стр. 89).

Реакция по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) или HNO_3 1:1 в течение 1—2 мин	$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Буро-красное

Примечание. В присутствии железа реакция маскируется. При обработке отпечатка KOH железо обесцвечивается, а реакция на Mn становится коричнево-бурой. Мешает Co .

Форма выделений. Аллотриоморфные агрегаты или кристаллы, сходные со сфалеритом. Травлением выявляются пластинчатые двойники и зональное строение кристаллов.

Парагенезис. Ассоциируется с родохрозитом, родонитом, кальцитом, кварцем, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, минералами серебра, теллуридами золота и др.

АЛТАИТ $PbTe$

Физические свойства. Сингония кубическая; цвет в отраженном свете белый с зеленоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 61%, в оранжевом 55%, в красном 52%); изотропен; твердость 3; полируется хорошо. Благодаря спайности по (100) наблюдаются черные треугольнички выкрашивания. Электропроводность слабая. Микротвердость $46-60$ кг/мм². Оптимальная нагрузка $10-20$ Г.

Травление: HNO_3 — вскипает и темнеет; HCl — тускнеет; $FeCl_3$ — иризирует и бурет; KCN , $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Te (стр. 96).

Реакции по методу отпечатка на Pd и Te

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое
HCl (конц.) в течение 2—3 мин	KJ 5%-ный + C_6Cl_6 10%-ный + гипосульфит (для обесцвечивания выделяющегося J)	Черное

Форма выделений в шлифах. Обычно мельчайшие включения в галените, петштите и гессите; часто выделения имеют кубическую форму.

Парагенезис. Встречается с самородным золотом и теллуридом, теллуридами золота и серебра, галенитом, пиритом и сфалеритом.

АЛЬГОДОНИТ $Cu_{10}As$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белый с желтоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в желтом 65,5—77%). Слабо анизотропен. Твердость 4; полируется хорошо.

Травление. HNO_3 — вскипает, чернеет и выявляет трещины спайности по кубу; HCl — становится коричневым и выявляет спайность; KCN — становится коричневым; $FeCl_3$ — чернеет; $HgCl_2$ — медленно действует коричневым; KOH — иризирует.

Микрохимия: Cu (стр. 90); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$ 2) Рубенова кислота + NH_4OH	Розово-коричневое Серо-зеленое

Форма выделений. В виде мелкозернистого агрегата и коркообразных масс.

Парагенезис. Обычно наблюдается в тесном сростании с доместитом и витненитом, сульфидами меди, самородной медью и серебром, арсенидами кобальта и никеля.

АЛЯСКАИТ AgBi_3S_5

Физические свойства. Сингония ромбическая; в отраженном свете серо-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 43,5%, в оранжевом 37%, в красном 40%). Сильно анизотропен; двуотражение в воздухе слабое; в масле отчетливо голубовато-серый до серовато-розового. Непрозрачен. Твердость 2; полируется хорошо. **Травление:** HNO_3 — бурет и чернеет; HCl — (от паров) не изменяется или слабо тускнеет; KCN — не действует; FeCl_3 — иризирует; KOH и HgCl_2 — не действуют.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Bi (стр. 86); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Ag

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	K_2CrO_4 20%-ный (отмывка) желтой окраски реактива	Красно-бурое
на Bi		
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%ная	Желтое

Форма выделений. Призматические кристаллы и массивные агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с кобальтным, галенитом, висмутным, халькопиритом, сфалеритом, козальитом, пиритом, кварцем и баритом.

АНГЛЕЗИТ PbSO_4

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (8—9%); в масле отражательная способность падает. В отличие от церуссита двуотражение не наблюдается. Анизотропен. Внутренние рефлексы бесцветные, белые, иногда слабо окрашены в бурый цвет. Твердость 2,5—3,0; полируется хорошо. Микротвердость 122—155 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 25 Г.

Травление: HNO_3 — слегка бурет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют. KJ 5%-ный в отличие от церуссита, в течение 1 мин образуется голубая иризирующая пленка (отраженный свет).

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Форма выделений в шлифах. Удлиненные призматические кристаллы, жилки и неправильные скопления. Часто коллоидные образования, окаймляющие галенит в сростании с церусситом.

Парагенезис. Образуется в зоне окисления свинцово-цинковых сульфидных месторождений, очень часто в ассоциации с церусситом. Англезит — труднорастворим, однако под влиянием углекислоты (в карбонатной среде) довольно легко переходит в карбонат свинца — церуссит.

Образуется в районах с засушливым климатом, в низах зоны окисления в виде кристалликов в кремнисто-гипсовых и баритовых сыпучках. **Примечание.** В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: $N_p=1,877$; $N_m=1,882$; $N_g=1,894$.

АНДОРИТ $2\text{PbS} \cdot \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. Цвет серо-белый со слабым голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 31,5%, в оранжевом 27,5%, красном 25,5%). Анизотропен. Двуотражение слабое, с иммерсией отчетливое. Твердость 3—3,5. Микротвердость 192—206 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно бурет, иризирует или тускнеет, иногда не изменяется; HCl , KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — медленно бурет и иризирует.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Ag (стр. 95); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Форма выделений в шлифах. Зернистые агрегаты, тонкие призматические или таблитчатые кристаллы, иногда решетчатые полисинтетические двойники.

Парагенезис. Ассоциируется со станнином, касситеритом, арсенипиритом, тетраэдритом и пиритом, а также с антимонитом, сфалеритом, баритом, флюоритом, кварцем и др.

АННАБЕРГИТ $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Физические свойства: сингония моноклиная. Цвет темно-серый (бесцветный). Отражательная способность 6,5—7,5%. Анизотропен. Внутренние рефлексы зеленые, яркие. Твердость 2,5—3.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , HgCl_2 . KOH — сильно травится и чернеет; хорошо травится HNO_3 (1:80).

Форма выделений. Встречается в виде землястых масс с волокнисто-иглообразным строением.

Парагенезис. Ассоциируется с арсенидами кобальта, замещаю их в зоне окисления.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицателен; $2V=84^\circ$; $N_g=1,687$; $N_m=1,658$; $N_p=1,622$. Слабо плеохроирует; $Ng-Np=0,065$.

АНТИМОНИТ (СТИБНИТ) Sb_2S_3

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый, по сравнению с галенитом обычно слегка голубоватый. Отражательная способность почти такая же, как у галенита. Цвет и отражательная способность по различным кристаллографическим направлениям различны (табл. 22).

Цвет	Отражательная способность, %		
	в зеленом	в оранжевом	в красном
b — темный серо-белый с оливковым оттенком	30,0	26,0	24,0
a — темный серо-белый	38,6	34,2	32,0
c — розово-белый, очень светлый	43,0	37,0	35,0

Сильно анизотропен; характерно ясно выраженное двуотражение. Твердость 2—2,5. Электричество не проводит. Спайность совершенная по (010). Микротвердость 65—153 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO₃ — медленно вскипает и чернеет, от паров яркая иризация вокруг капли; KCN — иногда действует медленно, чаще не действует; HCl — не изменяется, иногда слабо бурет; FeCl₃ и HgCl₂ — не действуют; KOH — бурет, и быстро образуется оранжево-красный осадок (наблюдать в косом свете).

Структура выявляется KOH (5%-ный) — лучше в поляризованном свете. Характерно полисинтетически-двойниковое строение; нередко сетчатая структура, образованная пересечением двойниковых пластинок.

Микрохимия: Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Встречается в виде сплошных, спутанно-шестоватых радиальнолучистых и игольчатых выделений. Характерна сложная sdвойникованность (наблюдается при скрещенных николях), двойниковые пластинки наклонены к удлинению и линзовидно выклиниваются вблизи границ кристаллических зерен. Нередко одна система пластинчато-линзовидных двойников пересекается другой с образованием сетчатой структуры. Деформированные (скрученные) кристаллы имеют характерное волнистое угасание (при скрещенных николях).

Парагенезис. Антимонитовые руды возникают при очень низких температурах и вместе с кварцем образуют жилы и пластообразные залежи. Кроме того, промышленное значение имеют руды антимонито-киноварной, антимонито-флюоритовой и антимонито-киноварно-флюоритовых формаций. Таким образом, в ассоциации с антимонитом встречаются киноварь, флюорит, кальцит, барит и т. д. В качестве примеси антимонит постоянно присутствует в рудах золото-кварцевых и рвангаро-аурипигментовых месторождений.

АРАМАИОНТ Ag₂S (BiSb)₂S₃

Физические свойства. Сингония триклинная. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 35%, в оранжевом 31%, в красном 28%). Анизотропен двуотражение слабое. При сильных увеличениях в порошке с иммерсией иногда видны красные внутренние рефлексы. Твердость 2,5; полируется хорошо, но часто выкрашиваются квадратной формы углубления по спайности; спайность по (010) совершенная; по (100) ясная.

Травление: HNO₃ — иризирует; HCl, KCN — не действует; FeCl₃ — желтеет; HgCl₂ — не действует; KOH — медленно иризирует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Bi (стр. 86); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка

Растворитель	на Bi		Результат реакции (окрашивание)
	Проявитель	Тюмоочевинна 10%-ная	
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин			Желтое

Форма выделения в шлифах. Образует агрегаты аллотриоморфной структуры, характерны грубопластинчатая sdвойникованность и четырехугольная форма выкрашиваний по спайности.

Парагенезис. Ассоциируется с другими сульфосолями серебра, тетраэдритом, тетрадимитом, пиритом, галенитом и стanniном.

Примечание. В проходящем свете минерал темно-красный. Погасание относительно (010) — 4°.

Физические свойства. Встречается в двух модификациях: 1) более высокотемпературной кубической модификации, устойчивой выше 179° α-аргентит и 2) низкотемпературной ромбической модификации — β-аргентит (акантит), образующийся при температурах ниже 179°, обычно за счет кубической модификации. В отраженном свете по сравнению с галенитом белый похож на агиларит и иауманит, имеет голубоватый или зеленоватый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 37%, в оранжевом 33%, в красном 30%). β-Аргентит слабо анизотропен, α-аргентит изотропен; у анизотропных разновидностей очень слабое двуотражение. В иммерсии эффект анизотропии и двуотражение выражены сильнее. Твердость ниже (2,0—2,5); полируется плохо. Электропроводность слабая. Микротвердость 20—30 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO₃ — медленно становится бурым, HCl — не изменяется или слегка бурет; FeCl₃ — бурет, иризирует, иногда чернеет; HgCl₂ — бурет, иризирует, KCN — бурет до черного; KOH — не действует. Под действием интенсивного лучка света быстро чернеет.

Форма выделений в шлифах. Обычно встречается в виде выделений неправильной формы: вкрапленности, волосовидных прожилков. Образует структуры распада с галенитом, обычно в виде червеобразной формы выделений, ориентированных в галените по (100), α-аргентит образует колломорфные структуры; β-аргентит образует зернистые агрегаты; иногда наблюдаются пластинчатые или решетчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным серебром, полибазитом, фрейбергитом, пираргиритом, сфалеритом, часто встречается с галенитом, в котором присутствует в виде мельчайших выделений. β-Аргентит наиболее типичен для низов зон окисления сульфидных серебросодержащих руд и колчеданных месторождений, где ассоциируется с церусситом, халькозинном, кераргиритом, самородным золотом, самородным серебром и т. д. Иногда встречается в ассоциации с расенидами кобальта и никеля.

АРГИРОДИТ 4Ag₂S · GeS₂

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете светлый, серо-белый, с фиолетовым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 24,5%, в оранжевом 21%, в красном 18,5%). Двуотражение слабое, в масле более отчетливое. Слабо анизотропен; в масле анизотропность наблюдается более отчетливо. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 154—172 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃ и HCl — не изменяется, при действии более 1 мин поверхность минерала окрашивается в коричневый цвет; KCN — тускнеет, иризирует, бурет; KOH — тускнеет.

Микрохимия. см. Ag (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений. Гроздьевидные агрегаты и кристаллы. Шнейдерхен указывает, что некоторые кристаллы имеют зональное строение; отдельные зерна состоят из крупных, незакономерно ориентированных пластинок.

Парагенезис. Аргиродит изоморфен с канфильдитом и образует как самостоятельные, так и смешанные кристаллы. Ассоциируется с самородным серебром, стефанитом, аргентитом, полибазитом, пираргиритом, марказитом, стanniном, касситеритом, сфалеритом и т. д.

АРСЕНАРГЕНТИТ Ag_3As

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (около 63%). Изотропен. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. На воздухе тускнеет.

Травление: HNO_3 — вскипает и чернеет; HCl — иризирует и чернеет. KCN — тускнеет и бурет; $FeCl_3$ — постепенно тускнеет; $HgCl_2$ — бурет; KOH — не изменяется, иногда слегка бурет.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений. В виде агрегата изометричных зерен.

АРСЕНОПИРИТ $FeAsS$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете белый с розовато-желтым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 57,5%, в оранжевом 48,5%, в красном 47%). Явления двуотражения выражены слабо. Анизотропен. Твердость 5,5—6; полируется лучше пирита. Слабый проводник электричества. Микротвердость 898—1127 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100—200 $Г$.

Травление: HNO_3 — иризирует, темнеет, иногда вскипает, выявляет зональную структуру; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура хорошо выявляется в поляризованном свете, $iHNO_3$ (1:1) $KOH+H_2O_2$ и $KMnO_4+KOH$ в течение 10—30 сек.

Микрохимия: Fe (стр. 88); As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Синее
на As		
4 ч. NH_4OH 25%-ный + 1 ч. H_2O_2 10%-ной, эл. ток. 4 в 30—60 сек или без тока 2—3 мин	$AgNO_3$ 5%-ный	Желто-коричневое, постепенно переходящее в коричневое

Богатые кобальтом (Co 3—9%) разновидности арсенипирита называются данантом — $(Fe, Co)AsS$. При содержании кобальта до 27% минерал определяется как глаукоdot ($Co, Fe)AsS$. В случае изоморфной примеси никеля ($Ni, Fe)AsS$ образуется самостоятельный вид — плессит.

Форма выделений в шлифах. Как правило, в виде идиоморфных кристаллов ромбической и призматической формы. Низкотемпературные разновидности имеют обычно малые размеры и резко удлиненную (шестоватую) форму кристаллов, а также тройники прорастания.

Парагенезис. Один из наиболее распространенных носителей мышьяка, нередко образует самостоятельные (мышьяковые) месторождения. В качестве спутника входит в состав различных гидротермальных месторождений: олова, вольфрама, золота, висмута, меди, свинца, цинка и др. Из нерудных минералов в ассоциации с ним чаще всего встречаются кварц, турмалин, полевые шпаты, слюды, карбонаты, иногда берилл, топаз и др.

АУРИПИГМЕНТ As_2S_3

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (параллельно a — в зеленом 32%, в оранжевом 26%, в красном 26%; парал-

лельно b — в зеленом 27%, оранжевом 18%, в красном 20%). Двуотражение выражено резко. Сильно анизотропен (внутренние рефлексы затрудняют наблюдение). Внутренние рефлексы светло-желтые. Твердость 1,5—2. Часто наблюдается спайность по (010). Электричество не проводит. Микротвердость 26—33 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 $Г$.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — темнеет и выявляет структуру; $FeCl_3$ — не действует; $HgCl_2$ — не действует, иногда дает слабый налет; KOH — быстро бурет и чернеет.

Микрохимия: As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка на As

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
4 ч. NH_4OH 25%-ного + 1 ч. H_2O_2 10%-ной в течение 2 мин	$AgNO_3$ 1—2%-ный раствор	Коричневое

Форма выделений в шлифах. В виде пластинчатых агрегатов призматических зерен. Часто коллоидные и радиальнолучистые образования и скрытокристаллические трудно диагностируемые массы совместно с реальгаром и мелиникомитом.

Парагенезис. Ассоциируется с реальгаром (за счет которого иногда образуется), антимонитом, киноварью, марказитом, арагонитом, самородным мышьяком, кальцитом, гипсом, кварцем, халцедоном, опалом и другими минералами, главным образом — в низкотемпературных месторождениях мышьяка, сурьмы и ртути.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный; $Ng=3,0$, $Nm=2,8$, $Np=2,4$; $Ng-Np=0,6$. Перпендикулярно Np развита совершенная спайность. $2V=76^\circ$. Сильно плеохроичен.

АУРИХАЛЬЦИТ $(Zn, Cu)_2[CO_3]_2 \cdot (OH)_2$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (около 5—7%). Анизотропен. Двуотражение слабое. Внутренние рефлексы бесцветные. Твердость 2—2,5.

Травление: HNO_3 и HCl — вскипает и темнеет.

Микрохимия: Zn (стр. 98); Cu (стр. 90).

Реакция по методу отпечатка на $Zn+Cu$

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) или HCl (1:20) в течение 1—2 мин	$HgCl_2+KCNS$	Фиолетовое

Примечание. С помощью этой реакции аурихальцит может быть легко обнаружен в окисленных рудах цинка.

Формы выделений. В виде коллоидных выделений, корочек и почковидных образований с радиальнолучистым строением.

Парагенезис. Ассоциируется с гидроцинкитом, каламином, смитсонитом, гидрогематитом и другими минералами зоны окисления полиметаллических месторождений.

Примечание: В проходящем свете минерал оптически отрицателен; $2V$ — очень мал; $Ng=1,744$; $Nm=1,740$; $Np=1,655$; $Ng-Np=0,089$.

БАУМГАУЕРИТ $4\text{PbS} \cdot 3\text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (31%). Анизотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 3; полируется хорошо. Иногда хорошо выражена спайность по (100).

Травление: HNO_3 — медленно темнеет и чернеет, иногда тускнеет и выявляет спайность; HCl — не действует; KCN — не изменяется. Иногда тускнеет вблизи трещин; FeCl_3 — не действует; HgCl_2 — не изменяется или медленно тускнеет и бурет; KOH — быстро тускнеет и иризирует.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. Более четкий отпечаток получается, если полированную поверхность минерала обработать HNO_3 и тщательно просушить фильтровальной бумагой; фотобумагу обработать KJ и привести в контакт с полированной поверхностью шлифа. Через 1—2 мин на фотобумаге участки, соответствующие баумгауериту, окрасятся в желтый цвет.

Форма выделений. В виде агрегата кристаллов с хорошо выраженной спайностью по (100). В поляризованном свете наблюдаются пластинчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с арсенатами свинца и доломитом.

БЕБЕРИТ $6\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность близка галениту (в зеленом 40%, желтом 36%, красном 37%). Изотропен; по Шнейдерхену анизотропен; по-видимому, существуют две модификации. Явления двуотражения заметны слабо (в масле). Твердость 2; полируется хорошо, иногда видна спайность по кубу.

Травление: HNO_3 — не изменяется или местами бурет и иризирует, от паров бурет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют; по Фарнгаму, с HCl и FeCl_3 — иногда выявляется структура.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакция по методу отпечатка на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	K_2CrO_4 20%-ный + H_2O (отмывка реактива)	Желтое

Форма выделений. Аллотриоморфная; некоторые зерна с пластинчатые двойниковым строением.

Парагенезис. Встречается в рудах, содержащих висмут, свинец, мед, серебро, а также в ассоциации с халькопиритом, пиритом и сфалеритом.

БЕНЖАМИНИТ $2\text{PbS} (\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot 2\text{Bi}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый; при полировке быстро тускнеет. Отражательная способность несколько выше, чем у галенита (45%). Анизотропен. Твердость 2,5—3,5. Спайность хорошо выражена в одном направлении. Микротвердость 183—194 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает и темнеет; HCl — от паров медленно чернеет и выявляет пластинчатую структуру, иногда не изменяется; KCN — не действует; FeCl_3 — мгновенно иризирует и чернеет; HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Cu (стр. 90); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 3) Рубиновая кислота 1%-ная + NH_4OH 10%-ный	Розоло-коричневое Серо-зеленое

на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 20%-ная	Желтое

на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	K_2CrO_4 20%-ный + H_2O (отмывка реактива)	Желтое

Форма выделений. Встречается в шлифах в виде аллотриоморфных образований.

Парагенезис. Ассоциируется с халькопиритом, пиритом, молибденитом, мусковитом, флюоритом и кварцем.

БЕРТЬЕРИТ $\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый с розоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (параллельно b — в зеленом 27,5%, оранжевом 26,5%, красном 26,5%; параллельно c — в зеленом 39%; оранжевом 34,5%, красном 34%). Явления двуотражения очень характерны. Сильно анизотропен. Твердость 2—3; полируется хорошо. Электропроводность хорошая. Микротвердость 155—185 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — быстро бурет и чернеет или не действует; HCl — не изменяется, от паров слабо тускнеет; KCN — слабо бурет или не изменяется; FeCl_3 — не действует; HgCl_2 — изменяется или слабо бурет; KOH — медленно бурет.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Синее

Форма выделений в шлифах. Преимущественно в волокнистых выделениях, реже в зернистых агрегатах, может образовывать вкрапленность в антимоните.

Парагенезис. Ассоциируется с антимонитом, сульфосолями серебра, жемсонитом и кварцем.

БЕРЦЕЛИАНИТ Cu_2Se

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с голубоватым оттенком; похож на халькозин; голубая окраска усиливается на воздухе. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 29%, оранжевом 25%, красном 18,5%). Изотропен, очень редко слабо анизотропен. Твердость 2,5—3,0; полируется хорошо. Микротвердость 79—99 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 — бурет и иризирует; HCl , KCN и KOH — не действуют; $HgCl_2$ — бурет и иризирует.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Se (стр. 94).

Форма выделений. В виде дендритов, прожилков и корочек на других селенидах.

Парагенезис. Ассоциируется с другими селенидами.

БИБЕРИТ $CoSO_4 \cdot 7H_2O$

Физические свойства. Моноклинная сингония. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (4%). Анизотропен. Колломорфные разности изотропны. Внутренние рефлексы розовые, розовато-белые. Твердость 2. Уд. вес 1,96.

Травление: растворяется во всех кислотах и H_2O .

Реакция по методу отпечатка

на Co		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
H_2O	1) $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) $Zn(NO_3)_2 + HgCl_2 + KCN$	Кирпично-красное Голубое

Примечание. Мешает железо. Во второй реакции окраску железа можно отмыть водой.

Форма выделения. Землистые массы.

Парагенезис. Образуется в зоне окисления кобальтовых месторождений.

БОРНИТ Cu_2FeS_4

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете розовый (в свежей полировке). На воздухе на полированной поверхности минерала очень быстро образуются буроватые, зеленоватые и голубоватые налеты, затрудняющие определение его окраски. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 18,5%, оранжевом 19%, красном 21%). Изотропен или слабо анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо. Электропроводность средняя. Микротвердость 100—124 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает, бурет и выявляет спайность и тороповую структуру; HCl — не действует; KCN — бурет и выявляет структуру; $FeCl_3$ — бурет; $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура выявляется травлением KCN , HNO_3 (1:1) и раствором J в KJ .

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

210

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
NH_4OH 10%-ный в течение 2 мин	Рубеановая кислота 1%-ная	Серо-зеленое
на Fe		
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$	Синее

Форма выделений. Агрегаты аллотриоморфных зерен и в виде каемок и тонких жилок.

Парагенезис. Первичный борнит, ассоциируя с халькопиритом, обычно образует тесные сростания типа субграфических, графических, решетчатых структур распада твердого раствора. Гипергенный борнит ассоциируется с халькозином, ковеллином и другими минералами в зоне вторичного сульфидного обогащения.

БРАВОНТ $(Ni, Fe)S_2$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремовый до светло-коричневого, похож на пирротин. Отражательная способность выше, чем у галенита (40—45%). Изотропен. Твердость от 4 до 6; полируется лучше пирита. Микротвердость 668—861 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100—200 Г.

Травление: HNO_3 — темнеет, иногда выявляет зональное строение, иногда вскипает; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура выявляется концентрированной азотной кислотой.

Микрохимия: Ni (стр. 91); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Ni		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный 2) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Розово-фиолетовое Малиновое
на Fe		
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Синее

Форма выделений. Обычно в виде аллотриоморфных выделений, реже в идиоморфных кристаллах с зональным строением. В зависимости от содержания никеля отдельные зоны различаются по твердости и окраске (розовая, коричневая и темно-коричневая).

Парагенезис. Гипогенный бравонт встречается редко: в таких случаях он обычно ассоциируется с галенитом, пирротином, сфалеритом, халькопиритом, баритом. Гипергенный — образуется за счет пентландита и ассоциируется с марказитом, мельниквитом, пиритом и вторичными сульфидами меди.

БРАВУНИТ Mn_2O_3

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серый с буроватым оттенком. Очень похож на магнетит. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 18%, оранжевом

16%, красном 16%). Слабо анизотропен. Внутренние рефлексы темно-бурые, наблюдаются редко (лучше с иммерсией). Твердость 6—6,5; полируется плохо. Порошок минерала слабо магнитен.

Микротвердость 584—605 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г. Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют. Структура выявляется травлением SnCl_2 и HF .
Микрохимия: Мп (стр. 89).

Реакция по методу отпечатка
на Мп

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (конц. или 1:1) в течение 2 мин	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Красно-бурое

Примечание. Мешает Fe. При обработке отпечатка KOH железо обесцвечивается; реакция на Мп становится буро-коричневой.

Форма выделений. В виде агрегата зерен, часто идиоморфных (октаэдрической формы); иногда наблюдаются двойники по {101}, некоторые зерна с зональным строением.

Парагенезис. Возникает в восстановительных условиях, но устойчив только в определенных значениях восстановительной среды, в более восстановительной обстановке переходит в гаусманит. Встречается в ассоциации с различными минералами марганца и железа, баритом, кварцем в некоторых контактово-пневматолитовых, а также гидротермальных и регионально-метаморфизованных осадочных месторождениях марганца. В зоне окисления превращается в псиломелан, а затем в пиролюзит.

БРЕЙТГАУПИТ NiSb

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете розовый. Отражательная способность больше, чем у галенита (для O — в зеленом 45%, оранжевом 49%, красном 51%; для E — в зеленом 35%, оранжевом 42%, красном 42%). Явления двутражения отчетливые: по O — почти белый с желтоватым оттенком; по E — красно-фиолетовый. Сильно анизотропен. Твердость 5—5,5 (иногда чертится игол); полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 412—449 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — чернеет и иризирует; HCl и KCN — не действуют; FeCl_3 — иризирует; HgCl_2 — не изменяется или иногда тускнеет; KOH — не действует.

Структура выявляется HBr или концентрированной HNO_3 в течение 8—10 сек.

Микрохимия: Ni (стр. 91); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка
на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный 2) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое Малиновое

Форма выделений. Обычно в виде агрегата аллотриоморфных зерен, реже в идиоморфных кристаллах. Травлением часто выявляется двойниковое строение кристаллических зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с ульманитом, гаухекорнитом, сфалеритом, галенитом, минералами серебра и никелином, образуя с последним прорастания. Обычно встречается в кальцитовых жилах, в рудах аргентито-арсенидо- и сульфидо-никелевой и кобальтовой карбонатной формации.

БРОМИРИТ AgBr

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (15%). Изотропен. Внутренние рефлексы желто-бурые. Твердость 2—3; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — тускнеет, но налет легко стирается; FeCl_3 — тускнеет и бурет; HgCl_2 — не изменяется или слегка тускнеет; KOH — быстро тускнеет с образованием белого налета (смотреть в косом свете).

Микрохимия: Ag (стр. 95).

Форма выделений. В виде тонких пластинок и землистых масс.

Парагенезис. Ассоциируется с минералами зоны окисления свинца и серебра.

БРОНЬЯРИТ $\text{Ag}_3\text{S} \cdot \text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый, по сравнению с галенитом зеленоватый, серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (31%). Изотропен или слабо анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — не изменяется, при длительном травлении слабо бурет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Pb (стр. 93); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала травят HNO_3 (конц.) в течение 2 мин и просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. KJ применяется в качестве растворителя и получается прямой отпечаток.

Форма выделений. В виде плотного мелкозернистого агрегата.

БУЛАНЖЕРИТ $5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серо-белый с голубовато-зеленоватым оттенком. Отражательная способность почти, как у галенита (в зеленом 38%, оранжевом 34,5%, красном 33%); в масле она убывает. Явления двутражения в масле отчетливы. Сильно анизотропен. Порошок с иммерсией красно-бурый. Твердость 2,5—3; полируется очень хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 147—182 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, бурет, чернеет, от паров бурет; HCl — не изменяется, от паров иногда блекнет, KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура выявляется с HNO_3 и в поляризованном свете.
 Микрохимия: Pb (стр. 93); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
 на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала обрабатывают HNO_3 (конц.) и просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. KJ применяют в качестве растворителя и получают прямой отпечаток.

Форма выделений. В виде призматических, игольчатых, стебельчатых, листообразных зерен, часто образующих волокнистые агрегаты.

Парагенезис. Встречается в послемагматических жильных месторождениях главным образом свинцово-цинковых руд, в ассоциации с другими сульфосолями свинца, антимонитом, галенитом, сфалеритом, пиритом, арсениопиритом, сидеритом, кварцем и карбонатами.

БУРНИОНИТ $2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый; по сравнению с галенитом имеет зеленоватый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 33,5%, оранжевом 30%, красном 29%); в масле она уменьшается, и окраска выступает более отчетливо. Явления двуотражения выражены слабо. Слабо анизотропен; в масле анизотропность выражена более резко, при этом часто выявляется пластинчатое двойниковое строение зерен. Твердость 2,5—3; полируется очень хорошо. Микротвердость 166—187 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — не изменяется или медленно буреет, от паров тускнеет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура выявляется дымящейся HBr в течение 2—3 сек или HNO_3 (4 мл) + HCl (9 мл) + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (от 5 до 15 мл). Осадок удаляется $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Cu (стр. 90); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка
 на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала травят (конц.) HNO_3 и просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. KJ применяют в качестве растворителя и получают прямой отпечаток.

Форма выделений. Обычно наблюдается в виде агрегата аллотриоморфных зерен или тонкопризматических кристаллов. Характерны пластинчатые двойники по (100), развивающиеся в двух направлениях. При выветривании замещается халькозином и ковеллином с образованием петельчатых и сетчатых микротекстур.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, тетраэдритом, сфалеритом, бурнионитом, буланжеритом, джемсонитом, антимонитом, пиритом, халькопиритом, карбонатами и кварцем. Обычно встречается в сурьмяно-полиметаллических рудах.

ВАЛЛЕРИТ $\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{S}_7$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете кремевый; по сравнению с галенитом кремевый, сходен с пирротинном. Отражательная способность выше, чем у галенита (для O — в зеленом 47%, оранжевом 46,0%, красном 45%; для E — в зеленом 19%, оранжевом 15%, красном 18%); в масле отражательная способность уменьшается. Явления двуотражения выражены резко; по O — светло-желтый, по E — серый или сине-фиолетовый. Сильно анизотропен; при вращении столика угасает четыре раза. Твердость низкая (много ниже, чем у халькопирита). У скорлуповатых разновидностей твердость очень низкая (1—2). Микротвердость 50—93 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Формы выделений. Зерна округлой формы с концентррическим зональным строением. Отдельные зерна часто имеют двойниковое строение. С халькопиритом образует решетчатые и пластинчатые структуры внапада твердого раствора.

Парагенезис. Встречается часто, но в очень малых количествах в ассоциации с халькопиритом, кубанитом, пирротинном и пентландитом. Обычно наблюдается в медных рудах магматической сперрилито-халькопирито-пентландито-пирротиновой формации в габбро-поритах.

ВАНАДИНИТ $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (16—17%). Анизотропен (внутренние рефлексы мешают определению анизотропности). Внутренние рефлексы светлые — голубовато-желтые до красных. Твердость 2,5—3.

Травление: HNO_3 и HCl — темнеет и образует желтый налет (смотреть в косом свете); KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — темнеет и образует белый налет (смотреть в косом свете).

Микрохимия: Pb (стр. 93); V (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка
 на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое
на V		
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	Уксуснокислый бензол	Синее
H_2SO_4 (1:10) в течение 2 мин	H_2O_2 10%-ная	Оранжево-красное*

Форма выделений в шлифах. Пластинчатые или шестоватые кристаллы или сплошные массы; кристаллы часто образуют радиальнолучистые сростки.

Парагенезис. Встречается в свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в карбонатных породах. Вторичный минерал, ассоциируется с миметезитом, пирроморфитом, галенитом, сфалеритом, церусситом, фосгенитом, вульфенитом и др.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $N_m = 2,354$, $N_p = 2,416$; $N_g - N_p = 0,066$.

ВЕЙССИТ Cu_2Te_2 или Cu_2Te

Физические свойства. Сингония неизвестна. В отраженном свете серо-белый; сходен с халькозинном. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 28%). Сильно анизотропен. Твердость 3.

Травление: HNO_3 — вскипает и бурет; HCl — бурет до коричневого; HgCl_2 — бурет; FeCl_3 — бурет до коричневого; KCN — бурет; KOH — медленно становится коричневым.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88).

Реакция по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) NH_4OH 10%-ный в течение 2 мин	Рубеиновая кислота	Серо-зеленое
2) HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Розово-коричневое

Форма выделений в шлифах. Аллотриоморфнозернистые агрегаты, вкрапленники.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным теллуrom, петцитом, рикердитом, пиритом, сальванитом и т. д.

ВЕРНАДИТ $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Физические свойства. Колломорфный. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность много ниже сфалерита (9%). Изотропен. Внутренние рефлексы коричневые. Твердость 2—3.

Травление: HNO_3 и HCl — иризирующая пленка.

Реакция по методу отпечатка

на Mn		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) Уксуснокислый бензидин 5%-ный	Прямой отпечаток	Синее
2) HNO_3 или HCl (1:1)	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Кирпично-красное

Форма выделения. Наблюдается в виде землистых колломорфных масс со скрытокристаллическим строением.

Парагенезис. Встречается в ассоциации с пиролюзитом, псиломелан-вадом, образующимися при выветривании первичных минералов.

ВИЛЬЯМИТ $(\text{Ni}, \text{Co}) \text{SbS}$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремново-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 49%, оранжевом 42%, красном 42%). Изотропен. Твердость 5,5; полируется плохо.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, тускнеет, иризирует; при этом образуется белый налет (наблюдать в косом свете); HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия. Ni (стр. 91); Co (стр. 89); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

216

Реакции по методу отпечатка

на Ni		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
на Co		
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ + ртутно-родановая соль	Кирпично-красное Синее

Примечание. В присутствии минералов, содержащих железо, отпечаток маскируется роданитным железом. Необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделений в шлифах. В виде идиоморфных выделений, иногда ксеноморфный. Обладает слайностью по кубу, часто периферические участки кристаллов зональны.

Парагенезис. Ассоциируется с дискразитом, линнитом, брейтгауптитом и т. д. Встречается в рудах серебра, сульфидов и арсенидов кобальта и никеля карбонатной формации.

ВИОЛАРИТ $(\text{Ni}, \text{Fe})_2 \text{S}_4$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете фиолетовый; на воздухе быстро тускнеет. Отражательная способность ниже, чем у галенита (38—40%). Изотропен. Твердость 4—4,5. Иногда видна слайность по кубу в виде черных треугольников выкрашивания. Микротвердость 458 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и бурет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94); Ni (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка

на Ni		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
NH_4OH 10%-ный в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим 2) Рубеиновая кислота	Малиновое Сине-фиолетовое

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде тонких прожилков и каемок, как вторичный минерал по пентландиту. В сростании с бравоитом образует сажистые массы.

Парагенезис. Встречается совместно с пентландитом, миллеритом, бравоитом и сульфидами железа и меди в рудах пентландито-халькопирито-пирротиновой формации в габбро.

ВИСМУТИН Bi_2S_3

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с очень слабым желтоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 49%, оранжевом 43%, красном 40%). Двухотражение выражено слабо. Сильно анизотропен. Твердость 2; полируется хорошо. Плохой проводник электричества. Микротвердость $118—172 \text{ кг/мм}^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — слабо вскипает и чернеет; HCl — образует иризирующую пленку, или не изменяется; KCN и FeCl_3 — не действуют; HgCl_2 — иногда образует бурый осадок; KOH — не действует.

Структура довольно хорошо выявляется HNO_3 , при этом обнаруживаются трещины спайности.

Микрохимия: Bi (стр. 86); S (стр. 94).

217

Реакция по методу отпечатка
на Вi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 2 мин	1) Тиомочевина 10%-ная	Желтое
	2) Хинин+KJ 5%-ный	Оранжевое
	3) CsCl 10%-ный+KJ 5%-ный	Красное

Форма выделений. Для висмутина характерны удлиненные шестоватые кристаллы. Встречается также в виде аллотриоморфных выделений.

Парагенезис. В высокотемпературных жильных и контактово-метасоматических месторождениях ассоциируется с касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом, пирротинном, иногда с самородным золотом, топазом, бериллом, пиритом и галенитом. Встречается в формации аргентито-арсенидов и сульфидов никеля и кобальто-карбонатной формации, в ассоциации с самородным висмутом и с сульфоантимонитами Pb и Ag; реже — с касситеритом и сульфидами меди в барито-флюорито-анкеритовых жилах, присутствует также в рудах висмутинито-халькопирито-хлорито-кварцевой и висмутинито-кварцевой формации.

ВИСМУТПЛАГИОНИТ $5PbS \cdot 4Bi_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 32%). Сильно анизотропен. Твердость 2,5. Спайность хорошо выражена.

Травление: HNO_3 — слегка вскипает и иризирует; HCl — иризирует, от паров тускнеет; иногда не изменяется. KCN, $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакция по методу отпечатка
на Вi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

Форма выделений. Игольчатые кристаллы и волокнистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, пиритом, блеклой рудой, халькопиритом и кварцем.

ВИСМУТ САМОРОДНЫЙ Вi

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете розовый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 67,5%, оранжевом 62%, красном 65%). На воздухе темнеет. Сильно анизотропен. В масле иногда наблюдаются явления двуотражения. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 16—26 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 5—10 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и бурет; HCl — медленно бурет, пары действуют на некотором расстоянии от капли, вызывая побурение поверхности минерала; KCN — не действует; $FeCl_3$ — бурет, иризирует и выявляет структуру; $HgCl_2$ — медленно бурет; KOH — не действует.

Микрохимия: Вi (стр. 86).

218

Реакция по методу отпечатка
на Вi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) HNO_3 (1:1) 2) HCl (1:20) в течение 2 мин	1) Тиомочевина 10%-ная	Желтое
	2) Хинин+KJ 5%-ный	Оранжевое
	3) CsCl+KJ 5%-ный	Красное

Форма выделений. Наиболее часто наблюдаются аллотриоморфные агрегаты и кристаллы скелетной формы. В поляризованном свете характерны пластинчатые и паркетовидные двойники.

Парагенезис. Обычно ассоциируется с никелевыми, кобальтовыми и серебряными минералами; иногда — с касситеритом и вольфрамитом. Встречается в рудах послемагматического генезиса в сопровождении различных руд кобальта, никеля, серебра, олова, вольфрама, урана и т. д.; встречается также в пегматитах и топазсодержащих кварцевых жилах.

ВИТНЕИТ Cu_9As

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремовый с розовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (65,5—66%). Изотропен. Твердость 3,5; полируется хорошо. Хороший проводник электричества.

Травление: HNO_3 — бурно вскипает, иризирует и выявляет структуру; HCl — медленно становится серым; KCN — медленно становится бурым и выявляет структуру; $FeCl_3$ — быстро чернеет; $HgCl_2$ — бурет и чернеет; KOH — слабо тускнеет и иризирует.

Структура выявляется концентрированной HNO_3 в течение 30—60 сек.

Микрохимия: Cu (стр. 90); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка
на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) NH_4OH 25%-ный в течение 2 мин 2) HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	Рубеановая кислота	Серо-зеленое
	$K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный	Розово-коричневое

Форма выделений. Плотные или коркообразные массы или изометричные кристаллы.

Парагенезис. Обычно наблюдается в ассоциации с домейкитом, альбедонитом и образует сростания, напоминающие листья олеандра.

ВИТТИХЕНИТ $3Cu_2S \cdot Bi_2S_3$ или Cu_2BiS_3

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете — серо-белый с кремовым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 35%, оранжевом 29,5%, красном 28%). Двуотражение выявляется слабо. Слабо анизотропен, в масле яснее. Твердость 2—3; полируется хорошо. Спайность отсутствует.

Травление: HNO_3 — желтеет, от паров тускнеет, HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — не изменяется или слегка бурет; KOH — не изменяется или слабо бурет.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Вi (стр. 86).

219

Реакции по методу отпечатка

на Вi		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое
на Си		
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	K ₄ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Розово-коричневое

Форма выделений. Обычно агрегаты аллотриоморфных зерен, редко таблитчатые, тонкостолбчатые или игольчатые кристаллы.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным висмутом, с сульфосолями висмута и гипогенным халькозином. Легко замещается гипергенными минералами меди и висмута.

ВОЛЬЦИТ Zn₃S₄O

Физические свойства. Сингония кубическая (?). В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в желтом 12%). Изотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 4,5.

Травление: HNO₃ — тускнеет; HCl — тускнеет и выделяет H₂S; KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Zn (стр. 98); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка

на Zn		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	1) Cu(NO ₃) ₂ 0,1%-ная + ртутно-родановая соль 2) Co(NO ₃) ₂ + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое (отпечаток получается только, если Си и Zn относятся как 1:4) Голубое

Примечание. В присутствии минералов, содержащих железо, отпечаток маскируется роданитым железом. Необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделений. Мелкие полусферовидные агрегаты или почки с раковистым изломом.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, сфалеритом и другими сульфидами.

Примечание. В проходящем свете показатель преломления минерала $N=2,03$.

ВОЛЬФРАМИТ (Fe, Mn) WO₄

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 17%, оранжевом 15%, красном 14%). Внутренние рефлексы темно-коричнево-красные; цвет порошка темно-бурый до красно-коричневого (в марганцевых разновидностях). Анизотропен. Твердость 5—5,5; чертится стальной иглой, иногда видна спайность в двух направлениях; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 232—626 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: W (стр. 87); Mn (стр. 89); Fe (стр. 88).

Форма выделений в шлифах. Призматические и таблитчатые кристаллы, характерна спайность в двух направлениях и двойники (обычно простые, видны в поляризованном свете).

Парагенезис. Наблюдается в ассоциации с касситеритом, магнетитом, арсенопиритом, молибденитом, турмалином, топазом, флюоритом, бериллом и другими; в кварцевых жилах, связанных с грейзенизированными гранитами (вольфрамит-полсовошпато-кварцевая и вольфрамит-кварцевая формации в грейзенизированных породах). Встречается в золото-щелочно-кварцевых, а также в низкотемпературных олово-серебряных жилах.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный. $2V$ — большой. У гюбнерита $Nm=2,22$, у феррбрита $Nm=2,40$, у вольфрамита $Nm=2,32$ (показатель преломления увеличивается с увеличением содержания железа); $cNg=17-21^\circ$.

ВОЛЬФСБЕРГИТ (ХАЛЬКОСТИБИТ) Cu₂S·Sb₂S₃ или CuSbS₂

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 36%). Анизотропен. Твердость 3—4; полируется хорошо; хрупкий.

Травление: HNO₃ — после продолжительного травления иризирует, от паров тускнеет; HCl — не действует; KCN — иногда выявляет спайность; FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка

на Си		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	1) K ₄ Fe(CN) ₆ 5%-ный 2) Рубановая кислота + ртутно-родановая соль	Розово-коричневое Серо-зеленое

Форма выделений в шлифах. В виде мелкозернистого агрегата аллотриоморфной структуры. Иногда обнаруживается спайность по (001) или в трех направлениях; в этом случае возникают треугольные выкрашивания. При перекристаллизации наблюдается зональное строение, при деформациях — легкое сдвигание пластинок минерала по спайности (001), с образованием видных при скрещенных николях пластинчатых двойников.

Парагенезис. Ассоциируется с халькопиритом, джемсонитом, тетраэдритом, бурнонитом, андоритом, станнином, антимонитом, кварцем, карбонатами. При окислении превращается в малахит и азурит.

ВРБАИТ Ti₂S·3(As, Sb)₂S₃

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый с голубоватым оттенком. По цвету близок к куприту. Отражательная способность ниже, чем у галенита (29%). Слабо анизотропен. Внутренние рефлексы красные, заметные в тонких пластинках; порошок красный. Твердость 3,5; полируется хорошо.

Травление: HNO₃ не действует, от паров тускнеет; HCl, KCN, FeCl₃ и HgCl₂ — не действуют; KOH — быстро тускнеет, иризирует и выявляет спайность.

Микрохимия: As (стр. 91); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
на **Пг**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	1) PtCl ₂ 1%-ная + SnCl ₂	Оранжевое или желтое Темно-коричневое
	2) AuCl ₂ 5%-ный + SnCl ₂ (насыщ. раствор)	

Форма выделений в шлифах. Агрегаты тонких пластинок со спайностью в одном направлении.

Парагенезис. Ассоциируется с лорандитом, реальгаром и аурипигментом.

ВУЛЬФЕНИТ PbMoO₄

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серый, очень похож на сфалерит. Отражательная способность почти такая же, как у сфалерита (16—17%). Ясно анизотропен. Двухотражение в воздухе слабое, в масле ярко выражено. Внутренние рефлексы бесцветные, желтые, оранжевые. Твердость 2,5—3,0. Микротвердость 190—214 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г*.

Травление: HNO₃—поверхность темнеет; HCl—травится, слегка буреет.

Реакции по методу отпечатка
на **Pb**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1)	KJ 5%-ный	Желтое (желто-зеленое в присутствии Mo)

на **Mo**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1)	K ₄ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Коричневое

Форма выделений в шлифах. Табличчатые и шестоватые выделения. Иногда радиальнолучистые сростки. Спайность и отдельность наблюдаются редко по [111].

Парагенезис. Часто встречается в зоне окисления свинцово-цинковых полиметаллических месторождений. Ассоциируется с церусситом, англезитом, смитсонитом, гидроокислами железа и марганца.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный, $Nm=2,40$; $Np=2,28$; $Nt=0,12$.

ВЮРЦИТ ZnS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый с фиолетовым оттенком. Отражательная способность, как у сфалерита (17%). В кедровом масле отражательная способность понижается на 5—6%. Двухотражение в воздухе не наблюдается; в масле оно выражено слабо. Анизотропен; коллоидные разности изотропны. Внутренние рефлексы бесцветные, желтые, коричневые. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Электричество не проводит. Структура выявляется KMnO₄+H₂SO₄ в течение 10 сек и парами царской водки

* Для бесцветных разностей: микротвердость $H=187—196$ кг/мм², оптимальная нагрузка $P=50$ Г.

через 10—15 сек. Микротвердость 159—274 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃—иногда тускнеет и слабо буреет; HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH—не действуют.

Микрохимия: Zn (стр. 98); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
на **Zn**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала травят парами царской водки до появления однородной пленки. Фотобумагу обрабатывают HNO ₃ (1:1)+CuNO ₂ 0,1%-ная или 1 ч. HCl (конц.)+1 ч. H ₂ O ₂ 10%-ный	Ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое

Примечание. В присутствии Fe отпечаток маскируется роданитым железом. Необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде агрегатов с концентрически скорлуповатым и коллоидным строением. От сфалерита отличается наличием лучистой структуры и отсутствием полисинтетических двойников.

Парагенезис. Встречается совместно со сфалеритом. В искусственных условиях образуется при высоких температурах, переходя при пониженных температурах в кубическую модификацию (сфалерит). В низкотемпературных месторождениях кристаллизуется из кислых растворов.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически одноосный, положительный; $Ng=2,378$, $Nm=2,356$, $Ng-Nm=0,022$ (для Na-света).

ГАЛЕНИТ PbS

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый (эталон). Отражательная способность: в зеленом 43,4%, оранжевом 41%, красном 40%; у галенита, содержащего серебро, увеличивается до 43%. Изотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо, ясная спайность по кубу. В шлифе наблюдаются черные треугольники выкрашивания. Электропроводность слабая. Микротвердость 64—110 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO₃ чернеет, иногда вскипает, от паров образуется налет; HCl—иризирует, буреет, тускнеет; от паров тускнеет; KCN—не действует; FeCl₃—иризирует, в контакте с борнитом и карбонатом не изменяется; HgCl₂ и KOH—не действуют.

Структура выявляется HCl+эл. ток; H₂O₂+NH₄OH в течение 30—40 сек; HNO₃ с алкоголем (75—85% HNO₃+15—25% алкоголя) в течение 2—10 сек.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
на **Pb**

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала обрабатывают (конц.) HNO ₃	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. KJ применяется как растворитель и получается прямой отпечаток.

Форма выделений в шлифах. Как правило, в виде аллотриоморфных выделений, корродирующих другие сульфиды. Иногда метакolloидные образования с зонально-коллоидным строением, где галенит встречается с другими сульфидами (пиритом, сфалеритом, марказитом). Обладает большой силой кристаллизационной способностью, что обычно приводит к образованию в рудах с метакolloидной структурой зернистых структур и идиоморфных кристаллов.

Парагенезис. Условия образования галенита чрезвычайно разнообразны; он встречается в самых разнообразных генетических типах рудных месторождений. Очень часто ассоциируется со сфалеритом, пиритом, халькопиритом, блеклыми рудами, халькозинном, пирротинном, сульфосолями серебра, меди, свинца и т. д. Из нерудных минералов чаще всего в ассоциации с карбонатами (кальцитом, доломитом), кварцем, баритом, флюоритом и др. В зоне окисления галенит покрывается коркой плохо растворимого англезита, переходящего в карбонатной среде в церуссит.

ГАЛЕНОВИСМУТИН $PbS \cdot Bi_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность близка или равна галениту (43%). Анизотропен. Двухотражение выражено ясно. Твердость низкая 2,5—3; полируется различно, в зависимости от направления среза; хорошо выражена призматическая спайность.

Травление: HNO_3 — вскипает и чернеет, образуется желтый осадок (смотреть в косом свете); HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — не изменяется, иногда желтеет; $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакция по методу отпечатка на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

Форма выделений. Игольчатые и тонкопластинчатые кристаллики или тонкозернистые и волокнистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется со свинцово-висмутовыми минералами, рецбаннитом, лиллианитом и др.

ГАРНИЕРИТ $Ni_3(Si_2O_7)(OH)_4 \cdot 4H_2O$

Физические свойства. Аморфный. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (6—5%). Изотропен. Внутренние рефлексы зеленые. Твердость 2—3; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — слабо выявляет структуру; HCl — не действует; KCN — выявляет структуру; $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Ni (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое

Примечание. Ввиду плохой растворимости отпечаток с рубеановой кислотой иногда бывает розовый.

224

Форма выделений. В виде почковидных, сталактитовых образований с метакolloидной радиальнолучистой структурой и землистых масс.

Парагенезис. Ассоциируется с силикатами никеля в мезовиках и корках выветривания основных и ультраосновных пород.

ГАУЕРИТ MnS_2

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый со слабым коричневым оттенком. В полированных шлифах быстро окисляется и покрывается налетом. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 25%, оранжевом 23,6%, красном 22%). Изотропен. Внутренние рефлексы коричнево-красные, наблюдаются в масле. Твердость 4; хорошо выражена кубическая спайность; часто наблюдаются черные треугольнички выкрашивания. Электричество не проводит. На воздухе тускнеет и образуется побежалость. Микротвердость 485—508 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не изменяется, иногда слабо тускнеет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: см. Mn (стр. 89); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Кирпично-красное

Примечание. Мешает Co , дающий аналогичную реакцию. В отличие от Co , при обработке $SnCl_2$ отпечаток становится коричневым.

Парагенезис. Ассоциируется с гипсом, самородной серой, ангидритом, иногда с марказитом, пиритом и баритом в рудах осадочного происхождения. Образуется в условиях сероводородного брожения среди марганцевых осадков в процессе диагенеза.

ГАУСМАНИТ Mn_3O_4 или $MnO \cdot Mn_2O_3$

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серо-белый с коричневатым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 20%, желтом 16%, красном 13%). В масле сильно падает. Анизотропен. Внутренние рефлексы красновато-бурые до кроваво-красных. Твердость 5—5,5; полируется хорошо; спайность по (001). Микротвердость 541—613 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — не изменяется, но от паров тускнеет; HCl — не изменяется или становится коричневым; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура выявляется травлением $HF + H_2SO_4 + H_2O_2$.

Микрохимия: Mn (стр. 89).

Реакция по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Кирпично-красное

Примечание. Мешает Co , дающий аналогичную реакцию. В отличие от Co , при обработке отпечатка $SnCl_2$ отпечаток становится коричневым.

15 С. А. Юшко

227

Форма выделений. В виде агрегата зерен с идиоморфными очертаниями. Отдельные зерна с полисинтетическим двойниковым строением (двойники хорошо выявляются при скрещенных николях в поляризованном свете).

Парагенезис. Встречается с браунитом и другими минералами марганца в некоторых контактово-метасоматических и послемагматических месторождениях. Возникает, аналогично магнетиту, в более восстановительной среде, чем браунит. Совместно с браунитом, магнетитом, якобитом и другими безводными окислами марганца и железа распространен в метаморфизованных первично осадочных месторождениях марганца, где образуется за счет дегидратации гидроокислов марганца, а также в процессе восстановления пиролюзита и браунита. Как первичный минерал встречается в низкотемпературных марганцевых жилах, генетически связанных с кислыми изверженными породами.

ГАУХЕКОРНИТ $(Ni, Co)_7(S, Sb, Bi)_8$

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете кремовый, очень похож на пироитин. Отражательная способность близка к галениту (в желтом 40%). Анизотропен. Твердость 5 (чертится стальной иглой); полируется хорошо; хрупкий.

Травление: HNO_3 — медленно тускнеет и буреет, от паров образуется налет; HCl — не изменяется, от паров слегка тускнеет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Ni (стр. 91); Co (стр. 89); Sb (стр. 95); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка

на Ni		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое
на Co		
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$	Кирпично-красное Синее
	2) $Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + ртутно-родановая соль	
на Bi		
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

Форма выделений. В виде лопастных агрегатов, таблитчатых и призматических кристаллов, а также зернистых агрегатов.

Парагенезис. Ассоциируется с брейтгауптитом, ульманитом и мяллеритом, линнеитом, сфалеритом, браунитом и другими в рудах арсено- и сульфидо-никелевой и кобальтовой карбонатной формации и в рудах пироитин-халькопирито-магнетитовой формации в габбро.

ГЕМАТИТ Fe_2O_3

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серо-белый. По сравнению с галенитом кажется синева-серым, с магнетитом — белым. Отражательная способность ниже, чем у гале-

нита (25%). Сильно анизотропен с цветным эффектом в синих и коричневых блесклых тонах. Двуетражение очень слабое на воздухе, с иммерсией всегда отчетливо — цвет минерала меняется от бесцветного до голубоватого тонов. Внутренние рефлексы темно-красные (наблюдать в порошке, лучше с иммерсией). Твердость 6. Крупные выделения гематита полируются очень плохо и неоднородно, одиночные мелкие вкрапленники — хорошо. Микротвердость 920—1062 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 200 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH — не действуют. Структура выявляется HF в течение 1—2 мин и $HCl+Zn$ (металлический).

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Реакция по методу отпечатка

на Fe		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 или HCl (конц.) в течение 3 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный	Синее Коричнево-красное
	2) $KCNS$ 20%-ный	

Форма выделений в шифах. Обладает хорошей кристаллизационной способностью: кристаллы даже в агрегатах выражены отчетливо. Преобладают толстотаблитчатые или игольчатые и шестоватые кристаллы, иногда в виде изометричных ромбоэдров. Удлиненные кристаллы образуют пальцевидные сростки, или розетки. Очень характерны пластинчатые двойники. Спайность отсутствует. Пластинчатая отдельность видна отчетливо.

Парагенезис. Наиболее распространенный окисел железа. Образуется в окислительных условиях в самых различных генетических типах месторождений — от собственно магматических до осадочных. Как аксессуарный минерал присутствует преимущественно в кислых изверженных породах; в пегматитах редок. В ассоциации с кальцитом, кварцем, различными силикатами, алюмосиликатами и сульфидами иногда встречается на границе известняков с кислыми изверженными породами. В ассоциации с кварцем, баритом, магнетитом, сидеритом, хлоритом и сульфидными рудами, касситеритом, вольфрамитом, ильменитом и другими встречается в гидротермальных месторождениях. Гематит и магнетит обычно связаны взаимопереходами: так, гематит, становясь до магнетита, образует мушкетовит. В окислительных условиях гематит образуется при обезвоживании бурых железняков или за счет магнетита (мартит). В этих же условиях может возникнуть кубическая разновидность гематита (маггемит).

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицателен, для Li -света $Nm=3,01$, $Np=2,78$; дисперсия сильная.

ГЕОКРОНИТ $5PbS \cdot Sb_2S_8$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый; по сравнению с галенитом слабый зеленоватый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 37%, оранжевом 30,7%, красном 29,5%). В масле отражательная способность падает, и зеленоватая окраска выступает более отчетливо. Анизотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 95—140 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 — быстро вскипает, чернеет и выявляет структуру; HCl — слабо буреет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка
на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:20)	KJ 5%-ный	Желтое

Форма выделений. Агрегаты аллотриоморфных зерен и табличчатых кристаллов; в поляризованном свете часто наблюдаются пластинчатые двойники по (011).

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, пиритом, тетраэдритом, баритом, кварцем, флюоритом и карбонатами.

германит Cu₃(Fe, Ge)S₄

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете розовый. В масле окраска выявляется более отчетливо. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 22%, оранжевом 21,5%, красном 21,5%). Изотропен. Твердость 4; полируется легко и очень хорошо. Микротвердость 387—458 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г. Слабо магнитен.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Fe (стр. 88).

Форма выделений. В виде агрегата аллотриоморфных зерен.

Парагенезис. Ассоциируется со сфалеритом, блеклыми рудами, галенитом и энаргитом. В медно-цинковых рудах колчеданной формации, а также в медно-молибденовых рудах встречается в ассоциации с халькопиритом и борнитом.

герсдорфит Ni As S

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с розоватым оттенком. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 49,5%, оранжевом 42,5%, красном 42%). Изотропен. Твердость 5—5,5; полируется хорошо, часто хорошо выражена спайность по (100) в виде черных треугольников, как у галенита. Хороший проводник электричества. Микротвердость 520—588 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃ — бурлит до черного цвета; HCl и KCN — не действуют; FeCl₃ — не изменяется, иногда медленно бурлит; HgCl₂ — слабо бурлит, пленка легко стирается; KOH — не действует.

Структура выявляется царской водкой; KMnO₄+H₂SO₄ и H₂O₂+H₂SO₄; концентрированной HNO₃; параами брома.

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка
на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	Диметилглиоксим + NH ₄ OH 10%-ный	Малиновое

Форма выделений в шлифах. Ксеноморфные и идиоморфные кубические и октаэдрические выделения, часто с четким зональным строением. Иногда заметна спайность по кубу и треугольникам выкрашивания, тонкие пластинчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с никелином, хлоантитом, ульманитом, брейтгауптитом, линнеитом и другими арсенидами и сульфидарсенидами никеля и кобальта; из нерудных — обычно с карбонатами. Встречается также в рудах серебра сульфидов и арсенидов кобальта и никеля карбонатной формации.

228

ГЕССИТ Ag₂Te

Физические свойства. Существует в двух полиморфных модификациях — кубической и моноклинной. В отраженном свете серовато-белый, по сравнению с галенитом серо-белый с синеватым оттенком. Отражательная способность несколько выше, чем у галенита (в зеленом 43%, оранжевом 40%, красном 42%); в масле сильно падает. Анизотропные разности имеют полисинтетически двойниковое строение зерен. Переход в моноклинную разновидность происходит ниже 150°. При нагревании моноклинных разностей выше 150° двойниковое строение пропадает, вследствие перехода гессита в кубическую (изотропную) модификацию. Двуетражение в воздухе почти не заметно, но с иммерсией оно отчетливо и сопровождается цветным эффектом. Твердость 2,5—3; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 31—44 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO₃ — быстро бурлит, иногда вскипает; HCl — не изменяется, иногда бурлит; KCN — медленно бурлит или не изменяется; FeCl₃ — иризирует и темнеет; HgCl₂ — бурлит и тускнеет; KOH — не действует.

Структура выявляется HNO₃.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Te (стр. 96).

Реакция по методу отпечатка
на Te

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 2 мин	CsCl 10%-ный + KJ 5%-ный (обработать гипосульфитом)	Черное

Форма выделений. Обычно агрегат аллотриоморфных зерен; реже идиоморфные, часто деформированные кристаллы.

Парагенезис. Встречается в гидротермальных «золото-серебряных» жилах в ассоциации с теллуридами золота и серебра, алтанитом, пиритом, галенитом, тетраэдритом, сфалеритом и др. Часто содержит микрокскопические включения самородного золота и серебра.

ГЕТИТ FeO(OH)

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (19—20%); по сравнению с магнетитом обладает более низкой отражательной способностью и голубоватым оттенком. Явления двуетражения выражены особенно резко в масле. Анизотропен. Колломорфные разности гетита изотропны. Внутренние рефлексии бурые; колломорфных разностей — коричневые. Твердость 5—5,5; полируется хорошо. Микротвердость 525—620 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура выявляется SnCl₂.

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде зонально колломорфных и радиальнолучистых, метаколлоидных образований; нередко в виде тонких табличек, игольчатых масс. Параллельно удлинению кристаллов наблюдается спайность. Гетит, возникающий за счет замещения железорудных минералов, образует псевдоморфозы, сохраняющие иногда реликты замещенного минерала, и различные петельчатые текстуры замещения.

Парагенезис. Образуется в зоне окисления месторождения при обыкновенной температуре и давлении путем гидролиза солей как про-

229

дукт окисления сидерита, пирита, магнетита, халькопирита, глауконита, железных силикатов и т. д. Широко распространен в отложениях болот и источников.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный, $Nm=2,35-2,39$, $Np=2,21-2,26$, $Ng-Np=0,014$, дисперсия очень сильная, $2V$ —мал. Плеохроизм заметен по Np —желтый, по Nm —буровато-желтый и по Ng —оранжево-желтый.

ГИДРОГЕМАТИТ $Fe_2O_3 \cdot n H_2O$

Физические свойства. Обычно колломорфен. В отраженном свете голубовато-серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (22—24%). Внутренние рефлексы от вишнево-красных до розовых (в зависимости от содержания H_2O). Твердость 4—5.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH —не травится.

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Форма выделений. Почковидные, гроздевидные, сплошные и землестые массы. Почки с концентрически-зональным строением.

Парагенезис. Находится в тесном сростании с гидрогетитом. Замещает магнетит, гетит, иногда пирит. В зоне окисления сульфидных месторождений ассоциируется с гидрогетитом с образованием каркасных текстур по различным сульфидным минералам. Наиболее распространен в участках окисления цинковых руд.

ГИДРОГЕТИТ $FeO(OH) \cdot n H_2O$

Физические свойства. Гексагональная сингония. Часто колломорфен. В отраженном свете голубовато-серый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 17—19%). Твердость 4—5. Внутренние рефлексы от желтых до коричневых (зависят от содержания H_2O).

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ —не травится.

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Форма выделения. Почковидные, гроздевидные, сплошные, землестые массы. Почки часто с радиальнолучистой структурой.

Парагенезис. Находится в тесном сростании с гетитом и гидрогетитом. Замещает железистые карбонаты и пирит с образованием каемчатых, сетчатых и петельчатых текстур. В зоне окисления сульфидных месторождений образует каркасные текстуры по различным минералам (Pb, Cu, Fe, Zn).

ГИДРОЦИНКИТ $Zn_3[CO_3]_2(OH)_6$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете темно-серый, значительно темнее церуссита. Отражательная способность во много раз меньше, чем у сфалерита. Кристаллический гидроцинкит слабо анизотропен, колломорфная разновидность изотропна. Двухотражение слабое даже в масле. Внутренние рефлексы бесцветные, буроватые. Твердость 2,0—2,5.

Травление: концентрированные HNO_3 и HCl —поверхность темнеет.

Структура. Радиальнолучистые сростки шестоватых зерен гидроцинкита выявляется травлением HNO_3 (1:60) в течение 10—15 сек. С помощью этой реакции гидроцинкит легко отличить от подобных карбонатных минералов.

Парагенезис. Встречается в зонах окисления свинцово-цинковых месторождений. Ассоциируется со смитсонитом, церусситом, калами-

ном, гидроокислами железа и другими минералами зоны окисления. **Примечание.** В проходящем свете минерал оптически отрицательный, $2V=40^\circ$, $Ng=1,750$, $Nm=1,736$, $Np=1,640$; $Ng-Np=0,110$.

ГИТЕРМАНИТ $IO_3S \cdot 3As_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 37%). Анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 —тускнеет, иризирует, от паров тускнеет; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH —не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка

на Pb		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала обрабатывают HNO_3 (конц.)	KJ 5%-ный + H_2SO_4	Желтое

Примечание. KJ + H_2SO_4 обрабатывают фотобумагу и получают прямой отпечаток.

Форма выделений. Плотные агрегаты аллотриоморфных зерен и неправильной или округлой формы вкрапленники.

Парагенезис. Встречен в руднике Зуни (округ Сан-Хуан, Колорадо) в ассоциации с зуннитом и пиритом; переходит в англезит и серу.

ГЛАУКОДОТ $(Co, Fe)AsS$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с кремово-розовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита, и почти равна арсенипириту (в желтом 57%). Слабо анизотропен. Твердость 5,5—6; полируется плохо (хрупко). Слабый проводник электричества. Микротвердость $841-978 \text{ кг/мм}^2$. Оптимальная нагрузка 100—200 Г.

Травление: HNO_3 изменяется слабо; по снятию капли остается серая шероховатая поверхность; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH —не действуют.

Структура выявляется травлением NH_4OH (25%-ный) + эл. ток. **Микрохимия:** Co (стр. 89); Fe (стр. 88); As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка

на Co и Fe		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 3 мин	$ZnNO_3$ 1%-ный + ртутно-родановая соль	Розово-фиолетовое

Примечание. В присутствии других минералов железа реакция маскируется роданистым железом. Необходимо промыть в воде в течение 2 мин.

Форма выделений. Идиоморфные кристаллы, напоминающие арсенипирит, но вытянутые по вертикальной оси. Кристаллы часто имеют зональное строение.

Парагенезис. Присутствует в кобальто-мышьяковых рудах в ассоциации с кобальтином (с которым часто находится в прорастании), арсенипиритом, пирротинном, халькопиритом, кварцем и др. Часто встречается в кобальтовых рудах в скарнах.

ГОРСФОРДИТ Cu_2Sb или Cu_3Sb

Физические свойства. Сингония неизвестна. В отраженном свете белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (58%). Изотропен. Твердость 4,5; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и чернеет, после снятия капли остается серая травленая поверхность; HCl — не изменяется, иногда слабо бурет; KCN , $FeCl_3$ — не действуют; $HgCl_2$ — не изменяется, иногда тускнеет и бурет; KOH — медленно бурет.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Sb (стр. 95).

Форма выделений. Встречается в сплошных зернистых агрегатах.

ГРАФИТ С

Физические свойства. Сингония тригональная. В отраженном свете буровато-серый, похож на молибденит, но по сравнению с ним кажется слегка коричневатым. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (для O — в зеленом 22,5%, оранжевом 23,5%, в красном 23%; для E — в зеленом 5%, в оранжевом 5%, в красном 5,5%). Очень сильно анизотропен с ярким оранжево-кумачевым цветным эффектом. Двухотражение чрезвычайно сильное с заметным, от коричневатого до сине-серого, цветным эффектом. Твердость низкая 1,0—2,0; полируется плохо — мажется. Хороший проводник электричества (в отличие от почти незлектропроводного молибденита). Микротвердость 7—12 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 5 $Г$.

Травление: HNO_3 , HCl , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH и KCN — не действуют.

Форма выделений в шлифах. Агрегаты таблитчатых зерен. Зерна часто сильно деформированы, вследствие чего при полировке могут получиться структурные узоры, похожие на двойники.

Парагенезис. Образуется при высоких температурах в восстановительных условиях. Встречается в магматических породах, контактово-пневматолитовых месторождениях в известняках, в метаморфических месторождениях за счет регионального или контактового метаморфизма каменных углей. В зависимости от условий образования ассоциируется с диопсидом, волластонитом, скаполитом, шпинелью, полевым шпатом, каолином, слюдами, хлоритом и др.

ГРИНОКИТ CuS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете светло-серый, аналогичен сфалериту. От последнего отличается слабым синеватым оттенком. Отражательная способность близка сфалериту (в зеленом 18,5%, оранжевом 17%, красном 16%). В шлифах обычно изотропен. Внутренние рефлексы лимонно-желтого цвета до красно-коричневых и даже красных. Особенно хорошо внутренние рефлексы наблюдаются с иммерсией. Спайность выражена редко (выявляется иногда при травлении HNO_3) только у кристаллических разновидностей. Твердость 3,5. Микротвердость 52—91 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 $Г$.

Травление: HNO_3 — поверхность слабо тускнеет и обнаруживаются трещины спайности; HCl — реакция неясно выражена; KCN , $FeCl_3$, KOH и $HgCl_2$ — реакция отрицательна.

Структура выявляется иногда при травлении парами царской водки; выявляется коллоидное строение.

Микрохимия: Cd .

Форма выделений. Обычно в виде землистых скоплений, почек и корок на выветрелом сфалерите.

Парагенезис. Ассоциируется с окисленными минералами меди, цинка, свинца на границе с первичными рудами, замещает сфалерит, образуя прожилки по трещинам спайности последнего.

232

ГУАНАХУАТИТ Bi_2Se_3

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 46%, в оранжевом 47%, в красном 48%). Двухотражение выражено ясно. Анизотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 42—98 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 $Г$.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, иризирует и от паров тускнеет; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура выявляется (слабо) $KMnO_4$ + KOH .

Микрохимия: Bi (стр. 86); Se (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	HCl (конц.) + $CsCl$ 10%-ный + KJ 5%-ный	Красное

на Se

HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Красное
-------------------------------	---------------------	---------

Форма выделений. Обычно призматические кристаллы.

Парагенезис. Ассоциируется с висмутином, самородным висмутом и пиритом в серебряных рудах Мексики; с клаусталитом и другими селенидами в кальцитовых жилах.

ГУДМУНДИТ $FeSbS$

Физические свойства. Сингония псевдоромбическая. В отраженном свете розовато-белый. Похож на арсениоприт, но более розовый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в желтом 57%, красном — 57%). Сильно анизотропен с резко выраженным цветным эффектом (красно-оранжевое). Двухотражение отчетливое (от розового до почти белого). Внутренних рефлексов нет. Твердость 5; полируется хорошо. Микротвердость 588—683 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100—200 $Г$.

Травление: HNO_3 — медленно чернеет и вскипает; иногда не травится; HCl , $FeCl_3$, $HgCl_2$ — не действуют, KOH — в течение 1 мин обычно не действует, через 5 мин покрывается иризирующей пленкой и выявляет структуру.

Структура выявляется HNO_3 и KOH .

Микрохимия: Fe (стр. 88); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений. Идноморфные кристаллы, очень похожие на арсениоприт. Часто отчетливо выражено зональное и двойниковое строение. В шлифах нередко образует звездчатые сростки кристаллов.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, сфалеритом, халькопиритом и карбонатами Fe и Mg ; иногда с пирротинном и блеклой рудой; иногда образуется при разложении блеклой руды или пирротина.

ГЮБНЕРИТ $MnWO_4$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в желтом 14%). Анизотропен. Внутренние рефлексы красные; порошок желтый. Твердость 5—5,5, но стальной иглой чертится. Электричество не проводит. Уд. вес 7—7,5. Микротвердость 290—375 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 $Г$.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH — не действуют.

Микрохимия: Mn (стр. 89); W (стр. 87).

Форма выделений в шлифах и парагенезис (см. вольфрамит):

Примечание. В проходящем свете гюбнерит оптически поло-

233

жительный. $2V$ — большой, $Ng=2,32$, $Nm=2,22$, $Nr=2,17$. Сильно плеохроичен: по Nr — от желтого до ярко-красного, по Nm — зеленый или бурый, Ng — травяно-зеленый.

ДЕЛАФОССИТ $Cu_9O \cdot Fe_2O_3$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый с кремовым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в желтом 23%). Сильно анизотропен. Двухотражение выражено резко (O — светлый золото-коричневый; по E — темный розово-коричневый). Твердость 5,5. Уд. вес 4,41.

Травление: HNO_3 — не действует; HCl — слегка тускнеет и частично чернеет, кислота желтеет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 2 мин	Рубиновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Серо-зеленое
HCl (1:1) в течение 2 мин	$KCNS$ 20%-ный	Красно-коричневое

Форма выделений в шлифах. Агрегаты тонких табличатых кристаллов и коллоидные образования, в поляризованном свете иногда выявляется радиальнолучистая структура. Образует сферолиты.

Парагенезис. Встречен во вторичных глинистых продуктах, где образует желваки. Вероятно, является вторичным минералом. Ассоциируется с гематитом, купритом, малахитом, самородной медью и теноритом.

ДЖЕМСОНИТ $4PbS \cdot FeS \cdot 3Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете белый, по сравнению с галенитом имеет очень слабый зеленоватый оттенок. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 39%, в оранжевом 32%, в красном 29,5%); в масле она падает, и отчетливо наблюдаются явления двухотражения. Сильно анизотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо; часто заметна спайность в одном направлении. Электричество не проводит. Микротвердость 96—121 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 $г$.

Травление: HNO_3 — слабо вскипает, бурет и чернеет; HCl — не изменяется, от паров образуется слабый налет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ — не действуют; KOH — очень медленно выявляет структуру. В сростаниях с галенитом легко выявляется травлением парами царской водки (травится галенит).

Структура выявляется HNO_3 и в поляризованном свете.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Fe (стр. 88); Sb (стр. 95).

Реакция по методу отпечатка

на Pb		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность шлифа обрабатывают HNO_3 (1:1) и просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5%-ный + H_2SO_4 (1:10)	Желтое

Примечание. $KJ + H_2SO_4$ применяется в качестве растворителя для получения прямого отпечатка.

234

Форма выделений. Игольчатые кристаллы, иногда спайность в одном направлении (перпендикулярно удлинению), часто радиальнолучистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с антимонитом, другими сульфосолями свинца, сфалеритом, пиритом, галенитом, тетраэдритом и другими; а также с жильными минералами, обычно кварцем, сидеритом и другими карбонатами.

ДИСКРАЗИТ Ag_3Sb

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете желтовато-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 66%, в оранжевом 62,5%, в красном 61%). Слабо анизотропен. Двухотражение лучше проявляется в масле. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. На воздухе покрывается побежалостью и тускнеет. Хороший проводник электричества. Микротвердость 141—169 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 $г$.

Травление: HNO_3 — образуется коричневая иризирующая пленка; HCl — не действует; KCN — иногда действует слабо с выявлением структуры; $FeCl_3$ — иризирующая пленка; $HgCl_2$ — желтовато-коричневая иризирующая пленка; KOH — не действует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Sb (стр. 95).

Форма выделений. Характерна удлиненная форма сечений. Образует псевдогексагональные тройники, обнаруживаемые при скрещенных николях. Спайность в шлифах наблюдается редко.

Парагенезис. Ассоциируется с самородной сурьмой, самородным серебром и его сульфосолями, антимонитом и т. д., выделяясь как продукт распада смешанных $Ag-Sb$ соединений с образованием дискразита, самородных серебра и сурьмы, а также кристаллического продукта смешанного состава ($Ag-Sb$). Дискразит встречается в ассоциации с самородным серебром, никелевыми и кобальтовыми минералами.

При выветривании на месте дискразита образуются самородное серебро и сурьмяная охра.

ДОМЕЙКИТ Cu_3As

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в желтом 65—77%). Изотропен. Твердость 3—3,5; полируется хорошо. На воздухе быстро тускнеет и покрывается побежалостью. Хороший проводник электричества. Микротвердость 241—257 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 $г$.

Травление: HNO_3 — вскипает, чернеет и выявляет спайность (треугольники); HCl — чернеет и выявляет спайность; KCN — иногда слабо травится; $FeCl_3$ — постепенно темнеет; $HgCl_2$ — тускнеет, чернеет и выявляет спайность; KOH — иризирует, тускнеет и выявляет структуру.

Микрохимия: Cu (стр. 90); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 10%-ная в течение 2 мин	Рубиновая кислота + NH_4OH	Серо-зеленое

Форма выделения. Почковидные или гроздьевидные плотные массы и вкрапления.

235

Парагенезис. Обычно находится в ассоциации с альгодонитом и вентинитом, образуя с ними графические структуры сростания; с арсенидами никеля и кобальта, а также с самородной медью и серебром.

ДЮФРЕНУАЗИТ $2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность несколько ниже, чем у галенита (в желтом 36%). Анизотропен. Двухотражение выражено резко. Внутренние рефлексии темно-красные, наблюдаются редко, лучше видны в иммерсии, порошок красновато-бурый. Твердость 3; полируется хорошо; обнаруживается спайность. Электричество не проводит.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 — не действуют; KOH — иризирует, темнеет и выявляет структуру.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); As (стр. 91).

Форма выделений в шлифах. Идноморфные удлиненные кристаллы и тонкозернистые агрегаты. В поляризованном свете иногда наблюдаются полисинтетические двойники, в отличие от баумгауерита, широкие пластинчатые двойники редки.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, реальгаром, аурипигментом, гипсом, карбонатами, а также с иорданитом и зелигманитом.

ЖЕЛЕЗО САМОРОДНОЕ Fe

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 64%, в оранжевом 59%, в красном 58%). Изотропен. Твердость 4; полируется хорошо. Магнетик. Хороший проводник электричества. Микротвердость 132—141 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и чернеет; HCl — медленно вскипает, от паров тускнеет; KCN и KOH — не действуют; FeCl_3 — темнеет и иризирует; HgCl_2 — чернеет.

Раствором йода в спирте выявляется феррит в цементите; феррит травится этим раствором, а цементит нет.

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Форма выделений. Характерные аллотриоморфные агрегаты; наблюдаются пластинчатые двойники. Часто графические прорастания феррита и цементита.

Парагенезис. Встречается в метеоритах; в основных и ультраосновных изверженных породах; ассоциируется с пирротинитом и пентландитом в базальтах.

ЗЕЛИГМАНИТ $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый с розоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 37%). Сильно анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо. Уд. вес 5,44.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 — не действуют; KOH — медленно иризирует.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Pb (стр. 93); As (стр. 91).

Форма выделений в шлифах. Мелкие кристаллы с полисинтетическим двойниковым строением. Иногда выполняет трещинки в дюфренуазите и иорданите.

Парагенезис. Ассоциируется с другими сульфосарсенидами свинца и меди, пиритом, галенитом, сфалеритом, блеклой рудой, часто с иорданитом.

236

ЗИГЕНИТ $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность больше галенита (в желтом 46%). Изотропен. Твердость 5,5; полируется хорошо. Некоторые разности имеют спайность по кубу. Микротвердость 503—553 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — не изменяется или медленно становится коричневым; HCl , KCN , FeCl_3 — не действуют; HgCl_2 — не изменяется, иногда слабо тускнеет; KOH — не действует.

Микрохимия: Co (стр. 89); Ni (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	на Ni	
	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	на Co	
	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 1%-ный + ртутно-родановая соль	Кирпично-красное Синее

Примечание. В присутствии железосодержащих минералов реакция на Co маскируется роданитом железом. Нужно промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделений в шлифах. Преимущественно в виде мелких идноморфных кристаллов, иногда со спайностью по кубу.

Парагенезис. Встречается с линнситом, никелевыми сульфидами, а также с гематитом, халькопиритом, галенитом, миллеритом и другими сульфидами в гидротермальных месторождениях сидеритовой формации.

ЗОЛОТО САМОРОДНОЕ Au

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете ярко-желтый — от красновато-желтого до светло-желтого; окраска меняется в зависимости от содержания изоморфных примесей Ag и Cu . Отражательная способность значительно выше, чем у галенита (в зеленом 47%, в оранжевом 82,5%, в красном 86%). Изотропен. Твердость 2,5—3; полируется хорошо, но обычно с большим количеством царапин. Хороший проводник электричества. Микротвердость 50—59 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — медленно чернеет, поверхность становится шероховатой и иногда выявляется структура; FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют. В отличие от халькопирита не травится AgNO_3 даже в течение 2 мин. Структура выявляется $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ и $\text{HNO}_3 + \text{спирт}$.

Микрохимия: Au (стр. 88).

Форма выделений. Мелкие изометричные зерна или аллотриоморфные агрегаты. Часто наблюдаются пластинчатые двойники по (111). Иногда — агрегаты с коллоидным строением.

Парагенезис. Гипогенное золото ассоциируется с молибденитом, шеелитом, пиритом, арсенипиритом, самородным висмутом, блеклыми рудами, различными теллуристыми минералами, стибнитом, галенитом, баритом, флюоритом и кварцем; гипергенное золото — с гидроокислами железа и другими минералами окисления.

237

ИЛЬМЕНИТ FeO · TiO₂ или FeTiO₃

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый. Отражательная способность (18%). Внутренние рефлексы темно-коричневые; наблюдаются только с иммерсией в порошке. Анизотропен. Твердость 5—6. Электропроводность слабая. Микротвердость 593—734 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100—200 г.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₂, HgCl₂ и KOH — не действуют, HCl + эл. ток — травится с образованием осадка. Структура выявляется.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Ti (стр. 96).

Реакция по методу отпечатка на Ti

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
H ₂ SO ₄ (1:4) в течение 2 мин	Свежеприготовленная хромотроповая кислота	Красное

Примечания. 1) Ввиду плохой растворимости ильменита перед получением отпечатка поверхность минерала предварительно должна быть обработана H₂SO₄ (1:4) + H₂O₂ до получения серой пленки.

2) Хромотроповая кислота легко разлагается, поэтому ее следует готовить перед получением отпечатка.

Форма выделений. В виде идиоморфных кристаллов или аллотриоморфных выделений обычно в сростании с магнетитом и гематитом; с последним образует решетчатые и пластинчатые структуры распада твердого раствора. Структуры распада выявляются травлением концентрированной HCl (травится магнетит) или с помощью поляризованного света. Ильменит часто замещается лейкоксеном с образованием пестельчатых и кольчатых текстур замещения.

Парагенезис. Распространен в ассоциации с магнетитом в основных изверженных породах (титаномагнетит). В медно-никелевых ликвидационных месторождениях ассоциируется с пирротинитом, пентландитом и гематитом. В гидротермально измененных изверженных породах, как правило, превращается в лейкоксен. Иногда, в виде крупных кристаллов, встречается в сиенитовых пегматитах.

НОДИРИТ AgI

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (14%). Изотропен. Внутренние рефлексы желтые. Твердость 1—2; хорошо выражена спайность по кубу.

Микрохимия: Ag (стр. 95); J.

Форма выделений. Обычно в виде агрегата тонких пластинок.

Парагенезис. Ассоциируется с минералами зоны окисления свинца, серебра и цинка.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет показатель преломления $N=2,182$.

НОРДАНИТ 4PbS · As₂S₃

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете белый, почти неотличим от галенита, даже в масле. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 39%, в оранжевом 32,5%, в красном 29,5%). Явления двуотражения в масле отчетливы — от серого до серовато-белого с розоватым оттенком. Анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо; спайность по (010). Электричество не проводит. Микротвердость 172—202 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 г.

238

Травление: HNO₃ — не действует; иногда вскипает и бурлит; после снятия капли образуется серая поверхность; HCl — не действует или очень медленно становится серым и выявляет структуру KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка

на Pb		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. Для получения четкого отпечатка поверхность минерала предварительно лучше обработать концентрированной HNO₃, а в качестве растворителя применить KJ + HNO₃, — при этом получается прямой отпечаток.

Форма выделений. Единичные идиоморфные зерна. Некоторые зерна представляют пластинчатые двойники по (100). Нередко наблюдаются колломорфные образования с концентрически зональным строением.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, сфалеритом, теннантитом, реалгаром, аурипигментом, баритом, доломитом, кальцитом и др. Иногда наблюдается в ассоциации с зелигманитом, дюфренуазитом и баумгауеритом.

КАЛАВЕРИТ (Au, Ag) Te₂

Физические свойства. В отраженном свете кремово- или желто-белый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 56%, в оранжевом 54%, в красном 52%). По сравнению с PbS цвет кремовый; с самородным серебром светло-кремовый; с тетраэдритом — кремовый, но еще светлее со сфалеритом — белый. Отчетливо анизотропен. Двуотражение слабое, как у креннерита. Твердость 2,5. Хороший проводник электричества. Микротвердость 213—237 кг/мм². Оптимальная нагрузка 20—50 г.

Травление: HNO₃ — медленно вскипает, призирует и бурлит до черного цвета; FeCl₃ — иногда легкая бурая окраска и иризация; HCl, HgCl₂, KOH и KCN — не действуют.

Структура выявляется HNO₃ (1:1).

Микрохимия: Au (стр. 88); Ag (стр. 95); Te (стр. 96).

Реакция по методу отпечатка

на Te		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	CsCl 10%-ный + HCl (конц.) + KJ 5%-ный + гипосульфит	Черное

Форма выделения. Сплошные массы или агрегаты мелких призматических кристаллов.

Парагенезис. Калаверит типичный низкотемпературный гидротермальный минерал; ассоциируется с сивьянитом и другими теллуридами — золота, серебра и висмута, пиритом, сфалеритом, блеклыми рудами, антимонитом, арсенипиритом, халькопиритом, висмутинитом.

КАЛАМИН Zn₃Si₂O₇(OH)₂ · H₂O

Физические свойства. Ромбическая сингония. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность очень низкая, почти как у кварца (5%). Слабо анизотропен. Внутренние рефлексы водяно-прозрачные. Твердость больше 5. Уд. вес 3,4.

239

Травление: HNO_3 и HCl — растворяется и образуется призрающая пленка.
Структура — радиальнолучистое строение — выявляется HNO_3 (1:20) подобно гидроксидиту.

Реакция по методу отпечатка

Растворитель	на Zn		Результат реакции (окрашивание)
	Проявитель		
HCl или HNO_3 (1:20)	1) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{HgCl}_2 +$ $+ \text{KCNS}$		Фиолетовое
	2) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{HgCl}_2 +$ $+ \text{KCNS}$		

Форма выделения. В виде пластинчатых кристаллов, образующих радиальнолучистые и веерообразные сростки.

Парагенезис. Ассоциируется с минералами зоны окисления свинцово-цинковых месторождений.

Примечание. В проходящем свете показатели преломления минерала $N_m=1,6$; $N_p=1,614$; $N_g=1,636$; $N_g-N_p=0,022$.

КАЛЬЦИТ CaCO_3

Физические свойства. Тригональная сингония. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (4—7%). Ясно анизотропный. Спайность в двух направлениях. Образует двойники. Внутренние рефлексы белые и бесцветные. Твердость 3. Микротвердость 120—202 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: хорошо травится HNO_3 и HCl , FeCl_3 — призрающая пленка. Среди других карбонатов отличается пленочной реакцией. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 20% + NH_4OH 10%-ный. Продолжительность реакции 2—3 ч. Фиолетовая пленка образуется также при обработке подкисленными чернилами (см. стр. 74) (хим. чернила + HCl 1:20).

Форма выделения. В виде идиоморфных кристаллов, аллотриоморфнозернистых и землистых агрегатов. Реже ромбические выделения с тонкопластинчатыми двойниками.

Парагенезис. *Весьма широко распространен.* Встречается почти со всеми минералами, часто в ассоциации с сульфидами Pb и Zn.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $N_p=1,658$; $N_g=1,486$; $N_p-N_g=0,172$.

КАНФИЛЬДИТ $4\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{SnS}_2$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый с фиолетовым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 24,5%, в оранжевом 21%, в красном 18,5%). Изотропен. Твердость 2,5; хрупок.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют, при травлении более 1 мин медленно окрашивается в коричневый цвет; KCN — темнеет и выявляет структуру; FeCl_3 не действует; HgCl_2 — мгновенно призрает и тускнеет; KOH — тускнеет.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Sn (стр. 92).

Форма выделения. В виде пластинчатых зерен, часто с зональным строением.

Парагенезис. Совместно с аргиродитом ассоциируется с самородным серебром, полибазитом, пираргиритом, аргентитом, стефанитом, арамайонитом, касситеритом, марказитом, сфалеритом.

КАРРОЛИТ $\text{CuS} \cdot \text{Co}_2\text{S}_3$ или $(\text{CuCo})_2\text{S}_5$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 45%, в оранжевом 44%, в красном 43%). Изотропен. Твердость 5,5. Микротвердость 351—566 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, от паров тускнеет; HCl , KCN, FeCl_3 — не действуют; HgCl_2 — медленно становится бурым; KOH — не действует.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Co (стр. 89).

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	на Cu		Результат реакции (окрашивание)
	Проявитель		
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный		Серо-зеленое Розово-коричневое
	2) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$		
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	на Co		Голубое Кирпично-красное
	1) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 1%-ный + ртутно-родановая соль	2) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	

Примечание. В присутствии железосодержащих минералов или употреблении в качестве растворителя ртутно-родановой соли отпечаток маскируется роданитом железом. Необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделения. Мелкозернистые агрегаты и октаэдрические кристаллы.

Парагенезис. Ассоциируется с линнитом и другими кобальтовыми и никелевыми сульфидами и арсенидами. Встречается в рудах серебра, сульфидов, арсенидов кобальта и никеля карбонатной формации.

КАССИТЕРИТ SnO_2

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (11%). Анизотропен. Определение анизотропии затрудняют внутренние рефлексы. Двухотражение слабое. Внутренние рефлексы бесцветные, желтые, коричневые. Твердость 6—7. Микротвердость 731—1528 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 200 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN, FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют; HCl + эл. ток — бурет и разлагается.

В полированных шлифах касситерит определяется следующим образом. Минерал травится HCl , в каплю вводят порошок металлического цинка — образуется пленка металлического олова, которую лучше наблюдать после смывания. При этом минерал становится непрозрачным и теряет внутренние рефлексы.

Форма выделения. Призматические и изометричные кристаллы и их скопления.

Парагенезис. С турмалином, топазом, литиевыми слюдами и другими минералами встречается в грейзенизированных гранитах. С кварцем, топазом, альбитом, слюдами, бериллом, колумбитом и другими распространен в пегматитах. В гидротермальных условиях наиболее распространены кварцево-касситеритовые и сульфидно-касситеритовые месторождения. В первом типе месторождений ассоциируются с кварцем, турмалином, слюдами, полевыми шпатами, вольфрамитом, арсенипиритом, топазом, флюоритом и т. д.; во втором — с пирротинитом,

халькопиритом, сфалеритом, станнином, или со сфалеритом и галенитом, иногда — с висмутином и кобальтином. В поверхностных условиях чрезвычайно устойчив, вследствие чего образует россыпи.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: $N_o=1,9966$; $N_e=2,0934$.

КВАРЦ SiO_2

Физические свойства. Сингония тригональная. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность очень низкая (в зеленом 4%, в оранжевом 4%, в красном 4%). Слабо анизотропный. Внутренние рефлексы бесцветные, белые, вследствие раковистого излома они приобретают радужный оттенок. Твердость 7. Микротвердость 1023—1236 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 200 Г.

Травление: реактивами стандартного набора не травится.

КЕРАРГИРИТ $AgCl$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (12%). Изотропен. Внутренние рефлексы белые или восковые. Твердость 1—2; полируется плохо.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — поверхность быстро становится коричневой; $FeCl_3$ — иризирует; $HgCl_2$ — не действует; KOH — бурет.

Структура выявляется NH_4OH .

Микрохимия: Ag (стр. 95); Cl (стр. 98).

Форма выделений. Прожилки, вкрапления и сплошные массы. Иногда содержит включения самородного серебра.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным серебром, бромиритом, иодиритом, аргентитом, церусситом, англезитом, смитсонитом, малахитом, ковеллином. Дает псевдоморфозы по аргентиту и самородному серебру.

Примечание. В проходящем свете показатель преломления минерала $N=2,071$.

КЕРМЕЗИТ Sb_2S_3O

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серо-белый. По сравнению с галенитом немного темнее, обладает голубым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (около 25%). В кристаллических агрегатах сильно анизотропен с фиолетово-красными тонами цветного эффекта. Землистые разности слабо анизотропны. Двухотражение выражено отчетливо от коричневого до голубоватого тонов. Внутренние рефлексы яркие — красные до фиолетовых (особенно хорошо видны с иммерсией). Твердость 1—1,5; полируется не очень хорошо.

Травление: HNO_3 — бурет; KOH — темнеет и иризирует; KCN — медленно бурет; HCl , $FeCl_3$ и $HgCl_2$ — не действуют.

Микрохимия: Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. В виде налетов и по трещинам антимонитовой руды, иногда игольчатые кристаллы и сплошные массы.

Парагенезис. Кермезит — вторичный минерал. Встречается в зоне окисления сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений. Замещает антимонит, образуя по нему псевдоморфозы; ассоциируется с валентинитом, сенармонтитом, стибиконитом и самородной сурьмой.

Примечание. В проходящем свете красного цвета минерал оптически положителен. Двупреломление очень сильное.

242

КИНОВАРЬ HgS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серо-белая с голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 30%, в оранжевом 25,5%, в красном 26%). Анизотропна (мешают внутренние рефлексы). Внутренние рефлексы красные; порошок красный. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 64—98 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

В шлифах киноварь определяют следующим образом. Раскаленный перл соды или буры приводится в контакт с полированной поверхностью минерала. Через несколько секунд на поверхности минерала образуется тонкая серая пленка металлической ртути (наблюдать в косом свете). Минерал становится непрозрачным и теряет внутренние рефлексы.

Форма выделений. Агрегаты мелких тонкопластинчатых или ромбоэдрических кристаллов; в поляризованном свете часто наблюдаются двойники по (0001).

Парагенезис. Ассоциируется со стибнитом, реальгаром, аурипигментом, пиритом, марказитом, арсенопиритом, кварцем, карбонатами, флюоритом, баритом, накритом в послемагматических месторождениях. Эти месторождения залегают в толщах осадочных пород и относятся к киноварной, стибнитово-киноварной, стибнитово-киноварно-флюоритовой формации. В них киноварь образует промышленные концентрации. В рудах реальгаро-аурипигментовой и стибнитово-кварцевой формации киноварь встречается постоянно. Иногда она ассоциируется с арсенопиритом, сфалеритом, тетраэдритом, халькопиритом, галенитом, висмутином и теллуридами золота.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный $N_g=3,272$, $N_m=2,913$.

КЛАПРОТОЛИТ $3Cu_2S \cdot 2Bi_2S_3$ или $Cu_2Bi_4S_9$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый с желтоватым оттенком. Отражательная способность почти такая же, как у галенита: параллельно (001): в зеленом 39%, в оранжевом 35,5%, в красном 33%; перпендикулярно (001): в зеленом 35%, в оранжевом 33,5%, в красном 33%. Двухотражение отчетливо в воздухе и особенно в масле. Сильно анизотропен. Твердость 2,5; полируется легко и хорошо. Спайность по (100).

Травление: HNO_3 — медленно бурет, от паров тускнеет; иногда медленно вскипает; HCl — не действует; KCN — иризирует; $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) Рубеновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Желто-коричневое Серо-зеленое
на Bi		
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

243

Форма выделений. Призматические и толстые таблитчатые кристаллы, образующие лучистые агрегаты. Иногда пластинчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с другими висмутовыми минералами. Клапротолит — продукт распада виттихенита. Наблюдается в виде тонких включений в энаргите, халькозине и образует тонкие сростания с ковеллином.

КЛАУСТАЛИТ PbSe

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 50%, в оранжевом 43%, в красном 40%). Изотропен. Твердость 2—3; полируется хорошо. Микротвердость 49—63 кГ/мм². Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO₃ — тускнеет, на поверхности образуется красный осадок (смотреть в косом свете); HCl — бурет, иризирует, иногда не изменяется; KCN — не действует; FeCl₃ — тускнеет; иризирует, образуется голубоватый или желтый осадок (в косом свете); KOH и HgCl₂ — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Se (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. Реакция часто маскируется выделяющимся йодом. Последний можно обесцветить 5%-ным раствором гипосульфита.

на Se

HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Красное

Форма выделений. Тонкозернистый агрегат аллотриоморфных зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с другими селенидами.

КЛОКМАНИТ CuSe

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый с зеленоватым или синеватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (для O в зеленом 18,5%, в оранжевом 15%, в красном 10%; для E — в зеленом 30,5%, в оранжевом 25%, в красном 24%). Двухотражение выражено резко (O — коричневый, E — серо-белый). Сильно анизотропен, подобно ковеллину. Твердость 2,5—3. Микротвердость 57—86 кГ/мм². Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO₃ — не действует, от паров тускнеет; HCl — не действует; KCN — быстро чернеет; FeCl₃ — не действует; HgCl₂ — не действует или делается голубым; KOH — не изменяется или медленно бурет.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Se (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	1) K ₂ Fe(CN) ₆ 5%-ный 2) Рубеазовая кислота + NH ₄ OH 10%-ный	Розово-коричневое Серо-зеленое

на Se

HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Красное

Форма выделений в илифах. Зернистые агрегаты, образующие пятнистые включения.

Парагенезис. Ассоциируется с умангитом, клаусталитом и эквайритом. Часто в зоне окисления интенсивно замещается малахитом.

КОБАЛЬТИН CoAsS

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете цвет розовый, по сравнению с халькопиритом розово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 52%, в оранжевом 52,5%, в красном 48%). Двухотражение слабое, только в масле. Изотропен. Иногда обнаруживает миметически пластинчатое строение, что говорит о том, что при низких температурах кобальтин претерпел полиморфное превращение, вероятно, в ромбическую модификацию. Твердость 5,5; полируется плохо. Слабый проводник электричества. Микротвердость 948—1079 кГ/мм². Оптимальная нагрузка 100—200 Г.

Травление: HNO₃ — не действует, иногда слабо тускнеет и темнеет; HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура выявляется с помощью KMnO₄+H₂SO₄.

Микрохимия: Co (стр. 89); As (стр. 91); S (стр. 94).

Форма выделений. Идиоморфные изометрические кристаллы и их агрегаты. Аллотриоморфные агрегаты редки.

Парагенезис. Ассоциируется с магнетитом, арсенопиритом, глаукотом, а также кобальтовыми и никелевыми сульфидами и арсенидами. Наиболее распространен в рудах кобальтино-магнетитовой формации, в скарнах и в рудах аргентито-арсенидо- и сульфидо-никелевой и кобальтовой формации.

КОВЕЛЛИН CuS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете синий. Отражательная способность ниже, чем у галенита (для O — в зеленом 18,5%, в оранжевом 15%, в красном 10%; для E — в зеленом 27%, в оранжевом 24%, в красном 22%). Двухотражение выражено ярко (по O — синий; по E — сине-белый). Очень сильно анизотропен — от красного до синего. Этим отличается от голубого халькозина, который часто изотропен. Твердость 1,5—2; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 77—90 кГ/мм². Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO₃ и HCl — не действуют; KCN — не изменяется или становится красноватым и выявляет структуру; FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94).

Форма выделений в илифах. Тонкие прожилки, каемки и коллоидные образования в халькозине, халькопирите, сфалерите и др. Часто наблюдается в виде призматических удлиненных кристаллов, иногда образующих радиальнолучистые сростки. Спайность всегда отчетлива.

Парагенезис. Вторичный минерал меди, образующийся при окислении халькопирита, борнита, блеклых руд, энаргита, бурнонита и других медных и медьсодержащих минералов. Иногда замещает в зоне цементации халькозин, но чаще совместно с последним образует зону вторичного сульфидного обогащения.

КОЗАЛИТ $2PbS \cdot Bi_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность близка к галениту. Анизотропен. Твердость 2,5—3; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — становится коричневым и медленно вскипает, от паров тускнеет; HCl — медленно становится серым до бурого, KCN — не действует; $FeCl_3$ — становится коричневым; $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакция по методу отпечатка

на Bi		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) Тломочевина 10%-ная	Желтое
	2) $CsCl$ 10%-ный + HCl (1:1) + KJ 5%-ный	Красное

Форма выделений. Призматические кристаллы или волокнистые и лучистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с висмутином, сфалеритом, халькопиритом и другими сульфидами, а также с эпидотом, тремолитом, кальцитом.

КОЛОРАДОИТ $HgTe$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность (в зеленом — 31%, в желтом — 29%, в красном — 26%). Изотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 27—35 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 5 Г.

Травление: HNO_3 — медленно бурет, иризирует, некоторые участки не изменяются; HCl — не изменяется или медленно чернеет; KCN — не действует; $FeCl_3$ — тускнеет, иризирует и слабо бурет; $HgCl_2$ и KOH — не действуют. Если раскаленный перл соды или буры привести в контакт с полированной поверхностью минерала, то через несколько секунд поверхность покрывается серым налетом металлической ртути (наблюдать в косом свете).

Микрохимия: Hg (стр. 93); Te (стр. 96).

Реакции по методу отпечатка

на Te		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl в течение 2 мин	$CsCl$ 10%-ный + KJ 5%-ный	Черное
	на Hg	
HCl (1:1) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Оранжевое

Форма выделений. Мелкозернистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с теллуридами золота и серебра.

КОРИНИТ $Ni(As, Sb)S$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серовато-белый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 40,5%, в оранжевом 42,5%, в красном 42%). Изотропен.

Твердость 5—5,5. Микротвердость 498—545 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — иризирует, от паров тускнеет; HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — не изменяется, иногда слабо травится, KOH и $HgCl_2$ — не действуют.

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка

на Ni		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое

Форма выделений. Октаэдрические кристаллы и шаровидные скопления.

Парагенезис. Коринит — промежуточный минерал между герсдорфитом и ульманитом. Обычно ассоциируется с арсенидами и антимонидами кобальта и никеля, поэтому при диагностике минерала большое внимание должно быть уделено определению сурьмы и мышьяка.

КРЕННЕРИТ $(Au, Ag)Te_2$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в оранжевом 54%, в зеленом 58%, в красном 53%). Анизотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо, не хрупок. Микротвердость 36—88 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — иногда вскипает, бурет; HCl , KCN , $HgCl_2$ — не действуют; $FeCl_3$ — не изменяется, иногда слегка желтеет; KOH — не изменяется, иногда бурет.

Структура выявляется HNO_3 (1:1) в течение 40 сек.

Микрохимия: Au (стр. 88); Ag (стр. 95); Te (стр. 96).

Реакция по методу отпечатка

на Te		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	$CsCl$ 10%-ный + HCl (1:1) + KJ 5%-ный	Черное

Форма выделений. Зерна призматической формы; часто наблюдаются в виде аллотриоморфных агрегатов.

Парагенезис. Встречается в золото-серебро-теллуридных рудах, в парагенезисе с другими теллуридами золота и серебра, а также с пираргритом, фрейбергитом, пиритом, галенитом, сфалеритом и кварцем. Распространен в рудах золото-арсенопирито- и золото-пирито-кварцевой формаций.

КРОКОИТ $PbCrO_4$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серый. Отражательная способность значительно ниже, чем у сфалерита (около 10%). Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы яркие, оранжево-красные. Твердость 2,5—3,0. Уд. вес 6,0.

Травление: HNO_3 — интенсивно травится, бурет, чернеет; HCl — не травится, иногда слегка бурет и медленно вскипает; KOH — не травится, иногда медленно вскипает и бурет; FeCl_3 , HgCl_2 и KCN — не действуют.

Форма выделения в шлифах. Шестоватые или призматические кристаллы и мелкозернистые агрегаты аллотриоморфной структуры.

Парагенезис. Сравнительно редок. Образуется в зоне окисления полиметаллических (свинцоводержащих) месторождений, вблизи хромосодержащих ультраосновных изверженных пород.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный. $2V=54^\circ$, $Ng=2,66$, $Nm=2,37$, $Np=2,31$.

КУБАНИТ CuFe_2S_3

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете кремовый; похож на пирротин, но несколько желтеет и более мягкий (твердость, как у халькопирита). Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 41%, в оранжевом 41%, в красном 39%). **Анизотропен.** Твердость 3,5. **Магнетен.** Микротвердость 199—228 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Наблюдается преимущественно в халькопирите в виде параллельно расположенных пластинчатых включений, обычно очень тонких (толщиной менее 1 мкм). Структура сростания кубанита с халькопиритом обычно решетчатая или пластинчатая распада твердого раствора.

Парагенезис. Ассоциируется с халькопиритом, пирротинном и пентландитом в магматических, контактово-метасоматических и гидротермальных месторождениях. Тесная ассоциация с халькопиритом объясняется существованием их смешанных кристаллов. При температурах ниже 450° твердый раствор распадается с образованием структур распада. При выветривании кубанита образуются марказит и вторичный халькопирит.

КУПРИТ Cu_2O

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый с голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 30%, в оранжевом 22,5%, в красном 21,5%); в масле падает. Изотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 3,5—4; полируется хорошо, но пористость минерала часто мешает его полировке. Электричество не проводит. Микротвердость 205—207 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает, появляется осадок металлической меди, от паров тускнеет; HCl — бурет и образуется налет, белый (в косом свете); KCN — темнеет и выявляет структуру; FeCl_3 — тускнеет и иризирует; HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90).

Реакция по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
NH_4OH 10%-ый в течение 2 мин HNO_3 (1:20)	1) Рубеановая кислота	Серо-зеленое
	2) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ый	Розово-коричневое

Форма выделений в шлифах. Сплошные зернистые и скрытокристаллические выделения и изолированные идиоморфные кристаллы, а также в виде жилок и каемок в массе первичных сульфидов, где образует петельчатые и кольчатые структуры замещения.

Парагенезис. Образуется почти исключительно в гипергенных условиях путем окисления халькозинных и борнитовых руд, часто находится в сростании с халькозином, лимонитом, малахитом, самородной медью, азуритом и хризоколой.

КУПРОДЕКЛУАЗИТ $(\text{Cu}, \text{Zn})\text{Pb}(\text{VO}_3)(\text{OH})$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (14%). Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы красновато- или зеленовато-бурые. Твердость 3,5. Уд. вес. 5,9—6,2.

Травление: HNO_3 — чернеет и образует желтый осадок (в косом свете), от паров тускнеет и бурет; HCl — так же, как HNO_3 , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Zn (стр. 98); Cu (стр. 90); V (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка

на V		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) Уксуснокислый бензидин	Синее
	2) H_2O_2 3%-ная	Оранжевое (отпечаток не устойчив)
на Zn и Cu		
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	Ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое

Примечание. В присутствии минералов, содержащих железо, реакция маскируется роданистым железом. Отпечаток нужно промыть водой в течение 2 мин.

Формы выделения. Шестоватые кристаллы или почковидные с радиальным строением образования.

Парагенезис. Наблюдается в свинцово-цинковых месторождениях как вторичный минерал по сульфваниту, с которым образует петельчатые и кольчатые текстуры замещения.

Примечание. В проходящем свете для минерала характерны следующие показатели преломления $Ng=2,33$, $Nm=2,31$, $Np=2,21$, $Ng-Np=0,12$.

ЛЕЛЛИНГИТ FeAs_2

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с очень слабым кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 57%, в оранжевом 52,5%, в красном 48%). Двуетражение слабое. Сильно анизотропен (особенно в масле). Твердость 5—5,5; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 635—741 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100—200 Г.

Травление: HNO_3 — травится медленно с образованием желтого пятна; HCl ; KCN , FeCl_3 и KOH — не действуют; HgCl_2 — не изменяется, иногда слегка бурет.

Микрохимия: Fe (стр. 88); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка

на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:20) в течение 2 мин	K ₄ Fe(CN) ₆	Синее

Форма выделений. В виде идиоморфных вытянутых кристаллов, образующих сростки. Иногда наблюдаются полисинтетические двойники (101). Кристаллы часто имеют зональное строение.

Парагенезис. Ассоциируется с арсенопиритом, сульфидами железа и меди, арсенидами кобальта, а также кальцитом, сидеритом, кварцем и другими минералами. В ассоциации с арсенопиритом образуется позже него, нередко обрастая его кристаллы.

ЛЕНГЕНБАХИТ 6PbS·Ag₂S·2As₂S₃

Физические свойства. Сингония триклинная. В отраженном свете белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 36%). Слабо анизотропен. Мягкий; спайность в одном направлении хорошо выражена. Твердость 2—3.

Травление: HNO₃ — не действует, иногда слабо тускнеет; HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Ag (стр. 95); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка

на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала обрабатывают (конц.) HNO ₃	KJ 5%-ный + H ₂ SO ₄ (1:10)	Желтое

Примечание. KJ + H₂SO₄ применяют в качестве растворителя и проявителя. В результате получают прямой отпечаток.

Форма выделений в шлифах. Встречается в виде зернистых агрегатов и отдельных вкрапленников листового строения. Заметны пластинчатые двойники. Спайность в одном направлении обычно хорошо выражена.

Парагенезис. Ассоциируется с пиритом и порданитом.

ЛИВИНГСТОНИТ HgS·2Sb₂S₃

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете белый. Отражательная способность меньше, чем у галенита (в зеленом 37%, в оранжевом 32,5%, в красном 30%). Анизотропен. Двухотражение слабое. Внутренние рефлексы красные; порошок красный. Твердость 2,5; спайность по (001) и (100). Микротвердость 74—131 кг/мм². Оптимальная нагрузка 25 Г.

Травление: HNO₃ — медленно бурет и иризирует, иногда не изменяется; HCl — не действует; KCN — бурет, иногда не изменяется; FeCl₃ — не действует; HgCl₂ не действует; KOH — быстро блекнет и желтеет.

Микрохимия: Hg (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

250

Реакция по методу отпечатка

на Hg

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	1) KJ 5%-ный 2) ZnNO ₃ 1%-ный + + CoNO ₃ 20%-ный + KCNS 20%-ный	Оранжевое Синее

Примечание. Реакция на ртуть недостаточно чувствительна. В присутствии железосодержащих минералов маскируется роданитом железом. Необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделения в шлифах. Призматические кристаллы, очень похожие на антимонит. Спайность в одном или двух направлениях; при скрещенных николях обнаруживаются пластинчатые двойники (скольжение по спайности), а также волокнистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с киноварью, стибнитом, самородной серой, валентинитом, кальцитом и гипсом.

ЛИЛЛИАНИТ 3PbS·Bi₂S₃

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с очень слабым кремовым оттенком. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 51,5%, в оранжевом 45%, в красном 43,5%). Анизотропен. Двухотражение в воздухе слабое, в масле отчетливое; параллельно спайности кремово-белый, перпендикулярно — темно-кремовый. Твердость 2—3; полируется хорошо. Видна спайность по (100) и (010). Электропроводность слабая.

Травление: HNO₃ — быстро тускнеет и иризирует, но результаты травления легко стираются; HCl — медленно тускнеет и бурет, от паров налет; KCN — не действует; FeCl₃ — медленно тускнеет; ирирует, налет легко стирается; HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакция по методу отпечатка

на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 2 мин	1) Тиомочевина 10%-ная 2) CsCl 10%-ный + + KJ 5%-ный	Желтое Красное

Форма выделений. Редко кристаллы; обычно в виде мелкозернистого агрегата.

Парагенезис. Встречается в гидротермальных или контактово-метасоматических месторождениях в ассоциации с сульфовисмутитами серебра и свинца, самородным серебром, висмутином, галенитом, сфалеритом и др.

ЛИННЕИТ Co₃S₂

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 46,5%, в оранжевом 44%, в красном 46%). Изотропен. Твердость 5—5,5; полируется лучше кобальтина. Микротвердость 525—542 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

251

Травление: HNO_3 — медленно бурет, иногда вскипает; от паров тускнеет; HCl , KCN , FeCl_3 и KOH — не действуют; HgCl_2 — бурет, призирует и выявляет структуру.

Микрохимия: Co (стр. 89); S (стр. 94).

Реакция по методу отпечатка на Co

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) ZnNO_3 1%-ный + рутно-родановая соль	Синее
2) HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	2) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Оранжевое
3) Уксусная кислота	3) α -нитрозо- β -нафтол 20%-ный	Кирпично-красное

Примечание. В присутствии железосодержащих минералов реакция на Co маскируется роданистым железом. Нужно промывать в течение 2 мин.

Форма выделений. Агрегаты изометричных октаэдрической формы зерен. Иногда в виде мелкой вкрапленности присутствует в халькопирите.

Парагенезис. Ассоциируется с минералами кобальта и никеля, а также с халькопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, сидеритом, кварцем и др.

ЛОРАНДИТ $\text{Ti}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серо-белый с синеватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 29,5%, в оранжевом 23%, в красном 20%). Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Иногда наблюдается спайность по (100). Микротвердость 40—57 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — не действует или слегка темнеет, от паров тускнеет; KCN — иногда слабо бурет; HCl , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — мгновенно образуется оранжевый налет (в косом свете) и выявляется структура.

Микрохимия: S (стр. 94); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка на Ti

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 3 мин	1) AuCl_3 5%-ное 2) PtCl_2 10%-ная	Темно-коричневое Оранжевое

Форма выделений в шлифах. Агрегаты мелких табличатых и призматических кристаллов или в виде колломорфных образований. По обнаруживающейся в нескольких направлениях спайности образуются закономерные выкрашивания.

Парагенезис. Ассоциируется с реальгаром, антимонитом, аурипигментом, марказитом, пиритом, баритом и т. д.

ЛЮЦОНИТ $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$ или $\text{Cu}_3(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_4$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете розовый с желтоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 25%, в оранжевом 23,5%, в красном 26,5%). Двухотражение слабое, но хорошо наблюдается благодаря наличию двойниковых пластинок. Анизотропен. Твердость 3—4; полируется хо-

252

рошо. Микротвердость 257—412 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — очень медленно и слабо бурет, иногда не действует; KCN — медленно тускнеет и выявляет структуру; HCl и FeCl_3 — не действуют; HgCl_2 — иногда слегка тускнеет; KOH — не действует. Структура выявляется $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); As (стр. 91).

Реакция по методу отпечатка на Si

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 2) Рубеановая кислота 10%-ная	Розово-коричневое Серо-зеленое

Формы выделений в шлифах. В виде вкрапленников в борните или агрегатов мелкозернистых аллотриоморфных зерен. Характерна тонкая пластинчатая двойникованность некоторых зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с энаргитом, в который иногда переходит, фаматинитом, борнитом, халькопиритом, пиритом, тетраэдритом, теннантитом, баритом и кварцем.

МАГГЕМИТ Fe_2O_3

Физические свойства. Сингония кубическая. Является полиморфной модификацией гематита. В отраженном свете проявляет промежуточные оптические свойства между гематитом и магнетитом. Серо-белый с голубоватым оттенком до серовато-синего. Отражательная способность много ниже, чем у галенита (около 25—26%). Изотропен. Внутренние рефлексы красновато-бурые, гуще, чем у гематита (иногда отсутствуют). Твердость 5. Сильно магнитен (почти так же, как магнетит). Микротвердость $H=357-387 \text{ кг/мм}^2$. Оптимальная нагрузка $P=50 \text{ Г}$.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют. **Парагенезис.** Образуется за счет окисления магнетита и лепидокрокита.

Примечание. В проходящем свете минерал от желтовато-бурого до коричневого. Оптически положительн. $N_e=2,52-2,74$.

МАГНЕТИТ Fe_3O_4

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете светло-серый; от сфалерита отличается буроватым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 21%, в оранжевом 21%, в красном 21%). Изотропен. Твердость 5—6,5; полируется плохо. Хороший проводник электричества. Магнитен. Микротвердость 535—695 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — не действует; HCl — иногда бурет и выявляет структуру; необходимо длительное травление (более 1 мин); FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88).

Реакция по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 2 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 2) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 3) KCNS 20%-ный	Синее Синее Коричнево-красное

Примечание. При применении в качестве проявителя $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ открываются двухвалентное железо; $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ и KCNS — трехвалентное железо.

253

Форма выделений. Октаэдрические или кубические кристаллы и их агрегаты.

Парагенезис. Магматический, обычно ассоциируется с ильменитом, образуя с ним пластинчатые и решетчатые структуры распада смеси. Часто интенсивно замещается гематитом с образованием петельчатых, сетчатых и решетчатых текстур замещения. Ассоциируется также с минералами скарнов.

МАЛАХИТ $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ или $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серый с розоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (8—6%). Анизотропен. (Мешают внутренние рефлексы минералов). Внутренние рефлексы — зеленые. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Микротвердость 124—156 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 , HCl — интенсивно вскипает, выявляет структуру, поверхность становится шероховатой; KCN — слабо выявляет структуру; FeCl_3 — медленно вскипает и покрывается пленкой желтой в ко-сом свете); HgCl_2 — не действует; KOH — при травлении 15—20 сек на поверхности образуется голубой осадок.

Микрохимия: Cu (стр. 90).

Реакции по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
H_2SO_4 (1:20) в течение 2 мин	1) Рубеиновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Серо-зеленое
	2) $\text{K}_4\text{Fe(CN)}_6$ 5%-ный	Розово-коричневое

Форма выделений. В виде коллоидных образований, часто с радиальнолучистым строением.

Парагенезис. Ассоциируется с лимонитом, азуритом и другими минералами зоны окисления.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: $N_p=1,655$, $N_m=1,875$; $N_g=1,909$.

МАНГАНИТ MnO(OH) или $\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn(OH)}_2$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серый с буроватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита: для направления (100) — в зеленом 16,5%, в оранжевом 12%, в красном 12%; для направления (001) — в зеленом 19%, в оранжевом 16%, в красном 15,5%. Двуотражение ясное. Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы кроваво-красные (лучше с иммерсией). Твердость 4; полируется плохо. Иногда хорошо выражена спайность по (010) и (110). Электричество не проводит. Микротвердость 367—459 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют. Структура выявляется HF , SnCl_2 и HCl (конц.).

Микрохимия: Mn (стр. 89).

Реакции по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) или HCl (конц.) в течение 2—3 мин	$\text{K}_3\text{Fe(CN)}_6$ 5%-ный	Оранжево-бурое

Примечание. Мешают Co и Fe: однако при обработке пятна 20%-ным раствором KOH Fe и Co обесцвечиваются.

254

Форма выделений. Агрегаты листоватых и игольчатых кристаллов. Нередки колеччатые двойники. Иногда агрегаты с коллоидным строением.

Парагенезис. В парагенезисе с кальцитом и баритом встречается в некоторых гидротермальных месторождениях марганца. В больших скоплениях с другими рудами марганца обнаружен в осадочных марганцевых месторождениях. В процессе выветривания разрушается и переходит в пиролюзит.

Примечание. В проходящем свете показатели преломления: $N_g=2,53$; $N_m=2,24$; $N_p=2,24$; $N_g-N_p=0,29$.

МАРКАЗИТ FeS_2

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете желтовато-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 52%, в оранжевом 45,5%, в красном 44,5%). Двуотражение в воздухе слабое, в масле отчетливое — буроватого и зеленоватого тонов. Анизотропен; особенно отчетливо эффект поляризации наблюдается в масле. Некоторые сферолиты дают неподвижный крест; коллоидные разности иногда изотропны. Твердость 6—6,5; некоторые коллоидные разности чертятся стальной иглой (мельниковит); полируется несколько лучше пирита. Слабый проводник электричества. Микротвердость 824—1119 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100—200 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, иногда слабо бурет и вскипает; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура хорошо выявляется раствором $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$, $\text{HCl} + \text{эл. ток}$.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	$\text{K}_4\text{Fe(CN)}_6$ 5%-ный	Синее

Форма выделений. Агрегаты с коллоидной структурой, значительно реже ромбические кристаллы, образующие радиальнолучистые сростки и звездчатые пятерники.

Парагенезис. Ассоциируется с пиритом вюрцитом, сфалеритом, галенитом и другими сульфидами. Часто замещает пирротин и пирит, образуя петельчатые и решетчатые текстуры.

Распространен в осадочных породах, главным образом в угленосных и песчано-глинистых отложениях, преимущественно в виде конкреций, псевдоморфоз, а также сажистых масс. В послемагматических месторождениях (вторичный) марказит образуется за счет пирротина в низах зон окисления, при этом в виде коллоидных и тонкозернистых струйчатых агрегатов. Первичный послемагматический марказит выделяется в последнюю стадию процесса рудообразования; обычно встречается в пустотах в виде наростных кристаллов, иногда налетов на кристаллах кварца, кальцита, галенита, сфалерита и т. д. Для послемагматического марказита характерны копьевидные, радиальнолучистые и коллоидные выделения, с тенденцией при перекристаллизации образовывать короткостолбчатые кристаллы.

МАУХЕРИТ Ni_3As_2

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете белый с розоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 60%, в оранжевом 55%, в красном 51%).

255

Анизотропен. Твердость 5—5,5; полируется хорошо. Уд. вес. 8,0 Микро- твердость 685—724 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100—200 Г.
Травление: HNO_3 — вскипает, быстро чернеет и выявляет струк- туру; HCl , KCN и KOH — не действуют; HgCl_2 , FeCl_3 — не действуют, иногда медленно бурет.

Структура выявляется: $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$; $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$ и HNO_3 (1:1).

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в те- чение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный 2) Рубеановая кисло- та + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Розово-фиолетовое

Форма выделений. Обычно в виде аллотриоморфных зерен и длин- новолокнистых агрегатов, совместно с никелином и брейтгауптитом; иногда в виде субпараллельных и радиальнолучистых агрегатов, со- стоящих из тонко сдвойникованных зерен.

Парагенезис. Как правило, встречается в ассоциации с никелином, брейтгауптитом, сафлоритом, шмальтином, а также с самородным серебром, аргентитом, пираргиритом и пруститом в виде почек с кол- ломорфным строением в аргентито-арсенидо- и сульфидо-никелевой и кобальтовой карбонатной формации. В шлифах наблюдались явления замещения никелина маухеритом, и наоборот, маухерита никелином. При выветривании за счет маухерита, очевидно, возникает аннабергит — $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

МЕДЬ САМОРОДНАЯ Cu

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете розовая. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеле- ном 61%, в оранжевом 83%, в красном 89%). Изотропна. Твердость 2,5—3; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микро- твердость 111—143 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает, тускнеет, чернеет; после снятия кап- ли остается шероховатая поверхность; HCl — не действует, иногда сла- бо бурет; KCN — медленно бурет; FeCl_3 — быстро темнеет; HgCl_2 — быстро чернеет; KOH — иризирует и бурет.

Структура выявляется: $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$; $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$.

Микрохимия: Cu (стр. 90).

Реакции по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
NH_4OH 10%-ный в те- чение 2 мин	1) Прямой отпечаток 2) Рубеановая кислота	Голубое Серо-зеленое

Формы выделений. Агрегаты аллотриоморфных зерен; часто зерна в виде скелетных форм. Травлением выявляются полисинтетические двойники (по 111).

Парагенезис. В гипогенных образованиях ассоциируется с цеоли- тами, пренитом, хлоритом; в зоне окисления — с гипсом, халькозином, борнитом, купритом, малахитом, азурином, гидроокислами железа и др.

МЕЛАНТЕРИТ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность очень низкая (3—4%). Ани- зотропен. Внутренние рефлексы бесцветны. Твердость 2,0. Уд. вес 1,8—1,9.

Травление: интенсивно травится со вскипанием всеми стандарт- ными реактивами. В воде растворяется.

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Вода	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее

Парагенезис. Кристаллизуется из пересыщенных сульфатных вод в условиях недостатка кислорода. Обычно наблюдается ниже зоны окисления, среди богатых пиритом руд с гипсом и другими сульфатами. В больших количествах встречается в зоне окисления, развивающейся в условиях вечной мерзлоты.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положи- тельный $2V=06^\circ$, $Ng=1,486$, $Nm=1,478$, $Np=1,471$, $Ng-Np=0,015$.

МЕЛОНИТ NiTe_2

Физические свойства. Сингония гексагональная (?). В отраженном свете розовато-кремовый. По окраске близок к самородному висмуту. Отражательная способность выше, чем у галенита (в желтом 68%). Анизотропен. Твердость 1—1,5. Уд. вес. 7,7. Микротвердость H : мелонит I — 141—220 кг/мм^2 ; мелонит II — 63—166 кг/мм^2 . Оптимальная на- грузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — быстро вскипает и чернеет; FeCl_3 — темнеет и бурет; HCl не действует, иногда бурет; KCN , KOH и HgCl_2 — не действуют.

Микрохимия: Ni (стр. 91); Te (стр. 96).

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) или HNO_3 (1:20) в течение 2 мин HCl (1:1) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный 2) Рубеановая кисло- та + NH_4OH 10%-ный	Малиновое Розово-фиолетовое

на Te		
HCl (1:1) в течение 2 мин	CsCl 10%-ный + KJ 5%-ный	Черное

Форма выделений. Пластинчатые выделения.

Парагенезис. Ассоциируется с пегтитом, гесситом, пиритом, галени- том в кварцевых жилах.

МЕНЕГИНИТ $4\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый; по сравнению с галенитом — с голубоватым оттенком. Отража- тельная способность почти равна галениту (в зеленом 40,5%, в oran- жевом 38%, в красном 33,5%). Сильно анизотропен. Двоуграженне

слабо заметно на границах зерен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 127—166 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃ — вскипает и чернеет, образуется белый осадок (смотреть в косом свете); HCl — не действует, от паров образуется налет; HCN, FeCl₃, HgCl₂ — не действуют, KOH — не действует, иногда медленно иризирует.

Структура выявляется травлением концентрированной HCl.
Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Реакции по методу отпечатка
на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:20) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Форма выделений. Агрегаты тонкостолбчатых, игольчатых или волокнистых зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с сурьмяными сульфосолями свинца, халькопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, кварцем и кальцитом.

МЕТАЦИННАБАРИТ HgS

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (24%). Изотропен. Внутренних рефлексов нет; порошок черный (в отличие от киновари, имеющей красные внутренние рефлексы и красный порошок). Твердость низкая (около 3); полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 74—86 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO₃ и HCl — не действуют, иногда слабо тускнеет; KCN, FeCl₃, HgCl₂ — не действуют; KOH — не действует, иногда слабо тускнеет.

Микрохимия: Hg (стр. 93); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка
на Hg

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 2 мин	Co(NO ₃) ₂ 1%-ный + KCNS 20%-ный	Голубое

Форма выделений. Изометричные зерна и массивные агрегаты.

Парагенезис. Образует тесные сростания с киноварью. Ассоциируется с киноварью, вурцитом, стибнитом, марказитом, самородной ртутью, реальгаром, кальцитом, баритом и халцедоном. В рудах киноварной и антимонито-киноварной формации в кварцитах и глинистых сланцах; а также с реальгаром и аурипигментом в реальгаро-аурипигментовой формации в глинистых сланцах.

МИАРГИРИТ Ag₂S · Sb₂S₃

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете белый с голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 33%, в оранжевом 29%, в красном 28%). Двухотражение выражено ясно, особенно в масле. Анизотропен. Внутренние рефлексы густо-красные. Твердость 2,5; полируется хорошо; хрупок. Микротвердость 104—123 кг/мм². Оптимальная нагрузка 20 Г.

258

Травление: HNO₃ и HCl — не действуют, иногда слабо тускнеет; KCN — бурет до коричневого и иногда выявляет структуру; FeCl₃ — не действует; HgCl₂ — медленно бурет; KOH — иризирует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Форма выделений в шлифах. В виде изометричных, таблитчатых и короткопризматических кристаллов, образующих мелкозернистые, агрегаты, а также изолированные выделения. Очень характерна спайность в двух направлениях.

Парагенезис. В ассоциации с галенитом, сфалеритом, арсенипиритом, пираргиритом, стефанитом, фрейбергитом, полибазитом, дискразитом, штернбергитом, кварцем, кальцитом и другими встречается в рудах серебро-свинцово-цинковых и аргентито-арсенидо- и сульфидно-никелевой и кобальтовой карбонатных формаций.

МИЛЛЕРИТ NiS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете светло-желтый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 53%, в оранжевом 54%, в красном 54%). Двухотражение даже в масле выражено очень слабо. Ясно анизотропен, особенно отчетливо в масле — от голубовато-серого до желто-бурого цвета. Твердость 3—3,5; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 225—376 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃ — не действует; иногда вскипает и становится бурым, от паров образуется налет; HCl, KCN и FeCl₃ — не действуют; HgCl₂ — бурет; KOH — не действует.

Структурное травление — HNO₃ (конц.) или парами брома.
Микрохимия: Ni (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка
на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	1) Диметилаглиоксим + NH ₄ OH 10%-ный 2) Рубиновая кислота + NH ₄ OH 10%-ный	Малиновое Розово-фиолетовое

Форма выделений. Агрегаты радиальнолучистых и игольчатых кристаллов. Часто наблюдается в виде пластинок в линненте как результат распада смеси.

Парагенезис. Гипогенный миллерит встречается в рудах сперрилит-халькопирито-пентландито-пирротиновой формации в габбро-норитах, где отвечает последним гидротермальным стадиям процесса, ассоциируясь особенно тесно с пентландитом и халькопиритом. В рудах формации урановой смоляной руды он наблюдается с сульфидами кобальта, никеля и висмута, реже в месторождениях аргентито-арсениды и сульфиды никеля и кобальта — карбонатной формации. Присутствует в сидерите, гематите, анкерите, обычно выполняя пустоты своими радиальнолучистыми сростками, часто ассоциируясь с карбонатами (кальцит, доломит), реже с флюоритом.

МОЛИБДЕНИТ MoS₂

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белый (в плохой полировке — серый). Отражательная способность ниже, чем у галенита (для O — в зеленом 36%, в оранжевом 31,5%, в красном 30,5%; для E — в зеленом 15,5%, в оранжевом 18%, в крас-

259

ном 15%). Двухотражение яркое. Очень сильно анизотропен. Твердость 1—1,5; полируется плохо; спайность хорошо выражена по (0001). Плохой проводник электричества (в отличие от графита); при нагревании электропроводность увеличивается. Микротвердость 4—10 $кг/мм^2$ по (10 10) и 33—74 $кг/мм^2$ — по (0001). Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют. **Микрохимия:** Mo (стр. 90); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Mo

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Перед растворением поверхность минерала обрабатывают $KMnO_4 + KOH$ до появления сплошной пленки, затем промывают водой. После этого в качестве растворителя применяют HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	1) $K_4Fe(CN)_6$ 2) Ксантогенат калия	Коричневое Малиновое

Примечание. Ксантогенат калия готовят непосредственно перед проявлением.

Форма выделений. Таблитчатые, чешуйчатые, листовые агрегаты; характерны деформированные кристаллы с полисинтетическими двойниками. Иногда наблюдаются сферолитовые образования; молибденит встречается в виде скрытокристаллических агрегатов типа «стеклянная голова».

Парагенезис. Ассоциируется с кварцем, касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом, висмутином, пиритом, сульфидами меди, галенитом, сфалеритом, бериллом, турмалином, минералами скарнов и т. д. Встречается в пегматитовых жилах, постмагматических образованиях, генетически связанных с интрузиями кислых изверженных пород, иногда образуя вкрапленность в гранитах. В контактовых условиях ассоциируется с шеелитом, магнетитом, пирротинном, кварцем и т. д. Наиболее типичны и ценны с промышленной точки зрения месторождения молибденито-кварцевой формации, залегающие в интрузивах гранитного и гранодиоритового состава; молибденитовой и молибденито-халькопирито-кварцевой формации, среди вторичных кварцитов и молибденито-шеелитовой формации в скарнах в контакте с материнскими интрузивами.

МОНГЕЙМИТ $(Fe, Zn)CO_3$

Физические свойства. Сингония тригональная. Встречается в тонкозернистых агрегатах. Похож на смитсонит, но в отличие от него редко образует натечные формы. В отраженном свете темно-серый, темнее, чем церуссит. Отражательная способность много меньше, чем у сфалерита (около 5—8%). Слабо анизотропен. Двухотражение очень слабое, в масле несколько увеличивается. Внутренние рефлексы бурые, желтые. Твердость 4,0.

Травление: HNO_3 и HCl (конц.) выявляет структуру, сильно травится.

Микрохимия: см. смитсонит (стр. 278).

Форма выделения в шлифах. Радиальнолучистые и колломорфные образования.

Парагенезис. Ассоциируется со смитсонитом и другими минералами зоны окисления, как правило в корнях окисленной зоны.

260

МОРЕНОЗИТ $NiSO_4 \cdot 7H_2O$

Физические свойства. Ромбическая сингония. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность меньше, чем у сфалерита (4%). Слабо анизотропный. Внутренние рефлексы зеленые и бесцветные. Твердость 2—2,5. Уд. вес 2.

Травление: легко травится HNO_3 и HCl .

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Вода с несколькими каплями NH_4OH	Рубиновая кислота	Фиолетовое

Форма выделения. Встречается в виде сплошных землистых масс в зоне окисления никелевых месторождений.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный. $2V=41^\circ$. $Ng=1,500—1,492$; $Nm=1,493—1,489$; $Np=1,470—1,467$; $Ng-Np=0,025$.

МЫШЬЯК САМОРОДНЫЙ As

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 61,5%, в оранжевом 50%, в красном 50%); при погружении в кедровое масло уменьшается. Анизотропен. Двухотражение слабое; в масле видно отчетливее; от белых (в одном положении) до желтоватых и голубоватых (в другом). Твердость 3,5; полируется хорошо, но полированная поверхность тускнеет в течение 24 ч. Если в As содержится изоморфная примесь Sb, потускнения может не быть или оно происходит медленнее. Микротвердость 93—137 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, буреет и чернеет; HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — быстро чернеет; $HgCl_2$ — не изменяется, иногда слабо буреет; KOH — не действует.

Структура выявляется при действии $KMnO_4 + H_2SO_4$ (в течение 2 мин); $K_4Fe(CN)_6$ — в течение 10—20 сек и световое травление — в течение 2—3 дней.

Микрохимия: As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка на As

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (конц.) с небольшим количеством $(NH_4)_2MoO_4$	Прямой отпечаток	Желтое

Форма выделений. Самородный мышьяк всегда вторичного происхождения; встречается в виде агрегата аллотриоморфных зерен; наблюдаются пластинчатые двойники по (0112); часто агрегаты с концентрически скорлуповатым строением.

Парагенезис. Гипогенный самородный мышьяк описан в рудах формации урановой смоляной руды, с сульфидами никеля, кобальта и висмута. Обычно ассоциируется с серебряными и кобальтовыми минералами, с сурьмяным блеском, реальгаром и аурипигментом.

261

НАГИГИТ $Pb_3Au(Te, Sb)_2S_{8-9}$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность несколько больше, чем у галенита (в оранжевом 35%, в зеленом 43%, в красном 34%). Анизотропен. Твердость 1—1,5, полируется хорошо; спайность хорошо выражена по {010}. Слабый проводник электричества. Микротвердость: нагигит 1—73—129 $кГ/мм^2$. И—56—86 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 $Г$.

Травление: HNO_3 — медленно темнеет; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Au (стр. 88); Te (стр. 96); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений. Листоватые и аллотриоморфные мелкозернистые агрегаты; реже — в виде таблитчатых и короткопризматических кристалликов. На сечении, параллельном (010), часто наблюдаются мозаичные двойники.

Парагенезис. Встречается в ассоциации с самородным золотом, электромом, алтаном, сальванитом и другими теллуридами, сульфидами и сульфосолями. Одним из продуктов выветривания нагигита является вторичное самородное золото.

НАУМАНИТ $(Pb, Ag)_2Se$

Физические свойства. Сингония ромбическая, при температурах выше 133° кристаллизуется в кубической сингонии. В отраженном свете зеленовато-синевато-белый, очень похож на агвиларит и аргентит. Отражательная способность меньше, чем у галенита (в зеленом 36%, в оранжевом 34%, в красном 30%). Науманит ромбической модификации анизотропен с очень слабым цветным эффектом. Двухотражение очень слабое, в иммерсии сопровождается слабым цветным эффектом (от зеленовато- до синевато-коричневого цвета). Твердость 2,5; полируется очень хорошо. Микротвердость 31—37 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 $Г$.

Травление: HNO_3 — интенсивно вскипает и темнеет; HCl — образует светло-коричневый налет; $FeCl_3$ — темный налет; $HgCl_2$ — травится, темнеет; KCN — не изменяется, иногда бурет; KOH — не действует.

Форма выделений в шлифах. Обычно мелкозернистые выделения. Характерны тонкие пластинчатые полисинтетические двойники, иногда графическое прорастание с клаусталитом.

Парагенезис. Очень редок. Встречается в ассоциации с другими редкими селенидами, сульфидами, кварцем и карбонатами.

НИКЕЛИН $NiAs$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете желтовато-розовый. Отражательная способность выше, чем у галенита (для O — в зеленом 48,9%, в оранжевом 57,1%, в красном 58,5%). Двухотражение яркое. Сильно анизотропен. Твердость 5,5; стальной иглой обычно чертится; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Уд. вес 7,6—7,8. Микротвердость 412—489 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 $Г$.

Травление: HNO_3 — вскипает, темнеет, от паров образуется налет; HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — бурет; $HgCl_2$ — становится коричневым; KOH — не действует.

Структура выявляется H_2O_2 (25%-ной) и $KMnO_4 + H_2SO_4$.

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	на Ni		Результат реакции (окрашивание)
	Проявитель		
HNO_3 (1:20) в течение 1 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный		Малиновое
	2) Рубеновая кислота + NH_4OH 10%-ный		Розово-фиолетовое

Форма выделений. Аллотриоморфные выделения; реже — в виде радиальнолучистых образований. Часто зерна с зональным строением.

Парагенезис. Наиболее часто встречается с хлоантитом, сафлоритом, раммельсбергитом, маухеритом, брейтгауптитом, шмальтином, самородным висмутом, самородным серебром, пруститом и пираргиритом в послемагматических рудах аргентито-арсенида и сульфидов никеля и кобальта — карбонатной формации. Совместно с пирротинном, маухеритом, пентландитом и халькопиритом распространен в собственно магматических медно-никелевых рудах. В процессе выветривания за счет никелина образуется ярко-зеленый минерал аннабергит $Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$.

ОВИХИТ $5PbS \cdot Ag_2S \cdot 3Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 31%). Сильно анизотропен. Твердость 2,5; спайность хорошо выражена, иногда наблюдаются черные треугольники выкрашивания. Микротвердость 29—75 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 $Г$.

Травление: HNO_3 — иризирует; HCl — не действует, от паров тускнеет; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); As (стр. 91); Sb (стр. 95).

Форма выделений. Агрегаты призматических или игольчатых кристаллов. Очень похож на джемсонит.

Парагенезис. Ассоциируется с пираргиритом, сфалеритом, галенитом, тетраэдритом и кварцем.

ОПАЛ SiO_2

Физические свойства. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (5—4%). Изотропен. Внутренние рефлексы бесцветные, белые. Твердость 6—7. Уд. вес 2,16—1,73.

Травление: ничем не травится.

Форма выделений. Образования со скрытокристаллическим и коллоидным строением. В проходящем свете показатель преломления минерала $N=1,409—1,459$.

ОСМИСТЫЙ ИРИДИЙ (СЫСЕРТСКИТ) (Os, Ir)

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белый с легким желтоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 67,5%, в оранжевом 66%, в красном 67%). Двухотражение яркое, особенно в сечениях (001); отчетливее наблюдается в масле. Анизотропен. Твердость 6—7; полируется сравнительно хорошо. Уд. вес 17—22,5. Микротвердость 550—645 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 $Г$.

Травление: реактивы не действуют; при нагревании часть Os улетучивается в виде осмиевой кислоты.

Форма выделений. Характерны пластинчатые выделения шестигральной формы (в шлифах преобладают удлиненные их сечения).

Парагенезис. Ассоциируется с самородной платиной, хромшпиннелидами и титаномагнетитами в ультраосновных породах; реже в габбро-норитах.

ПАЛЛАДИЙ Pd

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый, несколько желтее платины. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 69%, в оранжевом 70%, в красном 71,5%). Изотропен. Твердость 4,5—5; полируется легко и хорошо.

Травление: реактивы не действуют.

Структура выявляется царской водкой и $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ быстрее, чем у платины.

Микрохимия: Pd.

Форма выделений. Одиночные октаэдрические кристаллики и в виде аллотриоморфных зерен, часто в сростании с платиной.

ПАТРОНИТ VS_2 ИЛИ V_2S_5 (П. Рамдор)

Физические свойства. Сингония неизвестна. В отраженном свете серый с синеватым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в желтом 20%). Анизотропен. Твердость 3,5? Микротвердость 401—592 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_2 и HgCl_2 — не действуют; KOH — тускнеет, иризирует.

Микрохимия: V (стр. 86); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Напоминает молибденит и графит, обычно образует плотные мелкозернистые агрегаты и чешуйчатые массы. Таблочки часто изогнуты, иногда обнаруживают спайность.

Парагенезис. Ассоциируется с сульванитом, бравонитом, блеклыми рудами, самородной серой, углистым веществом, кварцем, карбонатами.

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

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете цвет светло-желтый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 51%, в оранжевом 51%, в красном 51%). Изотропен. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Почти всегда наблюдается спайность по [111]. Хороший проводник электричества. Микротвердость 195—223 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует или действует слабо — образуется желтовато-бурая иризирующая пленка, легко стирающаяся; HCl , KCN , FeCl_2 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Ni (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Розово-фиолетовое
на Fe		
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее >
	2) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде аллотриоморфных выделений. Часто встречается как продукт распада смеси пирротин — пентландит с образованием пластинок и пламенивидных выделений, ориентированных вдоль направления (111).

Парагенезис. Встречается в ассоциации с пирротинном, халькопиритом, а также с кубанитом, валлеринитом, пиритом, магнетитом, хромитом, минералами платиновой группы и другими в основных и ультраосновных изверженных породах. Замещается макиавитом (валлеринитом) бравонитом и марказитом с образованием петельчатых и сетчатых текстур.

ПЕТИТ $(\text{Ag}, \text{Au})_2\text{Te}$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый с буроватым оттенком. Отражательная способность близка галениту (в желтом 39%). Изотропен. Кубический петцит при повышении температуры переходит в ромбическую модификацию. Последняя анизотропна. Двухотражение заметно с иммерсией — от слабо-коричневого до фиолетово-розового. Твердость 2,5—3; полируется хорошо. Микротвердость 46—54 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — быстро вскипает, иризирует, легко стирается; HCl — не действует, иногда слабо иризирует; KCN — иногда слабо буреет; FeCl_2 — иризирует; HgCl_2 — медленно становится коричневым; KOH — не действует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Au (стр. 88); Te (стр. 96).

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде мелких аллотриоморфных выделений, зернистых агрегатов и отдельных кубических кристаллов. У анизотропных разновидностей наблюдаются характерные пластинчатые двойники.

Парагенезис. Установлен в кварцевых золото-серебряных жилах, в ассоциации с другими теллуридами золота и серебра, а также с пиритом, халькопиритом, сфалеритом и др.

ПИРАРГИРИТ Ag_2SbS_3

Физические свойства. Сингония тригональная. В отраженном свете серо-белый с голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 32,5%, в оранжевом 27%, в красном 24,5%). Двухотражение отчетливое. Анизотропен. Внутренние рефлексы карминово-красные. Твердость 2,5; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 72—109 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют, иногда слабо буреет; KCN — коричневая иризирующая пленка, которая после смывания водой становится оранжево-желтой; FeCl_2 — слабо буреет или не изменяется; HgCl_2 — медленно буреет; KOH — быстро иризирует.

Структура хорошо выявляется в поляризованном свете.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Форма выделений в шлифах. Столбчатые или удлиненные и пластинчатые кристаллы, а также сплошные массы. Зерна часто с зональным строением и двойниками роста, выявляющимися травлением HCl ; чаще встречается в виде неравномернозернистых и аллотриоморфных агрегатов, заполняющих трещины.

Парагенезис. Наблюдается в месторождениях серебряно-свинцово-цинковых руд, руд эпитермального типа совместно с другими сульфосолями серебра; встречается с самородным серебром, галенитом, аргентитом, сульфидом свинца, серебра, меди, сульфидами и арсенидами кобальта и никеля. В зоне окисления пираргирит разлагается, иногда образуя самородное серебро и аргентит, обычно выно-

сится; в ряде случаев обогащает нижние горизонты зоны окисления. В зоне цементации восстанавливается до самородного серебра или аргентита. Замещает сфалерит, мнгаргрит, стефанит, блеклые руды, галенит и пирит с образованием петельчатых, решетчатых и других структур замещения.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет показатели преломления $Nm=3,084$; $Np=2,881$, $Nm-Np=0,203$.

ПИРИТ FeS₂

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете желтовато-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 54%, в оранжевом 53,5%, в красном 52%). Изотропен. Твердость 6—6,5; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость 1144—1374 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 г.

Травление: HNO₃ — не действует, иногда слабо бурет и даже вскипает; HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура выявляется с помощью KMnO₄+KOH.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1 мин	1) K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Синее
	2) K ₄ Fe(CN) ₆ 5%-ный	>
	3) KCNS	Коричнево-красное

Форма выделений в шлифах. Идиоморфные зерна и их агрегаты. В крупных выделениях иногда наблюдаются зональные структуры роста кристаллов (выявляется структурным травлением). Может иметь коллоидную структуру или образует сажистые и скрытокристаллические выделения (мельниковит).

Парагенезис. Наиболее распространенный сульфид. Встречается в самых разнообразных генетических типах месторождений в различных ассоциациях.

ПИРОЛЮЗИТ MnO₂

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый с буроватым или кремоватым оттенком; облик во многом зависит от степени кристалличности агрегата (кристаллические разновидности пиrolюзита серо-белые с желтовато-кремовым оттенком). По сравнению с псиломеланом светлее и желтее, с браунитом и гаусманитом — светлее, с лимонитом — много светлее и отчетливо желтее. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 34%, в оранжевом 32,5%, в красном 27,5%). Кристаллические разновидности сильно анизотропны с цветным (желто-оранжевым) эффектом. Двухотражение зависит от степени кристалличности. Сажистый пиrolюзит не полируется, вследствие чего цвет его темно-серый; скрытокристаллические разновидности анизотропны; двухотражение также не наблюдается. В промежуточных разновидностях перечисленные физические свойства соответственно меняются. Твердость от 1 до 6,5 (в агрегатах); 6—6,5 — в кристаллах; полируется очень плохо; неоднородно. Слабый проводник электричества. Разновидность пиrolюзита с высокой твердостью ранее называлась полионитом. А. Г. Бетехтин, изучающий строение этих разновидностей пиrolюзита, доказал, что обе разновидности являются пиrolюзитом. Микротвердость 161—321 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 г.

266

Микрохимия: Mn (стр. 89).

Реакции по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) Уксуснокислый бензидил 2) HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	Прямой отпечаток	Синее
	K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Оранжевое

Форма выделений в шлифах. Обычно коллоидный, оолитовый, часто с зонально-коллоидными структурами, реже — в виде призматических кристаллов, образующих радиальнолучистые или зернистые сростки; некоторые зерна обладают пластинчатым строением.

Парагенезис. Широко распространен как наиболее устойчивый в зоне окисления окисел; со временем в него переходят все марганцевые минералы, содержащие марганец в низших степенях окисления. Ассоциируется с гаусманитом, манганитом, браунитом, псиломеланом, вернадитом, гидроокислами железа, нередко образует по ним псевдоморфозы. В послемагматических месторождениях образуется очень редко (в условиях явно окисленной среды).

ПИРОМОРФИТ Pb₃(PO₄)₂Cl

Физические свойства. Тригональная сингония. В отраженном свете серый. Отражательная способность меньше, чем у сфалерита, близка к церусситу (8—10%). Анизотропен. Внутренние рефлексы желтоватые, зеленоватые, коричневатые, реже бесцветные. Твердость 3,5. Уд. вес 6,7—7,1. Микротвердость 186—262 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 г.

Травление: хорошо травится HNO₃; остальные реактивы не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93).

Реакции по методу отпечатка на P

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (конц.)	(NH ₄) ₂ MoO ₄	Желтое

Форма выделения. Встречается в виде призматических кристаллов с усеченными вершинами.

Парагенезис. Вторичный минерал, образующийся в зоне окисления сульфидных свинцовых и свинцово-цинковых месторождений, при наличии фосфорной кислоты. Известны псевдоморфозы пиromорфита по церусситу и галениту.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $Np=2,059$, $Ng=2,048$, $Np-Ng=0,011$.

ПИРОТИН Fe_xS^{*n+1}

Физические свойства. Сингония гексагональная или моноклиная. В отраженном свете кремовый. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 37%, в оранжевом 37%, в красном 36%). Анизотропен. Твердость 4; полируется хорошо. Магнитен; моно-

* В 7-м издании Дана «System of Mineralogy», 1944 г. приводится формула ирротина Fe_{1-x}S со значением x от 0 до 0,2.

клинны с разности сильно магнитны. Хороший проводник электричества. Микротвердость 214—343 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, иногда слегка буреет; HCl , KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — не изменяется; иногда призирует.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 2) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее

Примечание. В никельсодержащем пирротине никель можно определить с помощью диметилглиоксима или рубеоновая кислоты (см. пентландит).

Магнитная порошкография: устанавливается степень магнитности и доменная структура.

Форма выделения в шлифах. Аллотриоморфные мелкозернистые агрегаты; часто наблюдаются полисинтетические двойники. Некоторые зерна в результате деформации образуют псевдодвойниковую структуру. Может содержать эмульсионную вкрапленность пентландита; сам пирротин иногда совместно с халькопиритом, а иногда и со стanniном или кубанитом дает эмульсионную вкрапленность в сфалерите.

Парагенезис. Часто встречается в рудах различных генетических типов месторождений. Довольно широко распространен в ниритах, реже в габбро-диабазе, будучи одним из главных минералов сперрилитохалькопирито-пентландито-пирротановой формации в габбро-норитах. В ассоциации с халькопиритом, магнетитом, арсениопиритом, марматитом, иногда касситеритом и шеелитом и другими встречается в рудах скарновой пирротино-халькопиритовой формации. Обычен в рудах некоторых послемагматических месторождений, где ассоциируется со сфалеритом, галенитом, железистыми силикатами, карбонатами и т. д. Очень редкие находки пирротина отмечались в осадочных образованиях в ассоциации с сидеритом, а также в желваках фосфоритов. А. Г. Бетехтин отмечает, что пирротин сравнительно редко является минералом высокотемпературным. Образование его, как и пирита, зависит не столько от температуры, сколько от концентрации ионов серы в растворах: при высокой ее концентрации железо выделяется в виде дисульфида (пирита), при пониженной — в виде пирротина.

В зоне окисления пирротин очень неустойчив и легко переходит в мельниквит и марказит (процесс дисульфидизации), с последующим переходом в пирит, с образованием характерных колломорфных структур. Как указывает И. С. Вольнский, дисульфидизация пирротина может происходить в гниогенных условиях, в результате чего пирротин превращается в марказит, а затем в пирит с образованием мелкозернистых агрегатов с своеобразной грубопластинчатой структурой, выявляющей реликтовую спайность пирротина. Известен вторичный пирротин; он образует псевдоморфозы по пириту.

ПЛАГИОНИТ $5\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклиническая. В отраженном свете кремово-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 33%, в оранжевом 29%, в красном 27,5%). Двухотражение слабое. Анизотропен. Внутренние рефлексы темно-красные (лучше наблюдать с иммерсией). Твердость 2,5; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — вскипает не сразу, иризирует и чернеет; HCl — не изменяется, от паров слабо буреет; KCN — не действует; FeCl_3 —

буреет или не изменяется; HgCl_2 — не действует; KOH — быстро темнеет, краснеет и призирует.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Форма выделения. Толстостолбчатые одиночные кристаллы и агрегаты призматических и игольчатых кристаллов.

Парагенезис. Ассоциируется с другими сульфосолями свинца, а также с касситеритом, франкентом и пиритом.

ПЛАТИНА САМОРОДНАЯ Pt

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белая, похожа на палладий. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 70%, в оранжевом 73%, в красном 70%). Изотропна. Твердость 4,0—4,5; полируется очень хорошо. Уд. вес 14—19, иногда магнитна (железистая пластина). Микротвердость 114—146 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , FeCl_3 , HgCl_2 , KOH и KCN — не действуют. Структура выявляется царской водкой и $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$.

Форма выделения в шлифах. Изометричные и неправильной формы выделения. Травлением выявляются двойники и зональное строение. Часто в качестве тонких включений наблюдается иридий.

Парагенезис. Находится в парагенезисе с хромспиннелидами и титаномагнетитами в дунитах, перидотитах и пироксенитах, реже в габброноритах и парагенезисе с пирротиниом, пентландитом, халькопиритом и т. д.

ПЛЮМБОЯРОЗИТ $\text{PbFe}_2(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$

Физические свойства. Тригональная сингония. В отраженном свете серый, темно-серый. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (около 8%). Анизотропен. Внутренние рефлексы желтые или коричнево-желтые. Твердость 3,4—4,5. Уд. вес 3,63—3,67.

Травление: хорошо травится HCl , HNO_3 .

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:40)	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее
на Pb		
HNO_3 (1:40)	KJ 5%-ный	Желтое

Примечание. Иногда выделяется йод и маскирует реакцию; необходимо промывать 5%-ным гипосульфитом.

Форма выделения. Тонкопластинчатые землистые массы.

Парагенезис. Встречается в зоне окисления с минералами сульфидных полиметаллических месторождений. С гидротермитом и гематитом образует тесные сростания с колломорфной структурой.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $N_p = 1,872$ — $1,878$; $N_g = 1,783$ — $1,786$; $N_p - N_g = 0,01$ — $0,009$.

ПЛОМБИЗИТ $8\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклиническая. В отраженном свете серо-белый с зеленоватым оттенком. Отражательная способность меньше, чем у галенита (в зеленом 29,5%, в оранжевом 25,5%, в красном 25,5%). Двухотражение очень слабое. Анизотропен (в масле более

счетливо). Внутренние рефлексы темно-красные, наблюдаются не всегда; в масле выявляются хорошо. Твердость 2—3; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 108—114 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют, от паров тускнеет; KCN — бурет, чернеет и выявляет структуру; $FeCl_3$ — не изменяется, иногда тускнеет, кризирует или бурет; $NgCl_2$ — бурет; KOH — не изменяется, иногда тускнеет и кризирует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Аллотриоморфнозернистые агрегаты или листоватые, таблитчатые и призматические выделения. Наблюдаются двойники по (110), выделяемые травлением KCN .

Парагенезис. Встречается в серебряных жилах вместе с другими сульфосолями серебра, сульфосолями свинца, агрегатом и т. д.; в рудах аргентито-арсенидов и сульфидов никеля кобальто-карбонатной формации.

ПОЛИДИМИТ Ni_3S_4

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете розовато-желтый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 45%, в оранжевом 44,5%, в красном 49%). Изотропен. Твердость 5,5; полируется хорошо. Микротвердость 362—449 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — слабо вскипает, бурет, кризирует и выявляет структуру; HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Структура выявляется концентрированной HNO_3 и H_2O_2 .

Микрохимия: Ni (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое

Примечание. В качестве растворителя можно применить NH_4OH 10%-ный и проявить диметилглиоксимом или рубеановой кислотой.

Форма выделений в шлифах. Наблюдается в виде аллотриоморфных выделений. Замещает миллерит и пентландит; реже встречается в виде октаэдрических кристаллов.

Парагенезис. Ассоциируется с линнеитом, миллеритом, виоларитом, халькопиритом, пирротином, герсдорфитом, пиритом, ульманитом, сидеритом и кварцем в рудах медно-никелевой формации в габбро.

ПРУСТИТ $3Ag_2S \cdot As_2S_3$

Физические свойства. Сингония гексагональная (тригональная). В отраженном свете голубовато-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 28%, в оранжевом 21,5%, в красном 20,5%). Двухотражение ясное (в направлении O — кроваво-красный, в направлении E — кошенильно-красный). Анизотропен. Внутренние рефлексы от красных до кирпично-красных. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 109—135 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 — не действует; KCN — бурет до черного выяв-

ляет структуру; $FeCl_3$ — темнеет, иногда чернеет; $NgCl_2$ — бурет, кризирует; KOH — не изменяется, иногда бурет.

Структура выявляется HJ .

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); As (стр. 91).

Форма выделений в шлифах. Агрегаты идиоморфных изометричных зерен. Отдельные зерна с зональным строением; часто наблюдается пластинчато-двойниковое строение зерен.

Парагенезис. Встречается реже, чем пираргирит, с которым, как правило, ассоциируется в различных серебряных месторождениях, особенно часто в рудах свинцово-цинково-серебряных месторождений, а также с арсенидами никеля и кобальта.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицателен, для Li -света $Nm=3,088$, $Np=2,792$, $Nm-Np=0,296$. Плеохроизм ст кроваво-красного до кошенильно-красного.

ПСИЛОМЕЛАН $n Mn_2O_3 \cdot m MnO_2 \cdot t H_2O$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. По сравнению со сфалеритом кажется светлее и белее, с галенитом — темнее и более серым, с пиролюзитом — имеет голубоватый оттенок. Отражательная способность меньше, чем у галенита (30—20%) и в основном зависит от кристалличности минерала; с иммерсией отражательная способность резко снижается. Кристаллические разности сильно анизотропны, аморфные (вад) изотропны. Внутренние рефлексы очень редки (с иммерсией). Твердость 5—6; полируется хорошо. Уд. вес 4,4—4,7. Слабый проводник электричества. Микротвердость 503—627 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — не действует или слабо бурет; HCl — быстро темнеет; $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH и KCN — не действуют.

Микрохимия: см. пиролюзин (стр. 266).

Форма выделений в шлифах. Обычно коллоидные, землистые или сажистые образования. Характерны либо постепенные переходы сажистого вада в плотный твердый псиломелан, либо резкие переходы между ними с образованием ячеистых структур (вад заполняет ячейки губчатого псиломелина).

Парагенезис. Псиломелан — вторичный минерал; образуется в поверхностных условиях за счет пиролюзита, гаусманита, браунита как продукт выветривания марганцевых карбонатов и силикатов, а также самостоятельным путем при коагуляции гидроокислов марганца. Наиболее часто встречается в зонах окисления месторождений марганцевых руд и в месторождениях осадочного генезиса (обычно в виде прослоев, часто имеет оолитовое строение). Характерной особенностью псиломелана является то, что он часто изоморфно замещается кобальтом, никелем, свинцом, железом, цинком, барием, магнием и др. Псиломелан, содержащий кобальт и никель (19—32%), называют азболоном, медь (до 20%) — лампадитом; свинец (до 70%) — цезаролитом (квенселитом), цинк (до 18—23%) — халькофанитом, барий (до 16—17%) — романешатом, K_2O (3—5%) — криптомеланом.

РАММЕЛЬСБЕРГИТ $NiAs_2$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый или кремово-белый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 58%, в оранжевом 52%, в красном 51,5%). Двухотражение слабое. Слабо анизотропен. Разности, богатые Co , ясно анизотропны. Твердость 5,5—6; полируется средне. Уд. вес 7,0—7,3. Микротвердость 556—629 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — легко травится и выявляет зональное строение; HCl и KCN — не действуют; FeCl_3 — выявляет структуру; HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура выявляется концентрированной HNO_3 в течение 2—3 сек (в отдельных случаях до 15 сек).

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка
на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое

Форма выделений. Сплошные массы, редко в виде идиоморфных кристаллов, напоминающих арсениопирит; преобладают игольчатые формы кристаллов. Часто наблюдаются полисинтетические двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с хлоантинном, никелином и шмальтином, иногда — с брейтгауптитом, кобальтином, минералами серебра и висмута. Часто образуется по хлоантину и никелину, метасоматически их замещающая. Реже ассоциируется с уранинитом.

РАТИТ $3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (34%). Анизотропен. Двухотражение отчетливо. Внутренние рефлексы темно-красные. Твердость 3—3,5; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и чернеет; HCl , KCN и FeCl_3 — не действуют; KOH — становится коричневым.

Микрохимия: Pb (стр. 93); As (стр. 91); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Призматические кристаллы с характерным двойниковым строением (пластинки разной толщины). Спайность развита в одном направлении.

Парагенезис. Ассоциируется с ливейнгитом, баумгауеритом, сартонитом, гутчинсонитом и другими редкими сульфидами. Иногда замещается вдоль спайности баумгауеритом и другими сульфидами мышьяка.

РЕАЛЬГАР AsS

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете светлый серо-белый. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 20,5%, оранжевом 26,5%, красном 26,5%). Двухотражение резкое. Анизотропен; определению анизотропии мешают внутренние рефлексы. Внутренние рефлексы оранжево-красные. Твердость 1,5—2; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 50—57 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 — не действуют; KOH — чернеет; капля реактива тоже чернеет.

Микрохимия: As (стр. 91); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка
на As

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
4 ч. NH_4OH 25%-ный + 1 ч. H_2O_2	AgNO_3 5%-ное	Шоколадно-коричневое

272

Форма выделений в шлифах. Агрегаты пластинчатых и призматических вытянутых кристаллов; землистые массы.

Парагенезис. Реальгар (как первичный, так и вторичный) обычно встречается вместе с аурипигментом и другими мышьяковыми минералами, с антимонитом, киноварью, марказитом и свинцовыми, серебряными и золотыми рудами низкотемпературных месторождений. В некоторых месторождениях реальгаро-аурипигментовой формации с ним ассоциируются редкие минералы таллия — вранит, лорандит, гутчинсонит.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный: $N_g=2,61$; $N_m=2,59$; $N_p=2,46$; $N_g-N_p=0,15$; $2V=40^\circ$. Обладает резким плеохроизмом: по N_p — от оранжево-красного до бесцветного, по N_m и N_g — от красного до желтого.

РЕЦБАНИТ $3\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония неизвестна. В отраженном свете белый. Отражательная способность близка галениту (в желтом 43%). Сильно анизотропен. Двухотражение ясное. Твердость 2,5; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 — вскипает и чернеет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Cu (стр. 90); Bi (стр. 86); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Розово-коричневое
	2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Серо-зеленое
на Bi		
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

Форма выделений. Призматические идиоморфные выделения, образующие тонкозернистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с галеновисмутитом, лиллианитом и другими свинцово-висмутовыми минералами, а также с халькопиритом, кварцем, кальцитом и доломитом.

РИККАДИТ Cu_3Te_2

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете пурпуро-розовый; на воздухе тускнеет. Отражательная способность значительно ниже галенита (в желтом 20%). Двухотражение резкое: по O — карминовый; по E — серовато-фиолетовый. Анизотропен. Твердость 3,5; хрупкий; полируется хорошо.

Травление: HNO_3 бурно вскипает и чернеет; HCl — становится палео-синим, затем бурет; KCN — медленно темнеет; FeCl_3 — темнеет до коричневого; HgCl_2 — иризирует до темно-красного; KOH — темнеет, иризирует, чернеет.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Te (стр. 96).

18 С. А. Юшко

273

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1) NH_4OH 10%-ный в течение 2 мин	Рубеановая кислота	Серо-зеленое после обработки HNO_3
2) HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Розово-коричневое
на Te		
HCl (1:1) в течение 1 мин	CsCl 10%-ный + KJ 5%-ный	Черное

Примечание. Обычно выделяется йод, маскирующий реакцию на Te . Его необходимо осветлить. Для этого вокруг капли нужно обвести капилляром, наполненным 5%-ным раствором гипосульфита.

Форма выделений. Мелкозернистые агрегаты аллотриноморфных зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным теллуридом, пеццитом и другими теллуридами, бертьеритом, пиритом, а также с самородной серой.

РОДОХРОЗИТ MnCO_3

Физические свойства. Гексагонально-тригональная сингония. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (4—7%). Анизотропен. Внутренние рефлексы розовато-коричневые, розовые и бесцветные. Твердость 3,5. Уд. вес 3,3—3,6. Микротвердость 238—367 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: вскипает с HNO_3 и HCl ; FeCl_3 — призрающая пленка; пленочная реакция с $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 + \text{HCl}$ (1:20) — образуется розово-коричневая пленка, отличающая его от других карбонатов.

Реакции по методу отпечатка

на Mn		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20)	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Красно-коричневое

Форма выделения. В виде кристаллов с ромбическим сечением и сплошных землистых масс розоватого и буроватого цветов.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет показатель преломления $N_p=1,817$, $N_g=1,597$.

РУТИЛ TiO_2

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в зеленом 20,5%, в оранжевом 18%, в красном 17,5%). Определенно анизотропности мешают внутренние рефлексы. Внутренние рефлексы от светло-желтых до красно-бурых. Твердость 6—6,5; полируется лучше касситерита. Спайность по (110). Электричество не проводит. Микротвердость 1074—1210 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Ti (стр. 96).

Форма выделений в шлифах. Призматические удлиненные зерна и их агрегаты, иногда пучки волосовидных кристаллов. Часто наблюдаются колеччатые двойники.

Парагенезис. Распространен в различных генетических типах руд и вмещающих пород. Ассоциируется с гематитом, магнетитом, ильменитом, ильменорутитом, касситеритом, вольфрамитом, арсенипиритом, кварцем и т. д. Наиболее типичен для метаморфических процессов. В виде мельчайших новообразований встречается в осадочных породах, богатых гидроокислами железа, алюминия и кремния.

Примечание. В проходящем свете минерал прозрачен или полупрозрачен, оптически положительный: $N_g=2,903$, $N_m=2,616$, двупреломление очень высокое, $N_g-N_p=0,287$.

САМСОНИТ $2\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{MnS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серо-белый с голубоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 32,5%, в оранжевом 23,5%, в красном 23%). Слабо анизотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 2,5. Спайность хорошо выражена по кубу; наблюдаются черные треугольные выкрашивания.

Травление: HNO_3 — не действует; KCN — медленно буреет до коричневого; FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — медленно призрает.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Mn (стр. 89); Sb (стр. 95).

Форма выделений в шлифах. Наблюдается в виде призматических кристаллов и радиальнолучистых сростков. Спайность хорошо выражена по кубу. Отмечаются черные треугольные выкрашивания.

Парагенезис. Ассоциируется с пираргиритом, галенитом, дискразитом, тетраэдритом, кварцем и кальцитом.

Примечание. В проходящем свете минерал густо-красный до коричневого. Угол погасания между [110] и [001] от 28° до 30°.

САФФЛОРИТ CoAs_2

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с голубоватым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 58%, в оранжевом 52%, в красном 51,5%). Двухотражение в воздухе слабое, в масле хорошо заметно. Сильно анизотропен. Твердость 4,5—5; полируется хорошо. Уд. вес 7,1—7,4. Микротвердость 430—751 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, на поверхности образуются мельчайшие белые октаэдрические кристаллики; HCl , KCN , HgCl_2 и KOH — не действуют; FeCl_3 — буреет.

Структура выявляется концентрированной HNO_3 в течение 2—3—15 мин — обнаруживаются пластинчатые двойники и зональное строение отдельных зерен.

Микрохимия: Co (стр. 89); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка

на Co		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 2) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 1%-ный + ртутно-родановая соль	Красно-бурое Голубое
Уксусная кислота в течение 1—2 мин	3) α -нитрозо- β -нафта	Кирпично-красное

Примечание. Реакция часто маскируется, если в ассоциации с саффоритом имеются минералы, содержащие железо. Необходимо промывать в воде в течение 2—3 мин.

Форма выделений. Идиоморфные кристаллы, напоминающие арсенирит, и сплошные массы; наблюдается также в виде радиально-лучистых и звездчатых сростков. Свойственны тройники в виде прайвильных звездчатых кристаллов.

Парагенезис. Ассоциируется с раммельсбергитом, шмальтином, никелином и другими кобальтовыми и никелевыми минералами, а также с серебром, висмутом, дельфинитом, кварцем и кальцитом в рудах аргентито-арсенидо- и сульфидо-никелевой и кобальтовой формации.

СЕМСЕНТ $9PbS \cdot 4Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете белый с желтовато-зеленоватым оттенком. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 40, в оранжевом 35%, в красном 31,5%). Двуетражение в масле отчетливо. Сильно анизотропен. Твердость 2,5; полируется очень хорошо. Спайность хорошо выражена в одном направлении. Микротвердость 116—153 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает, иризирует и быстро чернеет; HCl — быстро бурет, от паров бурет; не действуют; KOH — слабо бурет.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Форма выделений в шифах. Призматические зерна и таблитчатые кристаллы с хорошо выраженной в одном направлении спайностью.

Парагенезис. Встречен в свинцово-цинковых рудах. Ассоциируется с бурнонитом, джемсонитом, сфалеритом, галенитом, сидеритом, а также с антимонитом и карбонатами.

СЕРЕБРО САМОРОДНОЕ Ag

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 95,5%, в оранжевом 94%, в красном 93%). Изотропен. Твердость 2,5—3; полируется хорошо, но всегда содержит большое количество царапин и углублений. Хороший проводник электричества. Микротвердость 41—57 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 — слабо вскипает и чернеет, от паров образуется налет; HCl — не изменяется, иногда тускнеет, от паров образуется налет; KCN — не действует; $FeCl_3$ — темнеет и иризирует; $HgCl_2$ — бурет и иризирует; KOH — не действует. Светотравление.

Структура выявляется концентрированной HNO_3 , $CrO_3 + HNO_3$ в течение 1—5 сек. Обнаруживаются пластинчатые двойники и зональное строение.

Микрохимия: Ag (стр. 95).

Форма выделений. Аллотриоморфные зерна, реже в виде дендритовых и скелетных форм. Идиоморфные кристаллы редки.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, пираргиритом, пруститом, аргентитом и другими минералами серебра, с арсенидами никеля и кобальта, с уранинитом, кальцитом, баритом, флюоритом и кварцем.

СИДЕРИТ $FeCO_3$

Физические свойства. Сингония тригональная. В отраженном свете очень темный — темно-серый. Отражательная способность значительно ниже, чем у сфалерита (5—9%). Сильно анизотропен. Двуетражение на воздухе ясное, в масле — очень сильное. Внутренние рефлексы бесцветные, желтоватые, зеленоватые, бурые. Твердость 3,5—4,0. Микротвердость 369—465 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

276

Травление: HNO_3 и HCl — вскипает, бурет и иризирует, выявляя структуру; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KOH — не действуют.

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	на Fe	
	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1)	$K_4Fe(CN)_6$	Синее

Пленочная реакция. При погружении минерала в раствор $K_4Fe(CN)_6 + HCl$ (1:1) и промывании через 1 мин водой поверхность сидерита покрывается сине-голубой пленкой.

Форма выделений в шифах. Аллотриоморфные выделения, иногда ромбические формы. Часто коллоидные образования. Зерна с полисинтетическими двойниками.

Парагенезис. В ассоциации с сульфидами (халькопиритом, пиритом, анкеритом, железистыми хлоритами) встречается в жильных свинцово-цинковых и медных сульфидных рудах. Иногда наблюдаются самостоятельные жилы и линзы сидерита. В осадочных месторождениях сидерит имеет оолитовое строение. В метаморфизованных осадочных месторождениях железа образуется за счет магнетита или железистых хлоритов. Окисляется, переходя в гидроокислы железа; новообразования сидерита на гидроокислах железа чрезвычайно редки.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $N_g = 1,875$; $N_p = 1,633$. С увеличением содержания MgO показатели преломления падают.

СИЛЬВАНИТ (Au, Ag)Te

Физические свойства. Моноклиная сингония. Цвет и черта — стально-серых до серебристо-белых с желтым оттенком. Блеск металлический. В отраженном свете минерал желтовато-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 57%, в оранжевом 48%, в красном 46%). Окраска по сравнению с галенитом светлая — кремовато-белая; с самородным серебром кажется светло-кремовой. Сильно анизотропен; окраска меняется от коричневой до розовато-белой. Двуетражение отчетливое (очень сильное), что отличает его от схожих калаверита и креннерита (слабое двуетражение). Твердость 1,5—2; спайность по (010) совершенная. Уд. вес 7,9—8,3. Хороший проводник электричества. Микротвердость: сильванит I 91—149 $кГ/мм^2$, сильванит II 60—98 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 — быстро чернеет; HCl , KCN , $FeCl_3$ и KOH — не действуют.

Структура хорошо выявляется концентрированной HNO_3 , при этом обнаруживается спайность по (010) и по (001).

Микрохимия: Ag (стр. 95); Au (стр. 88); Te (96).

Форма выделений. Призматические таблитчатые кристаллы, а также в виде дендритов, напоминающих древние письмены («письменная руда»).

Парагенезис. Встречается в низкотемпературных теллуридо-серебряно-золотых рудах в ассоциации с другими теллуридами золота серебра, а также с галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом, блеклыми рудами, антимонитом и аурипигментом, кварцем, родохритом, гипсом, баритом, халцедоном и карбонатами. Отмечался в золоторудных кварцево-турмалиновых жилах с пиритом и другими сульфидами совместно с калаверитом.

4

СКОРОДИТ Fe(AsO₄)·2H₂O

Физические свойства. Ромбическая сингония. В отраженном свете голубовато-серый. Отражательная способность меньше сфалерита (7—8%). Слабо анизотропен. Колломорфные разности изотропны. Внутренние рефлексы бесцветные, желтоватые, зеленоватые. Твердость 3,5—4. Уд. вес 3,1—3,8.

Травление: HNO₃, HCl — хорошо травится.

Микрохимия: реакция на As (стр. 91).

Форма выделения. Встречается в виде колломорфных и землистых агрегатов в зоне окисления месторождений, в составе которых преобладают мышьяксодержащие минералы. Наблюдаются сростания с гидроокислами железа колломорфной метаколлоидной структуры. По арсениду образует каркасные текстуры.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный; $2V=54^{\circ}-70^{\circ}$; $Ng=1,814-1,765$; $Nm=1,796-1,742$; $Np=1,784-1,738$; $Ng-Np=0,030-0,027$.

СКУТТЕРУДИТ CoAs₃

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность больше, чем у галенита (в зеленом 60%, в оранжевом 53,5%, в красном 51%). Изотропен. Твердость 5,5—6. Микротвердость 589—729 кг/см². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃ — не изменяется или травится очень медленно; HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура выявляется концентрированной HNO₃ в течение 5—30 сек.

Микрохимия: Co (стр. 89); S (стр. 94).

Форма выделений. В виде кубических, очень похожих на пирит кристаллов, иногда с зональным строением.

Парагенезис. Часто наблюдается в сростаниях с серебром, висмутом, арсентитом, маухеритом, никелином и особенно с минералами группы саффлорита — раммельсбергита. Встречается в рудах серебра, сульфидов и арсенидов кобальта и никеля карбонатной формации.

СМИТСОНИТ ZnCO₃

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый, темнее церуссита. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 8%, в оранжевом 7%, в красном 7%). Анизотропен. Внутренние рефлексы водянопрозрачные. Двуетражение в слегка буроватых, зеленоватых или синеватых тонах. Твердость 5, стальной иглой чертится с трудом; полируется хорошо. Микротвердость 409—420 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃, HCl — медленно вскипает и выявляет зональную структуру; KCN — выявляет структуру; HgCl₂ — образуется шероховатая поверхность; FeCl₃ — не действует; KOH — не действует.

Микрохимия: Zn (стр. 98).

Реакции по методу отпечатка

на Zn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	Cu(NO ₃) ₂ 1%-ная + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое

Примечание. Разновидность смитсонита, содержащая железо, называется монгеймитом. Реакция на шпик обычно маскируется роданитным железом. Отпечаток необходимо промыть водой в течение 2 мин.

Форма выделений. Агрегаты аллотриоморфных или полигональных зерен или агрегаты с колломорфным строением.

Парагенезис. Встречается в окисленной зоне месторождений, содержащих первичные цинковые минералы. Ассоциируется с гидротермитом, гидроцинкитом, гидротитом и церусситом.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: $Nm=1,849$, $Np=1,621$, $Ng-Np=0,228$.

СПЕРРИЛИТ PtAs₂

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 56,5%, в оранжевом 55%, в красном 52,5%). Изотропен. Твердость 6—7; полируется хорошо. Слабый проводник электричества. Микротвердость 960—1277 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют; от концентрированной HCl иногда медленно желтеет.

Микрохимия: Pt; As (стр. 91).

Форма выделений в шлифах. В виде мелких, 0,5—1 мм и меньше, изометричных кристаллов кубической, октаэдрической или комбинированных форм.

Парагенезис. Ассоциируется с пирротинном, халькопиритом, пентландитом, кубанитом и отчасти магнетитом. В ассоциации с ним встречаются палладистая платина, лаурит, куперит и брэггит.

СТАННИН Cu₂FeSnS₄

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серо-белый, по сравнению с галенитом — зеленовато-серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 23%, в оранжевом 21%, в красном 19%). Анизотропен (лучше наблюдать в масле). Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость 206—307 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃ и HCl — призирует; иногда не изменяется; KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура хорошо выявляется KMnO₄+KOH.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Fe (стр. 88); Sn (стр. 92).

Форма выделений в шлифах. Обычно образует распады с халькопиритом и сфалеритом в двойном или тройном сочетании при различных количественных соотношениях компонентов. Чаще станнин образует эмульсионную вкрапленность или пластинчатые выделения в сфалерите и халькопирите с образованием эмульсионных и решетчатых структур распада. Если станнин образует более крупные, обычно неправильной формы выделения в других минералах или агрегаты мелкозернистой структуры, можно наблюдать тонкую пластинчатую или решетчатую сдвойникованность этих выделений. В массе станнина часто заключены эмульсионные выделения халькопирита, образовавшиеся за счет распада твердого раствора. Эти включения иногда ориентированы параллельно (001) и (100).

Парагенезис. Наиболее широко распространен станнин в оловянных и послемагматических месторождениях. Встречается в после-

* Левин (Levy, 1956) наблюдал в рудах олово-вольфрамового месторождения Ваули (Верхняя Австрия) желтовато-коричневый станнин (Cu₂FeSnS₄), который образовался за счет борнита.

магматических оловосодержащих полиметаллических месторождениях в ассоциации с сульфидами меди, цинка и свинца. Реже станий встречается в высокотемпературных оловянно-вольфрамовых месторождениях в ассоциации с касситеритом, арсенопиритом, пирротином и вольфрамитом. В зоне окисления станий легко разлагается, образуя лимонит и касситерит, из вынесенного частично (коллоидального) олова при последующей коагуляции образуется так называемое «древянистое олово» — колломорфный губчатый, землистый или концентрически зональный касситерит.

СТЕФАНИТ $5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый; в масле темнее и при этом выявляется розоватый оттенок (по сравнению с галенитом). Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 29%, в оранжевом 27,5%, в красном 24,5%). Двухотражение заметно на границах зерен. Сильно анизотропен. Твердость 2—2,5; полируется очень хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 26—47 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — быстро чернеет; $FeCl_3$ — слабо темнеет пятнами; $HgCl_2$ — не действует, KOH — быстро появляется темно-бурый осадок, выявляет структуру.

Микрохимия: Ag (стр. 95); S (стр. 94); Sb (стр. 95).

Форма выделений. Столбчатые наросты кристаллы или агрегаты аллотриоморфных зерен. Часто наблюдаются пластинчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с другими серебряными сульфосолями, аргентитом, самородным серебром, тетраэдритом, галенитом, сфалеритом и т. д. Найден во многих серебряных месторождениях как наиболее поздний минерал.

СТИЛОТИПИТ $3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серовато-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (около 30%). Анизотропен. Красные внутренние рефлексы заметны только с иммерсией. Твердость 3. Уд. вес 4,79.

Травление: HNO_3 — медленно образует побежалость; KOH — медленное побурение; KCN — появляется серый налет; HCl , $FeCl_3$ — не действуют, $HgCl_2$ — неизвестно.

Парагенезис. Исключительно редок. В ряде случаев находки этого минерала оказались смесью тетраэдрита, энаргита, пирита и виттихенита (Шнейдерхен и Рамдор, 1931).

СУЛЬВАНИТ Cu_3VS_4

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете желтовато-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита — в зеленом 28%, в оранжевом 25,5%; в красном 25,5%. Изотропен. Твердость 3,5; полируется хорошо; хрупкий. Спайность по кубу выражена хорошо, на полированной поверхности отчетливо видны треугольники выкрашивания, как у галенита. Микротвердость 157—161 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 , HCl — не действуют, от паров тускнеет; KCN — не действует; иногда слабо тускнеет; $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); V (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) Рубеяная кислота + NH_4OH 10%-ный	Серо-зеленое
	2) $K_4Fe(CN)_6$	Розово-коричневое
на V		
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) Уксуснокислый бензидин	Синее
	2) H_2O_2 10%-ная	Оранжевое или красно-бурое

Примечание. Реакция неустойчива — окраска быстро обесцвечивается.

Форма выделений. Кубические кристаллы, реже массивные агрегаты, напоминающие выделения галенита.

Парагенезис. Ассоциируется с пиритом, гематитом, халькопиритом, галенитом, тетраэдритом, шеселитом, пирротином, висмутином, самородным висмутом и др. Обычно интенсивно замещается окисленными минералами меди и ванадия, которые часто образуют корочки на поверхности минерала, окрашивая его в зеленый цвет. В кварцевых жилах Южного Казахстана сульванит обычно ассоциируется с халькопиритом, пиритом, блеклыми рудами и реже с галенитом. Довольно часто наблюдается также в ванадиеносных глинистых сланцах.

СУРЬМА САМОРОДНАЯ Sb

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белая. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 67,5%, в оранжевом 58%, в красном 55%). Анизотропна (лучше наблюдать в масле). Двухотражение даже в масле слабое. Твердость 3—3,5; полируется очень хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 88—135 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — бурет и иризирует, чернеет; HCl — обычно не действует, от паров тускнеет; KCN — слабо бурет; $FeCl_3$ — бурет и чернеет; $HgCl_2$ — слабо бурет и иризирует; KOH не действует.

Микрохимия: Sb (стр. 95).

Форма выделений. Аллотриоморфные выделения и таблитчатые кристаллы: спайность хорошо выражена (по 0001). В поляризованном свете часто обнаруживаются пластинчатые двойники. В шлифах иногда наблюдаются треугольники выкрашивания, как у галенита.

Парагенезис. Встречается в жильных месторождениях мышьяково-серебряных и сурьмяных руд, обычно ассоциируется с серебряными, сурьмяными и мышьяковыми минералами, а также с пиритом, галенитом, сфалеритом и кварцем. Может встречаться в кварцево-антимонитовых золотосодержащих жилах. При выветривании сурьма переходит в валентинит (Sb_2O_3).

СФАЛЕРИТ (Zn, Fe)S

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете светло-серый с фиолетовым оттенком. Отражательная способность в зеленом 18,5%, в оранжевом 18,5%, в красном 18%. Изотропен. Внутренние рефлексы от бесцветных и желтых до коричневых. Различают сфалериты светлоокрашенные — клейофан и темноокрашенные — марматит. Клейофаны иногда обладают золотисто-желтой люминесценцией в ультрафиолетовом свете. Часто такие клейофаны содержат изоморф-

ные примеси галлия и германия. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 153—270 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не изменяется, иногда тускнеет и слабо бурет; HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура выявляется $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ в течение 15 сек, лучше парами царской водки — в течение 10—20 сек.

Микрохимия: Zn (стр. 98); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Zn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Полированную поверхность минерала травят парами царской водки до появления серой пленки, после этого в качестве растворителя применяют HNO_3 (1:1) + HCl (конц.) в течение 1—2 мин	1) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1%-ная + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое (отпечаток получится в том случае, если Cu и Zn находится в отношении 1:4)
	2) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 20%-ный + ртутно-родановая соль	Голубое

Примечание. В железосодержащем сфалерите реакция маскируется роданистым железом. Отпечаток необходимо промыть водой в течение 1—2 мин.

Форма выделений. Агрегаты аллотриоморфных зерен, которые часто представляют полсинтетические двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с галенитом, пиритом, пирротином, халькопиритом, блеклыми рудами и другими минералами. Халькопирит и пирротин часто наблюдаются в виде эмульсионных выделений в массе сфалерита, и образует с ним твердые растворы, в процессе распада которых образуются эмульсионные и кристаллографические структуры распада твердого раствора.

СФЕРОКОБАЛЬТИТ Co_3O_4

Физические свойства. Тригональная сингония. В отраженном свете серый. Отражательная способность меньше, чем у сфалерита, близка к смитсониту (около 9%). Анизотропен. Радиальнолучистое строение выявляется в поляризованном свете. Внутренние рефлексы розовые, желтовато-розовые. Твердость 3—4. Уд. вес 4,1.

Травление: HNO_3 и HCl — вскипает и чернеет.

Реакции по методу отпечатка на Co

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	1) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 10%-ный + $\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$	Голубая
	2) Рубеановая кислота + NH_4NO_3	Оранжевая

Примечание. В присутствии железа (гидроксидов) голубая окраска маскируется роданистым железом. В течение 1—3 мин необходима отмывка водой.

Форма выделений. В виде почковидных, коллоидных образований с радиальнолучистым и коллоидным строением.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицателен $N_p = 1,855$, $N_g = 1,600$, $N_g - N_p = 0,255$.

ТАНТАЛИТ (Fe, Mn) Ta_2O_6 И КОЛУМБИТ (Fe, Mn) Nb_2O_6

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 15%, в оранжевом 18%, в красном 14%); у танталита отражательная способность меньше, чем у колумбита (около 14%). Анизотропен. Внутренние рефлексы у колумбита желто-коричневые, у танталита — более темно-красные или коричнево-красные; наблюдаются с иммерсией. Танталит не проводит электричество, колумбит проводник электричества. Микротвердость 420—900 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Mn (стр. 89); Nb; Ta.

Форма выделений. Агрегаты идиоморфных короткопризматических или тонкопластинчатых кристаллов. Часто с решетчатыми и пластинчатыми двойниками.

Парагенезис. Обычно наблюдается в пегматитовых жилах; ассоциируется с самарскитом, монашитом, апатитом, касситеритом, вольфрамитом, альбитом, микроклином, бериллом, лепидолитом, мусковитом, турмалином, сподуменом, флюоритом, топазом и фенакитом.

Примечание. Для более точной диагностики минералов необходимо их изучение в проходящем свете. Оба минерала в проходящем свете красные, красновато-желтые и красновато-бурые.

Некоторые разности сильно плеохроируют. С увеличением тантала показатель преломления уменьшается: для танталита $N_m = 2,25$, $N_g = 2,39$; для колумбита $N_m = 2,45$.

Разновидности танталита и колумбита различаются по содержанию марганца и железа. Марганецсодержащий танталит лучше пропускает свет и в проходящем свете имеет более светлую окраску.

ТЕЛЛУР САМОРОДНЫЙ Te

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете белый с кремевым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в оранжевом 63%, в зеленом 62,5%, в красном 55%). Сильно анизотропен. Двухотражение слабое (даже в масле). Твердость 2—2,5; полируется хорошо, но всегда остаются царапины. Хороший проводник электричества. Микротвердость 29—87 $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$. Оптимальная нагрузка 10—20 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает и чернеет; HCl — не изменяется, иногда слегка бурет; KCN и KOH — не действуют; FeCl_3 — не изменяется, иногда слегка бурет.

Структура выявляется $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$, $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ и концентрированной HNO_3 в течение 1 мин.

Микрохимия: Te (стр. 96).

Реакции по методу отпечатка на Te

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 2 мин	CsCl 5%-ный	Черное
	10%-ный + KJ	

Форма выделений. Тонкозернистые агрегаты аллотриоморфных зерен, иногда в виде призматических кристаллов.

Парагенезис. Самородный теллур отмечается в золото-серебряных рудах в ассоциации с теллуридами золота и серебра (пиритом, самородным золотом, халькопиритом, галенитом, а также с алабандином,

кварцем и карбонатами). Встречен в золотосных жилах с кварцем и карбонатами. Наблюдается в золотосных жилах с кварцем, баритом, тетраэдритом. Часто образуется в результате распада теллуристых соединений. В самородном теллуре возможна изоморфная примесь золота.

ТЕННАНИТ $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый, по сравнению с галенитом имеет зеленоватый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 29,5%, в оранжевом 24%, в красном 21,5%); в масле отражательная способность уменьшается. Изотропен. Внутренние рефлексы выявляются редко; они темные — коричневато-красные; в масле наблюдаются чаще; порошок иногда красно-черный, чаще черный. Твердость 3—4,5; хрупкий; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость 308—397 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, от паров тускнеет; HCl — не действует; KCN — не действует; иногда слабо бурет; FeCl_3 и KOH — не действуют.

Структура выявляется: 1) $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$; 2) $4 \text{ см}^3 \text{ HNO}_3 + 9 \text{ см}^3 \text{ HCl} + 5—12 \text{ см}^3 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала травится парами царской водки. В качестве растворителя применяется NH_4OH 10%-ный в течение 2 мин	Рубеановая кислота	Серо-зеленое

Форма выделений. В совместных выделениях с другими сульфидами образуют агрегаты аллотриоморфнозернистой структуры. Реже в виде изометричных кристаллов. Иногда наблюдаются двойники по (111), реже по (100).

Парагенезис. Присутствует в разнообразных по составу рудах гидротермальных месторождений меди. Ассоциируется с халькопиритом, другими блеклыми рудами (тетраэдрит, фрейбергит), сфалеритом, борнитом, галенитом, бурнонитом и т. д. Легко окисляется с образованием ковеллина, малахита, аузита, скородита и гидроокислов железа.

ТЕНОРИТ SnO

Физические свойства. Сингония триклинная. В отраженном свете серый с зеленоватым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита (в желтом 20%); в масле она уменьшается. Двоутражение в масле отчетливое. Анизотропен. Твердость 3,5; полируется хорошо. Уд. вес 6,5. Микротвердость 209—254 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, от паров бурет; HCl — не действует, от паров темнеет и на краях капли появляется голубовато-зеленая кайма; KCN — не действует; FeCl_3 — не действует или слабо бурет; HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 1 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Кирпично-красное Серо-зеленое

Примечание. В присутствии других легко растворимых минералов меди после промывки водой образуется устойчивый отпечаток.

Форма выделений в шлифах. Тонкозернистые агрегаты, радиально-лучистые, колломорфные и листоватые выделения. Очень характерно полисинтетическое двойникование крупных выделений тенорита. В смеси с купритом и халькозинном образует сажистые смеси.

Парагенезис. Довольно распространенный минерал медно-сульфидных месторождений. Ассоциируется с малахитом, купритом, хризоколой, гидроокислами железа и марганца и другими гипергенными минералами.

ТЕТРАДИМИТ $2\text{Bi}_2\text{Te}_3 \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ или $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серо-белый с розовым оттенком. Отражательная способность больше, чем у галенита (в оранжевом 48%, в зеленом 48,5%, в красном 47,5%). Двоутражение слабое даже в масле. Слабо анизотропен. Твердость 1,5—2. Микротвердость 25—76 кГ/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает, иризирует, от паров образуется налет; HCl — бурет или не изменяется; KCN — не действует; FeCl_3 — поверхность становится красновато-серой; HgCl_2 — иногда образуется бурый налет, чаще не изменяется, KOH — не действует.

Микрохимия: Bi (стр. 86); Te (стр. 96); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Bi		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1) в течение 1 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое
на Te		
HCl (1:1) в течение 1 мин	CsCl 10%-ный + KJ 5%-ный	Черное

Примечание. Одновременно открывается висмут (красного цвета), окраска часто маскируется теллуридом.

Форма выделений. Зернистые агрегаты и пластинчатые кристаллы. **Парагенезис.** Тетрадимит из всех теллуридов, по-видимому, наиболее высокотемпературный и наиболее распространенный теллурид. Ассоциируется с минералами скарновой группы (гранат, диопсид и кальцит); в кварцево-турмалиновых жилах с самородным золотом. В контактово-метасоматических месторождениях — в присутствии пирротина, халькопирита, пирита и сфалерита. Иногда встречается в мезотермальных золото-кварцевых жилах в ассоциации с халькопиритом, висмутовым блеском, пиритом и другими сульфидами и теллуридами серебра и золота. Тетрадимит часто содержит включения золота.

ТЕТРАЭДРИТ $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый, по сравнению с галенитом имеет слабый буроватый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 27%, в оранжевом 24%, в красном 20,5%); в масле понижается. Изотропен. Цвет порошка от красно-коричневого до черного. Внутренние рефлексы красные, наблюдаются они очень редко, только с иммерсии. Твердость 3—4; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость 328—367 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, от паров слегка бурет; HCl — не действует; KCN — иногда бурет и выявляются трещины; FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Структура выявляется $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
Поверхность минерала травится парами царской водки. В качестве растворителя применяется NH_4OH в течение 2 мин	Рубеановая кислота	Серо-зеленое

Форма выделений. Агрегаты аллотропоморфных зерен или изометричные кристаллы.

Парагенезис. Ассоциируется с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, пиритом, арсенопиритом и другими минералами месторождений постмагматического генезиса.

ТИЛЛИТ PbSnS_2

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 41%, в оранжевом 38,5%, в красном 36%). Анизотропен. Двухотражение в масле отчетливо. Твердость 1,5; полируется хорошо. Микротвердость 74—119 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 25 Г.

Травление: HNO_3 — слегка бурет, иногда не изменяется; HCl — быстро тускнеет и бурет с выделением H_2S ; KCN , FeCl_3 и KOH — не действуют; HgCl_2 — слабо тускнеет или не действует.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Sn (стр. 92); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Характерны различные формы двойникования, чаще двойники по (001), в отличие от франкента, не дающего двойников; спайность параллельна таблитчатости, отчетливая. Тиллиту (в отличие от франкента) не свойственны изогнутость табличек и деформации скольжения по спайности, параллельной таблитчатости.

Парагенезис. Ассоциируется с франкентом, пиритом, сфалеритом, вюрцитом, касситеритом, станныном и галенитом.

ТИМАННИТ HgSe

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый со слабым синеватым оттенком. По сравнению с халькозитом имеет слабый коричневатый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 30%, в оранжевом 27%, в красном 25%). Изотропен. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 32—39 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — не действуют; KCN — не действует, некоторые участки тускнеют и иризируют; FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Hg (стр. 93); Se (стр. 94).

Парагенезис. Встречается очень редко с другими селенидами и теллуридами. В больших количествах в месторождении Юта США в известняке с баритом, кальцитом и окислами марганца.

ТРОИЛИТ FeS

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете кремовый. Отражательная способность почти равна галениту (в желтом 38%); в масле отражательная способность падает, и более отчетливо выступает окраска минерала. Сильно анизотропен. Твердость 4—4,5. Хороший проводник электричества. Микротвердость 192—277 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — вскипает и выделяет H_2S ; KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — медленно образуется иризирующая пленка.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Fe		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 2 мин	1) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный 2) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее »

Форма выделений. Округлые, каплевидные выделения в метеорном железе или в виде тонких пластинок, параллельных (100), называемых пластинками Рейхенбаха.

Парагенезис. Ассоциируется с минералами метеоритов, главным образом с самородным железом. Иногда встречается в медно-никелевых рудах.

ТУНГСТЕНИТ WS_2

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый с синим оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в желтом 24%). Двухотражение резкое, как у молибденита. Сильно анизотропен. Твердость 2,5, полируется плохо.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN — не действуют; FeCl_3 — не действует, иногда слегка бурет; HgCl_2 — иногда медленно иризирует; KOH — не действует.

Микрохимия: S (стр. 94); W (стр. 87).

Форма выделений в шлифах. Образует тонкозернистые спутанно-волокнистые и войлокоподобные выделения.

Парагенезис. Ассоциируется с пиритом, сфалеритом, галенитом, тетраэдритом, вольфрамитом, аргентитом и кварцем. Замещает шеллит.

ТЮРИНГИТ (ЛЕПТОХЛОРИТ Fe)

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете темно-серый. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (5—3%). Анизотропен. Внутренние рефлексы от бесцветных до красных. Твердость 2,0—2,5. Уд. вес 3.

Травление: HNO_3 и HCl — травится.

Реакции по методу отпечатка
на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1)	K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Синее

Форма выделений в шлифах. Чешуйчатые агрегаты и мелкозернистые аллотриоморфные выделения.

Парагенезис. Обычно в ассоциации с магнетитом, сидеритом, кальцитом, в метаморфизованных осадочных месторождениях железа. Иногда образуется в процессе гидротермального изменения богатых железом горных пород.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный, $2V$ мал.; $Nt=1,65-1,68$; $Ng-Np=0,005-0,01$. Сильно плеохроичен: от бесцветного до темно-зеленого.

УЛЬМАНИТ NiSbS

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с очень слабым кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 49%, в оранжевом 42%, в красном 42%). Изотропен, иногда анизотропен, с тонкопластинчатой структурой. Твердость 5-5,5; полируется хорошо; хорошо выражена спайность по кубу. Иногда наблюдаются треугольники выкрашивания. Электропроводность хорошая. Микротвердость 498-542 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃ — медленно бурет; HCl, KCN и HgCl₂ — не действуют; FeCl₃ — слегка бурет, обычно не действует; KOH — не действует.

Структура выявляется царской водкой и концентрированной HNO₃ в течение 2 мин.

Микрохимия: Ni (стр. 91); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1 мин	1) Диметилглиоксим + NH ₄ OH 10%-ный	Малиновое

Примечание. В присутствии минералов, содержащих железо, на отпечатке появляются бурые участки.

HNO ₃ (1:1) в течение 1 мин	2) Рубеновая кислота + NH ₄ OH 10%-ный	Сине-фиолетовое
--	---	-----------------

Форма выделений. Изометричные кристаллы кубической формы; часто — кристаллы с зональным строением.

Парагенезис. Ассоциируется с никелином, герсдорфитом, халькопиритом, галенитом и другими сульфидами и карбонатами.

УМАНГИТ Cu₃Se₂

Физические свойства. Сингония ромбическая. Свежеотполированный, в отраженном свете розовый, темнее борнита. Отражательная способность почти такая же, как у сфалерита (по O — в зеленом 17%, в оранжевом 14%, в красном 16%; по E — в зеленом 19%, в оранжевом 14%, в красном 14%). Двухотражение ясное, как у ковеллина (по O — темно-фиолетово-красный; по E — сине-серый). Сильно анизотропен. Твердость 3; полируется хорошо. Слегка магнитен. Микротвердость 77-108 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10-20 Г.

288

Травление: HNO₃ — синее, от паров тускнеет; HCl — синее; KCN — тускнеет, синее; бурет пятнами и выявляет зернистую структуру; FeCl₃ — синее; HgCl₂ — тускнеет и синее; KOH — иногда бурет. **Микрохимия:** Cu (стр. 90); Se (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка
на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1 мин	1) K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный 2) Рубеновая кислота + NH ₄ OH 10%-ный	Синее Серо-зеленое

на Se		
HNO ₃ (1:1) в течение 1 мин	Тиомочевина 10%-ная	Красное

Форма выделений в шлифах. Плотные тонкозернистые агрегаты; наблюдаются пластинчатые двойники в двух направлениях.

Парагенезис. Ассоциируется с клаусталитом, тиманнитом, берцалинитом, гуанохуатитом, халькопиритом, кобальтином, пиритом и кальцитом.

УРАНИНИТ UO₂

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серый с коричневым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 15%, в оранжевом 12,5%, в красном 12,5% — для смоляной руды Яхимова; в зеленом 15%, в оранжевом 14%, в красном 19% — для кристаллов ториевого уранинита из Норвегии). Изотропен. Внутренние рефлексы темно-коричневые (редко); порошок от зеленовато-коричневого до черного. Твердость 5,5; полируется хорошо; хрупкий. Электропроводность слабая. Сильно радиоактивен. Микротвердость 782-839 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃ — неравномерно окрашивается в коричневый цвет; HCl и KCN — не действуют; FeCl₃ — медленно становится коричнево-серым; HgCl₂ и KOH — не действуют.

Микрохимия: U (стр. 97).

Реакции по методу отпечатка
на U

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1-2 мин	K ₃ Fe(CN) ₆	Шоколадно-коричневое

Примечание. В присутствии железосодержащих минералов одновременно проявляется железо (в виде синих участков); в медьсодержащих минералах — медь (в виде розово-коричневых участков). Последние в отличие от уранинита при обработке отпечатка 5%-ным KOH окрашиваются в синий цвет. Участки, соответствующие урансодержащему минералу, окрашиваются в желтый цвет.

Реакция по методу отпечатка для минералов урана, в состав которых входят Sn, Fe, Mo и другие химические элементы, дающие с K₃(CN)₆ цветные реакции

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1)	KJ 5%-ный + 5%-ный гидросульфид (до полного исчезновения бурой окраски вода) + K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Коричневое

Отпечатки, получаемые с помощью радиографического анализа в урансодержащих минералах.

19 С. А. Юшко

289

Реакция проводится на мало чувствительной фотопластинке или фотобумаге. В темном помещении к эмульсионному слою фотобумаги прижимают шлиф полированной поверхностью и выдерживают в течение 1,5—3 суток. После проявления обычными фотопроявителями на фотобумаге или фотопластинке проявляют черные участки, соответствующие площадям распространения в шлифе ураносодержащих минералов.

Примечания 1. Лучшие результаты радиографического анализа руд, содержащих уран, получаются, если применять пришлифовки руд, так как шероховатые поверхности имеют большую активную поверхность.

2. При получении радиографических отпечатков может возникнуть ложный эффект по следующим причинам: а) сильный нажим на эмульсию способствует восстановлению серебра, поэтому после проявления на отпечатке появляются черные штрихи; б) серебро эмульсии может восстанавливаться также в результате воздействия естественных и искусственных смол (канифоль и др.), которые применяются при проварке шлифов. В этом случае после проявления могут также проявиться расплывчатые отпечатки черного цвета. Для всех указанных случаев проверкой являются отпечатки с $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ным.

Форма выделений. Иногда наблюдается в виде кристаллов кубического габитуса; обычно в виде натечных и сплошных масс с колломорфным строением (настуран).

Парагенезис. 1. В гранитных и сиенитовых пегматитах колломорфная руда ассоциируется с цирконом, турмалином, монацитом, слюдой, полевым шпатом и другими. 2. В высокотемпературных гидротермальных жилах уранинит ассоциирует с касситеритом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, галенитом и кобальтовыми, никелевыми, висмутowymi и мышьяковыми минералами. 3. В мезотермальных кобальто-никелево-висмута-серебряных и мышьяковых жилах ассоциируется с пиритом, халькопиритом, галенитом, карбонатами, баритом, флюоритом, самородным висмутом, самородным серебром и другими минералами серебра, шмальтином, хлоантитом и никелином, молибденитом, марказитом и др.

ФАМАТИНИТ $3Cu_2S \cdot Sb_2S_5$ или Cu_3SbS_4

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете розовый с фиолетовым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 25—26%, в оранжевом 23,5%, в красном 25%). Двухотражение в масле отчетливое. Сильно анизотропен. Твердость 3,5—4; полируется хорошо, иногда наблюдается призматическая спайность. Электропроводность слабая. Микротвердость 315—329 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно буреет, ирризирует, от паров тускнеет; HCl — не действует; KCN — темнеет, буреет, иногда не изменяется; $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	1) $K_4Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) Рубиновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Синее Серо-зеленое

290

Форма выделений в шлифах. Мелкозернистые агрегаты аллотриомфных зерен; вкрапленность в борните, обладает двойниковым строением; призматическая спайность наблюдается очень редко.

Парагенезис. Встречается вместе с энаргитом, с которым часто образует прорастания; ассоциируется с борнитом, халькопиритом, тетраэдритом, тенантитом, баритом и кварцем.

ФЕРБЕРИТ $FeWO_4$

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (17%). Анизотропен. Внутренние рефлексы отсутствуют (в отличие от вольфрамиты); порошок черный. Твердость 5—5,5, но стальной иглой чертится; полируется хорошо. Электричество не проводит. Слегка магнитен. Микротвердость 322—412 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); W (стр. 87).

Форма выделений. Призматические кристаллы, образующие радиальнолучистые сростки.

Парагенезис. Ассоциируется с касситеритом, молибденитом, висмутином, арсенопиритом, пирротинном, турмалином, литневой слюдой, бериллом, топазом, плавиковым шпатом, апатитом, шеелитом, халькопиритом и др.

ФОСГЕНИТ $Pb_2CO_3Cl_2$

Физические свойства. Кристаллы имеют призматический, иногда таблитчатый облик. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (около 11%). Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы бесцветные. Твердость 2,5—3,0.

Травление: HNO_3 — интенсивно травится, буреет; HCl — быстро буреет, иногда чернеет; $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — тускнеет, иногда слегка буреет.

Форма выделений в шлифах. Хорошо образованные кристаллы или сплошные пористые и порошковатые массы.

Парагенезис. Обычно встречается совместно с церусситом и другими минералами зоны окисления.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный, $Ng=2,145$, $Nm=2,118$, $Ng-Np=0,027$.

ФРАНКЕИТ $5PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 2SnS_2$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 37,5%, в оранжевом 32,5%, в красном 31%). Двухотражение в масле отчетливое. Слабо анизотропен. Твердость 2,5—3; полируется плохо. Микротвердость 23—52 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — буреет и ирризирует, от паров тускнеет; HCl — от паров слегка тускнеет; KCN , $FeCl_3$ и $HgCl_2$ — не действуют; KOH — обычно не действует, очень редко слегка травится.

Микрохимия: Sb (стр. 95); Pb (стр. 93); Sn (стр. 92); S (стр. 94).

Форма выделений. Агрегат толстотаблитчатых и таблитчатых кристаллов, последние обычно сильно деформированы с подвижками вдоль пластинчатой спайности; двойники, в отличие от тиллита, отсутствуют.

Парагенезис. Встречается в серебряно-оловянных жилах в ассоциации с сульфосолями серебра и свинца, касситеритом, пиритом, марказитом, сфалеритом, арпиродитом, германитом, иногда в ассоциации со сфалеритом и галенитом.

19* 291

ФРАНКЛИНИТ (Fe, Zn, Mn)O · (Fe, Mn)₂O₃

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете светло-серый. Несколько темнее магнетита. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 16,5%, в оранжевом 14,5%, в красном 14%). Изотропен. Внутренние рефлексы буровато-красные, наблюдаются редко; порошок черно-бурый, магнитен. Твердость 5,5—6; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 753—794 кг/мм². Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO₃, HCl, KCN, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют; от паров HCl бурый налет.

Структура иногда выявляется концентрированной HCl.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Zn (стр. 98); Mn (стр. 89).

Реакции по методу отпечатка

на Zn		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 1—2 мин	1) Cu(NO ₃) ₂ +ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое
	2) Co(NO ₃) ₂ +ртутно-родановая соль	Голубое

Примечание. Отпечаток маскируется образующимся в большом количестве роданистым железом. Необходимо промыть водой в течение 2—3 мин.

на Mn		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 1—2 мин	K ₂ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Буро-красное

Примечание. Часто одновременно с марганцем проявляется закисное железо в виде синих участков. Большое количество последнего может маскировать реакцию. При обработке отпечатка KOH 20%-ным синие участки железа обесцвечиваются.

на Fe		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (конц.) в течение 1—2 мин	K ₂ Fe(CN) ₆	Синее

Форма выделений. Идиоморфные изометрические или октаэдрические кристаллы; реже в виде аллотриоморфных выделений.

Парагенезис. Ассоциируется с виллемитом, шинкитом, кальцитом и др.

ФРЕЙБЕРГИТ 3(Cu, Ag)₂S · Sb₂S₃

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 29%, в оранжевом 24%, в красном 21%); в масле она заметно падает. Изотропен. Твердость 3—4; полируется хорошо. Микротвердость 317—375 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO₃ — медленно бурет; HCl — не действует; KCN — бурет, иризирует, иногда не изменяется; FeCl₃ — иризирует; HgCl₂ — не действует.

Микрохимия: Cu (стр. 90); Ag (стр. 95); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений. Аллотриоморфные или изометричные зерна.

Парагенезис. Мелкие включения в галените, с которым образует распады твердого раствора, в борните, полибазите; ассоциируется с теннантитом, тетраэдритом, аргентитом и самородным серебром.

ФРЕЙЕСЛЕБЕНИТ 3PbS · 4Ag₂S · 3Sb₂S₃

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете белый с желтоватым оттенком. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 37,5%, в оранжевом 30,5%, в красном 30%); в масле она падает. Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы красные, наблюдаются редко, в порошке с имерсией. Твердость 2—2,5; полируется хорошо. Электричество не проводит. Микротвердость 85—140 кг/мм². Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO₃ — медленно бурет, иногда не изменяется; HCl — не действует, KCN — иногда тускнеет и выявляет структуру; FeCl₃ — не действует, иногда слабо бурет; KOH — иногда бурет; HgCl₂ — не действует или слабо бурет и выявляет трещины.

Микрохимия: Pb (стр. 93); S (стр. 94); Ag (стр. 95); Sb (стр. 95).

Форма выделений. Агрегаты призматических или неправильных кристаллов. В поляризованном свете выявляются двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с аргентитом, галенитом и сидеритом.

ХАЛЬКАНТИТ CuSO₄ · 5H₂O

Физические свойства. Сингония триклинная. В отраженном свете темно-серый, значительно темнее церуссита. Отражательная способность много ниже, чем у сфалерита (около 6%). Анизотропен. Внутренние рефлексы бесцветные. Твердость 2,5. Уд. вес 2,1—2,3.

Травление: травится всеми стандартными реактивами. Растворяется в воде.

Реакции по методу отпечатка

на Cu		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
H ₂ O	1) K ₂ Fe(CN) ₆	Розовато-коричневое Серо-зеленое
	2) Рубеновая кислота + NH ₄ OH	

Парагенезис. Образуется в зоне окисления медно-сульфидных месторождений в странах с сухим климатом и в условиях вечной мерзлоты. Ассоциируется с мелантеритом и другими минералами зоны окисления.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. 2V=56°, Ng=1,546, Nm=1,539, Np=1,516, Ng—Np=0,03—0,027. Ng=1,538, Nm=1,530, Np=1,511.

ХАЛЬКОЗИН Cu₂S

Физические свойства. Сингония ромбическая, при высоких температурах (выше 105°) переходит в кубическую (кубический халькозин). В случаях, когда халькозин кристаллизуется при температуре ниже 91°, он образует сплошные тонкозернистые массы в виде вкрапленников и псевдоморфов по борниту, халькопириту, галениту, сфалериту, ковеллину, пириту, миллериту и энаргиту. Кристаллы редки, встречаются в виде табличек и коротких столбиков, наблюдаются двойники и тройники. Халькозин — полиморфное образование. Наиболее распространена ромбическая его модификация, устойчивая при нормальных температурах.

В отраженном свете облик халькозина очень непостоянен (цвет, отражательная способность, отношение к поляризованному свету, форма выделений). Цвет халькозина серо-белый с голубоватым оттенком, кроме того, он может быть от ясно-голубого до розового. Голубой (свет-

до-синий) халькозин содержит в твердом растворе молекулу ковеллина; розовый — молекулу борнита, имеются случаи совместного нахождения твердого раствора ковеллина и борнита; присутствие последних (или одного из них) затрудняет переход при понижении температуры кубической модификации халькозина в ромбическую. Отражательная способность ниже, чем у галенита (табл. 23).

Таблица 23

Разновидность халькозина	Отражательная способность, %		
	в зеленом	в оранжевом	в красном
Ромбический	25,5	16	15
Кубический	30	24	23
Розовый	24	18	15
Голубой	29	23	20

Ромбический халькозин анизотропен. Эффект анизотропии в большинстве случаев очень слабый, обнаруживается при неполной скрещенности николей благодаря появлению бледных розовых и голубоватых тонов на различно ориентированных зернах. Розовая разновидность отличается более сильным цветным эффектом анизотропии. Двухотражения практически нет. Кубический халькозин, а также сажистые его разновидности изотропны. Твердость 2,5—3,0; царапается иглой; полируется хорошо. Хороший проводник электричества. Микротвердость 70—98 кг/мм². Оптимальная нагрузка 20 г.

Травление. HNO₃ — вскипает, становится более синим и выявляет спайность; FeCl₃ — синее и выявляет структуру; HCl и KOH — не действуют.

Структура выявляется действием HNO₃ и KCN.

Форма выделений в шлифах. Гипогенный ромбический халькозин, обычно грубозернистый, со сложной двойниковой структурой и ясной пластинчатой спайностью. Гипергенный ромбический халькозин образует пластинчатые кристаллы. Замещает другие сульфиды с образованием петельчатых и сетчатых текстур; разнороднозернистые (по скрыто-кристаллических) агрегаты, в отличие от первичного, содержат значительно больше растворенного в них ковеллина (более голубой), ассоциируются с ковеллином и значительно мягче первичного. Гипогенный кубический халькозин встречается редко, в поляризованном свете характерны решетчато-пластинчатые формы и ясный голубой или розовый цвет.

Парагенезис. Весьма распространен, в природе встречаются первичный и вторичный халькозин, но исключительно при температурах ниже 105°. Первичный халькозин ассоциируется с халькопиритом, галенитом, борнитом, блеклыми рудами, сфалеритом, пиритом. Вторичный халькозин наиболее типичен. Он образуется в зонах вторичного сульфидного обогащения, во всех медносульфидных месторождениях замещает вторичный борнит, первичный халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, а также пирит и ассоциируется с ковеллином и другими вторичными сульфидами. В зоне окисления халькозин неустойчив и переходит в куприт, малахит и азурит.

ХАЛЬКОПИРИТ CuFeS₂

Физические свойства. Сингония тетрагональная и кубическая (талахит)*. В отраженном свете желтый. Отражательная способность

* Кубический халькопирит в полированных шлифах легко окисляется и покрывается пестрой иризирующей пленкой.

выше, чем у галенита (в зеленом 41,5%, в оранжевом 40,5%, в красном 40%). Слабо анизотропен (лучше наблюдать в масле), некоторые разновидности почти изотропны. Твердость 3,5—4; полируется хорошо. Слабый проводник электричества. Уд. вес 4,1—4,3. Микротвердость 184—223 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 г.

Травление: HNO₃ и KCN — не действуют, иногда слабо буреет; HCl, FeCl₃, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Структура выявляется KMnO₄+KOH; лучше — парами царской водки (эта реакция позволяет отличать микровключения халькопирита в породе от пирита).

Микрохимия: Cu (стр. 90); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

Растворитель	на Cu		Результат реакции (окрашивание)
	Проявитель	кислота	
Полированную поверхность минерала обрабатывают парами царской водки до появления сплошной иризирующей пленки. Затем в качестве растворителя применяют NH ₄ OH 10%-ный в течение 1—2 мин	Рубановая	кислота	Серо-зеленое
	1%-ная		
Полированную поверхность минерала обрабатывают парами царской водки, до появления сплошной иризирующей пленки. Затем в качестве растворителя применяют HCl (1:1)	на Fe		Синее
	K ₂ Fe(CN) ₆		

Форма выделений. Аллотриоморфные агрегаты; хорошо образованные кристаллы наблюдаются редко. Двойники по (111) и (001), реже — по (101), обычно полисинтетические. Известны колломорфные образования в виде почковидных и гроздьевидных форм. Пластинчатая двойникованность (выявляемая структурным травлением). В различных структурах распада твердых растворов встречается со сфалеритом, баллеритом, кубанитом, станнином, борнитом и миллеритом. Особенно часто образует эмульсионную вкрапленность в сфалерите.

Парагенезис. Принадлежит к числу очень широко распространенных минералов и встречается в различном парагенезисе. В качестве постоянного компонента присутствует в собственно магматических рудах сперилито-халькопирито-пентландито-пирротиновой формации, в качестве аксессуара известен в изверженных породах, особенно часто встречается в основных. В месторождениях послемагматического генезиса наблюдается очень часто; промышленно интересен в рудах борнито-пирито-халькопиритовой формации в эпидотизированных габбро, халькопирито-турмалино-кварцевой формации в гранитах и гранодиоритах; пирротино-халькопиритовой формации в скарнах; молибденито-халькопирито-кварцевой формации во вторичных кварцитах; халькопирито-колчеданной и сфалерито-халькопирито-колчеданной формации в кварцованных и серицитизированных вулканогенных породах; в медистых песчаниках совместно с борнитом и т. д.

ХЛОАНТИТ $NiAs_2$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 58,5%, в оранжевом 57,5%; в красном 50%). Изотропен. Твердость 5—5,5; полируется лучше пирита. Хороший проводник электричества. Микротвердость 268—402 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает медленно, бурет и выявляет структуру; HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — слабо бурет и выявляет структуру; $HgCl_2$ — иризирует; KOH — не действует.

Структурное травление: H_2O_2 10%-ная, $FeCl_3$ 20%-ный; $KMnO_4 + H_2SO_4$ в течение 5—10 сек.

Микрохимия: Ni (стр. 91); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка на Ni

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	1) Диметилглиоксим + NH_4OH 10%-ный	Малиновое
	2) Рубеяновая кислота + NH_4OH 10%-ный	Сине-фиолетовое

Форма выделений в шлифах. Изометричные зерна, часто зонального строения; значительно реже — агрегаты аллотропных зерен.

Парагенезис. Ассоциируется с никелином и другими арсендами и сульфоарсендами кобальта и никеля (герсдорфитом, раммельсбергом, шмальтеритом и т. д.) в рудах серебра сульфидов и арсенидов кобальта и никеля карбонатной формации.

ХРОМИТ $(Fe, Mg)Cr_2O_4$ или $(Fe, Mg)(Cr, Al)_2O_4$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 15%, в оранжевом 12,5%, в красном 12,5%). Изотропен. Внутренние рефлексы желто-бурые и красные*, в масле наблюдаются отчетливее. Порошок светло-коричневый, иногда почти черный. Твердость 6,5; полируется плохо; немагнитен; иногда метаморфизованные разновидности обладают магнитными свойствами**. Микротвердость 1036—1566 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , $FeCl_3$, $HgCl_2$, KCN и KOH — не действуют. Структура выявляется при кипячении минерала с $KClO_3 + H_2SO_4$ в течение 30—60 мин, при этом выявляется только спайность.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Cr (стр. 97).

Форма выделений. Изометричные зерна и тонкозернистые агрегаты. **Парагенезис.** Ассоциируется с оливином, пироксеном, серпентином, платиной, магнетитом, уваровитом, хромовым хлоритом и др.

ЦЕРУССИТ $PbSO_4$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серый. Отражательная способность меньше сфалерита (в зеленом 12%, в оранжевом 10%, в красном 10%). Двуетражение ясное. Сильно анизотропен. Внутренние рефлексы зеленовато-желтые или бурые (в зависимости от изоморфной примеси железа). Твердость 3,0—3,5. Микротвердость 158—278 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 50 Г.

* А. Г. Бетехтин считает, что внутренние рефлексы наблюдаются только у магнийсодержащих хромитов.

** По С. А. Вахрамееву.

Травление: HNO_3 — вскипает и темнеет; HCl — вскипает и выпадает белый кристаллический осадок $PbCl_2$; KCN — не действует; $FeCl_3$ — выявляет структуру; $HgCl_2$ — слабо выявляет структуру. В отличие от англеизита, при действии 1%-ного CrO_3 в течение 1 мин минерал покрывается ярко-желтым налетом свинцового хромата.

Микрохимия: Pb (стр. 93).

Реакции по методу отпечатка на Pb

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1—2 мин	KJ 5%-ный или K_2CrO_4 20%-ный	Желтое
		Желтое

Примечание. Эта реакция позволяет выявлять церуссит в рудах.

Форма выделений. Слошные массы, состоящие из мелкозернистого агрегата; реже идиоморфные кристаллы, часто также наблюдается в виде жилкок, каемок и образований с колломорфным строением.

Парагенезис. Ассоциируется с гидрогётитом, гётитом, смитсонитом и другими гипергенными минералами свинца и цинка. Образуется часто за счет англеизита; замещает галенит, образуя с последним кольчатые, петельчатые и реликтовые текстуры замещения. В последнем случае выделения церуссита почти не прозрачны.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: $N_p=1,8004$; $N_m=2,0763$; $N_g=2,0780$, $N_g-N_m=0,2740$.

ЦИЛИНДРИТ $6PbS \cdot Sb_2S_3 \cdot 6SnS_2$

Физические свойства. Сингония неизвестна. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 41%, в оранжевом 38,5%, в красном 35%). Двуетражение в воздухе слабое. Анизотропен. Поперечные разрезы при скрещенных николях дают «прямой крест», подобно сферолиту. Твердость 2,5; полируется хорошо. Микротвердость 66—77 $кГ/мм^2$. Оптимальная нагрузка 20 Г.

Травление: HNO_3 — бурет, иризирует, пленка легко стирается; HCl — не действует, от паров налет; KCN — не действует; $FeCl_3$ — бурет и иризирует; $HgCl_2$ — не действует; KOH — бурет, иризирует, после стирания — серый.

Микрохимия: Pb (стр. 93); Sn (стр. 92); S (стр. 94).

Форма выделений. Цилиндрические концентрически скорлуповатые образования. В шлифах цилиндрическая отдельность выявляется, как спайность, концентрическая — в сечениях вкост удлинения; продольная — в сечениях, параллельных удлинению. Характерна тонкопластинчатая (продольная) двойникованность.

Парагенезис. Ассоциируется со станнином, касситеритом, пиритом, сфалеритом, франкентом, пиритом и джемсонитом. При выветривании на месте цилиндрита образуются вторичный касситерит, марказит и церуссит. Изменение происходит постепенно по концентрическим оболочкам.

ЦИНКЕНИТ $PbS \cdot Sb_2S_3$

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серо-белый. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 37,5%, в оранжевом 33%, в красном 31%). Двуетражение в масле отчетливо. Анизотропен. Внутренние рефлексы темно-красные.

Твердость 3—3,5, полируется очень хорошо. Микротвердость 162—207 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 20—50 Г.

Травление: HNO_3 — медленно вскипает и бурет; HCl — слабо бурет; KCN , FeCl_3 и HgCl_2 — не действуют; KOH — выявляет структуру, выпадают звездчатой формы образования (этим он отличается от других сульфосолей свинца, по С. С. Боршанской).

Микрохимия: Pb (стр. 93); Sb (стр. 95); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Волокнистые и лучистые агрегаты. Очень трудно отличим от других сульфосолей свинца.

Парагенезис. Ассоциируется с антимонитом, джемсонитом, буланжеритом, бурнонитом и другими сульфосолями, сфалеритом, галенитом, пиритом, карбонатами и кварцем.

ЦИНКИТ ZnO

Физические свойства. Сингония гексагональная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в зеленом 11%, в оранжевом 10%, в красном 8%). Анизотропен (наблюдать эффект поляризации трудно из-за внутренних рефлексов). Внутренние рефлексы красные, красно-бурые и оранжевые. Твердость 4—4,5; спайность по (1010) и по (1120). Микротвердость 150—318 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — травленая ямчатая поверхность и выявляет структуру; KCN — не действует; FeCl_3 — темнеет и выявляет структуру, при продолжительном травлении образуется желтый налет (наблюдать в косом свете); HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Zn (стр. 98).

Реакции по методу отпечатка на Zn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:40) в течение 1—2 мин	1) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое Голубое
	2) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ + ртутно-родановая соль	

Примечание. Образующееся при реакции роданистое железо маскирует отпечаток. Необходимо промывание водой в течение 2 мин.

Форма выделений. Агрегаты пидноморфных полигональных зерен. **Парагенезис.** Ассоциирует с виллемитом, франклинитом, смитсонитом, кальцитом.

Примечание. Иногда для точной диагностики минерала определяют показатели преломления цинкита в порошке иммерсионным методом: $N_g=0,029$; $N_m=2,013$; $N_g-N_m=0,016$.

ШАМОЗИТ (ЛЕПТОХЛОРИТ Fe)

Физические свойства. Сингония моноклиная. В отраженном свете темно-серый, много темнее, чем сфалерит, похож на тюрингит. Отражательная способность около 5—3%. Заметно анизотропен. Внутренние рефлексы бесцветные. Твердость 3,0. Уд. вес 3,03—3,40.

Травление: HNO_3 и HCl — травится.

Реакции по методу отпечатка на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HCl (1:1)	1) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	Синее >
	2) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%-ный	

Форма выделений в шлифах. В виде концентрически-зональных солитов и землистых масс.

Парагенезис. Ассоциируется с сульфидами железа, сидеритом. Образуется в прибрежных зонах морских бассейнов при недостатке кислорода. При выветривании легко окисляется и образует бурые железняки.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически отрицательный. $2V$ очень мал, $N_g-N_p=0,005$. Слабо плеохроичен. N_p — желтоватый. $N_g=1,632$ —1,660, $N_m=1,627$ —1,654.

ШАПБАХИТ $\text{AgBiS}_2 + \text{PbS}$

Физические свойства. Известны две модификации: α -шапбахит, кубической сингонии (изотропный) и β -шапбахит, ромбической сингонии. Уд. вес: α -шапбахит 6,4, β -шапбахит 6,9. В отраженном свете серовато-белый. Очень похож на галенит, но имеет несколько большую отражательную способность (в оранжевом 45%) и желтоватый оттенок. β -Шапбахит сильно анизотропен. Встречается в виде тонких призматических кристаллов и зернистых агрегатов. Характерна сложная и тонкая пластинчатая сдвойникованность в нескольких направлениях, возникающая, вероятно, в результате перехода минерала из кубической модификации в ромбическую. В скрещенных николях сильно анизотропный, с цветным эффектом в фиолетовом и коричневом тонах. Двухотражение в воздухе ясно заметно, с иммерсией резко усиливается от желтовато-белого до голубовато-серого. Твердость 2—2,5.

Травление: HNO_3 — медленно становится коричневым; HCl — травится частично; KCN — не действует; FeCl_3 — иризирует; HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Pb (стр. 93); Bi (стр. 86); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Bi

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	Тромочевина 10%-ная + CsCl 10%-ный + KJ 5%-ный	Желтое Красное

Форма выделений. Встречается в виде тонких призматических кристаллов и зернистых агрегатов.

Парагенезис. Наблюдается в серебро-висмутовых месторождениях, богатых медью; в ассоциации с самородным серебром, галенитом, халькопиритом, блеклой рудой, арсенопиритом, самородным висмутом, висмутином и др.

ШЕЕЛИТ CaWO_4

Физические свойства. Сингония тетрагональная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (в желтом 10%). Анизотропен (определению эффекта поляризации мешают внутренние рефлексы). Внутренние рефлексы желтоватые, бесцветно-прозрачные. Твердость 4,5—5 (стальной иглой чертится с трудом); иногда хорошо заметна спайность. Сильно люминесцирует (голубым). Микротвердость 392—412 кг/мм^2 . Оптимальная нагрузка 50 Г.

Травление: HNO_3 и HCl — разлагают минерал с выделением желтого порошка (наблюдать в косом свете); KCN , FeCl_3 , HgCl_2 и KOH — не действуют.

Микрохимия. W (стр. 87).

Форма выделений в шлифах. Обычно в виде идиоморфных вкрапленников, агрегатов вкрапленников или почковидных агрегатов. Образуется текстуры пересечения.

Парагенезис. В ассоциации с молибденитом, кварцем, пироксенами, гранитом и другими встречается в контактово-метасоматических месторождениях молибденито-шешлитовой формации в скарнах. Нередко присутствует в вольфрамитовых и золоторудных месторождениях, где ассоциируется с вольфрамитом, касситеритом, самородным золотом и т. д.

Примечание. В проходящем свете минерал оптически положительный. $Ng=1,937$, $Nm=1,920$, $Ng-Nm=0,017$.

ШМАЛЬТИН $CoAs_2$ (ИНОГДА СОДЕРЖИТ Ni)

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете белый с кремовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в зеленом 58,5%, в оранжевом 57,5%, в красном 50%). Изотропен. Твердость 5,5—6; полируется хорошо. Электропроводность слабая. Микротвердость 616—729 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — вскипает, темнеет и выявляет зональную структуру; HCl и KCN — не действуют; $FeCl_3$ — буреет и выявляет структуру, иногда не изменяется; $HgCl_2$ — медленно буреет; KOH — не действует. Структурное травление: HNO_3 , H_2O_2 и $KMnO_4 + KOH$.

Микрохимия: Co (стр. 89); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка

на Co

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:20) в течение 1 мин	1) $K_2Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) $Zn(NO_3)_2$ 1%-ный + рутно-родановая соль	Кирпично-красное Голубое

Примечание. В присутствии железосодержащих минералов, растворимых в HNO_3 (1:20), реакция на цинк маскируется роданистым железом. Необходимо промывать водой в течение 2 мин.

CH_3COOH 10%-ная	α -нитрозо- β -нафтол	Оранжево-красное
--------------------	------------------------------------	------------------

Форма выделений. Идиоморфные кристаллы с зональным строением и зернистые агрегаты.

Парагенезис. Ассоциируется с арсенидами кобальта и никеля, сидеритом и минералами меди; встречается в рудах пятиэлементной формации. В зоне окисления часто замещается гетерогенитом — стеннеритом ($Co_2O_3 \cdot 2H_2O$).

ШТЕРНБЕРГИТ $AgFe_2S_3$

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете кремовый с розовым оттенком. Отражательная способность выше, чем у галенита (в желтом 44—34%). Двухотражение отчетливо. Сильно анизотропен. Твердость 1—1,5; полируется хорошо. Слабо электропроводен. Уд. вес 4,1—4,27. Микротвердость 40—74 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 25 Г.

Травление: HNO_3 — не действует; от паров образуется налет; HCl — не действует, от паров тускнеет; KCN , $HgCl_2$ — не действуют; $FeCl_3$ — иризирует; KOH — частично иризирует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Fe

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1—2 мин	$K_3Fe(CN)_6$	Синее

Форма выделений. В виде призматических или таблитчатых кристаллов, образующих веерообразные сростки.

Парагенезис. Встречается в рудах серебра и формации урановой смоляной руды с сульфидами никеля, кобальта и висмута. Ассоциируется с пираргиритом, стефанитом, аргентитом, кобальтином, пиритом и кальцитом.

ШТРОМЕЙЕРИТ $Cu_2S \cdot Ag_2S$

Физические свойства. Сингония ромбическая, при температуре выше 78° переходит в кубическую. В отраженном свете серо-белый. По сравнению с галенитом кажется сине-серо-белым, другие авторы считают его фиолетово-розовым; с халькозинном — розоватым. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 27,5%, в оранжевом 26,0%, в красном 26%). Сильно анизотропен. Двухотражение слабое даже в масле, со слабым цветным эффектом; параллельно удлинению двойниковых пластинок коричневый, перпендикулярно-синеватый или желто-розовый. Твердость 2,5—3,0; полируется неоднородно. Слабый проводник электричества. Микротвердость 38—44 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 10 Г.

Травление: HNO_3 — слабо тускнеет и в отдельных зернах выявляет спайность; HCl — темнеет; $FeCl_3$ — иризирует и выявляет структуру; $HgCl_2$ — иризирует и выявляет структуру; KCN — буреет; KOH — не действует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Cu (стр. 90); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка

на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) Рубеановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Розово-коричневое Серо-зеленое

Форма выделений в шлифах. Обычно встречается в виде зернистых агрегатов, реже — призматических зерен и в различных формах замещения. Очень характерна листоватая (в форме олеандровых листьев) пластинчатая двойникованность, обнаруживающаяся в поляризованном свете; она образуется в результате перехода штрмейерита из ромбической модификации в кубическую.

Парагенезис. Гипергенный минерал зоны цементации медно-полиметаллических месторождений, где ассоциируется с аргентитом, халькозинном, фрейбергитом, тетраэдритом, халькопиритом, борнитом, галенитом, пиритом, баритом и карбонатами.

ЭВКАИРИТ $Cu_2Se \cdot Ag_2Se$

Физические свойства. Сингония псевдокубическая. В отраженном свете минерал имеет ясный желтый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 39%, в оранжевом 27%, в красном 28%). Сильно анизотропный с ясным цветным эффектом в синих и красных тонах. Двухотражение очень слабое. Твердость 2,5; поли-

руется хорошо. Микротвердость 23—42 кг/мм². Оптимальная нагрузка 5 г.

Травление: HNO₃ — интенсивно травится, бурет; FeCl₃ — тускнеет, слегка бурет; KCN — интенсивно темнеет; HCl, HgCl₂ и KOH — не действуют.

Парагенезис. Встречается совместно с другими селенидами и теллуридами в послемагматических месторождениях.

ЭЛЕКТРУМ (Au, Ag)

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете светло-желтый. Отражательная способность больше, чем у галенита (в желтом 81%). Изотропен. Твердость 2,5—3; полируется хорошо. Проводник электричества. Микротвердость 68—82 кг/мм². Оптимальная нагрузка 10—20 г.

Травление: HNO₃ — от паров слабо тускнеет; иногда слабо вскипает; HCl — не действует; KCN — темнеет с образованием шероховатой поверхности; FeCl₃ — не действует; иногда слегка бурет и иризирует; HgCl₂ — бурет до черного цвета и иризирует; KOH — не действует; AgNO₃ — не действует даже в течение 2—3 мин (в отличие от халькопирита).

Микрохимия: Au (стр. 88). Ag (стр. 95).

Форма выделений. Изометричные или неправильные зерна; образует также аллотриоморфные агрегаты; реже наблюдается в виде жилков и дендритов.

Парагенезис. Ассоциируется с самородным золотом и серебром, пираргиритом, пруститом, самородным висмутом, теллуристыми соединениями золота и серебра, стибнитом, аргентитом, штрёмейеритом, блеклой рудой, киноварью, халцедоном и др.

ЭМПЛЕКТИТ Cu₂S·Bi₂S₃ или CuBiS₂

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете желто-белый. Отражательная способность почти такая же, как у галенита (в зеленом 37,5%, в оранжевом 35%, в красном 35%). В масле отражательная способность падает. Двуотражение в масле отчетливо. Анизотропен. Твердость 2; полируется хорошо. Спайность наблюдается редко по (010), перпендикулярно удлинению. Микротвердость 158—238 кг/мм². Оптимальная нагрузка 20—50 г.

Травление: HNO₃ — медленно вскипает и бурет; иногда не изменяется; KCN, FeCl₃, HgCl₂ — не действуют; KOH — иногда слабо бурет.

Микрохимия: Cu (стр. 90); S (стр. 94); Bi (стр. 86).

Реакции по методу отпечатка

на Си		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:1) в течение 1—2 мин	K ₄ Fe(CN) ₆ + рубеоановая кислота + NH ₄ OH 10%-ный	Серо-зеленое

на Ви		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:20) в течение 1—2 мин	Тиомочевина 10%-ная	Желтое

Форма выделений в шлифах. Идиоморфные удлиненные кристаллы с пластинчатыми двойниками, параллельными удлинению. Спайность наблюдается редко по (010), перпендикулярно удлинению.

Парагенезис. Обычно встречается в месторождениях кобальто-никелево-висмутовых руд. Ассоциируется с висмутовыми блеклыми рудами, халькопиритом, кварцем, сидеритом, флюоритом, а также с вольфрамитом и молибденитом. С виттихенитом образует очень тонкие прорастания, замещающая его.

ЭНАРГИТ Cu₂AsS₄

Физические свойства. Сингония ромбическая. В отраженном свете серо-белый с розовым оттенком (розовый энаргит) или с зеленым (зеленый энаргит). Отражательная способность ниже, чем у галенита (в зеленом 23%, в оранжевом 21,5%, в красном 21,5%). Двуотражение в масле отчетливо. Ясно анизотропен; особенно ярко анизотропность выявляется в масле. Твердость 3. Электропроводность слабая. Микротвердость 212—329 кг/мм². Оптимальная нагрузка 50 г.

Травление: HNO₃ — иногда слабо тускнеет; HCl — не действует; KCN — быстро чернеет и выявляет структуру; FeCl₃ — не действует; HgCl₂ — не действует, иногда слабо бурет; KOH — не действует.

Структура выявляется KCN.

Микрохимия: Cu (стр. 90); As (стр. 91); S (стр. 94).

Форма выделений в шлифах. Агрегаты столбчатых таблитчато-призматических кристаллов, сплошные аллотриоморфнозернистые массы и вкрапленники в других минералах (борните и др.); часто — в тесном прорастании с люционитом и фаматинитом. Очень часто хорошо заметна спайность, иногда структурным травлением выявляется зональное строение выделений, реже наблюдаются пластинчатые двойники.

Парагенезис. Ассоциируется с блеклыми рудами, сфалеритом, галенитом, пиритом, кварцем, баритом и другими в послемагматических месторождениях меди. В зоне окисления легко разрушается, образуя вторичные минералы меди.

ЭРИТРИН Co₃(AsO₄)₂·8H₂O

Физические свойства. Сингония моноклинная. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита (около 7%). Анизотропен (наблюдению анизотропии мешают внутренние рефлексы). Внутренние рефлексы розовые. Твердость 1,5—2,5; полируется хорошо.

Травление: HNO₃ — образуется шероховатая поверхность; KCN, FeCl₃, HgCl₂ — не действуют; KOH — иризирует, но легко спирается.

Микрохимия: Co (стр. 89); As (стр. 91).

Реакции по методу отпечатка

на Со		
Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO ₃ (1:80) в течение 2 мин	1) ZnNO ₃ 1%-ный + ртутно-родановая соль 2) K ₃ Fe(CN) ₆ 5%-ный	Голубое Оранжевое

Форма выделений. Жилки, каемки и неправильные скопления.

Парагенезис. Встречается совместно с аннабергитом в зоне окисления месторождений, руды которых содержат кобальтовые минералы (кобальтин, шмальтун). Известны псевдоморфозы по шмальтуну.

Примечание. В проходящем свете минерал имеет следующие показатели преломления: *N_m* = 1,663; *N_g* = 1,701; *N_g* — *N_p* = 0,072.

ЯКОБИТ $MnO \cdot (Fe, Mn)_2O_3$

Физические свойства. Сингония кубическая. В отраженном свете светло-серый с зеленоватым оттенком. Отражательная способность значительно ниже, чем у галенита, близка к сфалериту (в зеленом 19,5%, в оранжевом 17%, в красном 16%). Изотропен. Внутренние рефлексы коричневые. Твердость 6. Сильно магнитен. Микротвердость 724—745 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 , HCl , KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); Mn (стр. 89).

Реакции по методу отпечатка на Mn

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$	Кирлично-красное

Форма выделений в иллит-халцедонах. Идиоморфные кубические зерна, реже — тонкозернистые агрегаты, часто блока сдвектированных. С гаусманитом и гематитом иногда образует пластинчатые и решетчатые структуры.

Парагенезис. Ассоциируется с оксидами железа и марганца, а также с марганцевыми силикатами в контактово-метасоматических, гидротермальных и метаморфических месторождениях марганца.

ЯЛПАИТ $3Ag_2S \cdot Cu_2S$

Физические свойства. Сингония кубическая (?). В отраженном свете белый, по сравнению с галенитом имеет кремовый оттенок. Отражательная способность ниже, чем у галенита (около 32%); в масле она падает. Изотропен, иногда слабо анизотропен. Внутренние рефлексы красные. Твердость 2,5. Хороший проводник электричества. Микротвердость 23—55 $кг/мм^2$. Оптимальная нагрузка 100 Г.

Травление: HNO_3 — не действует, от паров слабый налет; HCl — не действует, иногда слабо травится с образованием шероховатой поверхности; KCN — слабо тускнеет и бурет, но легко стирается; $FeCl_3$ — тускнеет и иризирует; $HgCl_2$ — тускнеет, бурет и иризирует; KOH — не действует.

Микрохимия: Ag (стр. 95); Cu (стр. 90); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Cu

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	1) $K_3Fe(CN)_6$ 5%-ный 2) Рубановая кислота + NH_4OH 10%-ный	Розово-кирличное Серо-зеленое

Форма выделений. Аллотриноморфные выделения. Некоторые зерна иногда обладают пластинчатым двойниковым строением; наблюдается также в виде тонких прожилков.

Парагенезис. Ассоциируется с аргентитом, штрмейеритом, самородным золотом, серебром и баритом.

ЯРОЗИТ $KFe_3(SO_4)_2 \cdot (OH)_6$

Физические свойства. Сингония тригональная, часто в виде коллоидных почек. В отраженном свете серый. Отражательная способность ниже, чем у сфалерита и церуссита (около 8%). Анизотропен

(анизотропность в мелкозернистых агрегатах выражена неясно). Коллоидные различия изотропны. Внутренние рефлексы от бесцветных до желто-бурых. Твердость 2,5—3,5; полируется хорошо.

Травление: от HNO_3 и HCl образуется шероховатая поверхность; KCN , $FeCl_3$, $HgCl_2$ и KOH — не действуют.

Микрохимия: Fe (стр. 88); S (стр. 94).

Реакции по методу отпечатка на Fe

(во всех разновидностях ярозита)

Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
HNO_3 (1:40) в течение 2 мин	$K_3Fe(CN)_6$	Синее
на Pb (в пломбоярозите)		
HNO_3 (1:40) в течение 2 мин	KJ 5%-ный	Желтое

Форма выделений. Неправильные землистые и волокнистые скопления, часто в виде друз мельчайших кристалликов и желваков.

Парагенезис. Обычно ассоциируется с алунитом, лимонитом, гипсом и другими минералами зоны окисления сульфидных месторождений.

Примечание. Для точной диагностики ярозита необходимо в порошке минерала определить его показатель преломления иммерсионным методом. Имеется несколько разновидностей ярозита: пломбоярозит $PbO \cdot 3Fe_2O_3 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ с показателем преломления $N = 1,783—1,878$, аргентоярозит — $N_o = 1,905$, $N_e = 1,785$, натроярозит — $N_o = 1,832$, $N_e = 1,750$.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Ф. Н. Микроскопическое исследование руд в отраженном свете. Л., НХТИ, 1930.
- Адамс С. Ф. и др. Критерии возрастных соотношений рудообразующих минералов по микроскопическим исследованиям. Сборник статей (перевод). М., Горгео-нефтеиздат, 1934.
- Баталов А. К. К микроскопическому определению рудообразующих минералов Западного Узбекистана. Отд. Всес. минер. об-ва, Изд. АН УзССР, 1953.
- Бетехтин А. Г., Радугина Л. В. Определение рудных минералов под микроскопом. М., Горгео-нефтеиздат, 1933.
- Бетехтин А. Г. О текстурах и структурах руд. «Проблемы советской геологии», 1934, № 9.
- Бетехтин А. Г. Классификация структур и текстур руд. Изв. АН СССР, серия геол., 1937, № 1 и 2.
- Бетехтин А. Г. О структурном травлении полированных шлифов. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 41, серия рудных месторождений, № 5, 1941.
- Бетехтин А. Г. О минерографии. Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 6.
- Бетехтин А. Г. и др. Текстуры и структуры руд. М., Госгеолтехиздат, 1958.
- Боришанская С. С. О применении таблицы диагностических признаков минералов в полированных шлифах. Тр. Минерал. музея АН СССР, вып. 9, 1959.
- Боровский И. Б. и др. Применение метода локального рентгеноспектрального анализа к исследованию минералов платиновой группы. «Геология рудных месторождений», 1959, № 6.
- Бородаев Ю. С. Опыт применения метода сходящегося отраженного света для изучения минералов под микроскопом МИИ-8. В сб. «Экспериментально-методические исследования рудных минералов», М., изд-во «Наука», 1965.
- Вахромеев С. А. Опыт применения структурного анализа к исследованию колчеданных руд. Тр. ГИ УФАИ, вып. 20. Минерал. сб., № 2, 1953.
- Вахромеев С. А. Руководство по минерографии. Иркутское книжное изд-во, 1956.
- Велчев В. Н. Руководство по минерографии. София, 1959.
- Винчелл А. Н. Оптическая минералогия. М., изд-во иностр. лит., 1949.
- Вольнский И. С. и др. Сборник методических работ по микроскопическому исследованию руд в отраженном свете. ГОНТИ, 1936.
- Вольнский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. М., изд-во «Недра», 1966.
- Генкин А. Д., Королев Н. В. К методике определения небольших зерен минералов в руде. «Геология рудных месторождений», 1961, № 5.
- Глазковский В. А., Доливо-Добровольский В. В. Оценка текстурных и структурных особенностей руд при изучении их обогатимости. М., Металлургияиздат, 1946.
- Григорьев Д. П. Борнито-халькопиритовые прорастания как признак условий образования. Зап. Всес. минер. об-ва, вып. 2, 1946.
- Григорьев Д. П. О генезисе патечных или метаколлоидных, коллоидных минеральных агрегатов. Зап. Всес. минер. об-ва, вып. 1, 1953.
- Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Изд. Львовск. ун-та, 1961.
- Григорьев И. Ф. Структура минеральных сростаний в рудах. Зап. Всес. минер. об-ва, ч. 1, 1928.
- Грабовский М. А. и др. О возможности применения магнитного порошка при изучении вещества железных руд. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 7, 1960.
- Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Доменная структура пирротитов различного генезиса. «Геология рудных месторождений», 1964, № 3.
- Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Исследование рудных минералов методом магнитной порошковой фотографии. «Геология рудных месторождений», 1965, № 1, 306.
- Друде П. Оптика. М., Изд-во иностр. лит., 1936.
- Дубинко Т. С., Ветошкин И. Д. Техника изготовления магнитной суспензии. «Геология рудных месторождений», 1965, № 6.
- Исаевко М. П. Определитель главнейших текстур и структур руд. М., изд-во «Недра», 1964.
- Исаевко М. П., Юшко С. А. О книге С. И. Талдыкина. Н. Ф. Гончарик, Г. Н. Енжеевой и Б. Б. Розиной «Атлас структур и текстур руд». Изв. АН СССР, серия геол., 1956, № 9.
- Королев Н. В., Агроскин Л. С. Установка для определения отражательной способности минералов. «Геология рудных месторождений», 1959, № 4.
- Корсунский М. И. Оптика, строение атома, атомное ядро. М., Физматгиз, 1962.
- Кэмерон Ю. Н. Рудная микроскопия (современные методы исследования рудных минералов под микроскопом). Под редакцией Ю. С. Бородаева. М., изд-во «Мир», 1966.
- Ландсберг Г. С. Оптика. ОГИЗ, 1947.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. Изд. АН СССР, 1963.
- Мелешина В. А. Применение метода заряженных порошков для изучения доменных структур. «Кристаллография», т. 5, вып. 2, 1960.
- Поваренных А. С. Твердость минералов. Киев. Изд. АН УССР, 1963.
- Прибытков Н. Н. Новый метод определения оптических постоянных. «Оптика и спектроскопия», № 2, вып. 5, 1957.
- Пономарев М. Н. К вопросу использования иммерсии при диагностике рудных минералов в отраженном свете. Тр. Донецкого Политехн. ин-та, т. 50, 1960.
- Пудовкина И. А. Точные методы определения отражательной способности и твердости рудных минералов. В сб. «Современные методы исследования горных пород и минералов». М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Пудовкина И. А. и др. Прибор для определения микротвердости и коэффициента отражения минералов (ПМТКО-1). Минеральное сырье, вып. 3. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Пудовкина И. А. и др. Количественные методы изучения свойств рудных минералов и их применение. «Минеральное сырье», вып. 12. М., изд-во «Недра», 1966.
- Ракчеев А. Д. Измерение дисперсии отражательной способности рудных минералов. «Геология рудных месторождений», 1960, № 3.
- Ракчеев А. Д. К методике получения эталонных значений отражательной способности рудных минералов. «Геология рудных месторождений», 1964, № 1.
- Радкевич Е. А. О рудах коллоидного происхождения. Изв. АН СССР, серия геол., 1952, № 2.
- Смирнов В. И. Индикаторные типы текстур лимонитов. Тр. МГРИ, № 23, 1948.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1951.
- Талдыкин С. И. и др. Атлас структур и текстур руд. М., Госгеолтехиздат, 1954.
- Фекличев В. Г. Способ измерения оптических постоянных непрозрачных кристаллов по методу Друде на микроучастках в полированных шлифах. «Геология рудных месторождений», 1962, № 4.
- Файтль Ф. Капельный анализ. ГОНТИ, 1937.
- Хрущов М. М., Бержович Е. С. Микротвердость, определяемая методом вдавливания. Изд-во АН СССР, 1943.
- Цукерман Л. И. Руководство по микрофотографии для минералогов и петрографов. ГОНТИ, 1936.
- Шадлуи Т. Н. О коллоидных структурах месторождения Яман-Касы на Южном Урале. Зап. Всес. минер. об-ва, вып. 3—4, 1942.
- Шадлуи Т. Н. Некоторые признаки метаморфизма в колчеданных рудах (месторождение им. III Интернационала). Изв. АН СССР, серия геол., 1947, № 5.
- Шадлуи Т. Н., Розанов Ю. А. Влияние одностороннего давления на структуру колчеданной руды. Изв. АН СССР, серия геол., 1949, № 3.
- Шадлуи Т. Н. Изменение структуры агрегатов и внутреннего строения зерен халькопирита под влиянием динамических воздействий. Минер. сб. Львов. геол. об-ва, 1953, № 7.
- Шадлуи Т. Н. О некоторых метаморфических текстурах и структурах руд. Изв. АН СССР, серия геол., 1954, № 2.
- Шахов Ф. Н. Главнейшие рудообразующие минералы. Зап.-Сиб. геол. управление, 1942.
- Шахов Ф. Н. Текстуры руд. Изд. АН СССР, 1961.
- Элиасберг И. И. Порошки для магнитных лент. Тр. Всес. ин-та звукозаписи, вып. 6, 1955.
- Юшко С. А. Методы изучения руд в отраженном свете (курс минерографии). М., Госгелиздат, 1949.
- Юшко С. А. Применение метода отпечатков в минерографии. Изв. АН СССР, серия геол., № 3, 1939.

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ

В основу определительных таблиц положены различия физических свойств рудных минералов, наблюдаемых под микроскопом в отраженном свете; в частности, такие свойства рудных минералов, как поляризация, отражательная способность, окраска минералов в отраженном свете, характер внутренних рефлексов и твердость.

По характеру явлений поляризации рудные минералы разделены на анизотропные и изотропные. Дальнейшее деление рудных минералов проводится по их отражательной способности. По степени отражательной способности минералов все рудные минералы разделены на три группы: I группа — минералы с отражательной способностью, равной отражательной способности галенита и ниже, чем у него, но выше, чем у сфалерита, и, наконец, к III группе отнесены минералы, отражательная способность которых равна или ниже, чем отражательная способность сфалерита.

Дополнительными эталонными минералами являются пирит, магнетит и церуссит (см. таблицу).

Характеристика отражательной способности эталонных минералов

Название эталонного минерала	Отражательная способность в монохроматическом свете, выраженная в процентах*					
	в зеленом		в оранжевом		в красном	
	в воздухе	в иммерсии	в воздухе	в иммерсии	в воздухе	в иммерсии
Пирит	54	46	53	47	52	46
Галенит	43	28,8	41,6	27,1	40	25,9
Магнетит	21	9	21	8,5	21	9
Сфалерит	18	6,5	12,5	5,5	18	5,5
Церуссит	12	—	10	—	10	—

* Отражательная способность у этих минералов может несколько меняться в зависимости от содержания примесей железа в сфалерите, серебра в галените и т. д.), но это изменение незначительно и не препятствует использованию их как качественных эталонов отражательной способности.

По цвету минералы подразделяются на две группы. Первую группу бесцветных минералов (см. раздел «Цвет минералов») составляют минералы белые и серые с значительными цветными оттенками. Белые минералы только при непосредственном сравнении с галенитом отличаются от него цветными оттенками: буланжерит — белый с зеленоватым оттенком, арсенопирит — белый с розовым оттенком и т. д. Минералы, серые в отраженном свете (что является следствием их низкой отражательной способности), сравниваются, кроме галенита, еще и со сфалеритом. Таким образом, галенит и сфалерит являются эталонами бесцветных минералов, причем первый для минералов с высокой отражательной способностью, а второй — с низкой.

Вторую группу составляют ясно окрашенные минералы, цвет которых легко определяется под микроскопом в отраженном свете: ковеллин — синий, халькопирит — желтый, самородная медь — розовая, пирротин — кремневый и т. д.

По внутренним рефлексам рудные минералы делятся на две группы: обладающие внутренними рефлексами и не обладающие таковыми.

По твердости минералы делятся на три группы. Первую группу составляют минералы, твердость которых меньше 3 (по шкале Мооса); эти минералы чертятся медной иглой. Вторую — минералы, твердость которых от 3 до 5 (по шкале Мооса); эти минералы чертятся стальной иглой. Третью группу составляют минералы с твердостью выше 5; они обладают высоким рельефом и не чертятся стальной иглой. Более детальное подразделение минералов по твердости можно осуществлять, используя данные по их микротвердости (см. табл. 8).

С помощью перечисленных различий рудных минералов под микроскопом в отраженном свете было составлено 36 диагностических групп. Внутри таких диагностических групп минералы в свою очередь сгруппированы по характерным для их состава химическим элементам (минералы свинца, меди, кобальта и т. д.). В таблицах такие минералы отчеркнуты черной жирной чертой. Минералы определенных металлов расположены по степени сложности определения химического элемента. Слева для каждой такой группы приведена химическая реакция на каждый данный химический элемент, проводимая одним из методов фазового микрохимического анализа.

Юшко С. А. Микрохимические реакции, применяемые при изучении рудных минералов под микроскопом. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 19, 1940.

Юшко С. А. Явления двойникования в рудных минералах как результат динамометаморфизма. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, серия рудных месторождений, вып. 41, 1941.

Юшко С. А. Новые методы минералогического исследования окисленных руд. М., Гостеолтехиздат, 1953; 1955.

Юшко С. А. Новая генетическая классификация текстур и структур руд. «Советская геология», 1962, № 2.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., изд-во «Недра», 1966.

Юшко С. А. Минералогия свинцово-цинковых стратиформных месторождений Южного Казахстана. М., Изд-во «Недра», 1968.

Юшко С. А., Борзицкий С. С. Таблица диагностических признаков минералов в шлифах. М., Гостеолтехиздат, 1955.

Юшко С. А., Невзгенко М. П. Методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу минералогии. Изд. ДПИ, 1960.

Юшко С. А. и др. Диагностические свойства рудных минералов. М., изд-во «Недра», 1969.

Bailly R. Emploi de l'infrarouge dans l'étude des minéraux opaques. Bull. de la classe des sciences Acad. royale de Belgique. T. XXIV, N 12, 1938.

Bailly R. Utilisation des radiations infra-rouges dans les recherches mineralogiques et en particulier pour la détermination des minéraux opaques. Bull. Soc. Fr. Min. et Crist., N 70, 1947.

Bastin E. S. Interpretation of ore textures. Geol. Soc. Amer., Mem. Geol., 45, 1930.

Beugnies A. Phénomènes d'optique cristalline observables par réflexion convergente de la lumière sur les surfaces polies. Etude théorique et expérimentale. Bull. Soc. Belge Geol., N 3, 1958.

Beugnies A. Contribution à l'étude des Wolframites. Ann. Soc. Géologique de Belgique, t. 90, bull. 2, 1966—1967.

Bowie S. H. U. Microscopy Reflected Light. Atomic Energy Division. Institute of Geological Sciences, London, 1968.

Gervell B., Cave R., Levy C., Picot P. Presentation d'un appareillage destiné à l'étude en lumière transmise polarisée (infrarouge) des minéraux opaques dans le visible. Bull. Soc. franc. mineral. et cristallogr., t. 80, N 4, 1966.

Beugnies A. Phénomènes d'optique cristalline par réflexion convergente de la lumière sur les surfaces polies. Etude théorique et expérimentale. Bull. Soc. Belge Geol., t. 67, N 3, 1958, (1959).

Berek M. Optische Messmethoden im polarisierten Auflicht insonderheit zur Bestimmung der Erzminerale, mit einer Theorie der Optik, absorbierender Kristalle. Fortschr. der Miner., Krist. und Petrog., Bd. 22, T. 1, 1937.

Cameron E. N. Apparatus and techniques for the measurement of certain optical properties of ore minerals in reflected light. Econ. Geol., v. 52, 1957.

Cameron E. N. The study of opaque minerals in reflected light. American Society for Testing Materials. Symposium on Microscopy. Special Technical Publication 257, 1959.

Cameron E. N. and Green L. H. Polarization figures and rotation properties in reflected light and their application to the identification of ore minerals. Econ. Geol., v. 45, 1950.

Cameron E. N., Hutchinson R. W. and Green L. H. Sources of error in the measurement of rotation properties with the ore microscope. Econ. Geol., v. 48, 1953.

Hallimond A. F. Manual of the polarizing microscope, York, England, 1953.

Cissarz A. Reflexionsmessung an absorbierenden Kristallen, mit besonderer Berücksichtigung der Erzminerale. III. Zeitschr. Kristallographie, v. 82, 1932.

Edwards A. B. Texture of the ore minerals and their significance. Austral. Inst. Min. and Metall., 1954.

Levy C. La stannite jaune du gisement de Vaulry (Haute Vienne). Bull. Soc. franc. mineral. et cristallogr. N 7—9, 1956.

Piller H. Colour measurements in ore microscopy. Laboratory of microscopy of Messr. Carl Zeiss, Oberkochen, Germany. Mineralium Deposita, v. 1, 1966.

Ramdohr P. Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie — verlag Berlin, 1955.

Schneiderhöhn H. Erzmikroskopisches Praktikum. Stuttgart, 1952.

Schwartz G. M. Classification and definitions of textures and minerals structures in ores. Econ. Geol., v. 46, No. 6, 1951.

Turner A. W., Benford J. R., Mclean W. J. A polarized light compensation for opaque minerals. Econ. Geol., v. 40, 1945.

Toubeau G. Etude des minéraux opaques dans l'infrarouge proche. Bull. Soc. belge geol. paleontol. et hydrol., v. 70, N 3, 1961.

Toubeau G. Propriétés optiques des Wolframites en diascopie infra-rouge. Soc. Geol. du Nord., t. 84, 1964.

Юшко С. А. Микрохимические реакции, применяемые при изучении рудных минералов под микроскопом. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 19, 1940.

Юшко С. А. Явления двойникования в рудных минералах как результат динамометаморфизма. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, серия рудных месторождений, вып. 41, 1941.

Юшко С. А. Новые методы минералогического исследования окисленных руд. М., Гостеолтехиздат, 1953; 1955.

Юшко С. А. Новая генетическая классификация текстур и структур руд. «Советская геология», 1962, № 2.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., изд-во «Недра», 1966.

Юшко С. А. Минералогия свинцово-цинковых стратиформных месторождений Южного Казахстана. М., Изд-во «Недра», 1968.

Юшко С. А., Борзицкий С. С. Таблица диагностических признаков минералов в шлифах. М., Гостеолтехиздат, 1955.

Юшко С. А., Невзгенко М. П. Методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу минералогии. Изд. ДПИ, 1960.

Юшко С. А. и др. Диагностические свойства рудных минералов. М., изд-во «Недра», 1969.

Bailly R. Emploi de l'infrarouge dans l'étude des minéraux opaques. Bull. de la classe des sciences Acad. royale de Belgique. T. XXIV, N 12, 1938.

Bailly R. Utilisation des radiations infra-rouges dans les recherches mineralogiques et en particulier pour la détermination des minéraux opaques. Bull. Soc. Fr. Min. et Crist., N 70, 1947.

Bastin E. S. Interpretation of ore textures. Geol. Soc. Amer., Mem. Geol., 45, 1930.

Beugnies A. Phénomènes d'optique cristalline observables par réflexion convergente de la lumière sur les surfaces polies. Etude théorique et expérimentale. Bull. Soc. Belge Geol., N 3, 1958.

Beugnies A. Contribution à l'étude des Wolframites. Ann. Soc. Géologique de Belgique, t. 90, bull. 2, 1966—1967.

Bowie S. H. U. Microscopy Reflected Light. Atomic Energy Division. Institute of Geological Sciences, London, 1968.

Gervell B., Cave R., Levy C., Picot P. Presentation d'un appareillage destiné à l'étude en lumière transmise polarisée (infrarouge) des minéraux opaques dans le visible. Bull. Soc. franc. mineral. et cristallogr., t. 80, N 4, 1966.

Минералы таких металлов расположены по убывающим количественным значениям их отражательной способности для зеленого, желтого и красного цветов. При этом более крупной цифрой показаны наибольшие значения для соответствующего монохроматического света, что в свою очередь также отвечает оттенку цвета и в отраженном свете (так, для золота: в зеленом 45; желтом 82 и красном 83%; для серебра: в зеленом 37; в желтом 33; в красном 30% и т. д.).

Для минералов с ясно выраженным двуотражением приведены соответствующие данные, характеризующие их двуотражение для зеленого желтого и красного цвета (например, для антимонита: в зеленом 40—30; в желтом — 37—26; в красном 35—25% и т. д.). Кроме того, для каждого минерала в таблице в виде условных обозначений приведены данные диагностического травления, степени магнитности, а для анизотропных минералов — степень проявления у них явлений поляризации в отраженном поляризованном свете.

Все вышеречисленные свойства минералов сгруппированы соответствующим образом в прилагаемых определительных таблицах*.

Ниже приведен указатель к таблице, помогающий установлению диагностической группы при определении изучаемого минерала.

Пример 1. Исследуемый минерал по диагностическим свойствам попадает в 31 диагностическую группу, а именно: минерал изотропен; отражательная способность меньше, чем у галенита, но больше, чем у сфалерита; бесцветен; внутренние рефлексы отсутствуют; твердость высокая.

В этой группе два минерала — магнетит и пиролюзит. Чтобы окончательно диагностировать минерал, нужно определить, является ли магнитным или нет. Если он магнитен, то мы имеем дело с магнетитом, если нет, то для окончательной диагностики необходимо определить в нем марганец с помощью реакции, указанной в таблице.

Пример 2. Исследуемый минерал по физическим свойствам попадает в третью диагностическую группу — анизотропен; отражательная способность больше галенита и пирита; бесцветный; внутренние рефлексы отсутствуют; твердость высокая.

В этой диагностической группе семь минералов. Как видно из таблицы, наиболее рационально провести диагностическое травление с азотной кислотой, минерал травится энергично, со вскипанием, азотной кислотой. Минералом с такими свойствами в группе три — маухерит, раммельсбергит и арсенинит. Последний отличается тем, что он не реагирует с $FeCl_3$. Исследуемый нами минерал хорошо травится $FeCl_3$. Эта реакция позволила нам остановиться на двух минералах — раммельсбергите и маухерите. Для этих минералов характерным химическим элементом является никель. Поэтому прежде всего необходимо определить присутствие никеля с помощью микрохимической реакции на никель. После этого необходимо обратиться к текстовой части руководства, где подробно приведено описание этих минералов, и произвести определение того дополнительного свойства, с помощью которого их можно отличить друг от друга. Одним из таких свойств является диагностическое травление $HgCl_2$, но это свойство недостаточно надежно, так как некоторые разновидности маухерита не травятся. Следовательно, нужно использовать совокупность таких свойств, как форма выделений, характер двойников, внутреннее строение зерен и др.

Пример 3. Испытуемый минерал по физическим свойствам отвечает минералам десятой диагностической группы: анизотропен, отражательная способность и цвет близки к галениту и отличаются от него лишь незначительным голубоватым или зеленоватым оттенком; внутренние рефлексы отсутствуют; твердость низкая. Случай исключительно трудный, так как в десятой группе 29 минералов. Как видно из таблицы, минералы этой диагностической группы объединяются по характерным химическим элементам в несколько подгрупп. Прежде всего определяем свинец пелюной реакцией на шпигель и медь капельной реакцией на фильтровальной бумаге, с помощью которой была снята капля, после травления азотной кислотой. Определяем, что в испытуемом минерале отсутствует свинец и присутствует медь.

Как видно из таблицы, среди минералов, для которых медь является характерным химическим элементом, только один халькозин энергично реагирует с азотной кислотой. Поэтому проводим диагностическое травление с азотной кислотой и убеждаемся, что испытуемый минерал травится азотной кислотой со вскипанием. Это дает нам полное основание диагностировать испытуемый минерал как халькозин.

Таким образом, для того чтобы определить минерал, необходимо прежде всего определить, к какой диагностической группе он относится, а затем, в зависимости от характера входящих в эту группу минералов, использовать такие дополнительные свойства минералов, как степень анизотропности, двуотражение, магнитность, отношение к диагностическому травлению и, наконец, определение входящих в их состав характерных химических элементов. При этом последовательность определения этих свойств должна зависеть от характера минералов, составляющих диагностические группы. В одном случае вначале проводится испытание минералов с помощью диагностического травления, в другом — вначале определяются характерные химические эле-

менты; наконец, иногда достаточно определить такие диагностические свойства, как магнитность, двуотражение и т. д.

Определение некоторых минералов в отдельных диагностических группах (минералы платины, теллура, селена, золота и др.) осуществляется также путем количественных измерений оптических постоянных и микротвердости (Юшко и др., 1969).

* При разработке условных обозначений для различных свойств минералов в определительных таблицах были использованы материалы, опубликованные С. С. Боршанской (1959 г.).

УКАЗАТЕЛЬ К ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ ТАБЛИЦАМ

Отношение к поляризованному свету	Отражательная способность	Окраска	Внутренние рефлексы	Твердость	№ диагностической группы	Количество минералов в таблице						
Анизотропные	Больше галенита	Бесцветные	Нет	Низкая Средняя Высокая	1	20						
					2	7						
					3	7						
		Ясно окрашенные	»	То же	4	4						
					5	4						
					6	5						
	Как галенит и меньше	Бесцветные	Есть	»	»	7	15					
						8	6					
						9	6					
						10	29					
						11	10					
						12	2					
Как сфалерит и меньше	Ясно окрашенные	»	Низкая Средняя Низкая	»	13	3						
					14	6						
					15	13						
	Бесцветные	Есть	»	Средняя Высокая Средняя	»	16	21					
						17	7					
						18	1					
Ясно окрашенные	»	»	Высокая Средняя	»	19	1						
					Изотропные	Больше галенита	Бесцветные	Нет	Низкая Средняя Высокая	20	6	
										21	7	
22	10											
Ясно окрашенные	»	То же	»	»			23	3				
							24	3				
							25	6				
Как галенит и меньше	Бесцветные	Есть	»	»		26	1					
						27	6					
						28	3					
						29	7					
						Ясно окрашенные	»	Низкая Средняя Низкая	»	»	30	5
											31	2
32	3											
Как сфалерит и меньше	Бесцветные	Есть	»	Средняя Низкая Средняя	33	4						
					34	7						
					35	3						
Высокая	»	»	»	»	36	7						

менты; наконец, иногда достаточно определить такие диагностические свойства, как магнитность, двуотражение и т. д.

Определение некоторых минералов в отдельных диагностических группах (минералы платины, теллура, селена, золота и др.) осуществляется также путем количественных измерений оптических постоянных и микротвердости (Юшко и др., 1969).

ОТБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор штучных образцов и проб руды и рудомещающих пород для лабораторных исследований производится из коренных обнажений в горных выработках и из керн буровых скважин; рекомендуется также отбирать образцы из старых отвалов.

Для установления закономерностей распределения минералов в рудных телах необходимо отбирать образцы руд и рудомещающих пород методом минералогических сечений, ориентированных преимущественно вкрест простирания рудного тела или рудной зоны, из горных выработок на всех горизонтах, которыми вскрыто месторождение.

Микроскопическое изучение руд в отраженном свете проводится на специально изготовленных полированных шлифах (аншлифах).

Среди рудообразующих минералов, наряду с непрозрачными минералами, могут присутствовать жильные и прозрачные рудные минералы, поэтому, кроме полированных шлифов, рекомендуется изготавливать прозрачные и прозрачно-полированные шлифы, с помощью которых изучаются прозрачные рудные и нерудные минералы, а также устанавливается и уточняется их взаимоотношение с рудными непрозрачными минералами.

Форма и размер полированного шлифа должны быть таковы, чтобы он свободно помещался на столике микроскопа и хорошо монтировался. Наиболее удобные размеры 20×20×15 мм или 30×30×20 мм (первые для мелкокристаллических, вторые для крупнокристаллических разновидностей руд).

При отборе материала для изготовления полированных шлифов, прозрачно-полированных шлифов и полированных штучных образцов прежде всего требуется тщательное макроскопическое изучение и описание всех штучных образцов. В отобранных образцах должны быть представлены все рудообразующие минералы, для диагностики которых требуется микроскопическое исследование. Необходимо также, чтобы в образцах, отобранных для шлифов, были представлены все наблюдаемые ассоциации и характерные типы сростаний минералов и их агрегатов. На куске образца руды цветным карандашом отмечают участок, который требуется отполировать.

Для характеристики текстуры руды или возрастных взаимоотношений минералов и их агрегатов, а также при изучении крупнокристаллических руд часто желательно иметь большие отполированные поверхности образцов (пришлифовки).

В рудах с мелкозернистым и скрытокристаллическим строением макроскопически установить вещественный состав почти невозможно. В этом случае приходится прибегать к изготовлению большого числа полированных шлифов.

Образцы для качественной характеристики руд отбирают из технологических проб. Отбору образцов предшествует тщательное минералогическое изучение всей массы пробы полезного ископаемого с целью установления различий в ее минеральном составе и строении для дальнейшего выделения типов руд, характеризующих данное месторождение.

СХЕМА МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ РУДНОГО ПОЛИРОВАННОГО ШЛИФА

Описание полированных шлифов при изучении их под микроскопом рекомендуется производить на карточках размером 15×18 см.

Для каждого шлифа заводится отдельная карточка. Ниже приводится образец такой карточки.

№ шлифа	№ образца	Место взятия образца	Фамилия исследователя	Отметка для фотоснимка

1. Минералогический состав.
 2. Описание отдельных минералов.
 3. Последовательность кристаллизации; этапы и стадии минерализации.
 4. Текстуры и структуры.
- Текст работы иллюстрируется зарисовками, отпечатками и микрофотографиями.

ИЛЛЮСТРАЦИИ К МИКРОСКОПИЧЕСКИМ ОПИСАНИЯМ РУДНЫХ ПОЛИРОВАННЫХ ШЛИФОВ

Иллюстрациями к микроскопическим описаниям рудных шлифов являются зарисовки и микрофотографии. Зарисовки шлифов можно делать визуально, зарисовывая от руки соотношения минералов, наблюдаемых в окуляре микроскопа. При этом необходимо возможно точнее передавать контуры выделений различных минералов, что достигается при известной тренировке.

Для получения более точных зарисовок пользуются специальным рисовальным прибором.

Очень детальные зарисовки шлифа можно делать с помощью микрофотокамеры. Вместо кассеты или матового стекла вставляется прозрачное стекло, и на стекло накладывается восковка. Видимое под микроскопом изображение проектируется на восковку и тщательно обводится карандашом.

Кроме зарисовок, очень большое значение при микроскопическом изучении руд имеет микрофотография. Лучше всего микросъемку полированных шлифов производить на специальных микроскопах, снабженных фотокамерами. Однако для этой цели можно также использовать любой микроскоп, применяемый для работы с отраженным светом, приспособив к его окуляру фотокамеру.

Отсылая интересующихся к специальным руководствам по микрофотографированию (Цукерман, 1936), отметим лишь следующее.

Микрофотографирование дает хорошие результаты только при применении сильных источников света и умелом подборе светофильтров. При этом должны быть учтены количественные значения отражательной способности в монохроматическом (зеленом, желтом и красном) свете.

Время экспозиции устанавливается экспериментально с учетом силы света, цвета минералов и их отражательной способности.

Для зарисовок и микрофотографий обычно выбираются такие участки изученных и описанных полированных и прозрачных шлифов, на которых наиболее убедительно могут быть доказаны: возрастные соотношения между отдельными минералами и их ассоциациями; показаны характерные особенности минеральных выделений в различных минеральных ассоциациях (генерациях); характер структуры и текстуры последних.

Зарисовки и микрофотографии сопровождаются краткими их описаниями с условными обозначениями и масштабом увеличения.

В качестве иллюстраций могут быть использованы отпечатки, которые показывают наличие данного химического элемента в руде, площади его распространения в шлифе, а также могут характеризовать особенности текстуры и структуры руд.

Отпечатки фазового анализа иллюстрируют форму, площадное распространение и взаимное расположение определенных минералов в шлифах, пришлифовках и кернах.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РУД*

Изучая в аншлафах генетически разнообразные минеральные ассоциации, геолог стремится решить целый комплекс геолого-минералогических задач: по качественно и количественно замеряемым свойствам он диагностирует минералы, выявляет структурные и текстурные особенности, определяет порядок кристаллизации минералов и др. Количественному изучению подвергаются такие свойства рудных минералов, как размеры минералов, их процентное содержание в аншлафах, отражательная способность, микротвердость, скорость распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн по ориентированным направлениям этих минералов и др.

Естественно, что исследователь стремится наилучшим образом охарактеризовать среднюю величину изучаемого свойства, выявить погрешность (точность) этой средней оценки, установить пределы колебаний рассматриваемых свойств рудных минералов. Геолог стремится с объективных позиций, т.е. обоснованно, выявить имеющиеся различия, либо доказать сходство-различия в средних величинах изучаемого свойства одного и того же минерала, но образовавшегося, допустим, в генетически разных минеральных ассоциациях, либо, напротив, выявить сходство-различия у разных минералов одной ассоциации.

Для объективного решения указанных задач целесообразно привлечь соответствующие вероятностно-статистические методы.

Успешно применять статистические методы при решении геологических задач возможно при соблюдении следующих условий.

1. Четкая постановка геологической задачи, характеристика всех условий, связанных с этой задачей (количество, качество результатов определений свойств рудных минералов, на каких приборах и с какой чувствительностью производились определения и т.п.).

2. Подбор математической модели, статистического метода для решения геологической задачи, которая в соответствии с этой моделью формализуется, т.е. заменяется абстрактным формальным аналогом, тесно связанным со случайными величинами.

3. В соответствии с выбранным статистическим методом и с соблюдением стохастических условий применения этих моделей производятся все необходимые математические расчеты и преобразования.

4. Полученные статистические выводы интерпретируются с геологических позиций.

В данном разделе в общем виде рассмотрены четыре способа проверки согласованности распределения эмпирических данных с теоретическими законами: графический метод с помощью кумулятивной или дифференциальной кривых, метод моментов с расчетом оценок коэффициентов асимметрии и эксцесса, критерий согласия χ^2 Пирсона и, наконец, метод, основанный на расчете оценок нормированного среднего абсолютного отклонения и коэффициента асимметрии.

Для выявления сходства или различий в средних показателях исследуемых свойств рудных минералов рассмотрены два параметрических критерия: метод *t* Стьюдента и «обобщенный» критерий *F* Стьюдента и два непараметрических метода: критерий *W* Вилкоксона и критерий *H* Краскала — Уэллиса. Все необходимые вычисления, преобразования проиллюстрированы на одном и том же примере, касающемся замеров значений микротвердости ряда золото — серебро для трех формаций, занятых на работы Р. П. Балаловой и др. (1968).

Совершенно очевидно, что указанные статистические методы можно применять к любым доброкачественным эмпирическим данным значений микротвердости и любых других замеров — например, содержания в процентах шлафа рудных минералов, размеров минералов, отражательной способности минералов и др.

Наиболее простым, но наименее точным для установления законов распределения случайных величин является применение графического метода с построением кумулятивных кривых на соответствующих трафаретах, т.е. на особых вероятностных графиках (Мезенцев и др., 1964; Ветров, Добряков, 1962).

Некоторые исследователи строят не интегральные графики (кумуляты) на вероятностных трафаретах, а гистограммы и дифференциальные кривые распределения частот, с помощью которых также можно охарактеризовать среднее значение исследуемого свойства и стандартное отклонение, а на их основе и все другие величины (Лебедева С. И., 1963).

Более точными для установления законов распределения случайных величин являются аналитические методы, которые, по-видимому, можно подразделить на две группы по степени «точности», «корректности» производимых аналитических процедур.

В настоящее время для проверки согласованности распределения исходных эмпирических данных в основном с нормальным и логнормальным законами распределения широко используется метод моментов, основанный на расчете оценок коэффициентов

* Приложение IV написано Р. И. Коганом.

симметрии и эксцесса, и критерий согласия χ^2 Пирсона. Реже используется критерий омега-критерия.

Метод моментов основан на следующем. В методической литературе (Шаралов, 1965; Родионов 1964) написано, что согласованность распределения эмпирических данных с проверяемым теоретическим законом следует полагать удовлетворительной при соблюдении двух неравенств:

$$\frac{|Y_1|}{\sigma_{Y_1}} < 3 \quad \text{и} \quad \frac{|Y_2|}{\sigma_{Y_2}} < 3,$$

где

$$Y_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot S^2}; \quad Y_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot S^3} - 3;$$

$$\sigma_{Y_1} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}; \quad \sigma_{Y_2} \approx \sqrt{\frac{24}{n}};$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i; \quad S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

При применении критерия согласия Пирсона χ^2 поступают следующим образом. Рассчитывают величину:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - n_i)^2}{n_i},$$

где N_i — наблюдаемые частоты в i -вом интервале ($i = 1, 2, \dots, m$);

m — число интервалов;

n_i — теоретические частоты в i -вом интервале, определяемые по формуле

$$n_i = N \cdot \left[\Phi \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S} \right) - \Phi \left(\frac{x_{i-1} - \bar{x}}{S} \right) \right],$$

$N = \sum_{i=1}^m N_i$ — общее число замеров исследуемого свойства рудных минералов; x_i и x_{i-1} — границы интервалов (в физических показателях свойств, например $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ для микротвердости, или в логарифмах этих показателей — при проверке логнормальности распределения);

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i \cdot N_i}{N}; \quad S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \cdot N_i}$$

\bar{x}_i — середина i -вого интервала;

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i-1} + x_i}{2}.$$

Функция $\Phi(t)$ представляет собой функцию нормального распределения с параметрами 0,1 (гауссовское распределение), приводимой во всех учебниках по математической статистике.

Согласованность распределения эмпирических данных с проверяемым теоретическим законом, в том числе с нормальным и логнормальным законами, считается подтвержденной, если вычисленная величина χ^2 не превышает табличного $\chi_{q, m-3}^2$ при заданной малой величине q и $m-3$ степенях свободы. Напротив, распределение эмпирических данных следует полагать отличающимся от проверяемого теоретического закона, если $\chi^2 > \chi_{q, m-3}^2$.

Более строгое доказательство хорошей согласованности эмпирических данных с нормальным законом (или логарифмом исходных данных с логнормальным законом) приведено в работе Л. Н. Большева и Н. В. Смирнова (1965). Рассчитываются величины:

$$d = \frac{1}{n \cdot S} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|,$$

$$g_1 = \frac{1}{n \cdot S^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3.$$

Статистика d и g_1 как оценки нормированного среднего абсолютного отклонения δ и коэффициента асимметрии γ_1 распределены асимптотически нормально с параметрами

$$Md = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left[1 + \frac{2}{8n-9} + O\left(\frac{1}{n^2}\right) \right],$$

$$Dd = \frac{1}{n} \left[0,04507 - 0,0796 \cdot \frac{1}{n} + O\left(\frac{1}{n^2}\right) \right],$$

$$Mg_1 = 0,$$

$$Dg_1 = \frac{6}{n} \left[1 - \frac{12}{2n+7} + O\left(\frac{1}{n^2}\right) \right],$$

где O — символ, указывающий, что соответствующая слагаемая величина на порядки меньше других.

Значения математического ожидания Md и дисперсий Dd и Dg_1 приводятся в таблицах 4.7а и 4.7б (Большев и Смирнов, 1965).

Проверку согласованности с нормальным законом можно осуществить следующим образом.

Рассчитаем величины

$$t_1 = \frac{d - Md}{\sqrt{Dd}}, \quad t_2 = \frac{g_1}{\sqrt{Dg_1}}$$

и если они не превысят $t_{q/2}$ (при $q=0,05$ $t_{q/2}=1,96$), то можно полагать, что эмпирические данные удовлетворительно согласуются с нормальным законом (или с логнормальным, если взяты логарифмы от исходных данных). Если t_1 или t_2 превысят $t_{q/2}$, то следует отклонить, как неподтвердившееся, предположение о нормальности (логнормальности) распределения исходных данных. Заметим, что $t_{q/2}$ — есть аргумент нормальной функции распределения с параметрами 0,1 (гауссовского распределения).

В случае хорошей согласованности с нормальным законом, наилучшей оценкой неизвестного истинного среднего значения исследуемого свойства рудных минералов будет обычное среднее арифметическое:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i,$$

а точность при заданной надежности $1 - q$ (q — риск), определится как

$$\lambda_q = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot t_{q/2} \cdot S.$$

При согласовании с логнормальным законом наилучшей оценкой среднего будет максимально-правдоподобная оценка Ансона и Брауна:

$$\alpha = 10^{1/kx} \cdot \Psi_n(2,65 \cdot S^2 \lg),$$

где

$$\Psi_n(t) = e^t \cdot \left\{ 1 - \frac{t(t+1)}{n} + \frac{3t^2(t^2+22t+21)}{6n^2} \right\},$$

табулированная Ансоном и Брауном, а

$$\lg \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg x_i,$$

$$S_{\lg}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg x_i - \lg \bar{x})^2.$$

Точность максимально правдоподобной оценки α при заданной надежности $1 - q$ (q — риск) определяется, как величина

$$\lambda_q = \frac{t_{q/2} \alpha}{\sqrt{n}} \sqrt{S_{\lg}^2 + \frac{S_{\lg}^4}{2}}.$$

1. УСТАНОВЛЕНИЕ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЙ В СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЯХ СОДЕРЖАНИЯ, РАЗМЕРОВ, ЗНАЧЕНИЙ МИКРОТВЕРДОСТИ И ДРУГИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
1. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ОДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В ДВУХ ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ t СТЬЮДЕНТА

Пусть требуется проверить гипотезу о том, что истинные средние показатели (математические ожидания случайных величин ξ и τ) $M\xi = a_1$ и $M\tau = a_2$ исследуемого свойства рудного минерала в двух ассоциациях равны при альтернативе, что они

316

не равны. Случайные величины ξ и τ рассматриваются аналогами изучаемого свойства. Проверяемую нулевую гипотезу можно записать как $H_0: a_1 = a_2$ при альтернативе $H_1: a_1 \neq a_2$.

Дальнейшую процедуру применения критерия t Стьюдента проведем на примере. Пусть мы проверяем геологическую задачу о том, равна или, напротив, существенно различна средняя микротвердость ряда золота — серебро в двух формациях — убогосульфидной и малосульфидной, по которым произведено 7 и 12 усредненных замеров (данные заимствованы из статьи Р. П. Бадалова, Э. П. Николаева, Л. Ф. Толкачева (1968):

Формация	Усредненные значения микротвердости $H_{ср}$, кг/мм ²
Убогосульфидная	101,5; 91,0; 90,0; 104,0; 97,0; 87,0; 94,4 $n_1 = 7$
Малосульфидная	89,5; 77,1; 87,9; 84,6; 71,4; 70,0; 73,0; 75,6; 57,0; 66,5; 67,0; 72,0 $n_2 = 12$

В качестве математического аналога значений микротвердости ряда золото — серебро в убогосульфидной формации рассматривается случайная величина ξ , а в малосульфидной формации — случайная величина τ .

Тогда геологическая задача о проверке равенства средних значений микротвердости в указанных формациях формализуется, т. е. заменяется проверкой нулевой гипотезы:

$$H_0: M\xi = M\tau \quad \text{или} \quad H_0: a_1 = a_2.$$

В качестве статистического метода для проверки этой нулевой гипотезы выбран критерий t Стьюдента. В соответствии со стохастическими условиями мощность критерия t Стьюдента может понизиться, если распределения эмпирических значений микротвердости ряда золото — серебро в отмеченных формациях не будут согласовываться с нормальным законом. Поэтому для малых по объему выборок наблюдений n_1 и n_2 над микротвердостью следует предварительно убедиться, что эти выборки извлечены из нормальных совокупностей, т. е. распределения эмпирических данных согласуются с нормальным законом, либо быть готовым к тому, что мощность критерия может понизиться, что будет приводить к более частому принятию нулевой гипотезы (о равенстве истинных средних), чем это есть на самом деле.

Можно, однако, избежать предварительной проверки нормальности распределений исходных данных, если применить непараметрические статистические методы, один из которых будет описан ниже (метод W Вилкоксона). Рассчитаем средние арифметические \bar{x}_1 и \bar{x}_2 и выборочные дисперсии S_1^2 и S_2^2 :

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} x_i = \frac{1}{7} (101,5 + 91,0 + \dots + 94,4) \approx 95,0,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} x_i = \frac{1}{12} (89,5 + 77,1 + \dots + 72,0) \approx 74,3,$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 = \frac{1}{6} [(101,5 - 95,0)^2 + \dots + (94,4 - 95,0)^2] = 38,77,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x}_2)^2 = \frac{1}{11} [(89,5 - 74,3)^2 + \dots + (72,0 - 74,3)^2] = 89,06.$$

Если случайные величины ξ и τ как математические аналоги значений микротвердости ряда золото — серебро в убогосульфидной и малосульфидной формациях распределены по нормальному закону, то при условии, что верна проверяемая нулевая гипотеза $H_0: a_1 = a_2$, случайная величина

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

будет распределена по закону t Стьюдента с $n_1 + n_2 - 2$ степенями свободы.

В нашем примере t равно

$$t = \frac{95,0 - 74,3}{\sqrt{12 \cdot 38,77 + 7 \cdot 89,06}} \sqrt{\frac{7 \cdot 12 (7 + 12 - 2)}{7 + 12}} \approx 5,4.$$

Нулевую гипотезу $H_0: a_1 = a_2$ следует принять как подтвердившуюся, если вычисленное абсолютное значение $|t|$ не превысит допустимого t_{q, n_1+n_2-2} , при уровне значимости q (q — вероятность ошибочного отклонения правильной нулевой гипотезы) и n_1+n_2-2 степенях свободы. Критическое значение t_{q, n_1+n_2-2} берут из таблиц t -распределения, приводимых во всех учебниках по математической статистике.

Если $|t|$ превышает t_{q, n_1+n_2-2} , нулевую гипотезу отклоняют как неподтвердившуюся и принимают альтернативу $H_1: a_1 \neq a_2$ (истинные средние значения микротвердости в двух формациях руда золото — серебро не равны, т. е. в одной формации значение средней микротвердости больше, чем в другой, естественно больше там, где большее среднее арифметическое). В нашем примере при выбранном двустороннем уровне значимости $q=0,05$ (5%) $t_{0,05, 7+12-2} = 1,11$.

Так как $t = 5,4 > t_{0,05, 17} = 2,11$, нулевую гипотезу следует отклонить, как неподтвердившуюся и принять альтернативу — математические ожидания случайных величин ξ и τ не равны, т. е. истинные средние не равны. Возвращаясь к исходной геологической задаче и учитывая, что среднее арифметическое $\bar{x}_1 = 95,0$ больше, чем $\bar{x}_2 = 74,3$, в соответствии с проведенной статистической проверкой критерием t Стьюдента, мы можем полагать, что эта разница в средних арифметических не случайна, а вызвана тем, что на самом деле истинная средняя микротвердость руда золото — серебро в убогосульфидной формации выше, чем в малосульфидной формации.

Заметим, что принятие альтернативных гипотез надежно даже в том случае, если не соблюдались стохастические условия применения критерия, т. е. нормальность распределения. Если бы мы не отклонили нулевую гипотезу, то следовало бы для большей надежности проверить нормальность распределения исходных данных двух выборок, либо применить один из непараметрических критериев, не зависящих от законов распределения эмпирических данных.

2. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ОДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В ТРЕХ И БОЛЕЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ «ОБОБЩЕННОГО» КРИТЕРИЯ t СТЬЮДЕНТА

При минераграфических исследованиях геолог часто не ограничивается сравнением средних показателей свойств рудного минерала, образовавшегося только в двух генетически разных ассоциациях или двух формациях. Нередко приходится сталкиваться с ситуацией, когда рассматривается одно и то же свойство минерала, но сразу в k -минеральных ассоциациях, или в k -формациях. Пусть решаемая геологическая задача заключается в обоснованном выделении однородных групп минеральных ассоциаций, взаимно отличающихся друг от друга по среднему показателю исследуемого свойства рудного минерала. Эта задача формулируется, т. е. заменяется проверкой нулевой гипотезы, соответствующей геологической задаче. Нулевая гипотеза заключается в том, что все математические ожидания случайных величин (все истинные средние) во всех k -ассоциациях равны

$$H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_k = a_0.$$

Альтернативные гипотезы заключаются в том, что хотя бы для одного математического ожидания (одного среднего) в одной ассоциации подтверждается неравенство

$$H_1: a_i \neq a_0.$$

Естественно, что в случае принятия альтернативной гипотезы, повторные вычислительные процедуры продолжают до тех пор, пока не будут выделены все статистически однородные группы с равными истинными средними значениями исследуемого свойства рудного минерала в них. Для проверки сформулированной выше нулевой гипотезы воспользуемся «обобщенным» критерием t Стьюдента; процедуру применения этого критерия покажем на примере. Пусть мы проверяем микротвердость руда золото — серебро, но не в двух, а в трех формациях (см. предыдущий пример).

Формация	Усредненные значения микротвердости H_{cp} , кг/мм ²
Убогосульфидная	101,5; 91,0; 90,0; 104,0; 97,0; 87,0; 94,4 $n_1 = 7$
Малосульфидная	89,5; 77,1; 87,9; 84,6; 71,4; 70,0; 73,0; 75,5; 57,0; 66,5; 67,0; 72,0 $n_2 = 12$
Умеренносульфидная	53,0; 53,6; 47,0; 67,3; 86,0 $n_3 = 5$

В качестве математического аналога значений микротвердости руда золото — серебро в убогосульфидной формации рассматривается случайная величина ξ , в малосульфидной формации — случайная величина τ , а в умеренносульфидной формации — случайная величина η .

Геологическая задача о проверке равенства средних значений микротвердости во всех трех формациях формулируется, т. е. заменяется проверкой нулевой гипотезы:

$$H_0: M\xi = M\tau = M\eta \text{ или } H_0: a_1 = a_2 = a_3 = a_0.$$

В соответствии со стохастическими условиями мощность «обобщенного» критерия t Стьюдента может понизиться, если распределения эмпирических значений микротвердости руда золото — серебро в рассматриваемых формациях не будут согласовываться с нормальным законом. Поэтому для малых по объему выборок наблюдений n_1, n_2, n_3 над микротвердостью следует предварительно убедиться, что все три выборки наблюдений согласуются с нормальным законом. В противном случае следует быть готовым к тому, что мощность критерия может понизиться, что будет приводить к более частому принятию нулевых гипотез (о равенстве всех истинных средних), чем это есть на самом деле. Можно, однако, избежать предварительной проверки нормальности распределений исходных данных, если применить непараметрические статистические методы, один из которых будет приведен ниже — метод H Краскла — Уэллса, изложенный в работе Р. Л. Миллера и Дж. С. Кана (1965).

Рассчитаем среднее арифметическое \bar{x}_3 и выборочную дисперсию S_3^2 в третьей формации и приведем уже рассчитанные оценки в первой и во второй формациях:

$$\bar{x}_1 = 95,0; \quad \bar{x}_2 = 74,3;$$

$$S_1^2 = 38,77; \quad S_2^2 = 89,06;$$

$$n_1 = 7; \quad n_2 = 12.$$

$$\bar{x}_3 = \frac{1}{n_3} \cdot \sum_{i=1}^{n_3} x_i = \frac{1}{5} (53,0 + \dots + 86,0) \approx 61,4;$$

$$S_3^2 = \frac{1}{n_3 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_3} (x_i - \bar{x}_3)^2 = \frac{1}{4} [(53,0 - 61,4)^2 + \dots + (86,0 - 61,4)^2] \approx 244,68;$$

$$n_3 = 5.$$

Будем полагать, что распределения рассматриваемых случайных величин ξ, τ, η , как аналогов показателей микротвердости руда золото — серебро в указанных трех формациях, нормальные, в общем случае распределения всех k случайных величин предполагаются нормальными. Кроме того, считается, что дисперсии всех k случайных величин равны. Проверку равенства дисперсий можно осуществить с помощью критерия Фишера, Бартлетта, Коэрена, приводимых во всех учебниках статистики. Это условие не является жестким.

Если указанные условия выполняются, то в том случае, когда нулевая гипотеза $H_0: a_1 = \dots = a_k$ верна, все k случайных величин t_i :

$$t_i = \frac{y_i \sqrt{n_i(N-2)}}{\sqrt{N - n_i - n_i y_i^2}}$$

будут распределены по закону Стьюдента с $N-2$ степенями свободы. В указанной формуле:

$$N = \sum_{i=1}^k n_i,$$

$$y_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{S},$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k n_i \bar{x}_i,$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{N-k} \cdot \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \cdot S_i^2},$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij},$$

$$S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \cdot \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2.$$

Нулевая гипотеза H_0 принимается как подтвердившаяся, если для всех $i (i = 1, 2, \dots, k)$ соблюдается неравенство $|t_i| \leq t_{q, N-2}$, и отклоняется как неподтвердившаяся, т.е. принимается альтернатива H_1 , если хотя бы одно из вычисленных значений $|t_i|$ превышает допустимое $t_{q, N-2}$ при заданном уровне значимости q/k и $N-2$ степенях свободы. В тех случаях, когда нулевая гипотеза отвергается, а принимается альтернатива, из набора средних арифметических $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_i$ нужно исключить ту выборку, для которой максимальна абсолютная разница между средней арифметической этой выборки x_i и оценкой генеральной средней \bar{x} , т.е. $|x_i - \bar{x}| = \max$. Для оставшихся $k-1$ выборок вновь провести проверку нулевой гипотезы H_0 , предварительно вычислив новые оценки генеральной средней и генеральной дисперсии \bar{x} и S^2 . Этот процесс вычислений повторяется до тех пор, пока для какой-то $k-m$ ($m = 1, 2, \dots, k-2$) группы выборок не будет принята нулевая гипотеза о равенстве средних, либо не будет доказано, что все выборки отличаются друг от друга по рассматриваемому среднему значению свойства рудного минерала.

В нашем примере:

$$N = \sum_{i=1}^3 n_i = 7 + 12 + 5 = 24,$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^3 n_i x_i = \frac{1}{24} (7 \cdot 95 + \dots + 5 \cdot 61,4) = 77,6,$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-3} \cdot \sum_{i=1}^3 (n_i - 1) \cdot S_i^2} = \sqrt{\frac{1}{21} (6 \cdot 38,77 + \dots + 4 \cdot 244,68)} \approx 10,2,$$

$$y_1 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}}{S} = \frac{95,0 - 77,6}{10,2} = 1,7,$$

$$y_2 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}}{S} = \frac{74,3 - 77,6}{10,2} = -0,3,$$

$$y_3 = \frac{\bar{x}_3 - \bar{x}}{S} = \frac{61,4 - 77,6}{10,2} = -1,6,$$

$$t_1 = \frac{y_1 \cdot \sqrt{n_1 \cdot (N-2)}}{\sqrt{N - n_1 - n_2 y_1^2}} = \frac{1,7 \cdot \sqrt{7 \cdot (24-2)}}{\sqrt{24-7-7 \cdot 1,7^2}} = \text{минус число},$$

$$t_2 = \frac{y_2 \cdot \sqrt{n_2 \cdot (N-2)}}{\sqrt{N - n_2 - n_2 y_2^2}} = \frac{-0,3 \cdot \sqrt{12 \cdot (24-2)}}{\sqrt{24-12-12 \cdot 0,3^2}} \approx -1,5,$$

$$t_3 = \frac{y_3 \cdot \sqrt{n_3 \cdot (N-2)}}{\sqrt{N - n_3 - n_3 y_3^2}} = \frac{-1,6 \cdot \sqrt{5 \cdot (24-2)}}{\sqrt{24-5-5 \cdot 1,6^2}} \approx -6,7.$$

В нашем примере критическое значение при двустороннем уровне значимости $\frac{q}{k} = \frac{0,05}{3} = 0,017$ и при $N-2=22$ степенях свободы равно 2,51.

Поскольку $|t_3| = 6,7$ намного превышает $t_{0,017, 22} = 2,51$, а величина t_1 получилась минимальная, нулевую гипотезу следует отклонить как неподтвердившуюся и принять альтернативу о том, что истинное среднее хотя бы в одной выборке существенно отличается от истинного среднего в других. Так как $95,0 - 77,6 = 17,4$ — максимально, то устраним первую выборку и вновь проверим нулевую гипотезу для второй и третьей выборок. (Заметим, что для двух выборок можно было воспользоваться простым критерием t Стьюдента).

$$N = \sum_{i=1}^2 n_i = 12 + 5 = 17,$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^2 n_i x_i = \frac{1}{17} (12 \cdot 74,3 + 5 \cdot 61,4) \approx 70,5,$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-2} \cdot \sum_{i=1}^2 (n_i - 1) \cdot S_i^2} = \sqrt{\frac{1}{17-2} (11 \cdot 89,05 + 4 \cdot 244,68)} \approx 11,4.$$

$$y_2 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}}{S} = \frac{74,3 - 70,5}{11,4} = 0,3,$$

$$y_3 = \frac{\bar{x}_3 - \bar{x}}{S} = \frac{61,4 - 70,5}{11,4} = -0,8,$$

$$t_2 = \frac{y_2 \cdot \sqrt{n_2 \cdot (N-2)}}{\sqrt{N - n_2 - n_2 y_2^2}} = \frac{0,3 \cdot \sqrt{12 \cdot (17-2)}}{\sqrt{17-12-12 \cdot 0,3^2}} \approx 2,07,$$

$$t_3 = \frac{y_3 \cdot \sqrt{n_3 \cdot (N-2)}}{\sqrt{N - n_3 - n_3 y_3^2}} = \frac{-0,8 \cdot \sqrt{5 \cdot (17-2)}}{\sqrt{17-5-5 \cdot 0,8^2}} \approx -2,32.$$

Критическое значение при двустороннем уровне значимости $\frac{q}{k} = \frac{0,05}{2} = 0,025$ и $N-2=15$ степенях свободы равно 2,60.

Так как $|t_3| = 2,32$ не превышает $t_{0,025, 15} = 2,60$, то нулевую гипотезу о равенстве истинных средних следует принять как подтвердившуюся.

Таким образом, проведенное исследование показало, что следует полагать равной средней микротвердости ряда золота — серебро в малосульфидной и умеренно-сульфидной формациях и более высокую среднюю микротвердость для этого минерального ряда в обогащенносульфидной формации.

II. УСТАНОВЛЕНИЕ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ В СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЯХ СОДЕРЖАНИЯ, РАЗМЕРОВ, ЗНАЧЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ И ДРУГИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

I. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ОДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В ДВУХ ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ W ВИЛКОКСОНА

Проверяется нулевая гипотеза о том, что истинные средние показатели (математические ожидания) $M\xi = a_1$ и $M\eta = a_2$ исследуемого свойства рудного минерала в двух ассоциациях равны при альтернативе, что они неравны. Проверенную нулевую гипотезу можно записать как $H_0: a_1 = a_2$ при альтернативе $H_1: a_1 \neq a_2$.

Дальнейшую процедуру применения критерия W Вилкоксона проведем на рассмотренном примере. Проверим гипотезу о том, что истинные средние значения микротвердости ряда золото — серебро в двух формациях — обогащенносульфидной и малосульфидной, равны при альтернативе, что они неравны, т.е. в одной формации средняя микротвердость рассматриваемого минерального ряда выше, чем в другой.

Составим из двух исходных выборок результатов замеров микротвердости ряда золото — серебро: $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_m$ и $y_1, y_2, \dots, y_1, \dots, y_n$ общий вариационный ряд в порядке возрастания членов этой объединенной $N = m + n$ выборки. Положим $m \leq n$ в противном случае выборки $\{x_i\}$ и $\{y_i\}$ поменяем местами.

Прономеруем все члены из N этого общего вариационного ряда.

I выборка	II выборка	Ранг (номер)	Исправленный ранг
	57,0	1	1
	66,5	2	2
	67,0	3	3
	70,0	4	4
	71,4	5	5
	72,0	6	6
	73,0	7	7
	75,5	8	8
	77,1	9	9
	84,6	10	10
87,0		11	11
	87,9	12	12
	89,5	13	13
90,0		14	14
91,0		15	15
94,4		16	16
97,0		17	17
101,5		18	18
104,0		19	19

В нашем примере число членов (m) в I выборке равно 7, а во второй (n) равно 12. Отметим, что одним и тем же значениям микротвердости следует присписать один и тот же средний ранг (исправленный ранг). В примере не встретились одинаковые значения микротвердости, поэтому все ранги в исправленные ранги совпадают. Если бы, например, вместо значений 84,6; 87,0; 87,9, которые имеют ранги 10, 11, 12, встретились три раза, допустим 87,9, то исправленные ранги этим значениям микротвердости составили бы $(10+11+12):3=11$.

Статистика W Вилкоксона представляет собой сумму исправленных рангов r (исправленных номеров) меньшей по числу членов выборки, в нашем случае I выборки ($m=7 < n=12$):

$$W = \sum_{i=1}^m r_i \text{ при } m < n$$

$$W = 11 + 14 + 15 + 16 + 17 + 18 + 19 = 110.$$

Критические значения критерия W Вилкоксона снимаются из таблицы 6.8 (Большев, Смирнов, 1965), либо рассчитываются по формулам в зависимости от того, превышают или нет m, n число 25.

А. СЛУЧАЙ, КОГДА $m < 25$ И $n < 25$

Он отвечает данным нашего примера, так как $m=7$, а $n=12$. По табл. 6.8 (Большев, Смирнов, 1965) определяем нижнее критическое значение $W_1(Q, m, n)$, а также снимаем значение двух математических ожиданий статистики Вилкоксона — $2MW$. Заметим, что Q представляет собой односторонний уровень значимости и соответствует $q/2$ в критерии t Стьюдента. В нашем примере $W_1(0,025, 7, 12) = 46$. Верхнее критическое значение $W_2(Q, m, n)$ вычисляются по формуле: $W_2(Q, m, n) = 2MW - W_1(Q, m, n)$. В нашем примере оно равно: $W_2(0,025, 7, 12) = 140$ (табл. 6.8) — $46 = 94$.

Интервал $W_1 - W_2$ определяет критические значения критерия Вилкоксона с двусторонним уровнем значимости $2Q$ ($2Q=q$). В нашем примере при $2Q=0,05$ $46-94$.

Б. СЛУЧАЙ, КОГДА m ИЛИ $n > 25$

Вычисляются критические значения W_1 и W_2 критерия Вилкоксона по следующим формулам:

$$W_1(Q, m, n) \approx \frac{m(m+n+1)-1}{2} - \Psi(1-Q) \cdot \sqrt{\frac{m(m+n+1)}{12}}$$

$$W_2(Q, m, n) = m(m+n+1) - W_1(Q, m, n),$$

где $\Psi(1-Q)$ — значение обратной функции нормального распределения с параметрами 0,1 (при уровне значимости $Q=q/2=0,025$ $\Psi(1-0,025)=1,96$).

Таким образом, нулевая гипотеза о равенстве истинных средних (математических ожиданий) принимается как подтвердившаяся, если вычисленная величина W окажется в пределах критических значений $W_1 - W_2$, т. е. $W_1 \leq W \leq W_2$. Нулевая гипотеза отклоняется как неподтвердившаяся и принимается альтернатива (истинные средние неравны), если вычисленная величина окажется за пределами критических, т. е. $W < W_1$ или $W > W_2$.

В нашем примере $W=110$. Так как $110 > 94$, то следует отклонить нулевую гипотезу и считать, что средняя микротвердость ряда золото — серебро в убогосульфидной и малосульфидной формациях отличается не случайно. Так как средние арифметические значения микротвердости в этих формациях $x_1=94,99$, $x_2=74,29$, то в убогосульфидной формации ряд золото — серебро в среднем характеризуется более высокими значениями микротвердости, чем в малосульфидной формации, и этот вывод совпадает с тем, который был сделан при использовании критерия Стьюдента.

2. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОДНОГО СВОЙСТВА РУДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В ТРЕХ И БОЛЕЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ H КРАСКЛА-УЭЛЛИСА

Так же, как при рассмотрении «обобщенного» критерия t Стьюдента, проверяем нулевую гипотезу о том, что истинные средние показатели исследуемого свойства, например, значений микротвердости, у одного и того же минерала, образовавшегося в k различных ассоциациях или формациях, равны: $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_k = a_0$, при альтернативе, что хотя бы для одного среднего имеет место неравенство $H_1: a_i \neq a_0$.

Составим из всех k исходных выборок наблюдений над исследуемым свойством общий вариационный ряд в порядке возрастания членов этой объединенной выборки. Пронумеруем все члены из N этого вариационного ряда, причем одним и тем же значениями свойства следует дать один и тот же средний исправленный ранг (номер), аналогично приему, рассмотренному в подразделе о применении критерия Вилкоксона.

Осуществим указанную выше процедуру на том же примере с замерами микротвердости ряда золото — серебро в убого-, мало- и умереносульфидных формациях:

I выборка	II выборка	III выборка	Ранг (номер)	Исправленный ранг
		47,0	1	1
		53,0	2	2
		53,6	3	3
	57,0		4	4
	66,5		5	5
	67,0	67,3	6	6
	70,0		7	7
	71,4		8	8
	72,0		9	9
	73,0		10	10
	73,0		11	11
	75,5		12	12
	77,1		13	13
	84,6		14	14
		86,0	15	15
87,0			16	16
	87,9		17	17
	89,9		18	18
90,0			19	19
91,0			20	20
94,4			21	21
97,0			22	22
101,5			23	23
104,0			24	24

Критерий H Краскла — Уэллиса представляет собой следующую величину:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \cdot \left(\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1),$$

где N — общее число замеров показателей свойств;

$N = \sum_{i=1}^k n_i$, в нашем примере $N = \sum_{i=1}^3 n_i = 7 + 12 + 5 = 24$;

R_i^2 — квадрат суммы исправленных рангов, приходящихся на все члены i -й выборки:

$$R_i^2 = \left(\sum_{j=1}^{n_i} r_j \right)^2, \quad i = 1, 2, \dots, k.$$

В нашем примере:

$$R_1^2 = \left(\sum_{j=1}^7 r_j \right)^2 = (16 + 19 + 20 + 21 + 22 + 23 + 24)^2 = 21\,025;$$

$$R_2^2 = \left(\sum_{j=1}^{12} r_j \right)^2 = (4 + 5 + 6 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 17 + 18)^2 = 16\,129;$$

$$R_3^2 = \left(\sum_{j=1}^5 r_j \right)^2 = (1 + 2 + 3 + 7 + 15)^2 = 784.$$

Рассчитаем величину H :

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \cdot \left(\sum_{i=1}^3 \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1),$$

$$H = \frac{12}{24 \cdot 25} \cdot \left(\frac{21\,025}{7} + \frac{16\,129}{12} + \frac{784}{5} \right) - 3 \cdot 25 \approx 14,9.$$

При условии, что верна нулевая гипотеза $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_k = a_0$, величина H распределена по закону Пирсона $\chi^2_{q, k-1}$ с уровнем значимости q и с $k-1$ степенями свободы. В нашем примере $\chi^2_{q=0,05, k-1=2} = 5,99$ (приводится во всех учебниках по статистике).

Нулевую гипотезу следует принять как подтвердившуюся, если H не превысит критического $\chi^2_{q, k-1}$. Если H окажется больше допустимого $H > \chi^2_{q, k-1}$, следует отклонить нулевую гипотезу и принять альтернативу, согласно которой хотя бы в одной выборке истинное среднее измеряемого свойства минерала статистически значимо, существенно отличается от средних показателей в других выборках.

В последнем случае статистические исследования не заканчиваются. Устраиваются тогда та выборка, где среднее арифметическое x_i максимально. Для оставшихся $k-1$ выборок вновь проверяют нулевую гипотезу, заново составив вариационный ряд и вычислив новую величину H . Этот процесс вычислений повторяется до тех пор, пока не будет выделена статистически однородная по значению среднего показателя свойства группа выборок (т. е. пока не будет принята нулевая гипотеза), либо не будет доказано, что все выборки характеризуются существенно различающимися средними показателями исследуемого свойства рудных минералов.

В нашем примере $H = 14,9 > 5,99$, поэтому нулевую гипотезу следует отклонить как неподтвердившуюся и принять альтернативу. Устраиваем первую выборку, где среднее арифметическое $x_1 = 94,99$ наибольшее.

Проверим нулевую гипотезу для второй и третьей выборок. Составим новый вариационный ряд и рассчитаем величину H (заметьте, что для двух выборок можно было воспользоваться критерием Вилкоксона).

II выборка	III выборка	Ранг (номер)	Исправленный ранг
	47,0	1	1
	53,0	2	2
	53,6	3	3
57,0		4	4
66,5		5	5
67,0		6	6
	67,3	7	7
70,0		8	8
71,4		9	9
72,0		10	10
73,0		11	11
75,5		12	12
77,1		13	13
84,6	86,0	14	14
87,9		15	15
89,5		16	16
		17	17

$$N = \sum_{i=1}^2 n_i = 12 + 5 = 17,$$

$$R_2^2 = \left(\sum_{i=1}^{12} r_2 \right)^2 = (4 + 5 + 6 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 16 + 17)^2 = 15\,625,$$

$$R_3^2 = \left(\sum_{i=1}^5 r_3 \right)^2 = (1 + 2 + 3 + 7 + 15)^2 = 776,$$

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \cdot \left(\sum_{i=1}^2 \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1) = \frac{12}{17 \cdot 18} \times \left(\frac{15\,625}{12} + \frac{776}{5} \right) - 3 \cdot 18 = 57,1 - 54 = 3,1.$$

Критическое значение $\chi^2_{q=0,05; k-1=2-1=1} = 3,841$.

Так как вычисленная величина $H = 3,1$ оказалась меньше критического значения $\chi^2_{q=0,05; 1} = 3,841$, то следует принять нулевую гипотезу как подтвердившуюся. Проведенное исследование с помощью критерия H Краскла—Уэлиса (так же, как и ранее проведенное статистическое исследование с помощью «обобщенного» критерия t Стьюдента) подтверждает, что в среднем микротвердость ряда золото—серебро в угбосульфидной формации существенно выше, чем в малосульфидной и умереносульфидной формации, где средняя микротвердость одна и та же.

III. УСТАНОВЛЕНИЕ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ В ДИСПЕРСИЯХ СОДЕРЖАНИЯ, РАЗМЕРОВ, ЗНАЧЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ И ДРУГИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ. СРАВНЕНИЕ ДИСПЕРСИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ СВОЙСТВ ОДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В ДВУХ ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ F ФИШЕРА

Как и математическое ожидание (истинное среднее), дисперсия является очень важной характеристикой распределения случайной величины — математического аналога измеряемого свойства рудного минерала. Дисперсия и ее квадратный корень — стандартное отклонение характеризуют степень рассеяния отдельных замеров свойств рудного минерала вокруг средних значений этих свойств. Поэтому во многих практических задачах сравнения выборочных данных, кроме проверки гипотезы о равенстве средних, целесообразна проверка гипотезы о равенстве дисперсий, или о равенстве меры колеблемости, разброса отдельных замеров свойств вокруг своих средних значений. Указанную задачу можно сформулировать как проверку нулевой гипотезы о равенстве дисперсий двух случайных величин по выборочным данным.

Пусть случайная величина ξ рассматривается как математический аналог исследуемого свойства минерала в первой ассоциации, а случайная величина τ — во второй ассоциации. Обозначим дисперсию случайной величины ξ как $D\xi = \sigma_1^2$, а случайной величины τ — как $D\tau = \sigma_2^2$. Тогда сформулированная выше нулевая гипотеза будет иметь вид $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ при альтернативе $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$.

Естественно, что принятие альтернативы означает, что дисперсии различны, т. е. степень рассеяния отдельных замеров свойств рудного минерала вокруг своих средних в одной ассоциации больше, чем в другой. Оценками истинных дисперсий σ_1^2 и σ_2^2 служат выборочные дисперсии S_1^2 и S_2^2 , определяемые по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

$$\text{где } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i.$$

Для проверки нулевой гипотезы $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ можно применить критерий F Фишера. Нулевая гипотеза H_0 принимается как подтвердившаяся, если вычисленное отношение статистических оценок дисперсий F :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ при условии } S_1^2 \geq S_2^2$$

не превысит табличного значения F распределения Фишера с заданным уровнем значимости q и при n_1-1 и n_2-1 степенях свободы.

Нулевая гипотеза отклоняется как неподтвердившаяся и принимается альтернатива $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$, если F превысит критическое F_{q, n_1-1, n_2-1} .

Значения F распределения приводятся во всех учебниках по математической статистике.

Приведем пример проверки гипотезы о равенстве дисперсий и значениях микротвердости ряда золото—серебро в угбосульфидной и малосульфидной формациях. Исходные данные и расчет выборочных дисперсий приводились выше: $S_1^2 = 38,77$; $n_1 = 7$; $S_2^2 = 89,06$; $n_2 = 12$.

Вычислим величину F :

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \frac{89,06}{38,77} = 2,297.$$

Заметим, что берется отношение S_2^2/S_1^2 , а не наоборот, так как в числителе следует ставить большее значение из двух выборочных дисперсий.

Критическое значение F при уровне значимости $q=0,05$ и при $12-1=11$ и $7-1=6$ степенях свободы равно 4,06. Так как $F = 2,297$ оказалось меньше табличного $F_{0,05; 11; 6} = 4,06$, то нулевую гипотезу о равенстве истинных дисперсий значений микротвердости ряда золото—серебро в указанных формациях следует принять как подтвердившуюся, а различия в выборочных дисперсиях $S_1^2 = 38,77$ и $S_2^2 = 89,06$ признать случайными, несущественными.

СРАВНЕНИЕ БОЛЕЕ ДВУХ ДИСПЕРСИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ СВОЙСТВ ОДНОГО МИНЕРАЛА, ОБРАЗОВАВШЕГОСЯ В k ГЕНЕТИЧЕСКИ РАЗНЫХ АССОЦИАЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ БАРТЛЕТТА

Пусть случайная величина ξ рассматривается математическим аналогом исследуемого свойства минерала в первой ассоциации, случайная величина τ — во второй ассоциации и т. д.; случайная величина η — пусть аналог свойства минерала в k -ассоциации. Обозначим дисперсии этих случайных величин как $D\xi = \sigma_1^2$; $D\tau = \sigma_2^2$; ... $D\eta = \sigma_k^2$.

Проверим нулевую гипотезу о равенстве истинных дисперсий во всех k -группах:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \dots = \sigma_{k-1}^2 = \sigma_0^2$$

при альтернативе H_1 , согласно которой хотя бы одно значение дисперсии отличается от дисперсий в других группах:

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_0^2$$

Согласно Бартлетту нулевую гипотезу H_0 следует принять как подтвердившуюся, если величина χ^2 не превысит критического $\chi_{\alpha, k-1}^2$ с уровнем значимости q и с $k-1$ степенями свободы.

$$\chi^2 = \frac{2,3056}{C} \left[\sum_{i=1}^k (n_i - 1) \lg S_p^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \lg S_i^2 \right],$$

где

$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)} \right],$$

$$S_p^2 = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^k n_i \right) - k} \cdot \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \cdot S_i^2.$$

Нулевую гипотезу отклоняют как неподтвердившуюся и принимают альтернативу о том, что хотя бы одна дисперсия в одной ассоциации существенно отличается от дисперсий в других ассоциациях, если χ^2 превысит допустимое $\chi_{\alpha, k-1}^2$ с уровнем значимости q и с $k-1$ степенями свободы.

В случае принятия альтернативы статистические исследования по этому не заканчиваются. Следует исключить ту выборку с параметрами свойства рудного минерала, которая характеризуется максимальным модулем отклонения выборочной дисперсии S_i^2 от оценки генеральной дисперсии:

$$S_{\text{ген}}^2 = \frac{1}{N - k} \cdot \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \cdot S_i^2 = S_p^2.$$

Для оставшихся $k-1$ выборок вновь проверяется нулевая гипотеза:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \dots = \sigma_{k-1}^2$$

с новым вычислением величины χ^2 . Этот процесс проверки нулевых гипотез продолжается до тех пор, пока не будет для какой-то группы выборок принята нулевая гипотеза, либо не будет доказано, что все выборки характеризуются различными дисперсиями в случае принятия альтернативы.

Пусть, например, выборочные дисперсии отражательной способности одного минерала, отобранного из пяти различных ассоциаций, оказались равными:

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1) $n_1 = 109$; | $S_1^2 = 112,57$. |
| 2) $n_2 = 46$; | $S_2^2 = 108,16$. |
| 3) $n_3 = 37$; | $S_3^2 = 784,00$. |
| 4) $n_4 = 6$; | $S_4^2 = 215,80$. |
| 5) $n_5 = 13$; | $S_5^2 = 121,44$. |

Проверим нулевую гипотезу о том, что истинные дисперсии случайных величин как аналогов отражательной способности исследуемого минерала в пяти ассоциациях равны между собой, а различия в выборочных дисперсиях случайны, не существенны. Альтернатива заключается в том, что хотя бы одна дисперсия одной случайной величины отличается значимо от дисперсий других случайных величин.

Найдем логарифмы от значений выборочных дисперсий и произведем необходимые расчеты:

$$C = 1 + \frac{1}{3(5-1)} \cdot \left[\sum_{i=1}^5 \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{\sum_{i=1}^5 (n_i - 1)} \right] =$$

$$= 1 + \frac{1}{12} \left[\left(\frac{1}{108} + \frac{1}{45} + \dots + \frac{1}{12} \right) - \frac{1}{(108 + 45 + \dots + 12)} \right] \approx 1,03;$$

$$\lg S_p^2 = \lg \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^5 n_i - k} \cdot \sum_{i=1}^5 (n_i - 1) \cdot S_i^2 \right] =$$

$$= \lg \left[\frac{1}{206} \cdot (108 \cdot 112,57 + 45 \cdot 108,16 + \dots + 12 \cdot 121,44) \right] = \lg [231,97] = 2,37;$$

$$\sum_{i=1}^5 (n_i - 1) \lg S_p^2 = 2,37 (108 + 45 + \dots + 12) = 488,22;$$

$$\sum_{i=1}^5 (n_i - 1) \lg S_i^2 = (108 \cdot \lg 112,57 + 45 \cdot \lg 108,16 + \dots + 12 \cdot \lg 121,44) =$$

$$= (108 \cdot 2,05 + \dots + 12 \cdot 2,08) = 453,45,$$

$$\chi^2 = \frac{2,3056}{C} \cdot \left[\sum_{i=1}^5 (n_i - 1) \lg S_p^2 - \sum_{i=1}^5 (n_i - 1) \lg S_i^2 \right] =$$

$$= \frac{2,3056}{1,03} [488,22 - 453,45] = 77,89.$$

Критическое значение χ^2 при уровне значимости $q=0,05$ и с $k-1=4$ степенями свободы равно 9,488. Так как $\chi^2=77,89$ намного больше допустимого $\chi_{0,05,4}^2=9,488$, то нулевую гипотезу о равенстве дисперсий во всех пяти группах следует отклонить как неподтвердившуюся и принять альтернативу о неравенстве дисперсий сразу в пяти выборках.

Устраним третью выборку с оценкой дисперсии $S_3^2=784,00$, так как модуль отклонения ее от оценки генеральной дисперсии $S_p^2=231,97$ будет максимальным ($784,00 - 231,97 = 552,03 = \text{max}$). Для оставшихся четырех выборок (1, 2, 4, 5) вновь проверим нулевую гипотезу о равенстве дисперсий:

$$C = 1 + \frac{1}{3(4-1)} \cdot \left[\sum_{i=1}^4 \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{\sum_{i=1}^4 (n_i - 1)} \right] =$$

$$= 1 + \frac{1}{9} \left[\left(\frac{1}{108} + \dots + \frac{1}{12} \right) - \frac{1}{(108 + \dots + 12)} \right] \approx 1,03;$$

$$\lg S_p^2 = \lg \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^4 n_i - k} \cdot \sum_{i=1}^4 (n_i - 1) \cdot S_i^2 \right] =$$

$$= \lg \left[\frac{1}{170} \cdot (108 \cdot 112,57 + \dots + 12 \cdot 121,44) \right] = \lg [115,07] = 2,06,$$

$$\sum_{i=1}^4 (n_i - 1) \lg S_p^2 = 2,06 (108 + \dots + 12) = 350,20,$$

$$\sum_{i=1}^4 (n_i - 1) \lg S_i^2 = (108 \cdot \lg 112,57 + \dots + 12 \cdot \lg 121,44) =$$

$$= (108 \cdot 2,05 + \dots + 12 \cdot 2,08) = 349,41,$$

$$\chi^2 = \frac{2,3056}{C} \cdot \left[\sum_{i=1}^4 (n_i - 1) \lg S_p^2 - \sum_{i=1}^4 (n_i - 1) \lg S_i^2 \right] =$$

$$= \frac{2,3056}{1,03} [350,20 - 349,41] = 1,77.$$

Критическое значение χ^2 при уровне значимости $q=0,05$ и с $k-1=3$ степенями свободы равно 7,81.

Так как вычисленное значение $\chi^2=1,77$ не превысило допустимого $\chi_{0,05,3}^2=7,81$, то нулевую гипотезу о равенстве дисперсий в четырех выборках следует принять как подтвердившуюся.

Таким образом, по величине дисперсии исходные пять ассоциаций одного и того же минерала следует разделить на две группы: в первую входят 1, 2, 4, 5-ая

ассоциации, характеризующиеся равными значениями дисперсий (т. е. степенью разброса отдельных значений отражательной способности исследуемого минерала вокруг своих средних) и во вторую группу входит лишь одна — 3-ья ассоциация, характеризующаяся существенно большей величиной дисперсии, чем в первой группе.

В заключение дадим следующие практические рекомендации.

1. При малом числе наблюдений над свойствами рудных минералов (до 50) рекомендуется применять непараметрические критерии Вилкоксона для двух выборок и Краскала — Уэлиса для трех и более выборок, как малотрудоёмкие в расчетной части и достаточно мощные статистические методы, не зависящие от законов распределения исходных данных.

2. При числе наблюдений $\sim 50-150$, по-видимому, следует отдать предпочтение параметрическим критериям t Стьюдента, которые по сравнению с непараметрическими методами будут характеризоваться меньшей трудоёмкостью в расчетной части, а требование «нормальности» распределений при таком числе наблюдений не будет чрезмерно жестким. В первом приближении можно пренебрегать проверкой законов распределения. Несогласованность с нормальным законом, по-видимому, не будет сильно понижать мощность этих критериев.

3. При большом числе наблюдений $\gg 150$ следует предварительно группировать исходные данные в равные интервалы и применить параметрические методы. Применение непараметрических методов нецелесообразно из-за трудоёмкости в расчетной части. Среднее арифметическое и выборочная дисперсия по сгруппированным m -интервалам исходных данных определяются с помощью формул:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^m \bar{x}_i n_i,$$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \bar{x})^2 n_i,$$

$$N = \sum_{i=1}^m n_i,$$

где \bar{x}_i — середина i -вого интервала; n_i — частота в i -вом интервале.

4. Выявление сходства-различий в дисперсиях с помощью параметрических критериев Фишера и Бартлетта вполне обоснованно при любом числе наблюдений над свойствами рудных минералов.

ЛИТЕРАТУРА

- Бадалова Р. П. и др. Изучение микротвердости минералов ряда золото—серебро из золоторудных месторождений Узбекистана. В кн. «Физические свойства редкометалльных минералов и методы их исследования». М., изд-во «Наука», 1968.
- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., изд-во «Наука», 1965.
- Ветров Д. Г., Добряков В. И. Об использовании коммутативной кривой частот при обработке наблюдений. «Вопросы геофизики разведки», Гостехиздат, 1962.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. Изд. АН СССР, 1963.
- Мезенцев О. К. и др. Статистическая обработка данных геохимических поисков. «Разведка и охрана недр», 1964, № 10.
- Миллер Р. Л., Дж. С. Кан. Статистический анализ в геологических науках. М., изд-во «Мир», 1965.
- Родионов Д. А. Функции распределения содержания элементов и минералов в изверженных горных породах. М., изд-во «Наука», 1964.
- Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М., изд-во «Недра», 1965.

КУРСОВАЯ РАБОТА ПО КУРСУ «МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

Курсовая работа по минералогии имеет цель закрепить знания по курсу «Методы исследования вещественного состава полезных ископаемых». Выполняется работа на коллекциях штучных образцов, прозрачных и полированных шлифов и представляется докладом конкретного материала по данному месторождению. Лучше, если образцы для шлифов на месторождении отобраны самим студентом.

При выполнении курсовой работы студент, кроме основных методов, применяемых в лабораторной практике, должен применить один из специальных методов исследования (количественного измерения микротвердости, измерение отражательной способности, количественная характеристика анизотропии и др.), обосновав необходимость применения специального метода для решения какого-либо вопроса (как-то: обоснование генераций, метаморфизма, температуры образования и др.).

По предлагаемому ниже плану должны составляться соответствующие главы (Вещественный состав руд) производственных геологических отчетов.

ПЛАН КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В введении (на каком материале выполнена работа, количество изученных шлифов, применяемые методы исследования).

1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Для написания этого раздела необходимо с помощью реферативного журнала (раздел «Рудные месторождения») подобрать литературу по геологии изучаемого месторождения и привести список использованной литературы с указанием автора, места и года издания работы.

Примерный объем этого раздела курсовой работы не должен превышать трех страниц машинописного текста.

II. ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ

1. Макроскопическое изучение штучных образцов, выделение в руде минеральных ассоциаций и составление предварительной схемы последовательности их образования в руде, на которой показано количественное проявление каждой ассоциации в месторождении (морфологические типы макротекстур).

2. Микроскопическое изучение полированных и прозрачных шлифов и составление таблиц минерального состава руд месторождения с выделением: 1) главных, 2) второстепенных и 3) редко и весьма редко встречающихся минералов в рудах.

Описание всех рудообразующих минералов проводится пометалло по следующему плану:

- а) название минерала, его формула, его диагностические признаки;
 - б) формы проявления и количество его в различных типах руд;
 - в) морфогенетические особенности минеральных выделений (зерен);
 - г) типы первичных и вторичных структур;
 - д) описание особенностей тиломорфизма различных генераций минерала и характерных для каждой из них минеральных ассоциаций.
3. Описание минеральных ассоциаций с выделением: 1) главных минеральных ассоциаций; 2) минеральных ассоциаций, имеющих в руде второстепенное значение; 3) минеральных ассоциаций, встречающихся в рудах редко.

Описание минеральных ассоциаций делается по следующему плану:

- 1) форма и размер минеральных ассоциаций;
- 2) минеральный состав;
- 3) характерные для минеральной ассоциации первичные и вторичные типы структур.

4. Описание генетических групп текстур и характерных для каждой из групп морфологических типов текстур с указанием закономерностей их распространения в различных типах руд.

5. Составление схемы последовательности минералообразования в рудах и описание выделенных этапов и стадий минерализации с точки зрения условий их образования и масштабов проявления в рудах.

6. Заключение, в котором необходимо указать, к какому типу рудной формации может быть отнесено изучение месторождения на основании проведенных исследований.

III. КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД

1. Составление таблицы количественного минералогического состава руд с пометками по расположению минералов.
2. Описание минералов, содержащих полезные и вредные примеси:
 - а) минерал и его формула;
 - б) количественное его содержание в различных типах руд;
 - в) фракционный анализ (группировка по размерам) минеральных выделений, содержащих полезные и вредные примеси в различных типах руд;
 - г) характер границ минеральных выделений.
3. Типы минеральных сростаний (указать в процентах их содержание) по категориям их обогатимости.

В заключение нужно заполнить карточку качественной характеристики руд и дать рекомендации, которые должны быть учтены при выборе наиболее рационального метода обогащения руд и получения чистых рудных концентратов (указать степень измельчения и группы благоприятных и неблагоприятных для обогащения текстур и структур руд).

Приложение VI

ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРИИ ПО МЕТОДАМ ИССЛЕДОВАНИЯ РУД ПОД МИКРОСКОПОМ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

В лаборатории для проведения занятий по микроскопическому изучению руд необходимо иметь:

1. Вытяжной шкаф с двумя отделениями (одно отделение — для хранения реактивов с кислотами; другое отделение — для проведения реакций — сплавления, выпаривания, обработки минералов царской водкой и т. д.).
2. Шкафы для хранения микроскопов и другого оборудования, материалов и реактивов.
3. Витрины для демонстрации текстур и структур руд.
4. Шкафы для хранения учебных наглядных пособий.

Список оборудования и материалов для организации типовой учебной лаборатории по курсу «Методы лабораторного исследования вещественного состава полезных ископаемых»

	Фабричная марка	Назначение
Эпидиоскоп		Для демонстрации графического материала в лекционной части курса
Экран		То же
Установки для монтажа сравнительных микроскопов	МС-51, МИН-8 сравнительная насадка	Для сравнительного определения отражательной способности и цвета минералов в полированных шлифах
Установки (столы) для количественного определения отражательной способности	ОКС-1 ФМЭ-1 ПОСС-1	Для количественного определения отражательной способности, цвета и двуотражения минералов в отраженном свете
Установки с затемнением для люминесцентного анализа	ЛЮМ-2 или ОИ-18	Для определения люминесценции минералов в полированных шлифах
Установки с затемнением для микрофотографирования шлифов	МИМ-7	Для микрофотографирования и детального изучения структур и текстур руд
Установки для монтажа приборов микротвердости	ПМТ-3	Для количественного определения твердости минералов в полированных шлифах
Лабораторные столы для монтажа лабораторий по микрохимическому анализу руд и хранения материалов	ЛОР ЛРЭ	Для диагностики минералов; проведения фазового анализа руд по методу отпечатков; определения изоморфных примесей в минералах
Микроскопы с прессом для полировки шлифов	МИН-8 МИН-9 МП-4	Для лабораторной работы студентом
Бинокли	МП-5 МБС-1 МБС-2	Для изучения микрохимических реакций кристаллохимического анализа; изучения структур и текстур руд и взаимоотношений рудных и нерудных минералов
Демонстрационные окуляры	Ал-14	Для проведения консультаций по микроскопическому изучению руд
Теневой клин Воллсского	ОКФ-1	Для определения отражательной способности, цвета и двуотражения минералов в полированных шлифах в отраженном свете на микроскопе
Интеграционные столики конструкции Андина	ИСА	МИН-9 Для проведения количественного геометрического анализа руд
Пушиинтегратор системы Глаголева		То же
Иголки стальные в оправках		Для определения средней и высокой твердости минералов

	Фабричная марка	Назначение
Иголки медные в оправках		Для определения низкой твердости минералов
Пластинки		Для прикрепления и монтажа полированных шлифов
Стекланные или металлические пластики		Для монтажа полированных шлифов
Приборы для определения жидких включений в рудных минералах		Для определения температуры гомогенизации газопо-жидких включений в прозрачных и непрозрачных минералах
Приборы для определения рН суспензии минералов по методу Карюкиной		Для диагностики минералов и определения рН газопо-жидких включений в минералах

Учебные наглядные пособия

	Размер, м	Назначение
Схема хода лучей в рудном микроскопе	0,5×0,5	Для демонстрации
Схемы опак-иллюминаторов по Нане и Бенке	0,5×0,5	» »
Схема хода лучей в камере Иностранцева	0,5×0,5	» »
Разрез микрофотометра Берека	0,5×0,5	» »
Схемы (разрезы) микроскопов с опак-иллюминаторами МИН-8 и МИН-9	1×1	» »
Схема двойного микроскопа с камерой Иностранцева (по Вахромееву)	0,5×0,5	Для иллюстрации
Схема-разрез двойного микроскопа МС-51	0,5×0,5	» »
Кривая для определения отражательной способности минералов (по Вахромееву)	0,5×0,5	Для иллюстрации и для количественного определения отражательной способности минералов
Кривая для определения минералов группы окислов и гидроокислов железа (по Юшко)	0,5×0,5	Для иллюстрации и для определения отдельных минералов группы окислов и гидроокислов железа
Кривая отражательной способности минералов группы окислов и гидроокислов марганца (по Юшко — Петрову)	0,5×0,5	Для демонстрации и определения минералов группы окислов и гидроокислов марганца
Таблицы диагностических свойств рудных минералов в отраженном свете (по Боршанской и по Вольнскому)	3×3	Для демонстрации
Определительные таблицы (по Юшко и Иванову)	5×5	» »
Таблица с группировкой минералов по твердости	2×2	» »
Таблица с группировкой минералов по цвету их в отраженном свете	2×2	» »
Таблица для определения твердости минералов по рельефу	0,5×0,5	» »
Таблица с группировкой минералов по внутренним рефлексам	2×2	» »

	Размер, м	Назначение
Таблица с группировкой минералов по степени их анизотропии и двуотражению	2×2	Для демонстрации
Генетическая классификация структур руд (по Юшко)	2×2	» »
Генетическая классификация текстур руд (по Юшко)	2×2	» »
Генетическая классификация структур руд (по Бетехтину)	1×1	» »
Генетическая классификация текстур руд (по Бетехтину)	1×1	» »
Генетическая классификация структур руд (по Вахромееву)	1×1	» »
Генетическая классификация текстур руд (по Вахромееву)	1×1	» »
Генетическая классификация структур и текстур руд (по Исаенко)	1×3	» »
Таблица, иллюстрирующая степень метаморфизма руд	1×1	» »
Таблица критериев последовательности отложения минералов в рудах	1×1	» »
Схемы последовательности образования минералов	1×1	» »
Круговая схема последовательности образования минералов в руде	1×1	» »
Таблица минералов, образующихся при распаде твердых растворов	1×2	» »
Таблица методов выявления зернистого строения минералов в полированных шлифах	2×2	» »
Текстуры, влияющие на степень обогащения руд	1×2	» »
Структуры руд, влияющие на степень обогащения руд	1×2	» »
Влияние размера минеральных выделений на выбор метода обогащения руд	2×1	» »
Схема-диаграмма парагенезисов минералов (по Бетехтину)	1×1	» »
Морфологические типы структур генетической группы кристаллизации растворов и расплавов (зернистые структуры)	1×1	» »

	Размер, мм	Назначение
Морфологические типы структур генетической группы кристаллизации растворов и расплавов (коррозионные структуры)	1×1	Для демонстрации
Морфологические типы текстур генетической группы метасоматического замещения	1×1	» »
Морфологические типы структур распада твердого раствора	1×1	» »
Морфологические типы метаколлоидных структур	1×1	» »
Морфологические типы катакlastических структур	1×1	» »
Морфологические типы текстур кристаллизации и ликвации расплавов	1×1	» »
Морфологические типы текстур седиментации и диагенеза	1×1	» »
Морфологические типы текстур заполнения пустот	1×1	» »
Морфологические типы текстур метасоматического замещения (коррозионные)	1×1	» »
Морфологические типы текстур метасоматического замещения (унаследованные)	1×1	» »
Морфологические типы текстур динамометаморфизма (дробления и смятия)	1×1	» »
Морфологические типы текстур динамометаморфизма (течения и перекристаллизации)	1×1	» »
Морфологические типы текстур выветривания (дробления и выщелачивания)	1×1	» »
Морфологические типы текстур выветривания — метасоматического замещения (коррозионные)	1×1	» »
Морфологические типы текстур выветривания (метасоматического замещения — унаследованные)	1×1	» »
Морфологические типы текстур выветривания (заполнения пустот)	1×1	» »
Таблица реакций микрохимического анализа методом отпечатка на отдельные элементы и методом получения цветных пленок	1×2	» »
Две иллюстрационные таблицы отпечатков на Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Fe, Mn, Mo и U	1×1 1×1	» »
Схема описания полированного шлифа	1×1	» »

Коллекции		
	Содержание	Назначение
Учебная коллекция шлифов с минералами различных физических свойств	Галенит + сфалерит Антимонит + кизвоарь Сфалерит + вольфрамит Дрессенопирит + пирит Халькопирит + пирротин Магнетит + ильменит Молибденит + кварц Малахит + куприт Медь самородная Золото самородное	Для лабораторной работы студентов при изучении физических свойств минералов
Коллекция шлифов для диагностики минералов	Галенит, антимонит, арсенопирит, хлоантит, маухерит, шмальтин, кобальтин, теннантит, тетраэдрит, буланжерит, бурнит, касситерит, пентлаидит, халькозин, борнит, реальгар, настуран, хромит, пирротин, шикелин	Для лабораторной работы студентов по диагностике минералов путем определения их физических и химических свойств
Коллекция шлифов для фазового анализа по методу отпечатка	Свинцовая руда: церуссит, англезит, вульфенит, галенит и др.	Для лабораторной работы студентов по изучению реакций фазового анализа по методу отпечатков
	Цинковая руда: госларит, гидроджинит, каламин, цинкопирит и т. д.	То же
	Медная руда: халькантит, халькозин, борнит, халькопирит и т. д.	»
	Никелевая руда: пентлаидит, пирротин, хлоантит, никелин, аннабергит и др.	»
	Кобальтовая руда: эритрия, шмальтин и др.	»
	Железная руда: мелантерит, пирит, арсенопирит, железистый карбонат, магнетит, гематит, гётит, гидрогётит и др.	»
Коллекция шлифов для выявления агрегатного строения минеральных выделений	Антимонит, пирротин, халькопирит, сфалерит, пирит, арсенопирит, галенит	»
Коллекция шлифов генетических типов структур руд, состоящая из 6 шлифов с преобладанием одного из генетических типов структур в каждом шлифе	Шлифы: с зернистой и коррозийной структурой кристаллизации; метазернистой структурой метасоматического замещения — структурами распада твердого раствора; — катакlastическими структурами и — структурами метаколлоидными	Для лабораторной работы студентов при изучении генетических и морфологических типов структур руд
Коллекция шлифов генетических типов текстур, состоящая из 6 шлифов с преобладанием одного из генетических типов текстур в каждом шлифе	Шлифы: с текстурой магматической кристаллизации; текстура седиментации и диагенеза; — заполнения пустот; — метасоматического замещения; метаморфизма; выветривания	То же

	Содержание	Назначение
Коллекции, состоящие из полированных и прозрачных шлифов, характеризующие основные типы руд из различных генетических типов	Руды магматического генезиса	Для лабораторной работы студентов
	Руды контактового генезиса	То же
	Руды гидротермального генезиса	»
	Руды осадочного генезиса	»
	Руды метаморфического генезиса	»
Коллекции шлифов для проведения контрольных работ по диагностике минералов	Руды месторождений выветривания	»
	Шлифы, в состав которых входят минералы различных металлов	Для самостоятельной лабораторной работы студентов
Коллекции шлифов для проведения контрольных лабораторных работ по структурам и текстурам руд	Шлифы, характеризующие определенные типы руд из различных генетических типов месторождений	Для самостоятельной лабораторной работы студентов
	По 5-6 полированным и 2-3 прозрачным шлифам, характеризующим основные типы руд различных генетических типов месторождений	Для самостоятельной работы студентов

Реактивы, применяемые при изучении руд, их назначение и способ приготовления

Название реактива	Способ приготовления реактива	Назначение реактива	Стр.
Азотная кислота HNO_3	Концентрированная: уд. вес 1,3; разбавленные водные растворы 1:1; 1:20; 1:40	Растворение минералов	72, 75 100
Азотнокислое серебро AgNO_3	Водные растворы 5- и 20%-ные	Определение кальция, мышьяка, хлора	91, 97 81
Азотнокислый кобальт $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	Водный раствор 0,1%-ный; 1 часть 20%-ного водного раствора + 1 часть концентрированной азотной кислоты	Определение цинка и ртути	93, 98
Азотнокислая медь $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Водные растворы 0,1; 20%	Определение цинка и кальция	81, 98
Азотнокислый цинк $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	Водный раствор 1- и 5%-ный	Определение кобальта	89
α -нитрозо- β -нафтол	50 мг α -нитрозо- β -нафтола растворяют в 100 мл 50%-ной уксусной кислоты	Определение кобальта	89
Аммиак NH_4OH	Водные растворы 25- и 10%-ные	Растворение минералов и нейтрализация испытуемых растворов; определение меди	90, 1
Аммиачно-серебряная соль $\text{Ag}[(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{OH}]$	К насыщенному раствору азотнокислого серебра добавляют соляную кислоту до полного выпадения осадка. Осадок отфильтровывают и растворяют в избытке аммиака	Определение мышьяка	

Название реактива	Способ приготовления реактива	Назначение реактива	Стр.
Бензидин	0,5 г бензидина растворяют в 10 мл 5%-ной уксусной кислоты и разбавляют до 100 мл	Определение марганца, ванадия, хрома, золота	90, 86, 98, 88
Барий хлористый BaCl_2 Гипосульфит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Водный раствор 5%-ный Водный раствор 5%-ный	Определение серы Обесцвечивание йода, выделяющегося из йодистого калия при употреблении крепких кислот для растворения минералов	94, 97
Диметилглиоксим	0,1 г соли растворяют в 100 мл 95%-ного спирта	Определение никеля	91
Йодистый калий KI	В сухом виде (порошок) и водный раствор 5%-ный	Определение свинца, сурьмы, висмута, теллура	93, 95, 85, 96
Дитизон	1-2 г дитизона растворяют в 100 мл четыреххлористого углерода	Определение свинца, цинка	
Калий едкий KOH	Водный раствор 5- и 20%-ный	Определение антимонита, меди, урана, молибдена, ртути	90
Калий железисто-синеродистый (желтая кровяная соль) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Водный раствор 5%-ный	Определение Fe^{3+} , молибдена, меди, урана	88, 90, 97
Калий железосинеродистый (красная кровяная соль) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Водный раствор 5%-ный	Определение Fe^{2+} , кобальта, марганца, цинка	88, 89, 98
Калий роданистый KCNS	Водный раствор 5%-ный	Определение железа, молибдена	88, 90
Коллоидный раствор	10 г сухого желатина замачивают в 100 г воды на 1 ч и по истечении этого времени раствор подогревают (не доводя до кипения) до получения однородного коллоидного раствора	Проведение фазового микрохимического анализа на все химические элементы	100, 102
Молибденовокислый аммоний	В сухом виде (порошок) и насыщенный раствор в концентрированной азотной кислоте и воде	Определение фосфора, мышьяка, железа, олова	98, 91, 92
Мышьяковистый ангидрид As_2O_3	0,5 г мышьяковистого ангидрида растворяют в небольшом количестве едкой щелочи в колбе емкостью 100 мл, добавляют H_2O до 100 мл и нейтрализуют H_2SO_4	Определение ртути	
Р-диметиламинобензальдегидроксиантин	1 г соли растворяют в 100 мл спирта	Определение серебра	
Перекись водорода H_2O_2	Водные растворы 30- и 10%-ные	При растворении минералов и определение ванадия и титана	96, 86, 97
Перекись натрия Na_2O_2	В сухом виде	Определение хрома	97
Рубеановая кислота	1 г соли растворяют в 100 мл 95%-ного спирта	Определение меди, никеля, кобальта	90, 91 89
Ртутно-родановая соль $\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$	8 г сулемы и 10 г роданистого аммония растворяют в 100 мл воды; или 8 г красной окиси ртути обрабатывают несколькими каплями HCl конц. до обесцвечивания, затем добавляют 10 г роданистого калия и разбавляют водой до 100 мл	Определение цинка, кобальта, меди, никеля	89, 90, 91, 95

Название реактива	Способ приготовления реактива	Назначение реактива	Стр.
Серная кислота H ₂ SO ₄	Концентрированная, уд. вес 1,84 и водные растворы 1:1, 1:4, 1:20	Определение теллура, растворение минералов	96
Сулема HgCl ₂ Тимочевица	Водный раствор 20%-ный Водный раствор 10%-ный	Определение олова Определение висмута, селена	86
Фосфорно-натриево-аммониевая соль Na ₂ (NH ₄)PO ₃	Водный раствор 20%-ный	Употребляется в качестве маскирующего реактива при определении никеля	
Хлористый цезий CsCl	В сухом виде (порошок) и водный раствор 10%-ный (раствор готовить перед работой)	Определение сурьмы, висмута, теллура	86, 95, 96
Хлорное железо FeCl ₃ Хромовокислый калий K ₂ CrO ₄	Водный раствор Водный раствор 20%-ный	Определение кальцита Определение серебра и свинца	95
Хромпик (двухромовокислый калий)	Водный раствор 20%-ный; насыщ. раствор в азотной кислоте	Определение серебра	95
Хлорное олово SnCl ₂	В концентрированной соляной кислоте уд. вес 1,19 растворяют металлическое олово до насыщ.	Определение золота, молибдена, закисного железа Fe ²⁺ , вольфрама	88
Царская водка	1 часть HNO ₃ (конц.), уд. вес 1,3 + 2 части HCl (конц.), уд. вес 1,19	Употребляется при растворении минералов: халькоприта, сфалерита, блеклой руды и др.	120
Щелочной раствор перманганата KMnO ₄ + KOH	Насыщенный раствор перманганата разбавляют равным объемом 20%-ного раствора едкого натра	Структурное травление	120

УКАЗАТЕЛЬ СТРУКТУР РУД

Аллоотриоморфнобластическая	143	Пегельчатая	141
Аллоотриоморфнозернистая	134	Пламенивидная	139
Аллоотриоморфнометазернистая	137	Пластинчатая	141
Афанитовая	137	Пойкилобластическая	142
Гелевая	138	Пойкилитовая	134
Гипидиоморфнобластическая	142	Порфиробластическая	146
Гипидиоморфнозернистая	132	Порфирокластическая	146
Гипидиоморфнометазернистая	137	Порфировидная	133
Гранокластическая	146	Радиальнолучистая	143
Графическая распада *	139	Разъедания	135
Графическая кристаллизации	134	Редиктовая	135
Графическая замещения	134	Решетчатая	141
Гребенчатая	132	Сидеронитовая	133
Дробленая	146	Скелетная	135
Зональная распада *	141	Скрытокристаллическая	134
Идиоморфнозернистая	132	Скрытокристаллобластическая	143
Идиоморфнобластическая	141	Скрытометазернистая	137
Идиоморфнометазернистая	137	Смятия	146
Коллоидная	138	Субграфическая распада *	139
Коллоиднометакolloидная	143	Субграфическая кристаллизации	134
Неоднородная распада *	139	Субграфическая замещения	134
Обломочная	138	Сферолитовая	143
Ориентированно-зернистая	146	Эмульсионная	141
Ориентированно-кластическая	146		

* Структуры распада твердого раствора.

УКАЗАТЕЛЬ ТЕКСТУР РУД

Брекчиевая 158, 172, 173, 179, 181	Органогенная реликтовая 170
Брекчиевидная реликтовая 170, 172	Очковая 172
Брекчиевидная 158	Охристая 173
Бобовая 162	Петельчатая 176
Вкрапленная 158, 162, 166, 169	Пересечения 168
Графическая 177	Площатая 171, 173
Гнейсовидная 172	Полосчатая 156, 159, 164, 169
Губчатая 175	Полосчатая реликтовая 169
Дендритовая 178, 179	Полосчатая метаморфическая 171
Диффузно-полосчатая 169	Пористая 175
Друзовая 164, 165	Порошковая 164, 172, 173
Землистая 164, 172, 173	Прожилковая 158, 166, 167, 175
Зональная реликтовая 170	Просечковая 162
Зональная 179	Псевдооолитовая 162
Жеодовая 166, 181	Псевдоосиетная 158
Кавернозная 175	Пятнистая 158, 166, 169
Каемчатая 169, 178, 181	Реакционно-каемчатая 171
Каркасная 173	Раскрошенная 169, 178
Коккардовая 166	Решетчатая 168, 177
Конгломератовая 163	Реликтовая 177
Конкреционная 163, 179	Сажистая 172, 173
Конкреционная реликтовая 170	Секреционная 163, 166, 181
Корковая 178, 181	Сетчатая 167, 176
Коллоидная 163	Симметричная кристаллизационная 164
Колломорфная реликтовая 170	Скелетная 169
Колломорфная 181	Сланцеватая 170
Кристаллизационная 164	Слоистая 159, 179
Линзовидная 172, 173, 159, 156	Слоистая реликтовая 179
Линзовидная реликтовая 169	Спальнитовая 181
Массивная 159, 164, 170	Сталактитовая 181
Натечная 163	Субграфическая 177
Нитеобразная 168, 175	Цементная 162, 179
Нодулярная 158	Цементная реликтовая 169
Обломочная 173	Штокверковая 166, 167
Оолитовая 162	Эмульсионная 169
Оолитовая реликтовая 170	Ячеистая 175
Органогенная 163	Ящичная 175

АЛФАВИТНЫЙ СПИСОК РУДОБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Название минерала	№ диагностических групп в таблицах	Название минерала	№ диагностических групп в таблицах
Агилларит	29	Гидроцинцит	15
Азурит	16	Гитерманит	11
Айкинит	1	Глаукодолит	3
Алабандит	27	Горсфордит	21
Алтант	21	Графит	10
Альбодонит	2	Гринокит	36
Алясканит	1	Гуадахуатит	1
Англезит	15	Гудмурит	6
Андровит	11	Губерит	16, 17
Аннабергит	15	Дельфосит	12
Антимонит (стибнит)	10	Джемсонит	10
Армайонит	10	Дискразит	2
Аргентит	10, 29	Домейкит	21
Аргиродит	10, 13	Дюфренуазит	8
Арсенаргенцит	20	Железо	21
Арсениорит	3	Зеленманит	11
Аурипигмент	7	Зиннит	22
Аурихальцит	15	Золото самородное	23
Баумгауерит	8	Ильменит	17
Беггерит	1, 20	Иодирит	34
Бенжаминит	2	Иорданит	11
Бергштерит	10	Кааверит	1
Бернелланит	10	Каламин	17
Биберит	34	Кальцит	16
Бирит	24, 25	Канфилдит	29
Брайит	9	Карролит	22
Брейнтраунит	6	Касситерит	17
Бромидит	34	Кварц	17
Бронзарит	30	Кераргрит	34
Булаажерит	10	Кермезит	7
Бурнонит	10	Киноварь	7
Валлерит	4	Кларотолит	10
Валадинит	16	Клаусталит	20
Вейснит	11	Кломманит	10
Вернадит	34	Кобальтин	6, 25
Вильямит	22	Ковеллин	13
Виоларит	24, 33	Козалит	10
Висмутин	1	Колумбит (см. танталит)	17
Висмутоплагнионит	10	Колорадоит	29
Висмут самородный	4	Коринт	22
Витнит	21	Криверит	1
Виттихенит	10	Кубанит	5
Вольфцит	35	Кроконт	15
Вольфрамит	16, 17	Курит	27
Вольфсбернит	11	Купродеклуазит	16
Врбант	8	Дельнит	3
Вульфенит	15	Дейгенбахит	10
Вюртцит	16	Дивингстонит	7
Галенит	29	Дилланит	1
Галеновисмутин	2	Диннит	25
Гарниерит	34	Дорандит	7
Гауерит	27	Людонит	14
Гаусманит	9	Маггемит	28
Гаухскорнит	6, 14	Магнетит	31
Гематит	9	Малахит	16
Геокронит	10	Манганит	16
Германит	33	Марказит	3, 25
Герддорфит	22	Маухерит	3
Гессит	1, 20	Медь самородная	23
Гётит	9	Мелантерит	15
Гидрогематит	8, 27	Мелонит	4
Гидрогётит	27, 36	Мельниквит	25

Название минерала	№ диагностических групп в таблицах	Название минерала	№ диагностических групп в таблицах
Менегинит	7	Стилотинит	7
Метацианбарит	30	Сульфидит	33
Миаргрит	7	Сульма самородная	2
Миллерит	5	Сфалерит	35
Моллюбенит	10	Сферокобальтит	16
Монтезит	16	Танталит и колумбит	17
Моренозит	15	Теллур самородный	1
Мышьяк самородный	2	Теннантит	27, 30
Нагнаит	1	Тенорит	11
Настурит	36	Тетрадимит	1
Наумманит	10	Тетраздрит	30
Никелин	6	Тяллит	1
Овихит	10	Тиманит	29
Опал	36	Тромлит	14
Осмистый иридий	3	Туингенит	10
Палладий	21	Туринцит	15
Патронит	11	Ульманит	22
Пентландит	24	Уманит	19
Петцит	20	Урананит	36
Пираргрит	7	Фамагинит	14
Пирит	35	Ферберит	18
Пиролозит	10, 12, 31	Фосгенит	15
Пироморфит	16	Фреанкит	10
Пирротин	14	Фрэнклинит	36
Платиноит	7	Фрейберит	30
Платина	21	Фрейслевенит	7
Полноборозит	16	Халькантит	15
Полубазит	7	Халькозин	10, 29, 32
Поллиманит	25	Халькопирит	5
Прустит	7	Хлоантит	22
Псиломелан	9, 28	Хромит	36
Раммельсбергит	3	Церусит	16
Ратит	8	Циннабрит	1
Резальар	7	Цинкит	8
Рейнбаит	1	Цинкит	16
Риккардит	14	Шамозит	15
Родохрозит	16	Шанбахит	1
Рутил	9	Шеелит	16
Самсонит	7	Шмальтин	22
Сафлорит	2	Штернберит	4
Семсцит	10	Штрюмберит	10
Серебро самородное	20	Энчабит	13
Сидерит	16	Электрум	23
Сильванит	1	Эмпактит	10
Скородит	16, 35	Эпаргит	11
Скюттерудит	22	Эритрия	15
Смитсонит	16	Якобит	28
Сперрит	22	Яланит	26
Станнин	11	Ярозит	16
Стефанит	10		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к четвертому изданию	3
Введение	5
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ	
методы, применяемые при диагностике минералов в отраженном свете	
Глава I. Некоторые сведения по кристаллооптике отраженного света	9
Отражательная способность	9
Искривление минералов в отраженном свете или дисперсия отражательной способности	12
Явления поляризации	12
Глава II. Методы качественного определения физических свойств минералов в отраженном свете	19
Определение степени оптической анизотропии	22
Определение отражательной способности минералов	26
Определение цвета рудных минералов в отраженном свете	31
Определение внутренних рефлексов	33
Применение иммерсии при изучении оптических свойств рудных минералов в отраженном свете	35
Определение твердости минералов в отраженном свете	36
Определение магнитности минералов	38
Определение электропроводности минералов	40
Макро- и микрофотографические методы	43
Глава III. Методы количественного измерения физических констант рудных минералов, применяемые главным образом при специальных исследованиях	49
Фотометрический метод	51
Определение отражательной способности с камерой Иностраинева по методу Вахромцева	53
Фотоджелеметрический метод	55
Определение степени анизотропии минералов в отраженном свете	64
Количественное определение твердости рудных минералов с помощью микротвердомера ПМТ-3	68
Глава IV. Химические методы, применяемые при определении минералов в отраженном свете	72
Диагностическое травление	72
Методы химического анализа, применяемые при диагностике минералов	75
Методика выполнения микрохимических реакций	78
Реакции, применяемые для определения различных химических элементов в минералах	85
Глава V. Макро- и микрофазовый минералогический анализ руд	100
Глава VI. Измерение размеров минеральных выделений и определение количественного содержания минералов в поляризованных шлифах	107

ЧАСТЬ ВТОРАЯ	
СТРУКТУРЫ И ТЕКСТУРЫ РУД	
Введение	114
Терминология, применяемая при изучении текстур и структур в данном руководстве	119
Глава I. Структуры руд.	120
Морфогенетические особенности минеральных выделений	123
Классификация структур руд	129
Описание генетических групп и морфологических типов структур руд	129
Структуры, образованные при кристаллизации расплавов и растворов	129
Структуры, образованные в процессе метасоматизма	136
Структуры, образованные при коагуляции коллоидов и осаждении механических взвесей минеральных зерен из растворов	137
Структуры, образованные в процессе распада твердого раствора, перекристаллизации и раскристаллизации минерального агрегата	138
Структуры, образованные при дроблении и смятии минералов	144
Глава II. Текстуры руд.	147
Морфогенетические особенности минерального агрегата	147
Классификация текстур руд	156
Описание генетических групп и морфологических типов текстур руд	156
Текстуры, образованные при лавкации и кристаллизации магматических расплавов	156
Текстуры, образованные при седиментации и диагенезе	164
Текстуры, образованные при заполнении пустот	167
Текстуры, образованные в процессе метасоматизма	170
Текстуры, образованные при метаморфизме	173
Текстуры, образованные при выветривании руд	182
Глава III. Текстурно-структурный анализ руд.	182
Значение текстурно-структурного анализа для выявления закономерностей распределения минеральных ассоциаций в месторождениях	185
Значение текстурно-структурного анализа для установления последовательности выделения минералов и образования минеральных агрегатов	187
Качественная характеристика руд по данным минералогического анализа	190
ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ	
ОПИСАНИЕ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ	
Литература	306
ПРИЛОЖЕНИЯ	
I — Определительные таблицы	309
II — Отбор материала для исследования	312
III — Схема микроскопического описания рудного полированного шлифа	313
IV — Математическая обработка результатов минералогического исследования руд	314
V — Курсовая работа по курсу «Методы исследования вещественного состава полезных ископаемых»	329
VI — Организация лаборатории по методам исследования руд под микроскопом в отраженном свете	331
VII — Указатель структур руд	339
VIII — Указатель текстур руд	340
IX — Алфавитный список рудообразующих минералов	341

Юшко Софья Аврамовна

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РУД

Редактор издательства <i>А. М. Антокольская</i>	
Технические редакторы <i>Т. М. Шамова, А. Е. Матвеева</i>	
Оформление художника <i>А. Смялякова</i>	Корректор <i>Л. М. Кауфман</i>
Сдано в набор 15/XII 1969 г.	Подписано в печать 4/1 1971 г.
Формат 70×108 ^{1/16}	Печ. л. 23,10 (в т. ч. 2 вкл. + 5 дв. вкл.)
Уч.-изд. л. 30,8 в т. ч. 5 дв. вкл. 0,35	Бумага М 1
Тираж 4200 экз.	Цена 2 р. 16 к. с прилож.
	Индекс 1-3-1
	Заказ 855/2793-14
	Усл. печ. л. 32,38

Издательство «Недра», Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
 Московская типография № 6 Главполиграфпрома
 Комитета по печати при Совете Министров СССР
 Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый пр., 17.