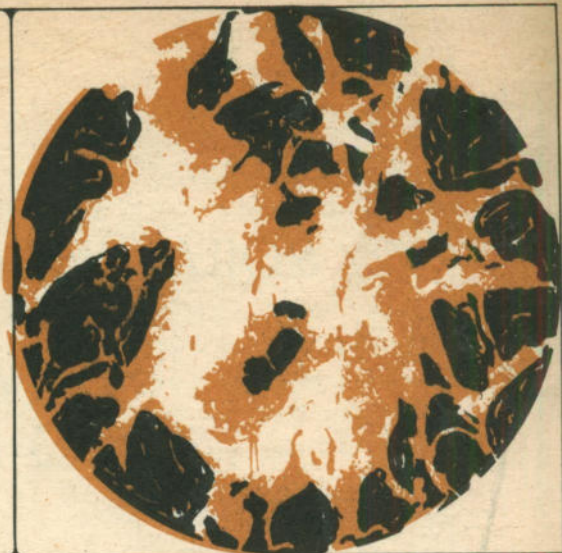


Е. Л. Афанасьева
М. П. Исаенко

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ
ГИПЕРГЕННЫХ
МИНЕРАЛОВ
ОКИСЛЕННЫХ
СУЛЬФИДНЫХ РУД
В ОТРАЖЕННОМ
СВЕТЕ



Медь



R20-5



Ковеллин

Малахит

Куприт
R12-8



Е. Л. Афанасьева,
М. П. Исаенко

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ГИПЕРГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ ОКИСЛЕННЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

СПРАВОЧНИК

Издание второе,
переработанное и дополненное



МОСКВА «НЕДРА» 1981

УДК 549.1

Афанасьева Е. Л., Исаенко М. П. Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отраженном свете. Справочник. — 2-е изд. М., «Недра», 1981. — 135 с.

Содержит определительные и описательные таблицы с диагностическими свойствами 130 гипергенных и реликтовых гипогенных рудообразующих минералов окисленных и полуокисленных сульфидных руд различных типов. Рассмотрены вещественный состав, текстуры и структуры окисленных сульфидных руд и методы их исследования. Во втором издании (1-е изд. — 1974) увеличено число описываемых минералов, даны дополнительные материалы по обогащению окисленных сульфидных руд.

Для геологов, минералогов и других специалистов, занимающихся разведкой и изучением рудных месторождений. Может быть полезен студентам и аспирантам геологических вузов.

Табл. 12, ил. 23, список лит. — 76 назв.

Рецензент канд. геол.-минер. наук Л. П. Ермилова (ИГЕМ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание книги было опубликовано в 1974 г. и быстро разошлось, что свидетельствует о настоятельной потребности в сводных справочных работах по диагностике гипергенных минералов окисленных сульфидных руд.

Минеральный состав и строение окисленных руд различных рудопроявлений изучаются при проведении поисково-съемочных работ любого масштаба. Детальное изучение вещественного состава и строения окисленных и смешанных руд проводится в ходе поисково-разведочных работ на месторождениях полезных ископаемых и в пределах рудных полей. Исследования вещественного состава и строения окисленных руд необходимы для разработки схем обогащения и технологии извлечения полезных компонентов, а также изучения процессов минералообразования в зоне окисления.

Состав минералов в зоне окисления сложен и крайне разнообразен. Минералы обогащены различными примесями; многие трудно диагностируются. Руды обладают разнообразными по морфологии сложными текстурами и структурами; характерны пустоты выщелачивания, тонкие прорастания минералов, размытые и тонкозазубренные границы выделений, пропитка агрегатов и пород вследствие метасоматического замещения, наличие порошковатых, хрупких агрегатов. В процессе разработки окисленные минералы легко переизмельчаются и переходят в шлам.

В настоящее время растут требования к комплексному исследованию и использованию бедных окисленных и смешанных руд, которые все шире вовлекаются в эксплуатацию. Невосполнимость минеральных ресурсов и исчерпание богатых месторождений требуют резкого сокращения потерь руды в недрах, вовлечения в эксплуатацию новых видов сырья и более бедных руд.

В ст. 18 Конституции СССР указывается, что «в интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов...».

Второе издание Определителя значительно дополнено и улучшено. Определительные и описательные таблицы переработаны с учетом новейших достижений в изучении гипергенных минералов как в СССР, так и за рубежом.

В определительных и описательных таблицах приведены количественные константы и качественная характеристика 130 реликтовых и гипергенных рудообразующих минералов. Для каждого минерала даны теоретический химический состав, величины отражения и микротвердости, качественная характеристика цвета, двуотражения, внутренних рефлексов, форма и строение минеральных индивидов, результаты трав-

ления. В описательных таблицах, кроме того, имеются сведения о методике микрохимического анализа, характерных линиях дебаеграмм, показателе преломления и типоморфном парагенезисе минералов.

Написана новая глава IV, посвященная описанию морфологических видов сростаний минералов, неблагоприятных для обогащения окисленных и полуокисленных руд. Значительно дополнена и расширена глава V за счет описания современных методов диагностики гипергенных рудных минералов в отраженном свете.

При подготовке второго издания книги учтены ценные замечания и советы проф. С. А. Вахромеева, академика Е. К. Лазаренко, старших научных сотрудников Л. П. Ермиловой и С. С. Боришанской, доцента Н. А. Журавлевой, преподавателей и аспирантов кафедры полезных ископаемых МГРИ. Всем им авторы приносят искреннюю благодарность.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ОКИСЛЕННЫХ И ПОЛУОКИСЛЕННЫХ РУД СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Характеристика природы реакций и агентов выветривания сульфидных месторождений, роль процессов окисления, растворения и гидролиза детально рассмотрены в ряде монографий и статей [Смирнов С. С., 1951; Смирнов В. И., 1969; Щербина В. В., 1972 и др.].

По химико-минералогическому составу и строению в зоне окисления рудных месторождений выделяются три типа руд: окисленные, полуокисленные или смешанные и первичные сульфидные.

Исследование вещественного состава окисленных и полуокисленных руд должно проводиться в трех направлениях: 1) изучение типоморфных гипергенных минералов; 2) изучение гипогенных реликтовых рудных и жильных минералов; 3) изучение элементов-примесей в гипергенных минералах.

Типоморфные гипергенные минералы

Минералогия окисленных и полуокисленных руд сульфидных месторождений гораздо более разнообразна, чем минералогия первичных сульфидных руд. Гипергенные минералы широко распространены в земной коре, и на их долю приходится не менее 25 % от всего числа минеральных видов.

Окислы, гидроокислы, сульфаты и карбонаты представляют собой главнейшие, наиболее частые минералы окисленных руд. Менее развиты арсенаты, антимонаты, молибдаты и силикаты. Незначительно распространены некоторые галоидные минералы и самородные элементы. В полуокисленных рудах всегда встречаются сульфиды. Это гипогенные реликтовые сульфиды и гипергенные вторичные сульфиды меди, цинка и серебра.

Как показано в табл. 1, гипергенные минералы отлагаются в зоне окисления в широком интервале времени в кислой, нейтральной и щелочной среде. Схема составлена по данным Р. Гаррелса [1962], В. В. Щербины [1960, 1962, 1972] и других исследователей.

В минеральном составе отдельных участков зоны окисления устанавливается большая неоднородность. При окислении сульфидных руд, представляющих собой наборы различных по составу парагенетических минеральных ассоциаций, образуются разнообразные типоморфные ассоциации гипергенных минералов. Минеральный состав типоморфных ассоциаций некоторых окисленных сульфидных месторождений приведен в табл. 2. В качестве примеров типоморфных парагенетических ассоциаций окисленных и полуокисленных руд можно рассматривать их состав для некоторых генетических типов сульфидных руд.

Медноколчеданные руды в хлоритовых и серицитовых сланцах или в гидротермально измененных порфиритах, в зоне окисления превращаются в окисленные и полуокисленные руды. Главными типоморфными минералами меди в этих рудах являются малахит, азурит, куприт, тенорит, халькантит, брошантит, халькозин, борнит, ковеллин, хризоколла, самородная медь и др. Сульфиды железа в зоне окисле-

Таблица 1

Схема распределения главнейших парагенетических ассоциаций минералов в зоне окисления медно-молибденовых месторождений в зависимости от величины pH среды

R	pH											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
R^0		Аи золото			S Сера Cu Медь Ag Серебро							R^{IV}
R^I				Куп- рит	Cu ₂ O Cu Ag Кераргирит AgCl		Халькозин Cu ₂ S Cu Штрмей- рит Cu ₂ S Ag ₂ S Ag Аргентит Ag ₂ S					
R^{II}	Fe Делатфоссит CuFeO ₂			Тено- рит CuO Лам- па- дит mCuO · n MnO ₂ · pH ₂ O Cu	Дел- ла- фос- сит		Fe Марказит FeS ₂ Азуригит 3CuO × × 2CO ₂ · H ₂ O Малахит 2CuO × × CO ₂ · H ₂ O Cu	Каль- цит Ca CaCO ₃ Ара- гонит CaCO ₃	Ковеллин CuS Борнит Cu ₃ · FeS ₄ Халько- пирит CuFeS ₂	Гипс CaSO ₄ × × 2H ₂ O Ca	Ангидрит CaSO ₄	R^{VI} Среда
R^{III}	Ферримо- либдит Fe ₂ O ₃ · 2Mo O ₃ 71/2H ₂ O Гётит Fe ²⁺ × × O ₃ · H ₂ O Лепидокро- Fe	Al			Каолинит Гидрослюда		Каолинит Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ 2H ₂ O Al Гидрослюда					ния п рит, я рооки С и пер ными жаци С в зон гидро опал, падит велич С зоне монге

Продолжение табл. 1

Продолжение табл.

R	pH											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
R^{IV}	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$ Халцедон SiO_2 Si Кварц SiO_2	Mn Пирролюзит MnO_2	Псиломелан $mMnO \cdot MnO_2 \times nH_2O$ Рутил TiO_2 Ti Лейкоксен $TiO_2 \cdot nH_2O$				Si Пирролюзит Mn Псиломелан Лампадит	Опал Халцедон Кварц Хризокolla $Mo \cdot CuO \times SiO_2 \times nH_2O$ Йордизит MoS_2				
R^V			As Скородит $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$ Оливинит $Cu_2 [AsO_4] [OH]$									
R^{VI}		Ферри-молибдит Mo					Повеллит $CaMoO_4$ Mn					
Среда	Кислая	Слабокислая				Нейтральная		Слабощелочная		Щелочная		

ния переходят в сульфаты, а затем в гидроокислы железа — мелантерит, ярозит, гётит, гидрогётит, гидрогематит, делафоссит и др. В гидроокислах железа нередко развиты выделения самородного золота.

Сульфидные медно-никелевые руды, залегающие в габбро-норитах и перидотитах в зоне окисления замещаются следующими типоморфными минералами: аннабергитом, миллеритом, никель-и кобальтсодержащими лимонитами, малахитом, азуритом, купритом и др.

Сульфидные медно-молибденовые прожилково-вкрапленные руды в зоне окисления превращаются в агрегат гипергенных минералов: гидроокислы железа, содержащие молибден и медь, ярозит, каолинит, опал, кальцит, гипс, повеллит, ферримоллибдит, малахит, азурит, лампадит, хризокolla, куприт, тенорит, самородная медь, халькозин, ковеллин, борнит и др.

Сульфидные свинцово-цинковые руды в карбонатных породах в зоне окисления замещаются англезитом, церусситом, смитсонитом, монгеймитом, каламином, плюмбоязрозитом, миметезитом, аргентитом,

Минеральный состав главнейших типоморфных ассоциаций в зоне окисления сульфидных месторождений

Месторождения	Гипергенные минералы		Главные гипогенные минералы (реактивные)
	главные	второстепенные	
Медные	Самородная медь, куприт, тенорит, малахит, азурит, хризоколла, лампадит, халькозин, джарлент, дигенит, ковеллин, борнит, каолинит, кальцит, гипс	Халькантит, брошантит, линарит, антелерит, диоптаз, халькопирит, либелит, оливинит, атаканит, золото, селенит, электрум, арсентит, галлуазит, опал, халцедон, кварц	Халькопирит, борнит, пирит, энаргит, халькозин, сфалерит, тенантит, тетраэдрит, магнетит, рутил
Колчеданные	Гётит, гидрогётит, гидрогематит, мелантерит, ярозит, каолинит, мельниконит, опал	Золото, сера, марказит	Пирит, марказит, пирротин, магнетит, рутил
Свинцовые	Церуссит, пироморфит, вульфенит, крокоит, массивкоит, кальцит, англесит, платтиерит, ковеллин	Ванадинит, англесит, бедантит, миметезит, штольцит, сурик, фосгенит, ледгиллит, линарит, плюмбоарозит, биндгеймит, ярозит, псидомелан, пиролозит, галлуазит, халцедон, кварц, коронадит, криптомелан, деклуазит	Галенит, буланжерит, джемсонит
Серебряные	Самородное серебро, кераргирит	Аргентит, штрёмсёерит, пираргирит, прустит, серебросодержащий халькозин	Серебросодержащий галенит и тетраэдрит, арсентит, пираргирит, самородное серебро, фрейбергит, теллуриды Au, Ag
Цинковые	Смитсонит, каламин, монгеймит, виллемит	Аурихальцит, адамин, госларит, линарит, малахит, хризоколла, цинково-медный мелантерит, гидроцинкит, сфалерит, ярозит, гётит, тенорит, гематит, лепидокрокит, манганит, кальцит	Сфалерит, халькопирит, пирит, галенит
Кадмиевые	Гринокит, кадмийсодержащий смитсонит	Отавит	Кадмийсодержащий сфалерит

Кадмиевые	Гринокит, кадмийсодержащий смитсонит	Отавит	Кадмийсодержащий сфалерит
Сурьмяные, сурьмяно-ртутные	Сервантит, стибноконит	Сернамонит, биндгеймит, кормезит, самородная сурьма, валентинит, самородная ртуть	Антимонит, булаажерит, тетраэдрит, киноварь
Мышьяковые	Скородит, содержащие мышьяк лимониты	Миметесит, бедантит, цитринит, арсенолит, самородный мышьяк, реальгар, аурипигмент, золото	Арсенопирит, лёллингит, самородный мышьяк, энаргит, реальгар, аурипигмент, тешнантит
Золотые	Самородное золото, гётит, гидрогётит, ярозит, скородит	Псиломелан, пиролюзит	Самородное золото, золотосодержащие сульфиды (пирит, арсенопирит и др.), теллуриды золота, кварц, карбонаты, адуляры
Висмутовые	Бисмит, бисмутит	—	Висмутин, теллуриды висмута, самородный висмут, козалит
Никелевые	Аннабергит, никельсодержащие лимониты	Моренозит, биберит, никельсодержащий лимонит, каолинит, халцедон, виоларит, бравонт	Хлоантит, пентландит, никелин, герсдерфит
Кобальтовые	Эритрин, лавендулан, кобальтсодержащие лимониты, асболоан, сферокобальтит	Биберит, кобальтсодержащий лимонит, никелин, каолинит, халцедон	Кобальтин, смальтин, линнент
Оловянные	Колломорфный касситерит	Колломорфный касситерит	Касситерит, станин
Молибденовые	Молибдит, вульфенит, молибденсодержащие лимониты, ферримолибдит	Молибдит, йордзит, ильземаннит	Молибденит

свинец- и цинксодержащими бурыми железняками, гринокитом, отавитом и др.

Сульфидные золото-мышьяковые руды в зоне окисления превращаются в агрегат скородита, гидроокислов железа мышьяксодержащих, бедантита, миметезита и др. В агрегате гипергенных минералов часто развиты включения самородного золота.

Гипогенные реликтовые рудные и жильные минералы как указатели состава первичных сульфидных руд

Процесс окисления сульфидных руд происходит неравномерно не только на месторождении, но и в одном рудном теле. Поэтому часто встречаются в окисленных и полуокисленных рудах первичные минералы в виде реликтов, например золото самородное, серебро самородное, алтаит, молибденит, антимонит, пираргирит, висмутин, пентландит, халькопирит, пирротин, теннантит, фрейбергит, тетраэдрит, энаргит, сидерит, родохрозит, доломит, анкерит, смальтин, арсенопирит, кобальтин, марказит, пирит, линнеит, кварц и др. Реликты первичных сульфидов во многих случаях устанавливаются лишь под микроскопом в отраженном свете, они являются точным указателем состава первичных руд и всегда могут быть обнаружены при внимательном исследовании окисленных руд (рисунки 1, 6).

Сульфиды окисляются с различной скоростью в одних и тех же условиях, например в медно-молибденовых рудах молибденит более устойчив по сравнению с пиритом и халькопиритом, поэтому он может оставаться чаще в виде реликтов, тогда как пирит и халькопирит уже полностью окислены; в медно-мышьяковых рудах халькопирит при окислении менее устойчив, чем энаргит, поэтому он замещается полностью гётитом, а более устойчивый энаргит в тех же условиях остается реликтовым минералом (рис. 2).

Из сказанного ясно, что при изучении состава первичных руд обязательно учитывается скорость окисления сульфидов (табл. 3) и растворимость сульфатов в воде (табл. 4).

Некоторые минералы в рудах могут иметь гипогенное и гипергенное происхождение, например золото самородное, мышьяк самородный, сфалерит, аурипигмент, марказит, халькозин, ковеллин, борнит, мил-

Рис. 1
интенс-
ное —
ный ш

Таблица 3

Последовательность окисления сульфидов [С. С. Смирнов, 1951]

Реагенты	Минералы
$H_2O + O$	Сфалерит, халькозин, пирротин, халькопирит, борнит, пирит, галенит, ковеллин, энаргит, аргентит, молибденит
H_2SO_4	Пирротин, тетраэдрит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит, марказит, пирит
$Fe_2(SO_4)_3$	Пирротин, тетраэдрит, галенит, арсенопирит, сфалерит, пирит, энаргит, марказит, халькопирит
$CuSO_4$ (без доступа кислорода)	Галенит, пирротин, сфалерит, халькопирит, борнит, пирит, ковеллин, халькозин

Рис. 2
послед-
ние К

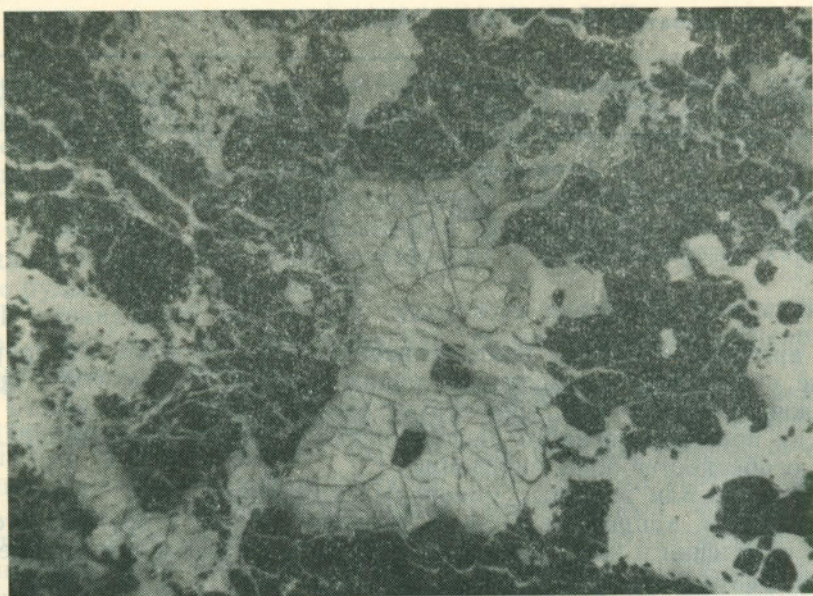


Рис. 1. Реликтовая и сетчатая микротекстура. Выделения халькозина (светло-серое) интенсивно корродируются и пересекаются микропрожилками куприта (серое). Черное — нерудные минералы. Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 70

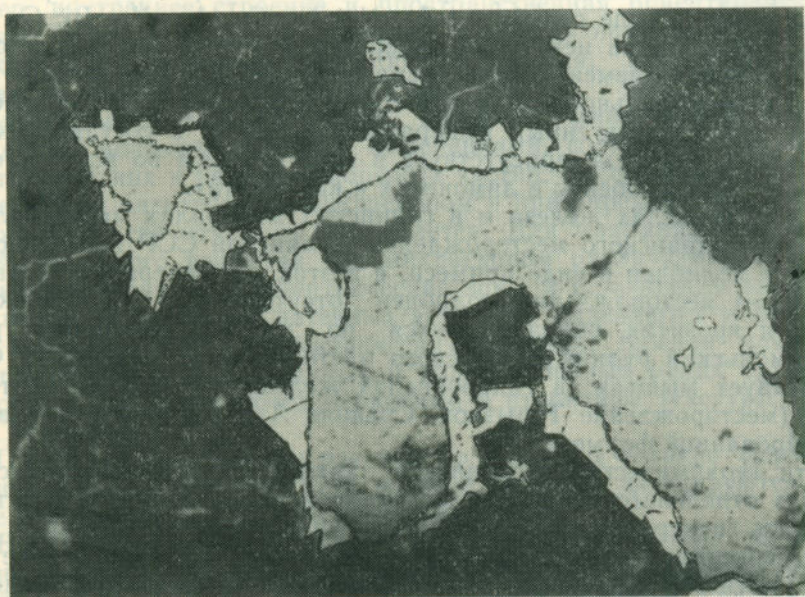


Рис. 2. Реликты каемок азурита (белое) развиты вокруг выделений гётита (серое); последний образовался по халькопириту. Нерудные минералы (черное). Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 340

Растворимость сульфатов в воде [В. Эммонс, 1935]

Сульфаты	Раствори- мость, г/л	Темпера- тура, °С	Сульфаты	Раствори- мость, г/л	Темпера- тура, °С
ZnSO ₄	531,2	18	FeSO ₄	157,0	0
MnSO ₄	393,0	25	CuSO ₄	172,0	20
NiSO ₄	274,8	22,6	Ag ₂ SO ₄	7,7	17
CoSO ₄	265,8	20	PbSO ₄	0,041	18

лерит, аргентит и другие, поэтому необходимо различать их природу. Генезис сульфидов в окисленных рудах должен определяться крайне осторожно с учетом текстурно-структурного и парагенетического анализов, их пространственного расположения и всех геолого-минералогических особенностей зоны окисления.

Нерудные или жильные минералы сульфидных руд, такие, как кварц, серицит, хлорит, карбонаты, флюорит, барит и другие, устойчивы при окислении и часто сохраняются в виде реликтов среди гипергенных минералов.

Типоморфные химические элементы-примеси в гипергенных минералах, указывающие на состав первичных руд

В процессе окисления сульфидов металлы переходят в растворимое состояние в виде сульфатов Zn, Mn, Ni, Cu, Ag, Mo, Bi, Sn и др. Они входят в состав некоторых гипергенных минералов в виде основных химических элементов или элементов-примесей. По данным химического и спектрального анализов многочисленных проб окисленных медных руд и гипергенных минералов, входящих в состав этих руд, установлено, что медь присутствует в виде примеси во всех гипергенных минералах, особенно в лимонитах и каолинитах.

В гидроокислах железа и в глинистых минералах медно-молибденового Каджаранского месторождения Армянской ССР постоянно присутствует молибден в виде примеси, а в этих же минералах Кафанского медного месторождения молибден отсутствует. В гидроокислах железа и ярозитах, образовавшихся по медно-мышьяковым рудам (Комсомольский рудник Кафанского месторождения Армянской ССР), присутствует мышьяк; в гидроокислах железа висмутовых месторождений (месторождение Тарызкон, Средняя Азия) присутствует висмут в сорбированной форме и т. д.

Эти геохимические особенности характерны для зоны окисления каждого отдельного сульфидного месторождения, поэтому желательно проверять спектральным анализом все гипергенные минералы.

Гипергенная каолинизация и лимонитизация развиты в зоне окисления почти всех сульфидных месторождений, поэтому при исследовании выходов сульфидных месторождений на дневную поверхность желательно тщательно изучать элементы-примеси прежде всего в каолинитах и гётитах. Известно, что эти минералы обладают сильной адсорбцией: они могут содержать все типоморфные химические элементы, выносимые из первичных руд поверхностными водами.

ТЕКСТУРЫ И СТРУКТУРЫ ОКИСЛЕННЫХ РУД

В зоне окисления при действии агентов выветривания первичные сульфидные руды изменяют состав и строение. Вследствие процессов выщелачивания, механического разрушения и перераспределения вещества первичных руд возникают новые типы сростаний.

Текстурно-структурные особенности — один из основных критериев при установлении последовательности выделения минеральных ассоциаций и минералов в окисленных рудах и технологической характеристике руды с целью обогащения.

В специальной литературе существует различное понимание терминов «текстура» и «структура» руд. Ниже приведены общепринятые определения этих терминов.

Текстура — строение руды, обусловленное формой, величиной и характером сростания минеральных агрегатов. Под минеральным агрегатом следует понимать характерные сростки минералов определенных парагенетических ассоциаций. Минеральный агрегат выделяется в руде по совокупности признаков (вещественный состав, форма, величина и внутреннее строение агрегата или структура агрегата). В зависимости от формы и размера минеральных агрегатов и их сочетания друг с другом текстуры подразделяются на морфологические виды, например вкрапленная, прожилковая, брекчиевая и др.

В рудах выделяются текстуры, если величина агрегата более 2 мм в поперечнике, и микротекстуры, если величина агрегата менее 2 мм.

Структура — строение минерального агрегата, обусловленное формой, величиной и характером сростания минеральных зерен. Морфологической единицей структуры является минеральное зерно. Форма, размер, внутреннее строение и пространственная ориентировка минеральных зерен — основные признаки, определяющие морфологический вид структуры, например идиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая и др.

Иногда в рудах встречаются натечные минеральные агрегаты, сложенные мономинеральными выделениями, состоящими из скрытокристаллических и рентгеноаморфных частиц. Форма таких частиц различается под электронным микроскопом и при определении морфологического вида структуры не учитывается. Для мономинеральных выделений аморфного вещества под микроскопом различаются следующие характерные формы: концентрические зоны и однородные выделения с трещинами усыхания. В натечных агрегатах выделяются морфологические виды структур: концентрически-зональная, гелевая или скрытокристаллическая. В окисленных и полуокисленных рудах сульфидных месторождений выделяются первичные и вторичные текстуры и структуры (табл. 5).

Первичные текстуры и структуры — такие формы сростания минеральных агрегатов и зерен, которые формируются в процессе отложения руды в экзогенных условиях.

Вторичные текстуры и структуры — новые формы сростания минеральных агрегатов и зерен, которые образуются после отложения руды, в результате ее изменения в процессе дробления, смятия, выщелачивания и перекристаллизации.

Морфологические виды текстур и структур по условиям их формирования объединяются в генетические группы. Первичные текстуры и структуры подразделяются на две генетические группы: 1) образовав-

Главнейшие текстуры и структуры окисленных руд сульфидных месторождений

Таблица 5

Генетические группы текстур и структур	Первичные		Вторичные	
	Морфологические виды			
	Текстуры	Структуры	Текстуры	Структуры
Образовавшиеся в процессе заполнения открытых полостей в породах и рудах	Прожилковая, полосчатая, сталактитовая, сталагмитовая, корковая, гроздевидная, дендритовая, пигментная, колломорфная, почковидная, патечно-скорлуповатая, друзовая, жсодовая, брекчиевая, порошковатая, землистая, сажистая, охристая	<i>Зернистые:</i> идиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, радиально-лучистая <i>Коллоидные:</i> гелевая, скрытокристаллическая, концентрически-зональная		
	<i>Унаследованные:</i> вкрапленная, пятнистая, прожилково-разная, полосчатая <i>Коррозионные:</i> питеобразная, петельчатая, решетчатая, каемочная, реликтовая	<i>Метазернистые:</i> идиоморфнометазернистая, аллотриоморфнометазернистая, скелетная, гелевая и скрытокристаллическая		<i>Каркасные:</i> губчатая, кавернозная, пористая, ячеистая, содовая, ящичная <i>Катакластические и кластические:</i> обломочная, порошокватая, трещиноватая <i>Метакolloидные:</i> почковидная, колломорфная, корковатая
Образовавшиеся в процессе выщелачивания и дробления				<i>Катакластические:</i> раздробленная, гранокластическая, порфирокластическая, тонкокластическая <i>Кристаллобластические:</i> радиально-лучистая, волокнистая, гранобластическая

шнеся
2) обр
руд. Э
В
матиче
ются м
личны:
имеют
больш
ют нег
больш

По
являет
ных а
туры.
лов и
рых с
видеть
спектр
ментон
ности
ляющ

ду ра
часто

В
ческие
ния, д
диаген

В
зиса,
и кол
ная. Д
ские с
гатов.

Н
генети
вых м
вых м
замещ
ния т
ралов
гипер

Перв

Текст
образ
в пор

Е
следу
дендр
брекч
аллот

шиеся в процессе заполнения открытых полостей в породах и рудах; 2) образовавшиеся в процессе метасоматического замещения пород и руд. Эта группа сростаний наиболее широко развита в рудах.

В минеральных агрегатах, сформировавшихся в процессе метасоматического замещения пород и руд в экзогенных условиях, наблюдаются метазернистые структуры. Такие структуры характерны для различных форм сростания метазерен и метакристаллов. Метакристаллы имеют правильную кристаллографическую форму, обусловленную большой силой кристаллизационного роста минералов. Метазерна имеют неправильную форму, характерны для минералов, не обладающих большой силой кристаллизованного роста.

Первой характерной особенностью метакристаллов и метазерен является их неравномернозернистость. Для псевдоморфных гипергенных агрегатов характерны аморфные и скрытокристаллические структуры. Вторая особенность заключается в наличии внутри метакристаллов и метазерен реликтов замещенных минералов. Реликты в некоторых случаях наблюдаются невооруженным глазом, иногда их можно видеть под микроскопом; изредка они выявляются лишь с помощью спектрального анализа по примеси тех или других типоморфных элементов, унаследованных минералом при замещении. Третьей особенностью метакристаллов и метазерен является характер границ, разделяющих замещаемый и замещающий минералы. Обычно границы между разновозрастными минералами зазубренные, но метакристаллы часто имеют и прямые, и зазубренные границы.

Вторичные текстуры и структуры подразделяются на две генетические группы: 1) образовавшиеся в процессе механического выветривания, дробления и выщелачивания руд; 2) образовавшиеся в процессе диагенезиса окисленных руд.

В окисленных рудах развиты метаколлоидные текстуры диагенезиса. Морфологические виды метаколлоидных текстур такие же, как и коллоидных: колломорфная, колломорфно-полосчатая и почковидная. Для метаколлоидных агрегатов характерны кристаллобластические структуры, возникшие в процессе раскристаллизации гелевых агрегатов.

Ниже рассмотрены морфологические виды текстур и структур по генетическим группам на примере окисленных руд медно-молибденовых месторождений. Окисленные руды на некоторых медно-молибденовых месторождениях широко развиты. Они образуются в результате замещения первичных сульфидов гипергенными минералами, заполнения трещин и пустот выщелачивания при отложении вторичных минералов из истинных и коллоидных растворов и накопления устойчивых гипергенных и гипогенных минералов.

Первичные текстуры и структуры

Текстуры и структуры окисленных руд, образовавшиеся в процессе заполнения открытых полостей в породах и рудах

В окисленных рудах медно-молибденовых месторождений развиты следующие первичные текстуры: прожилковая, полосчатая, корковая, дендритовая, колломорфная, почковидная, друзовая, секретционная, брекчиевая, охристая; из зернистых структур: идиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, а также гелевая и скрытокристаллическая.



Рис. 3. Корковая текстура. Корочка арагонита (белое) развита на трещине в лимонитизированной породе (темно-серое). Место рождение Каджаран карьер. Натуральная величина

Минеральные агрегаты, возникающие при заполнении трещин и пустот выщелачивания, всегда сложены гипергенными минералами.

Прожилковая текстура довольно широко распространена в окисленных рудах и характеризуется развитием в горных породах и жильном кварце прожилков гётита, малахита, азурита, повеллита, лампадита, халькозина, ковеллина, хризоколлы, гипса, халцедона, гипергенного кальцита и др. Мощность прожилков от нескольких миллиметров до 2—3 см, редко больше.

Полосчатая текстура также встречается в окисленных рудах. Она сложена параллельно чередующимися полосками-прожилками (ширина от 2—3 до 5—10 мм) гётита, малахита, арагонита, лампадита, кальцита и хризоколлы.

Корковая и дендритовая текстуры представлены тонкими корочками гипергенных минералов: гётита, малахита, азурита, кальцита, арагонита, гипса, лампадита, хризоколлы на стенках трещин в раздробленных горных породах и в жильном кварце или они выстилают в них небольшие полости и поры выщелачивания. В каолинизированных и лимонитизированных вмещающих породах по трещинам развиты корки лампадита и кальцита или кальцита и арагонита (рисунки 3, 4). Иногда на корочках лимонита нарастают последовательно корочки лампадита, малахита. Очень часто корковая текстура переходит в колломорфную.

Тонкие дендриты окислов марганца развиты по трещинам в лимонитизированных породах. Очень редко встречаются дендриты самородной меди.

Колломорфная и почковидная текстуры наблюдаются в окисленных рудах, сложенных агрегатами малахита, арагонита, гётита, хризоколлы, тенорита, кирпичной медной руды и лампадита (рисунки 4, 5).

Друзовая текстура редко развита в окисленных рудах. Друзы куприта, гипса, гипергенного кальцита, малахита и азурита нарастают на стенках трещинок и небольших полостей, выстланных тонкими корочками гётита.

Размеры кристаллов минералов в друзах достигают нескольких миллиметров, редко 1—2 см.

Секретионная структура характеризуется нарастанием корок гётита, лампадита и малахита в изометричных и удлиненных пустотках выщелачивания. Такие минеральные агрегаты в отличие от друзовых имеют скрытокристаллическое и волокнистое строение.

Рис. 4. Развитая Каджаран,

Рис. 5 (белое) ванный

Б ломки рован халце О желез пустот цвета

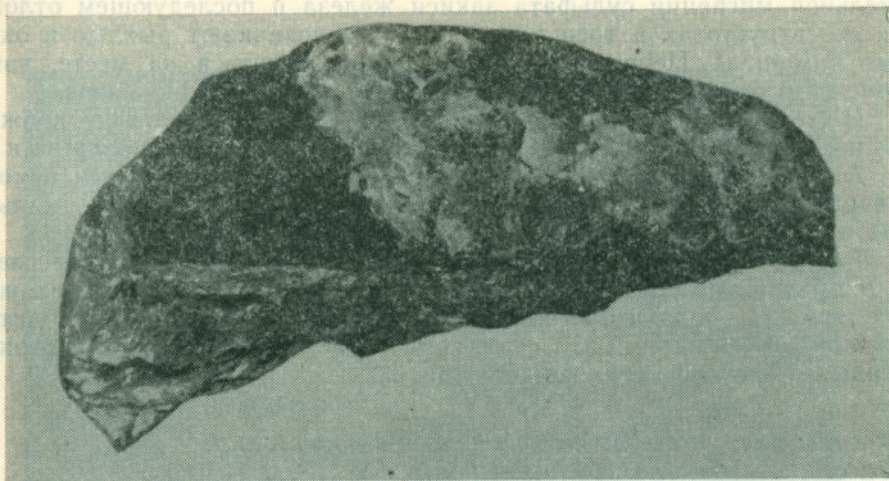


Рис. 4. Корковая текстура заполнения пустот. Корочка малахита (вверху, светло-серое) развита на корочке лампадита (внизу, черное), серое — порода. Месторождение Каджаран, карьер, Армянская ССР. Образец. Натуральная величина



Рис. 5. Коллоидная и почковидная текстуры коллоидных агрегатов пиролизита (белое) и лампадита (серое). Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 100

Брекчиевая текстура встречается в окисленных рудах, где обломки каолинизированных или лимонитизированных пород сцементированы гётитом, гидрогематитом, лампадитом, гипергенным кальцитом, халцедоном, а также гипсом.

Охристая текстура характеризуется выделениями гидроокислов железа и ферримolibдита в виде тонких налетов по трещинкам и в пустотах, окрашивающих породы в желтый, желто-бурый и бурый цвета. Образование порошковатых масс может происходить при зна-

чительной миграции сульфата закиси железа и последующем отложении его в пустотах и трещинах. При этом возникают рыхлые и охристые лимониты. Нередко они могут образовываться на месте, когда происходит значительный вынос из породы других компонентов.

Идиоморфнозернистая структура наблюдается в прожилках повеллита, в прожилках и друзах куприта, кальцита, азурита и др.

Аллотриоморфнозернистая структура встречается в мономинеральных прожилках куприта, кальцита, гипса, борнита, халькозина и др.

Гелевая и скрытокристаллическая структуры развиты в минеральных агрегатах натечной и почковидной формы, сложенных гётитом, малахитом, хризоколлой, ярозитом, ферримолибдитом, ламадитом и опалом. Эти структуры особенно характерны для окисленных руд сульфидных месторождений.

Текстуры и структуры, образовавшиеся в процессе метасоматического замещения пород и руд

По форме различают два главных типа замещения: коррозионное и унаследованное (см. табл. 4). В окисленных рудах обычно наблюдаются все формы замещения, проявленные с различной интенсивностью. К этой генетической группе в окисленных медно-молибденовых рудах относятся следующие морфологические виды текстур: вкрапленная, пятнистая, прожилкообразная, нитеобразная, петельчатая, решетчатая, каемочная, реликтовая, а из метазернистых структур: идиоморфнометазернистая, аллотриоморфнометазернистая, скелетная, гелевая и скрытокристаллическая.

Вкрапленная унаследованная текстура в окисленных рудах очень часто встречается в виде псевдоморфоз халькозина и гётита по вкрапленности халькопирита, гётита; лепидокрокита по вкрапленности пирита; повеллита по чешуйкам молибденита (рис. 6). Размеры вкрапленности составляют доли миллиметра, редко несколько миллиметров.

Пятнистая унаследованная текстура широко развита в зоне окисления и цементации и характеризуется псевдоморфозами халькозина, ковеллина, борнита или гётита и лепидокрокита по выделениям халькопирита и пирита, с размерами от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

Прожилкообразная унаследованная текстура образуется при метасоматическом замещении прожилков первичных сульфидов гидроокислами железа (рис. 7). Мощность метасоматических прожилков изменчивая, прожилки часто прерывистые, границы их зазубренные. Гидроокислы железа обладают большой способностью окрашивать породу вдоль залобанов сульфидного прожилка. В метасоматическом гипергенном минеральном агрегате нередко наблюдаются реликты первичных сульфидов.

Нитеобразная микротекстура в окисленных рудах встречается довольно часто. Она характеризуется развитием нитеобразных мономинеральных микропрожилков халькозина по тонким трещинам в массе халькопирита, гётита в пирите, гётита или марказита в халькопирите, гётита в повеллите. Границы прожилков зазубренные, что хорошо видно при большом увеличении микроскопа.

Петельчатая или сетчатая микротекстура образуется при замещении агрегата пирита гидроокислами железа, халькопирита — гётитом (рис. 8), ярозита — гётитом, халькозина — купритом. При этом в виде сетки тонких прожилков гипергенный минеральный агрегат

Рис. 6. П.
(серое). А.

Рис. 7. С.
копирита —
жилка. А.
ная вели

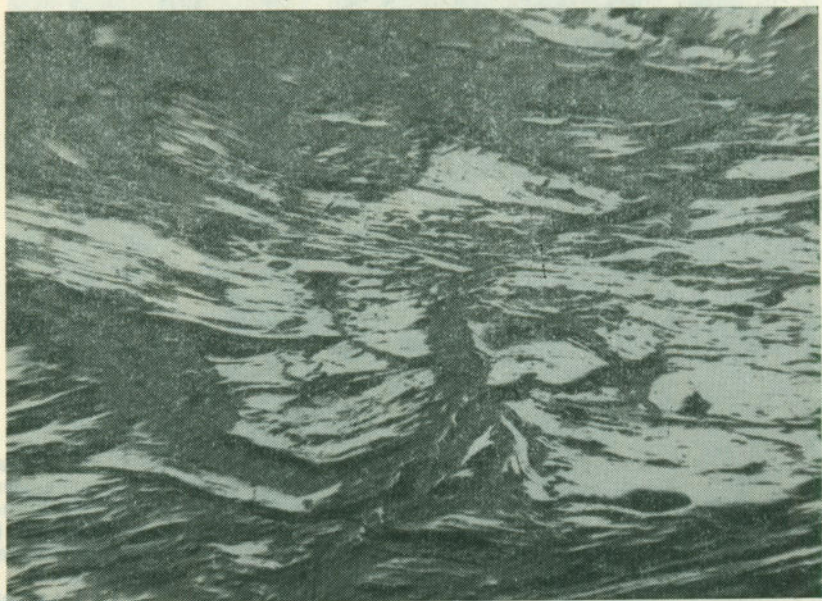


Рис. 6. Реликтовая микротекстура. Реликты молибденита (белое) в массе повеллита (серое). Месторождение Каджаран. Полированный шлиф. Ув. 100

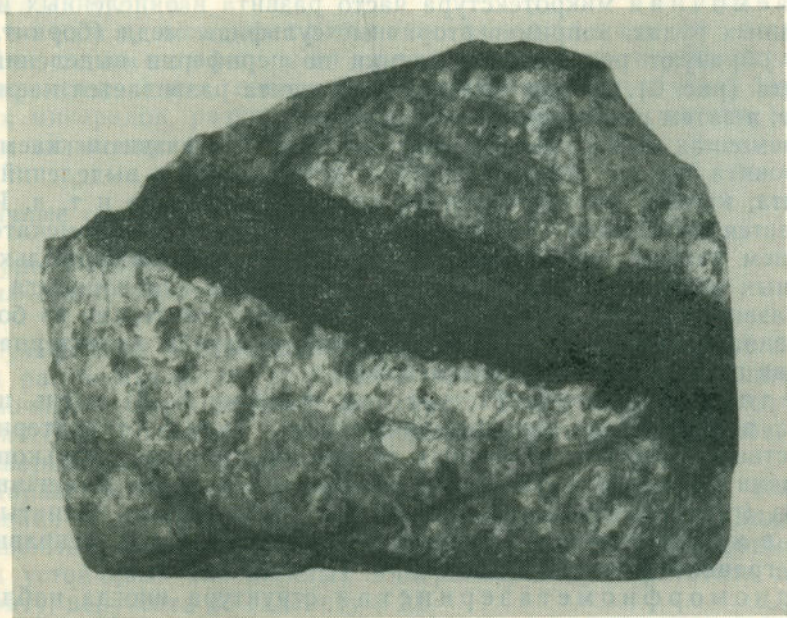


Рис. 7. Сильно каолинизированный монзонит с прожилками лимонитизированного халькопирита (черное). Гидроокислы железа интенсивно пропитывают породу вдоль прожилка. Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный штуч. Натуральная величина

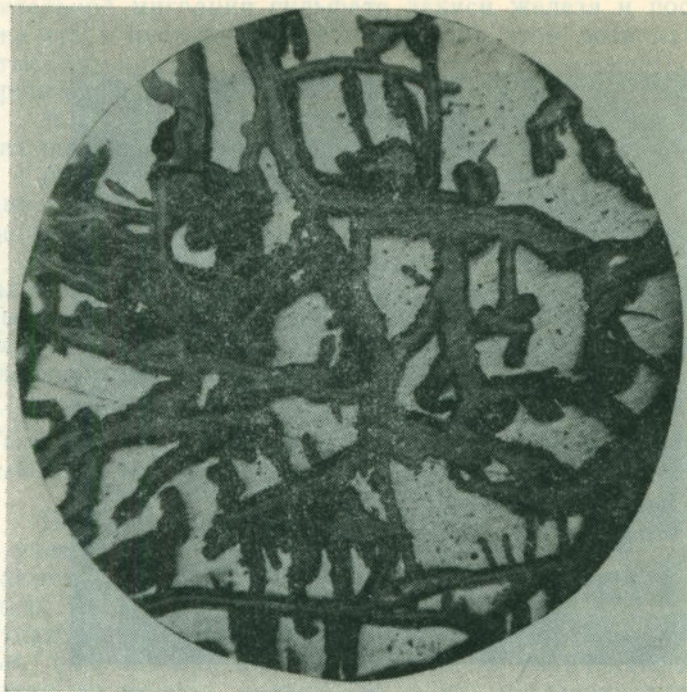


Рис. 8. Сетчатая реликтовая микротекстура замещения халькопирита (белое) гётитом (серое). Месторождение Блявинское, Урал. Полированный шлиф. Ув. 40

Рис. 9. Нерудный

развит в массе первичного сульфида. Границы микроскопических прожилков зазубренные.

Каемочная микротекстура часто развита в окисленных и полув агрегат окисленных рудах, например вторичные сульфиды меди (борнит, халькозин) образуют реакционные каемки по периферии выделений халькопирита (рис. 9). Вокруг выделений галенита развивается каемка андрезита, а затем церуссита.

Каемочная микротекстура формируется при развитии каемок лентитовидного сидерита вокруг агрегата пирита, гётита вокруг выделений халькопирита, каемок малахита вокруг выделений куприта и т. д. Иногда встречается зональная каемочная микротекстура, примечательная развитием каемок, состоящих из концентрических зон нескольких гипергенных минералов, например вокруг реликтов халькопирита может быть развита сложная каемка, состоящая последовательно из борнита, халькозина, ковеллина и гётита. Для такого случая характерна определенная последовательность замещения.

Реликтовая микротекстура (см. рисунки 6, 8) очень широко развита в окисленных медно-молибденовых рудах; характеризуется присутствием остатков первичных сульфидов (пирита, халькопирита, молибденита, энаргита, галенита, сфалерита) в массе вторичных минералов (гётита, повеллита и англезита). Встречаются реликты халькопирита в куприте, ярозите, гётите и др. Реликты имеют неправильную форму, границы их зазубрены.

Идиоморфнометазернистая структура иногда наблюдается в агрегатах куприта.

Аллотриоморфнометазернистая структура характерна для мономинеральных агрегатов лепидокрокита, повеллита, куприта и других с унаследованными структурными элементами первичных сульфидных мономинеральных агрегатов (трещинки спайности, двойники, форма зерен).

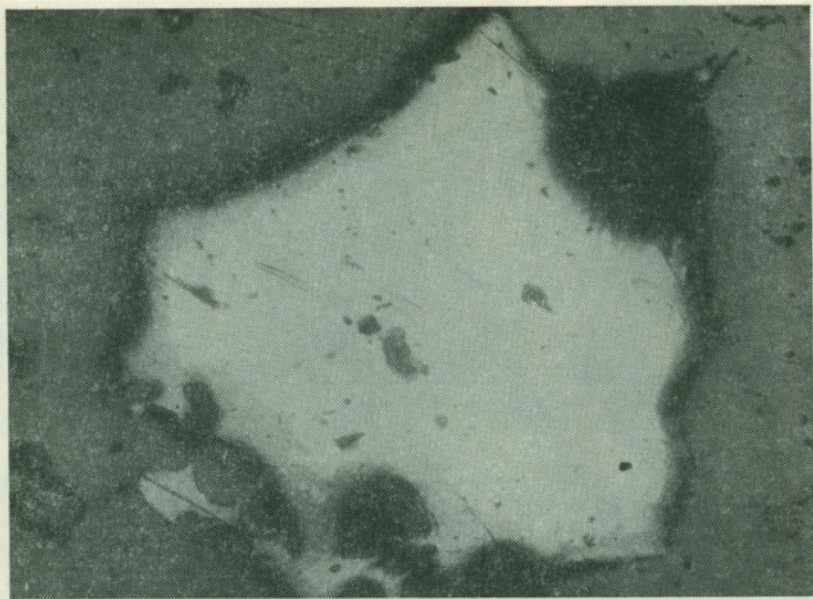


Рис. 9. Каемки вторичного борнита (серое) вокруг выделений халькопирита (белое). Нерудные минералы (темно-серое). Месторождение Агарак, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 145

Скелетная метазернистая структура изредка встречается в агрегатах куприта.

Гелевая, концентрически-зональная и скрыто-кристаллическая метазернистые структуры характерны для агрегатов гётита, повеллита, гипергенного халькозина, борнита и других минералов, развивающихся псевдоморфно по пириту, молибдениту и халькопириту.

Вторичные текстуры и структуры

Текстуры и структуры, образовавшиеся в процессе механического выветривания и выщелачивания руд

Сульфидные и окисленные руды под действием агентов выветривания растрескиваются, дробятся и превращаются в трещиноватые, обломочные и порошковатые агрегаты. Такие агрегаты состоят из кластических обломков зерен труднорастворимых минералов, например кварца, пирита, барита и др.

Каркасное строение формируется следующим образом: вследствие окисления в сульфидах по трещинкам спайности и границам зерен развиваются прожилки, каемки, сетка, решетка и другие формы выделений устойчивых гипергенных минералов, например гётита по халькопириту, церуссита по галениту и др.

В результате выщелачивания гипогенных сульфидов образуются пустоты разнообразной формы и размеров, располагающиеся между прожилками, каемками, решетками и другими выделениями гипергенных минералов. К этой генетической группе относятся каркасные текстуры: губчатая, пористая, кавернозная, ячеистая, ящичная; кластические и катакластические текстуры: трещиноватая, обломочная и по-

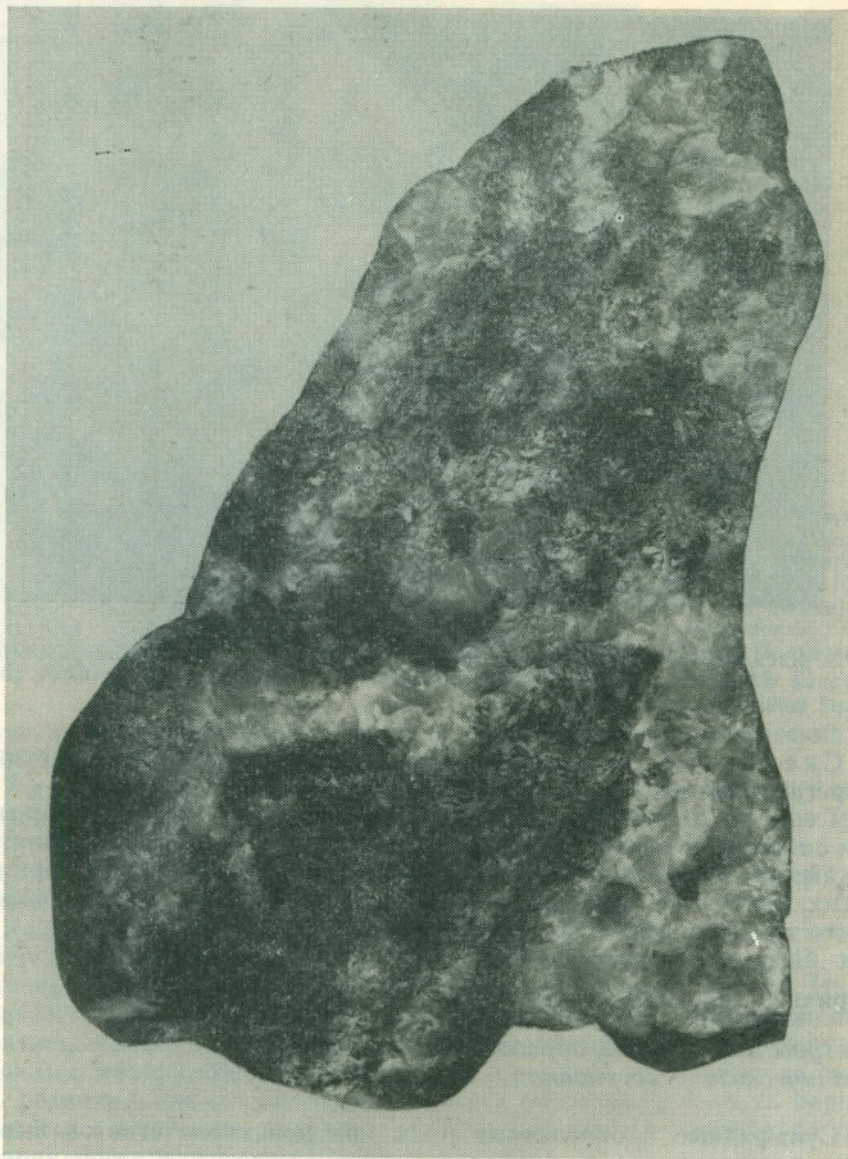


Рис. 10. Пористая текстура окисленной руды. Жильный кварц (молочно-белый) с выделениями повеллита (серое). В последнем развиты пустотки выщелачивания (черное). Месторождение Каджаран, карьер. Образец. Ув. 1,5

рошковатая, а также раздробленная, гранокластическая и тонкокластическая структуры.

Пористая и кавернозная текстуры образуются в медно-молибденовых рудах при выщелачивании молибденита, пирита и халькопирита, реже вторичных минералов — повеллита (рис. 10), халькооблозина (рис. 11) и др. Они также формируются при выщелачивании агрегатов карбонатов и каолинизированного полевого шпата. Размеры пор колеблются от долей миллиметра до 2—3 мм и более.

Ячеистая текстура характеризуется порами изометричной формы. Стенки каркаса сложены халцедоном, опалом, гетитом. Эта тек-



Рис. 11. Кавернозная текстура. Гётит и ярозит (темно-серое) с тонкими прожилками и вкрапленностью самородной меди (белое), с пустотками выщелачивания (черное). Месторождение Каджаран, карьер. Образец. Натуральная величина

студра образуется при окислении и выщелачивании халькопирита и сфалерита; встречается очень часто в железной шляпе сульфидных месторождений.

Ящичная текстура отличается особым типом каркаса, представляющим собой систему прямоугольных ящиков со стенками, сложенными гидроокислами железа, опалом и халцедоном. Последние развиваются в виде микропрожилков по трещинкам спайности и отдельности в халькозине, доломите, галените. Мощность микропрожилков изменяется от 0,01 до 2 мм, ширина отдельных ящичков колеблется от 0,2 до 5 мм.

Порошковая текстура наблюдается в агрегатах тонкообломочных масс каолинизированного полевого шпата, кварца и серицита, заполняющих трещинки и пустоты. При наличии в земистой массе более крупных обломков минералов и пород выделяют обломочную текстуру.

Трещиноватая текстура широко развита в окисленных рудах и во вмещающих породах в результате растрескивания и дробления минералов под влиянием агентов механического выветривания. Ширина трещинок разнообразная и изменяется от долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Раздробленная структура характеризуется срастанием обломков и осколков зерен и коллоидных выделений в агрегатах гётита, малахита, кальцита, лампадита.

Гранокластическая, порфирокластическая и тонкокластическая структуры встречаются в плотных агрегатах ярозита, лепидокрокита, гётита, малахита, лампадита и в глинках трения.

В окисленных рудах медно-молибденовых месторождений широко развиты метаколлоидные вторичные текстуры: почковидная, коллоидно-морфная и корковая и метаколлоидные структуры: радиально-лучистая, волокнистая и гранобластическая.

Почковидная, коллоидно-морфная и корковая метаколлоидные текстуры характерны для сростаний раскристаллизованных агрегатов гётита, ферримолибдита, малахита, тенорита и лампадита. В разрезе сферические агрегаты-почки имеют радиально-лучистое, волнообразное и гранобластическое строение.

Радиально-лучистая и волокнистая структуры встречаются в корковых и почковидных агрегатах малахита, гётита, тенорита, ферримолибдита, лампадита и халцедона.

Гранобластическая структура характерна для мономинеральных агрегатов псевдоморфного повеллита.

Глава III

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЙ И ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

Детальное изучение минерального состава, текстур и структур окисленных и полуокисленных руд в образцах и шлифах, взятых из различных частей зоны окисления, позволяет выделить в них типичные морфные парагенетические минеральные ассоциации и составить схему последовательности отложения минералов. Ниже приведен пример такого описания главнейших минеральных ассоциаций в окисленных медно-молибденовых рудах месторождения Каджаран (Армянская ССР).

При выветривании сульфидных прожилково-вкрапленных медно-молибденовых руд образуются шесть характерных ассоциаций гипергенных минералов (рис. 12): гётит-каолинитовая, вторичных сульфидов-тенорит-купритовая, халцедон-лампадитовая, малахит-кальцитовая-гипсовая. Каждая из них формировалась в отдельную стадию минерализации, т. е. период времени, характеризующийся определенными физико-химическими условиями (Eh, pH, концентрация компонентов в растворе). Прослеженная последовательность отложения минеральных ассоциаций имеет весьма общий и распространенный характер и свидетельствует об эволюции состава растворов от кислых к щелочным.

Наблюдается пространственное совмещение в зоне выветривания минеральных ассоциаций, постепенные переходы между ними и наложение одной на другую. Минеральные ассоциации в окисленных рудах месторождения Каджаран рассмотрены по стадиям минерализации в порядке последовательности их образования.

В первую стадию отложились две минеральные ассоциации гётит-каолинитовая и вторичных сульфидов, для которых характерна вертикальная зональность размещения, обусловленная зональным изменением физико-химических свойств грунтовых вод.

Гётит-каолинитовая ассоциация наиболее распространена в зоне окисления и расположена выше зеркала грунтовых вод. Минералы этой ассоциации образуются в широком интервале времени в кислой, нейтральной и слабощелочной среде (см. табл. 1). Большая

Минералы	Этап выветривания			
	Стадии, ассоциации			
	I	II	III	IV
	Гётит-каолинитовая, вторичных сульфидов	Тенорит-купритовая	Халцедон-лампадитовая, малахит-кальцитовая	Гипсовая
Ярозит	Ca, Mo, Na, Mn			
Гётит	Mo, Cu, Mn			
Лепидокрокит				
Гематит				
Золото самородное	Cu, Ca, Mg			
Ферримолибдит	Ca, Cu, Mo, Mg, Mn			
Скордит	Cu, Mo, Ca, Mg, Fe, Mn			
Оливинит				
Каолинит				
Гидрослюда				
Монтмориллонит				
Галлуазит				
Аплофан				
Барнит		Fe, Ag, Mo		
Халькозин				
Штромейерит				
Аргентит				
Серебро самородное				
Кобеллин				
Халькопирит				
Марказит				
Кирпичная медная руда				
Тенорит			Fe, Ca, Mn	
Куприт			Mo	
Медь самородная				
Делафроссит			Ca, Ni, Mo, Fe, Ti, V	
Лампадит				
Психомелан				
Пирроюзит				
Халцедон, опал, кварц			Fe, Mn, Mg, Ca, Cu, Mo	
Хризоколла			Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Mo	Mn, Mg, Cu, Fe, Mo
Кальцит				
Арагонит				
Поделинит				
Малахит				
Азурит				
Гипс				
Брошантит, халькантит				
Текстуры	Коррозийные Унаследованные, округленные и прожилковые Карнасные Грещинообразные	Друзовые	Натечные Полосчатые Друзовые	Прожилковые Прожилковые
Структуры	Скрытокристаллические Гранобластические Метазернистые Радиально-лучистые	Радиально-лучистые Зернистые	Зернистые Волонистые	

1 — 2 — 3 — 4 — 5 Ca, Mo — 5

Рис. 12. Схема последовательности минералообразования в зоне окисления медно-молибденового месторождения Каджаран.

Количество минерала в ассоциации: 1—10% и выше; 2—0,5—10%; 3—0,01—0,5%; 4—0,01% и ниже; 5 — элементы-примеси в минералах. I, II, III, IV — стадии минерализации

часть минералов этой ассоциации образуется при низких значениях $pH=2-4$ и высоких $Eh=0,4-0,6$.

В ассоциацию входит большая группа минералов: каолинит, монтмориллонит, галлуазит, аллофан, халькантит, брошантит, мелантерит, пизанит, фиброферрит, ярозит, гётит, гидрогётит, лепидокрокит, самородное золото, гематит, гидрогематит, ферримолибдит, повеллит, скородит, оливинит, фармакосидерит, сервантит.

Гётит и другие гидроокислы железа скапливаются в верхней части зоны окисления, а глинистые минералы распространяются на значительную глубину от дневной поверхности как в зоне окисления, так и в зоне цементации. В зоне окисления сильно каолинизированы раздробленные монциты и слабо каолинизированы дайки массивных полевошпатовых порфиров. Гипергенный каолинит метасоматически замещает в первую очередь биотит и плагиоклазы и в последнюю — калиевый полевой шпат; каолинит тесно связан с гидрослюдами, ярозитом и лимонитом. Другие глинистые минералы (монтмориллонит, галлуазит, аллофан) имеют второстепенное значение. Они образуют мелкие скопления в породах и в жильном кварце по трещинам и в порах выщелачивания.

Гётит и гидрогётит замещают пирит, халькопирит, борнит, молибденит, железистый доломит, биотит, повеллит, ферримолибдит, ярозит. По пириту развиваются псевдоморфозы лимонита, представляющие смесь гётита, гидрогётита и лепидокрокита. По халькопириту развивается исключительно гётит. Часто между агрегатами гётита и халькопирита развита тонкая полоска вторичного борнита, халькозина и кирпичной медной руды.

Гематит и гидрогематит избирательно замещают магнетит и титаномagnetит; примазки гидрогематита развиты также на зеркалах скопления в хлоритизированных породах. В гидроокислах железа по данным спектральных и химических анализов, постоянно присутствуют молибден, медь и марганец. Для срастания гидроокислов железа с замещаемыми минералами характерны коррозионные текстуры: микротекстуры (каемочная, нитеобразная, сетчатая и реликтовая). Корочки, дендриты, порошокватые и охристые массы лимонита заполняют трещины и поры выщелачивания в каолинизированных породах. В последующие стадии на корочках лимонита откладываются агрегаты куприта, лампадита, кальцита и малахита.

Охристо-желтый ярозит, встречающийся в виде реликтов в гётитовой зоне, развит в нижней части лимонитовой зоны. Иногда его массы заполняют пустотки, образовавшиеся при выщелачивании пирита. Тонкие корочки халькантита, брошантита, мелантерита и фиброставферрита развиты в незначительных количествах в окисленных рудах, выходящих на дневную поверхность.

Халькантит и мелантерит образуют выцветы и натеки на стенках горных выработок.

Ферримолибдит встречается в небольших количествах в верхних частях зоны окисления на глубине 1—10 м от поверхности. Выделяются две его разновидности: метасоматическая и заполнения пустот. И тех и других чаще встречается вторая. Агрегаты ферримолибдита постепенно переходят в лимонит.

Оливинит, фармакосидерит, скородит и сервантит наблюдаются очень редко. Развиты они на выходах окисленных медно-мышьяковых руд, сложенных энаргитом, теннантитом, люцитом, борнитом и халькозином (месторождения Каджаран, Центральный участок, Армянская ССР).

В ассоциацию вторичных сульфидов входят: борнит, халькозин, дигенит, ковеллин, халькопирит, штромейерит, аргентит и марказит. На месторождении Каджаран эта ассоциация проявлена слабо. Вторичные сульфиды образуют пленочки, каемки, нитеобразные прожилки и пятна в первичных сульфидах (халькопирите, борните, пирите, сфалерите, галените, блеклой руде, реже в энаргите). Халькозин нередко образует тоненькие каемки между халькопиритом и гётитом или между халькопиритом и кирпичной медной рудой; встречаются сложные каемки из халькозина и борнита. Халькозин и дигенит замещаются купритом.

По характерным коррозионным микротекстурам (реликтовая нитеобразная, каемочная и др.) устанавливается, что вторичные сульфиды меди в следующую стадию (см. рис. 12) интенсивно замещаются или минералами тенорит-купритовой ассоциации, или минералами группы гидроокислов железа.

Наблюдения показывают, что в медно-молибденовых рудах из зоны вторичного сульфидного обогащения встречаются бинарные и трехкомпонентные парагенезисы: 1) халькозин-борнит; 2) борнит-халькопирит; 3) ковеллин-борнит; 4) халькозин-борнит-ковеллин; 5) халькопирит-борнит-халькозин.

Халькозин и дигенит — характерные минералы для верхних горизонтов зоны вторичного сульфидного обогащения и отлагаются они первыми в условиях низкой концентрации серы в растворах. В нижних горизонтах в условиях сравнительно высокой концентрации железа и серы шире развит борнит. На некоторых участках зоны окисления можно наблюдать почти одновременное отложение халькозина и борнита. Ковеллин встречается очень редко, образуя тонкоиглольчатые или волокнистые скопления в борните и халькозине. Вторичный халькопирит наблюдается в самых нижних горизонтах зоны окисления в виде тонких прожилков в борните. Марказит образует тонкие каемки и колломорфные выделения в пирротине. Встречаются очень редко.

Аргентит, штромейерит и самородное серебро встречаются очень редко в халькозине. Во всех пробах халькозина и дигенита спектральными и химическими анализами установлено постоянное присутствие серебра в количестве 0,001—0,1 %.

Во вторую стадию минерализации отлагалась тенорит-купритовая ассоциация, наблюдающаяся на участках развития скопления вторичных сульфидов меди и энаргита. Главные минералы ассоциации — куприт и кирпичная медная руда, реже встречаются тенорит, делафоссит и самородная медь. Как показано на диаграмме, состав — парагенезис (рис. 13), тенорит-купритовая ассоциация образуется в зоне кислородного выветривания. В этих условиях халькозин замещается купритом, а борнит и халькопирит — скрытокристаллическими агрегатами тенорита, делафоссита и гётита. Отмечались случаи замещения ковеллина теноритом. Иногда прожилки и пятна куприта и тенорита образуются по энаргиту. Куприт слагает корочки, прожилки и друзы кристаллов по трещинкам в полуокисленных (халькозиновых) рудах и в лимоните. Тенорит образует выделения сферической формы, с радиально-лучистым строением и замещается купритом, а последний — самородной медью. Куприт и тенорит замещаются малахитом и азуритом.

Делафоссит встречается редко и образует тонкозернистые корочки и прожилки в ассоциации с теноритом и кирпичной медной рудой. Последовательность выделения минералов тенорит-купритовой ассоциации свидетельствует о том, что в начале процесса отложения концент-

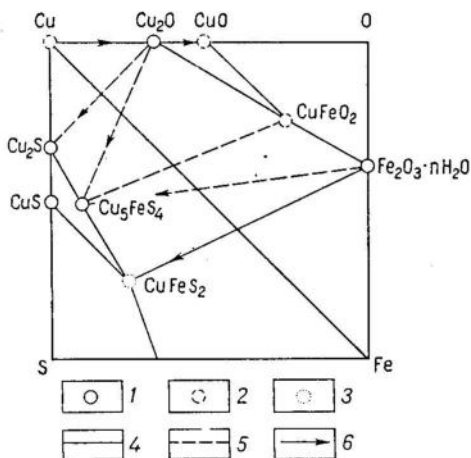


Рис. 13. Диаграмма состав — парагенезис в системе Cu-S-Fe-O .

CuFeS_2 — халькопирит; Cu_5FeS_4 — борнит; CuS — ковеллит; Cu_2S — халькозин; Cu — самородная медь; Cu_2O — куприт; CuO — тенорит; CuFeO_2 — делавосит; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — лимонит; 1 — распространенные; 2 — редкие; 3 — очень редкие; 4 — линии расположены на гранях тетраэдра, обращенных к наблюдателю; 5 — линии лежат на нижних гранях и внутри тетраэдра; 6 — направление процесса замещения

рация кислорода была повышенной, а к концу, по-видимому, пониженной, и наблюдался недостаток кислорода, в результате чего отлагалась самородная медь, замещающая куприт и халькозин.

В третью стадию минерализации формировались халцедон-лампадитовая и малахит-кальцитовая ассоциации. Первая широко распространена на небольших участках в нижней части зоны окисления и представлена лампадитом, псиломеланом, пиролюзитом, халцедоном, опалом, хризokolлой. Из перечисленных минералов главными являются лампадит и халцедон, остальные встречаются в небольших количествах.

Минералы этой ассоциации отлагаются в виде корочек, прожилков, полосок и дендритов на агрегатах лимонита или по сети трещинок в лимонитизированных, каолинизированных и окварцованных породах.

В минералах ассоциации наблюдается большое количество примесей. Так, по данным химического и спектрального анализов в лампадите в виде примесей установлены железо, кальций, магний, барий, молибден, кобальт, никель, титан, ванадий, алюминий, кремний. Отложение рассматриваемой минеральной ассоциации происходило, по-видимому, из коллоидных растворов, что подтверждается коллоидным и метаколлоидным строением агрегатов, а также необычно большой загрязненностью минералов элементами-примесями.

Минералы малахит-кальцитовой ассоциации — кальцит, арагонит, повеллит, малахит, азурит — развиты на корочках лимонита, лампадита, реже хризokolлы. В окисленных рудах месторождения Каджаран широко распространен воднопрозрачный гипергенный кальцит. Он образует мелко- и среднезернистые агрегаты в форме прожилков и друз, развитых на трещинах в лимонитизированных и каолинизированных породах. Кальцит встречается повсеместно в верхней части зоны окисления до глубины 30—60 м. Арагонит наблюдается реже и слагает корочки с зональным строением мощностью до 2 см. Обычно полоски арагонита чередуются с полосками кальцита, лампадита и хризokolлы.

Повеллит по сравнению с ферримоллибдитом более широко распространен и встречается в нижних частях зоны окисления, в обеленных каолинизированных породах, на глубине 10—20 м и более. Повеллит и ферримоллибдит пространственно разобщены, так как они осаждаются из растворов различного состава и кислотности: ферримоллибдит — из кислых растворов при pH 1—3, повеллит — из нейтральных и щелочных растворов при pH 6—8.

В окисленных рудах наблюдаются три разновидности повеллита: скрытокристаллический, зональный и мозаичный. Наиболее распространен скрытокристаллический, образующий псевдоморфозы по молиб-

дениту. Тонкие прожилки зонального повеллита встречены в жильном кварце и во вмещающих породах. Мозаичный повеллит образуется в процессе собирательной перекристаллизации скрытокристаллического.

Наблюдались мелкие скопления повеллита на друзах вторичного кальцита, что свидетельствует о значительном интервале времени отложения повеллита в зоне окисления.

Малахит и азурит повсеместно, но в небольших количествах развиты в окисленных рудах; чаще встречается малахит. Они образуют тонкие корочки, почки, прожилки и шарики с радиально-лучистым и волокнистым строением. Реже встречаются скрытокристаллические натечные агрегаты малахита и азурита. Псевдоморфный малахит развивается по куприту и кирпичной медной руде. Обычно азурит выделяется позже малахита, но на тех участках, где азурита больше, малахит развивается позже азурита.

Между халцедон-лампадитовой и малахит-кальцитовой ассоциациями наблюдается тесная пространственная связь. По-видимому, они формируются одновременно на тех участках зоны окисления, где происходит смешивание коллоидных растворов марганца и кремния с истинными гидрокарбонатно-кальциевыми растворами. Однако главная масса минералов халцедон-лампадитовой ассоциации выделяется раньше малахита и азурита.

В четвертую стадию минерализации в окисленных рудах образуется гипсовая минеральная ассоциация, распространенная как в приповерхностных, так и в более глубоких горизонтах месторождения. Сульфаты представлены гипсом, брошантитом, халькантитом, мелантеритом, пизанитом, кировитом, фиброферритом, копиапитом, эпсомитом и бледитом. Легко растворимые сульфаты (халькантит, мелантерит и др.), вероятно, отлагаются в зоне окисления во все стадии процесса гипергенной минерализации.

Широко распространенный устойчивый минерал в этой группе — гипс. Остальные сульфаты развиты в незначительных количествах в окисленных рудах, выходящих на дневную поверхность в виде выцветов и налетов. Гипс развивается метасоматическим путем, замещая ангидрит, гипогенные карбонаты, плагиоклазы, хлорит, биотит, кварц, сульфиды, а также отлагается в трещинах и пустотах в виде волокнистых, реже пластинчатых и тонкозернистых масс. Агрегаты гипса имеют форму извилистых прожилков, линз, корочек и друз. Мощность их колеблется от десятых долей миллиметра до 20—25 см; длина прожилков достигает 3 м. Гипс цементирует обломки породы и руды. Часто корочки гипса развиты на хлоритизированных и гематизированных плоскостях скольжения в породах или на зеркалах скольжения по молибдениту. Наиболее крупные скопления гипса на месторождении Каджаран встречены в зоне Дебаклинского разлома.

Гипс обычно распространен в зоне вторичного сульфидного обогащения и в зоне первичных руд (глубже 50—80 м). Приурочен он к участкам сильно раздробленных, смятых, хлоритизированных и каолинизированных пород, с многочисленными зеркалами скольжения, с глинками трения и пустотками выщелачивания.

На основании изложенного можно сделать выводы. Минеральный состав парагенетических гипергенных ассоциаций позволяет судить о химическом составе нисходящих растворов и их эволюции во времени. По мере развития зоны окисления в медно-молибденовом месторождении наблюдается изменение состава поверхностных вод от кислых к щелочным, обогащенным гидрокарбонатами (см. рис. 1).

Гётит-каолинитовая ассоциация отлагалась из поверхностных вод, содержащих свободный кислород, уголекислоту и серную кислоту. Это была стадия усиленного разложения пирита с образованием H_2SO_4 . В кислой среде происходило отложение основной массы гидроокислов железа, ярозита, опала, халцедона и ферримolibдита при pH 3—6; в слабокислой, нейтральной среде отлагались глинистые минералы: каолинит, галлуазит, аллофан при pH 4—8.

Ассоциация вторичных сульфидов формировалась ниже зеркала грунтовых вод в слабощелочных условиях среды при $pH \geq 8$.

Образование тенорит-купритовой ассоциации связано с понижением уровня грунтовых вод и переходом отдельных участков месторождения, обогащенных вторичными сульфидами меди, в зону кислородной выветривания. Отложение окислов меди происходит в слабокислой — нейтральной среде при pH 5—7. Появление самородной меди в конце стадии указывает на смену окислительных условий более восстановительными.

Халцедон-лампадитовая и малахит-кальцитовая ассоциации выпадают из нейтральных и слабощелочных коллоидных растворов при pH 7—8. В эту стадию образуется главная масса повеллита. Минералы гипсовой ассоциации отлагаются из концентрированных слабощелочных и щелочных растворов при $pH > 11$.

Как показали спектральные анализы, все гипергенные минералы окисленных руд Каджаранского месторождения (ярозит, гётит, гидрогётит, ферримolibдит, каолинит, повеллит, халькозин, куприт, лампадит, халцедон, опал, хризоколл, кальцит, арагонит, малахит и гипс) всегда содержат примеси типоморфных элементов — меди и молибдена. Поэтому гипергенные парагенетические ассоциации и отдельные минералы, а также типоморфные текстуры (коррозионные, унаследованные и каркасные) являются важными поисковыми признаками на сульфидное медно-молибденовое оруденение.

Глава IV

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ВИДЫ СРАСТАНИЙ ГИПОГЕННЫХ И ГИПЕРГЕННЫХ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ, НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ

Технология обогащения окисленных и полуокисленных руд слабо разработана по двум причинам: 1) очень сложный вещественный состав руд, содержащих различные минеральные формы металлов (см. табл. 2); 2) характерно сложное строение руд (таблицы 5, 6).

В составе этих типов руд, кроме сульфидов и арсенидов, могут быть развиты в переменных количествах окислы, гидроокислы, сульфаты, карбонаты, силикаты, реже арсенаты, антимоноаты, молибдаты, еще реже фториды, йодиды и самородные металлы.

При дроблении и измельчении руды большое значение имеют физико-механические свойства рудообразующих минералов (плотность, твердость, хрупкость, пористость, трещиноватость, пластичность и ковкость), а также структурный тип соединения (конституция и кристаллохимия). При обогащении учитываются магнитные, электрические свойства минералов и их растворимость, смачиваемость реагентами.

При качественной характеристике окисленной руды тщательно изучаются вещественный состав и характер срастания гипогенных и

Таблица 6

Текстуры и структуры, неблагоприятные для обогащения окисленных сульфидных руд

Текстура		Структура	
морфогенетические группы	морфологические виды	морфогенетические группы	морфологические виды
Коррозионные	Реликтовая, каемочная, нитеобразная, сетчатая, графическая, субграфическая, разведания	Коррозионные	Скелетная, реликтовая, разведания
		Коллоидные	Гелевая, скрытокристаллическая, концентрически-зональная
Коллоидные и метаколлоидные	Почковидная, корковая, колломорфная, порошковая	Метаколлоидные	Радиально-лучистая, волонистая

гипергенных рудообразующих минералов, форму и размеры их выделений, раскрываемость рудных и нерудных минералов. По форме минеральные выделения подразделяются на изометричные, неправильные, удлиненные (прожилкообразные, нитеобразные, линзовидные) и пластинчатые.

Важную роль при высвобождении минералов играют границы их сростаний, например зазубренные границы затрудняют разделение минералов, ровные, прямые — облегчают. Пористость и трещиноватость минералов играют положительную роль в процессе измельчения руды, проникновения растворов при флотации или выщелачивании.

Для определения размера конечной крупности дробления руды изучают величину выделений промышленных минералов, минералов-носителей полезных примесей, минералов-носителей вредных примесей. Это могут быть включения, зерна или мономинеральные агрегаты. Размеры различных видов выделений устанавливаются на основе большого количества измерений. Окисленные и полуокисленные руды в зависимости от состава, формы и размера выделений подвергаются различной технологической обработке. Окисленные руды отличаются неоднородным строением с широким развитием неблагоприятных для обогащения текстур и микротекстур: коррозионных, унаследованного замещения, коллоидных и метаколлоидных (см. табл. 6). Текстуры массивная, пятнистая, вкрапленная, брекчиевая, брекчиевидная, благоприятные для обогащения, имеют второстепенное значение (см. табл. 5).

Хорошо разделяются минералы в крупно-, средне- и мелкозернистых агрегатах, для которых характерны зернистые, метазернистые, собственно кристаллобластические и катакластические структуры. Однако концентраты, полученные при обогащении руд с метазернистыми структурами (рис. 14), всегда будут загрязнены реликтовыми минералами.

Унаследованные текстуры возникают в процессе полного или почти полного метасоматического замещения агрегатов гипогенных минералов гипергенными, при унаследовании формы замещенного минерального агрегата. Наиболее характерные морфологические виды унаследованных текстур — пятнистая, вкрапленная, брекчиевая, прожилковая и др. Структуры гипергенных минеральных агрегатов метазерни-

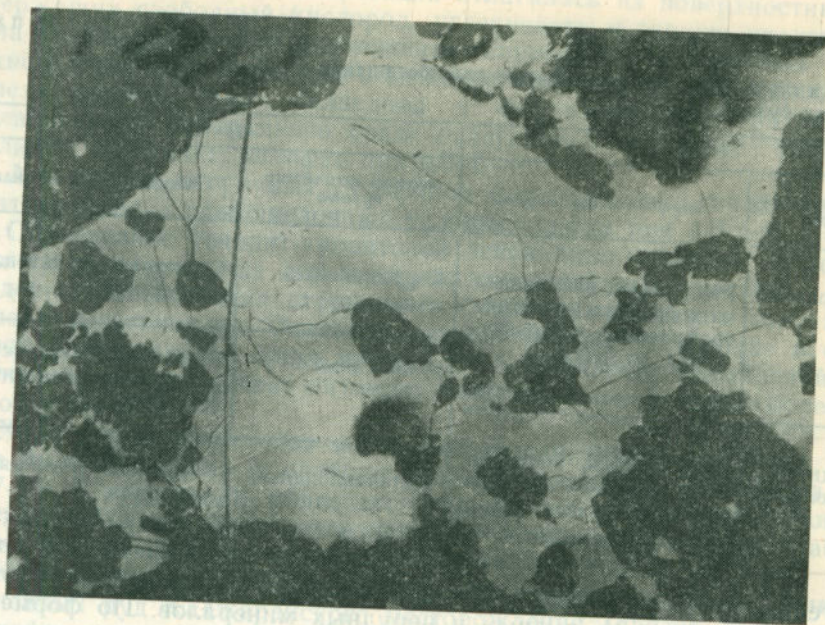


Рис. 14. Пятнистые выделения гипергенного халькозина (белое) в метасоматическом борните (серое). Черное — реликты кварца и полевого шпата. Месторождение Джезказган. Полированный шлиф. Ув. 90

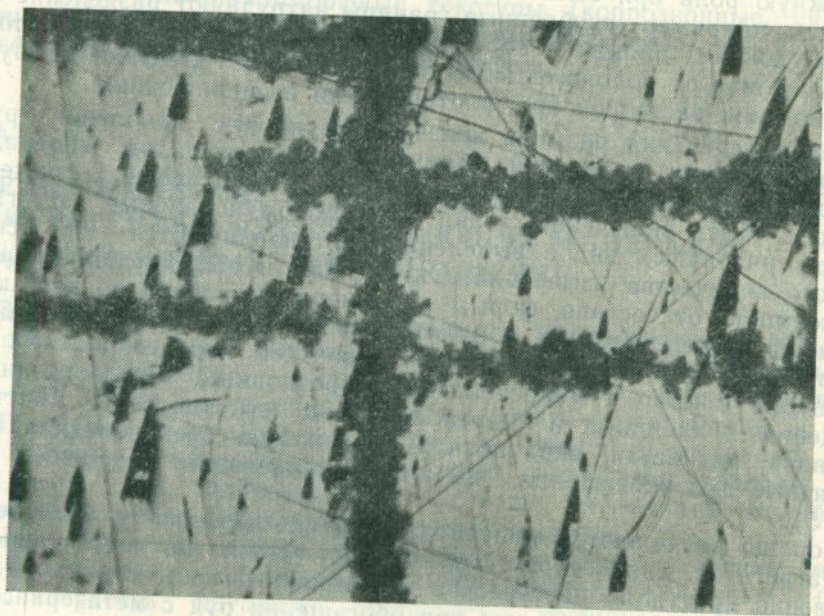


Рис. 15. Решетчатая микротекстура замещения галенита (белое) церусситом (темно-серое). Месторождение Эльбрус, Северный Кавказ. Полированный шлиф. Ув. 80

стые или коллоидные. Коррозионные текстуры и микротекстуры играют важную роль в процессе обогащения, так как в этом типе тонких сростаний гипогенных и гипергенных минералов наиболее широко развиты зазубренные границы, заливы, каемки, микропрожилки, напри-

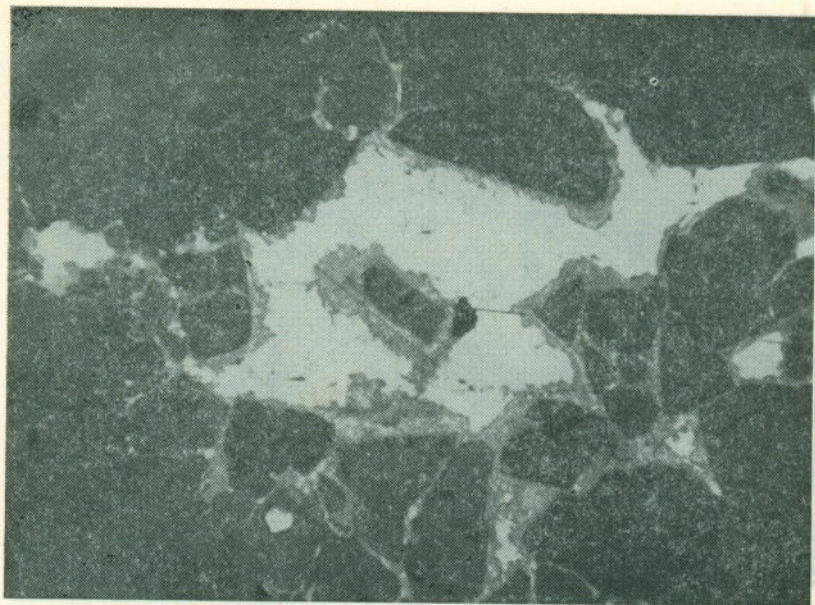


Рис. 16. Прожилкообразные выделения галенита (белое) с зазубренными границами в кварц-карбонатной породе (темно-серое). По границам галенита развиты каемки церуссита (светло-серое). Месторождение Ушкатын-3, Казахстан. Полированный шлиф. Ув. 125

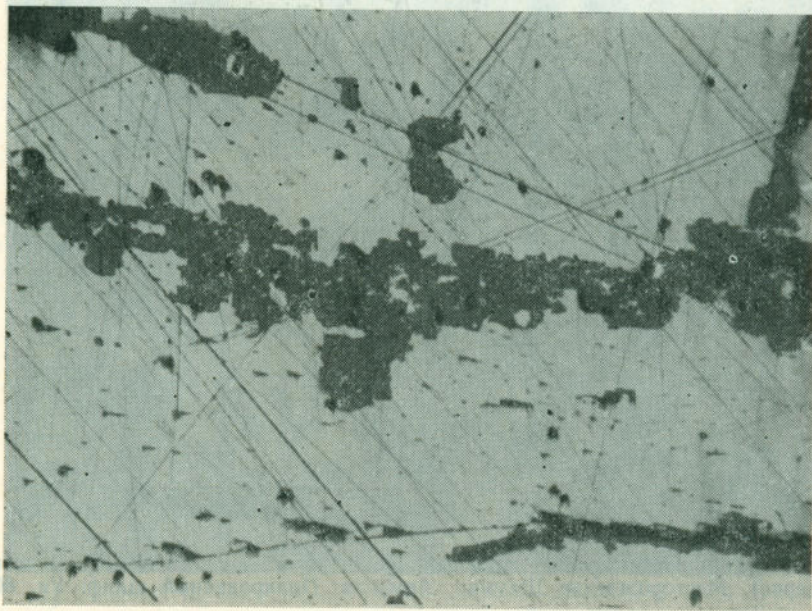


Рис. 17. Микропрожилки церуссита (темно-серое) в галените (белое). Месторождение Ушкатын-3, Казахстан. Полированный шлиф. Ув. 63

мер сетчатая, решетчатая, каемочная, прожилкообразная микротекстуры замещения галенита церусситом (рис. 15, 16, 17, 18), сетчатая микротекстура замещения халькопирита гётитом (рис. 8), замещение

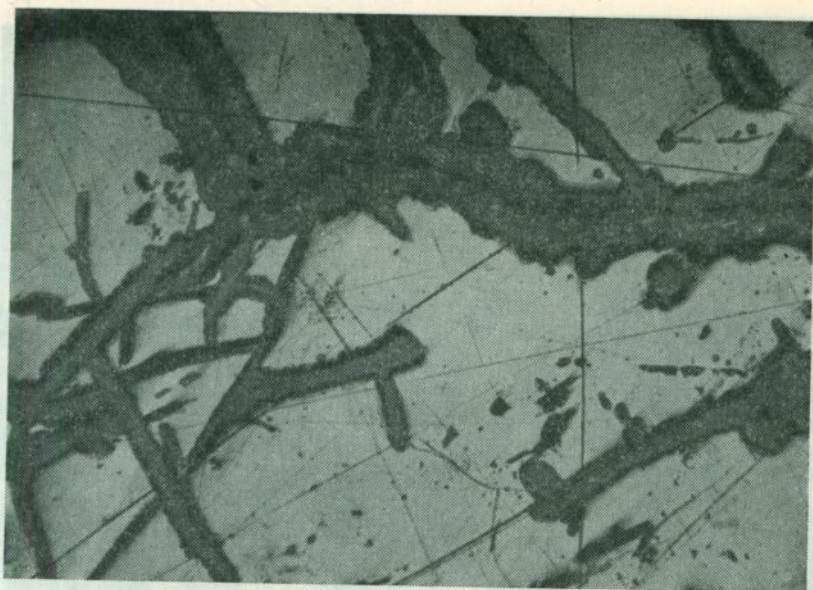


Рис. 18. Микропрожилки сенармонита (темно-серое) с включениями ковеллина (серое) в тетраэдрите. Месторождение Кафан, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 80

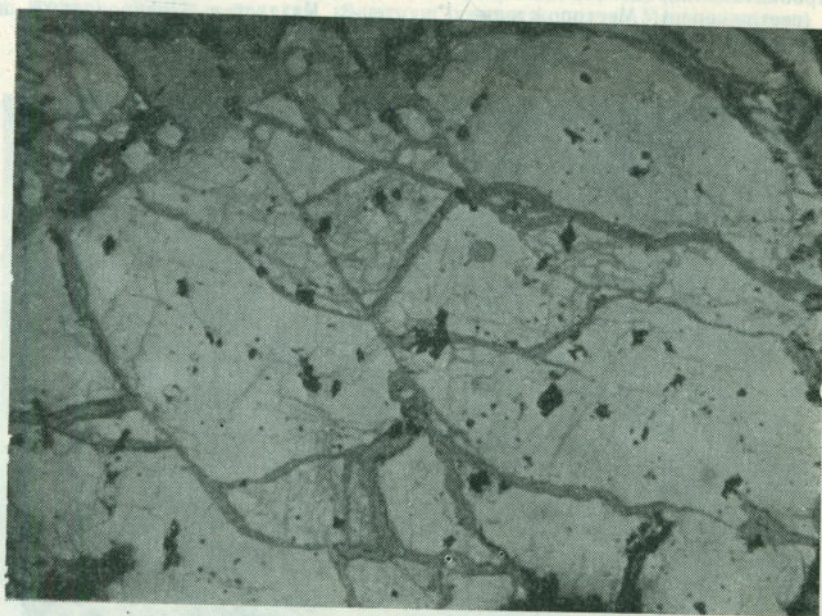


Рис. 19. Пирит (светло-серое) с тонкими прожилками халькозина (серое) и гётита (темно-серое). Месторождение Шаумян, Армения. Полированный шлиф. Ув. 80

агрегата пирита тончайшими прожилками халькозина (рис. 19), тонкое прорастание сфалерита сеткой прожилков халькозина (рис. 20), наличие реликтов пирита в гётите или реликтов молибденита в повеллите (рис. 21), реликтов зонального смальтина в эритрине (рис. 22), развитие в зоне окисления каемок сенармонита вокруг вкраплений антимонита (рис. 23). Структуры замещающего гипергенного мине-

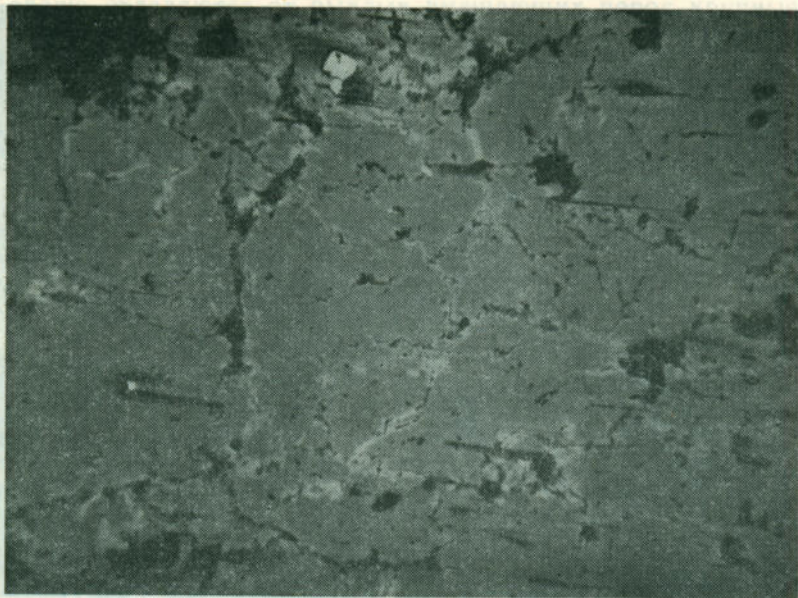


Рис. 20. Микропрожилки халькозина (светло-серое) развиты по трещинкам и границам зерен сфалерита (серое). Черное — ямки, трещинки. Месторождение Кафан, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 125



Рис. 21. Реликты молибденита (белое) и кварца (темно-серое) в повеллите (серое). Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 80

рального агрегата метазернистые или коллоидные. Коррозионные текстуры и микротекстуры являются неблагоприятными сростаниями и обуславливают потери ценного компонента в большом количестве при обогащении. Иногда его совсем невозможно выделить в концентрат.

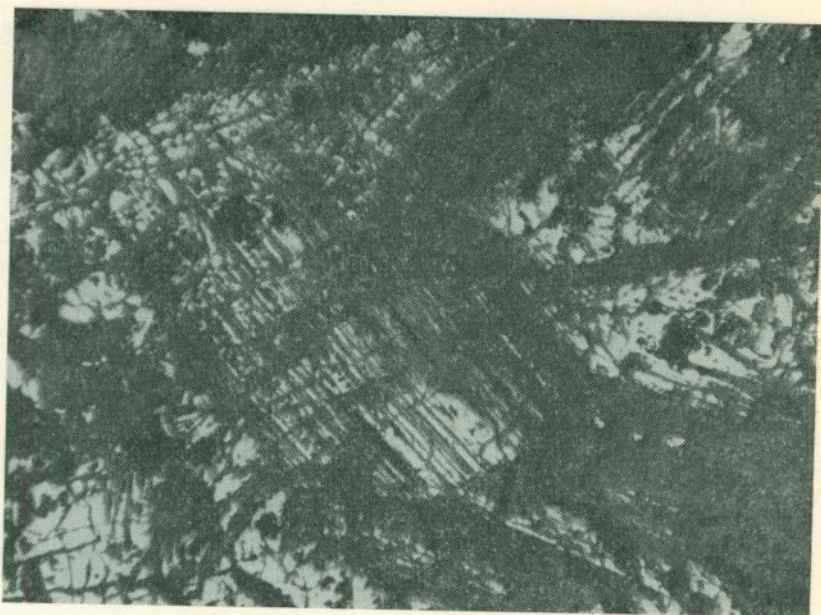


Рис. 22. Реликты смальтина (белое с зональным строением) в эритрине (темно-серое). Месторождение Ховуаксы. Тувинская АССР. Полированный шлиф. Ув. 63

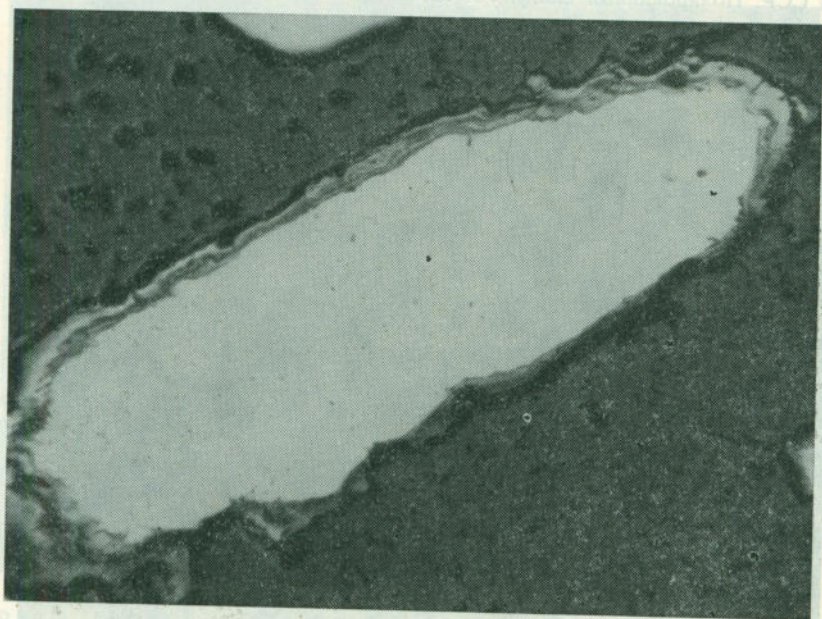


Рис. 23. Каемки сенармонта (серое) вокруг вкрапленности антимонита (белое). Темно-серое — нерудные минералы. Месторождение Кокпатас, Узбекская ССР. Полированный шлиф. Ув. 40

Окисленные руды, представленные землистыми или порошковатыми разностями, трудно обогащаются. При обогащении окисленных руд с колломорфными текстурами и коллоидными структурами всегда получают концентраты, сильно загрязненные примесями.

Хорошо отделяются от рыхлых вмещающих пород крупные натечные агрегаты малахита, гидроокислов железа и марганца и других гипергенных минералов.

Качественная химико-минералогическая характеристика окисленных и смешанных руд

Данные минералогического и химического анализов, характеризующие окисленные и смешанные руды штоковерковых медно-молибденовых месторождений Армении, приведены в табл. 7, 8.

Комплексные медно-молибденовые руды по химико-минеральному составу подразделяются на три типа: сульфидный (содержание окисленного молибдена менее 12 %), смешанный (содержание окисленного молибдена от 12 до 20 %, в среднем 17 %), окисленный (содержание окисленного молибдена более 20 %, а окисленной меди до 80—90 %). Сульфидные и смешанные руды имеют большое промышленное значение и широко распространены на медно-молибденовых месторождениях.

Сульфидные медно-молибденовые прожилково-вкрапленные руды развиты на средних и глубоких горизонтах месторождений. Верхняя их граница проходит на глубине 40—60 м. В некоторых месторождениях сульфидные руды разведаны на глубину до 450—700 м. Основной массой руды являются раздробленные вмещающие породы в различной степени гидротермально измененные. Количество сульфидов в руде колеблется от 2 до 10 %, редко выше.

Главные ценные компоненты сульфидных медно-молибденовых руд — молибден, медь и рений. Их промышленные минералы в рудах — молибденит и халькопирит. Незначительно распространены другие гипогенные минералы меди — борнит, халькозин, энаргит, люцонит, теннантит, тетраэдрит и фрейбергит. В штоковерковых месторождениях Армении в интервале от 50—70 до 100—150 м встречаются вторичные сульфиды меди (халькозин, ковеллин).

Смешанные (сульфидно-окисленные) медно-молибденовые прожилково-вкрапленные руды распространены в штоковерковых месторождениях Армении на глубине от 10 до 60 м. Они слагают участки неправильной формы в виде карманов и линз среди окисленных и сульфидных руд. Между сульфидными и смешанными рудами или между смешанными и окисленными наблюдаются постепенные переходы. Вдоль трещинных зон эти руды распространены на более глубокие горизонты (до 200 м и глубже). Иногда смешанные руды выходят на поверхность. Они отличаются сложным минеральным составом и строением.

В смешанных рудах развиты не только гипогенные рудообразующие минералы, но и вторичные сульфиды меди и гипергенные минералы: повеллит, ферримолибдит, куприт, тенорит, кирпичная медная руда, малахит, азурит, хризоколл, лампадит, ярозит, гётит, гидрогётит, гидрогоматит, кварц, гипс, каолинит, кальцит, халькантит, мелантерит и др. Из них наиболее распространены вторичные сульфиды меди, каолинит и гипс.

Первичные сульфиды — молибденит, халькопирит, борнит, халькозин, энаргит и пирит часто развиты в виде реликтов во вторичных минералах.

Смешанные руды характеризуются повышенным содержанием меди по сравнению с сульфидными рудами.

Качественная характеристика окисленной медно-молибденовой руды по данным минера

Типы руд	Рудообразующие минералы	Содержание минерала, %	Содержание основного компонента в руде, %	Полезные примеси в руде	Форма выделений, %		
					изометричная, округлая	удлиненная, пластинчатая, лучистая, игольчатая	неправильная, порошковая, каски, реликты
Окисленные медно-молибденовые	<i>Промышленные минералы</i>						
	Повеллит	0,5—5	0,005—0,07	Au	30	40	30
	Ферримолибдит	0,3—1	(Мо окисленный)		—	20	80
	Молибденит (реликты)	0,00п	0,001—0,02 (Мо сульфидный)		—		100
	Малахит	0,5—3		Ag	10	20	70
	Хризоколла	0,2—1			—	—	100
	Куприт	0,3—2	0,4—1,5 (Cu окисленная)	Bi	20	—	80
	Тенорит	0,2—1			20	20	60
	Халькопирит (реликты)	0,00п		Ge	—	—	100
	Азурит, медь самородная, лампадит, делафосит	0,5	0,1—0,05 (Cu сульфидная)		10		90
	<i>Минералы — полезные примеси</i>						
	Золото самородное	<0,001			50		50
	<i>Непромышленные минералы, содержащие примесь Мо и Cu</i>	35—65			—		—
	Гётит, гидрогётит, лепидокрокит, ярозит; пиролюзит, псиломелан; каолинит, галлуазит						
	<i>Непромышленные минералы</i>	25—50		—	—	—	—
	Кварц, халцедон, опал, кальцит, доломит, арагонит, гидрослюда, реликты породообразующих минералов						

Примечание. Таблицы 7 и 8 составлены по данным изучения нескольких сотен штучков, лизов по одному месторождению.

Таблица 7

логического и химического анализов

Границы выделения, %		Размер выделений, мм; количество %				Срастания руд для обогащения			
						благоприятные		неблагоприятные	
						текстуры	структуры	текстуры	структуры
прямые	зазубренные	>2	2-0,2	0,2-0,02	<0,02				
20	80	10	30	30	30	Унаследованные — вкрапленная, пятнистая, прожилкообразная, корковая, прожилковая	Средне-, мелкозернистые	Колломорфная, реликтовая, каемочная, сетчатая, нитеобразная, дендритовая, порошковая, пятнистая, прожилкообразная метасоматической пропитки, трещиноватая, каркасная	Скрытокристаллическая, гелевая, тонкодисперсная, дробления
30	70	5	20	35	40				
—	100	5	20	25	50				
—	100	10	20	20	50				
10	90	10	20	20	50				
10	90	5	25	20	50				
—	100	5	15	20	60				
—	100	5	20	25	50				
—	100	10	10	20	60				
50	50	—	—	30	70				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				

шлифов и шлихов из шлама буровых скважин и по данным нескольких тысяч химических ана-

Качественная характеристика смешанной медно-молибденовой руды по данным минера

Тип руды	Рудообразующие минералы	Содержание минерала, %	Содержание основного компонента в руде, %	Полезные примеси в руде	Форма выделений, %			
					изометричная, округлая	удлиненная, пластинчатая, лучистая, игольчатая	исправильная, порошковая, каемки, реликты	
Смешанные медно-молибденовые	<i>Промышленные минералы</i>			Re				
	Молибденит	0,1—0,2		Au	—	95	15	
	Халькопирит	0,75—1,5		Ag	30	20	50	
	Повеллит	0,02—0,05			30	40	30	
	Борнит	0,1—0,5		Se	—	—	100	
	Халькозин	0,05—0,25		Te	—	—	100	
	Ковеллин	0,01		Bi	—	—	100	
	Теннантит, энаргит, штроемейрит	до 0,5	0,005—0,02 (Mo окисленный)	Ge	10	30	60	
	<i>Минералы — полезные примеси</i>							
	Пирит, марказит	2—3	0,04—0,1 (Mo сульфидный)		50	20	30	
	Галенит, сфалерит	0,01—1			20	30	50	
	Аргентит, золото, серебро	0,001—0,02	0,05—0,2 (Cu окисленная)		—	—	100	
	<i>Непромышленные минералы</i>							
	Полевые шпаты, кварц, роговая обманка, пироксены, биотит, карбонаты, каолинит, серицит, хлорит, гётит, гидрогётит	90—95	0,3—0,6 (сульфидная) Cu					

Окисленные прожилково-вкрапленные руды распространены в верхних горизонтах медно-молибденовых месторождений и продолжаются на глубину до 10—30, иногда до 50 м от поверхности. Они обычно приурочены к сильно каолинизированным и лимонитизированным породам. Содержание меди в окисленных рудах повышенное, а молибдена — более низкое по сравнению с сульфидными рудами. Рассеянные элементы: рений, селен и теллур окисляются до высших валентностей и выносятся грунтовыми водами.

В окисленных рудах распространены гипергенные минералы молибдена (повеллит, ферримолибдит, молибденсодержащий лимонит) и меди (куприт, тенорит, самородная медь, кирпичная медная руда, де-лафоссит, малахит, азурит, хризокolla, халькантит, брошантит). Из гипергенных минералов железа в рудах широко развиты гётит, лепидокрокит, гематит, ярозит, иногда мелантерит и скородит.

Из гипергенных нерудных минералов в окисленных рудах присутствуют каолинит, гидрослюда, кальцит, арагонит, халцедон, опал, кварц, гипс и др.

ЛОГИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ

Границы выделения, %		Размер выделений, мм; количество, %				Срастания руд для обогащения			
						благоприятные		неблагоприятные	
						текстуры	структуры	текстуры	структуры
прямые	завубранные	> 2	2-0,2	0,2-0,02	< 0,02				
30	70	10	50	20	20	Вкрапленная, пятнистая, прожилковая, прожилкообразная, брекчиевая	Крупно-, средне-, мелкозернистая	Каемочная, реликтовая, сетчатая, нитеобразная, трещиноватая	Скрытокристаллическая, гелевая, дробления
30	70	10	40	30	20				
—	100	—	—	40	60				
—	100	—	—	50	50				
—	100	—	—	40	60				
—	100	—	—	—	100				
10	90	5	10	35	50				
50	50	20	40	20	20				
30	70	20	30	30	20				
—	100	—	—	20	80				

В окисленных рудах молибденит, халькопирит, борнит, халькозин, энаргит, пирит, сфалерит, галенит, железистый доломит или полностью выщелочены, или мелкие выделения их нацело замещены вторичными минералами, или первичные минералы сохранились в виде мельчайших реликтов в массе вторичных минералов. Наиболее часто выщелачиваются или окисляются доломит, халькопирит, пирит и кварц; наиболее устойчивы молибденит и энаргит.

Для окисленных и смешанных руд характерны разнообразные текстуры: коррозионные (каемочная, нитеобразная, решетчатая, сетчатая, реликтовая), коллоидные и метаколлоидные (корковая фестончатая, землистая), каркасные (пористая, ящичная, ячеистая), а также вкрапленная, прожилковая, дендритовая и друзовая.

Гипергенные минералы характеризуются тонким срастанием друг с другом. Например, повеллит и ферримолибдит замещаются гётитом; тонкие корочки малахита, хризоколлы, халцедона, лампадита, кальцита и арагонита часто переслаиваются; в массе гётита развиты мелкие скопления ковеллина и реликты халькопирита; тончайшие пленки по-

веллита обволакивают кристаллы кальцита и молибденита; куприт образует срастания с гётитом и халькозином; в халькозине содержатся тонкие реликты пирита и халькопирита.

В настоящее время и в ближайшие 20 лет главным методом обогащения руд цветных металлов останется пенная флотация. Основная масса цветных металлов сосредоточена в сульфидных месторождениях. Сульфидными являются около 75—80% свинцово-цинковых и более 85% медных руд.

По С. И. Митрофанову (1963 г.), к сульфидным относятся руды, в которых содержание ценного компонента в виде несulfидных минералов не превышает 10% его общей массы. При содержании окисленных форм металла до 20% руды считаются смешанными сульфидно-окисленными, а свыше 20% — окисленными.

Флотация несulfидных минералов затруднена. Эти минералы, обычно имеющие кислородсодержащий анион, обладают сильной ионной связью и активно взаимодействуют с водой; они не имеют в отличие от сульфидов ярко выраженных гидрофобных свойств.

Окисленные и смешанные руды характеризуются сложным составом и строением. Текстурно-структурные особенности обусловлены развитием тонких прорастаний различных минералов, пустот выщелачивания, пропиткой рудными минералами вмещающих пород вследствие метасоматоза, распространением рыхлых, хрупких минеральных агрегатов. В процессе разработки гипергенные минералы легко переизмельчаются и переходят в шлам. Поэтому окисленные руды обогащаются по комбинированным флотационным и флотационно-гидрометаллургическим схемам или путем бактериального выщелачивания (медные руды).

Глава V

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОКИСЛЕННЫХ РУД

Полевые методы изучения окисленных руд

Минералогическое изучение руды в полевых условиях проводится при документации естественных обнажений, кернов скважин, канав, шурфов, а также забоев и стенок подземных горных выработок и карьеров. Детально изучаются старые отвалы горных выработок.

В штучных образцах описываются диагностические свойства и морфогенетические особенности минералов и их агрегатов (цвет, твердость, цвет черты, форма и размеры индивидов, выделений и др.); выделяются минеральные ассоциации.

Цвет минерала определяется в зернах, кристаллах и агрегатах, а также наблюдается цвет черты или порошка, оставляемого минералом на фарфоровой неглазурованной пластинке. Бесцветные и слабоокрашенные гипергенные минералы могут изменять цвет в зависимости от их лимонитизации, малахитизации и др. Для многих гипергенных минералов характерна яркая окраска. Наиболее распространены зеленая, синяя, красная, розовая, желтая, бурая, белая, серая, черная окраски.

Зеленая окраска различных оттенков характерна для малахита, псевдомалахита, аннабергита, миметезита, мелантерита, бедантита, скородита, пироморфита, моренозита, оливинита, атакамита, повеллита и других; синяя и голубая окраска — для азурита, хризоколлы, пиза-

нита, халькантита, ковеллина, аурихальцита, линарита и других; желтая — для вульфенита, ферримолибдита, молибдита, биндгеймита, стибиконита, фармакосидерита, бисмутита, серы, аурипигмента, клейофана, миметезита, ярозита, гринокита, бисмита, сервантита, массикота и др. Цвета розовый, красный наблюдаются у реальгара, кермезита, куприта, кроконтита, самородной меди, гематита, эритрина, гидрогематита, гётита, вольфтинга, родохрозита, феррикобальтина, родонита, деклуазита, биберита, лимонитизированного кварца, каолинита и др. Цвет бурый, желто-бурый типичен для гётита и гидрогётита, лимонитизированного сидерита, птитита, смитсонита, анкерита, касситерита и других; черный цвет присущ тенориту, марказиту, мельниковиту, псиломелану, асболану, лампадиту, халькозину, ковеллину, аргентиту, делафосситу, коронадиту, платтнериту, урановой черни и др. Цвет белый, серый наблюдаются у кальцита, гипса, арагонита, керарггирита, церуссита, смитсонита, каолинита, гидроцинкита, отавита и др. Необходимо отметить, что при адсорбции гидроокислов железа белые и серые минералы часто окрашиваются в различные бурые тона. Вообще для минералов зоны окисления очень характерно развитие их в тесной смеси с гидроокислами железа. Серые и белые рудные минералы часто отличаются сильным «алмазным» блеском, например англезит, церуссит, валентинит и др.

Одной из характерных особенностей гипергенных минералов является форма их агрегатов и индивидов. Различаются корочки, натеки, примазки, пленки, дендриты, землистые или порошковатые и охристые массы, почки и сферолиты, псевдоморфозы, желваки, конкреции и друзы.

Структуры агрегатов коллоидные и метаколлоидные (скрытокристаллические, гелевые, волокнистые и радиально-лучистые), метазернистые, редко зернистые. Особенно типичны для окисленных руд трещиноватость и пустоты выщелачивания, которые определяют морфологические виды разнообразных каркасных текстур. Отличительной особенностью окисленных руд является наличие в них различных охр, сыпучек, раздробленных порошковатых минералов. При изучении минералогии окисленных руд особое внимание обращается на лимониты: определяют, являются ли они псевдоморфными или переотложенными. Детально исследуются их текстуры, структуры, химический состав.

При диагностике гипергенных минералов в полевых условиях большое значение имеют микрохимические реакции на Pb, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Mo, Bi, U и другие катионы. Ниже дано детальное описание реакций.

Минералогическое картирование месторождения проводится по специальной методике.

Штуфы, пробы и другие материалы в полевых условиях отбирают из всех частей окисленной зоны месторождения, начиная от первичных руд, едва затронутых окислением, до полностью окисленных руд, а также из прилегающих боковых пород с признаками гипергенной минерализации. Штуфные образцы отбираются из руд, различных по цвету, составу гипергенных минералов и их агрегатов, их строению; также отбираются образцы всех разновидностей вмещающих пород вблизи рудных тел.

Забои и отдельные части горных выработок фотографируют, составляют зарисовки штуфных образцов с типоморфными текстурами. На зарисовках показывают место локализации и характер морфологии агрегатов новообразованных минералов, например псевдоморфозы ярозита по пириту или гётита по пириту, или повеллита по молибдениту и др.; жилки и друзы церуссита, куприта и др.; сферолитовые агре-

гаты гидроокислов железа, ферримолибдита, эритрина и др.; натечные агрегаты малахита, смитсонита и др. На планах отмечается количественное распределение гипергенных минеральных ассоциаций.

В полевых условиях отбирают штучные образцы и шлифы, пробы гипергенных минералов, глинки трения каолинизированных и лимонитизированных пород.

Лабораторные методы изучения окисленных и смешанных руд

Вещественный состав и строение окисленных руд в лабораторных условиях всегда исследуется комплексом методов. Важнейшие методы: минераграфический, петрографический, иммерсионный, спектральный, шлиховой, химический, микрохимический, термический, рентгеноструктурный, электронномикроскопический и люминесцентный. В справочнике «Современные методы минералогического исследования» (1969) геолог-минералог найдет описание сущности перечисленных методов, их применение, обзор аппаратуры, довольно полную библиографию работ последних лет.

Минераграфический метод широко применяется как для изучения первичных сульфидных руд, так и окисленных и полуокисленных руд сульфидных месторождений. С помощью этого метода можно определить микровключения гипогенных реликтовых минералов в окисленных рудах, диагностировать гипергенные минералы и изучать последовательность их отложения и закономерности распределения минералов и ассоциаций в зоне окисления, а также производить количественное определение отражения и микротвердости гипергенных минералов.

Петрографический метод используется для определения прозрачных и полупрозрачных гипергенных минералов окисленных руд и выветрелых вмещающих пород и для определения реликтов жильных первичных минералов, а также при изучении строения руд и установлении последовательности выделения минералов.

Иммерсионный метод имеет особенно большое значение в области диагностики прозрачных и полупрозрачных гипергенных минералов зоны окисления сульфидных месторождений, как, например, каолинита, азурита, малахита, смитсонита, церуссита, англезита, хризоколлы, повеллита, скородита, ярозита, ферримолибдита и др.

Спектральный анализ — один из основных методов определения содержания элементов-примесей в гипергенных минералах. С помощью этого метода исследуются также отдельные типы окисленных руд и выветрелые вмещающие породы: лимонитизированные, каолинизированные, ярозитизированные.

Шлиховой анализ применяется для изучения минерального состава окисленных руд, выделения в чистом виде некоторых минералов из протолок окисленных и полуокисленных руд, установления реликтов первичных сульфидов в протолочках окисленных руд.

Химический анализ и методы микрондирования широко применяются для определения химического состава гипергенных минералов. В настоящее время химический анализ минералов с помощью электронных микроанализаторов исключительно популярен благодаря быстрой выполнения эксперимента, небольшим количествам материала, необходимого для исследования, и возможности осуществить химический анализ на ничтожно малых по размеру объектах. Обычно химическому анализу с целью минералогической диагностики окисленных руд

должно предшествовать тщательное макро- и микроскопическое исследование.

Фазовый качественный микрохимический анализ широко применяется для изучения состава и строения окисленных руд как в полевых, так и в лабораторных условиях. С помощью микрохимических реакций быстро осуществляется качественное определение химических элементов и в первую очередь катионов, входящих в состав рудообразующих минералов. Методом окрашивания выявляются мономинеральные агрегаты.

Термический анализ часто применяется при диагностике минералов окисленных руд группы гидроокислов, карбонатов, сульфатов, глинистых минералов. При этом изучаются не только кристаллические, но также и скрытокристаллические их разновидности.

Метод электронной микроскопии позволяет изучать тонкодисперсные гипергенные минералы при увеличениях в 2000—100 000 раз. С помощью электронного микроскопа можно определять минерал, наблюдать и фотографировать форму, внутреннее строение и размер гелевых и скрытокристаллических частиц глинистых минералов, ярозита, повеллита, ферримолибдита и др.

Люминесцентный анализ применяется для диагностики в образцах и протолочках повеллита, некоторых гипергенных минералов урана, шеелита и флюорита.

Методы диагностики гипергенных рудных минералов в отраженном свете

При диагностике минералов окисленных руд под микроскопом в отраженном свете применяется комплекс методов, с помощью которых изучаются их физические и химические свойства, а также парагенезис минералов.

При исследовании полированных шлифов с целью диагностики рудообразующих минералов определяются оптические свойства: отражение, двуотражение, цвет, эффект анизотропии и внутренние рефлексии.

Отражение — свойство полированной поверхности минерала отражать определенное количество падающего на него света. Это свойство наблюдается без анализатора. Рудные минералы сильно отражают свет и выглядят в полированном шлифе светлыми, яркими. Жильные минералы слабо отражают свет и кажутся поэтому серыми, темно-серыми. Показатель отражения обозначается символом R . Отражение рудных минералов в полированном шлифе неодинаковое.

Наиболее блестящими выглядят в отраженном свете самородные металлы, арсениды, антимониды, теллуриды с $R > 60\%$; очень светлыми — сульфиды с $R = 30-60\%$; выглядят светло-серыми и серыми окислы с $R = 10-30\%$. Силикаты, карбонаты, сульфаты темно-серые в полированных шлифах, у них очень низкое отражение (например R кварца $= 4\%$).

В одноосных анизотропных рудных минералах количественно определяют два показателя отражения R_o , R_e , в двуосных — три R_g , R_m , R_p , изотропных — один. Для изотропных и анизотропных минералов, кроме того, устанавливают показатель отражения в воздухе R_a и в иммерсионной среде $R_{и}$. Качественная оценка отражения минерала производится по относительной яркости в шлифе при сравнении его с другим рядом расположенным минералом. Более тусклый или темный минерал из двух сравниваемых имеет более низкое отражение, более светлый

или яркий минерал — более высокое; точность визуального определения $R \pm 5\%$.

В воздухе отражение минерала наблюдают при небольших увеличениях 47, 90. Незначительные различия, едва заметные в воздухе, часто усиливаются в масляной иммерсии. Для качественной оценки рекомендуются иммерсионные объективы слабых увеличений $11\times$. Качественно оценить R можно на рудном микроскопе при сопоставлении с эталонами или с известными рудными минералами в шлифе. За эталоны берутся свежеотполированные минералы: пирит $R_v = 54,5\%$; галенит $R_v = 43,4\%$; сфалерит $R_v = 18\%$, англезит $R_v = 10\%$.

На изменение отражения влияют следующие факторы: качество полировки минерала, цвет ясноокрашенных минералов, двуотражение минерала, элементы-примеси и твердые включения в минерале. Величину R необходимо оценивать по наиболее ярким и светлым зернам.

Двуотражение — одно из характерных свойств минерала, обозначается символом ΔR . Двуотражение наблюдается у анизотропных рудных и жильных минералов с поляризатором при вращении столика микроскопа на 360° .

Для сильно анизотропных минералов при вращении столика микроскопа характерны отчетливые изменения отражения и реже цвета. При этом зерна минерала разной ориентировки, расположенные в шлифе рядом, заметно отличаются друг от друга. Двуотражение численно выражается разностью главных показателей отражения минерала: $\Delta R = R_g - R_p$. Например, абсолютное значение ΔR молибденита $44 - 15 = 29\%$; антимонита $44 - 30 = 14\%$; ковеллина $20 - 5 = 15\%$; кальцита $6 - 2 = 4\%$ и др. У изотропных минералов двуотражение отсутствует. Визуально у анизотропных минералов по интенсивности различаются сильное и слабое двуотражение.

Сильное двуотражение минерала наблюдается в воздухе с объективами малого увеличения $4\times$, $7\times$, $9\times$ и характеризуется различной яркостью, реже цветовым эффектом. Например, у молибденита эффект двуотражения выражается в изменении яркости зерен минерала при вращении столика микроскопа — от белого, светло-серого до серого тона, у ковеллина цветовой эффект двуотражения — цвет его изменяется от светло-голубовато-серого до темно-синего с сиреневым оттенком.

Слабое двуотражение наблюдается только в агрегате разноориентированных зерен исследуемого минерала в иммерсии с объективами малого увеличения $11\times$. У некоторых прозрачных минералов с высоким двупреломлением наблюдается сильное двуотражение, например у карбонатов Ca, Mg, Fe, Pb, Zn. Кварц, барит, гипс и полевые шпаты не имеют двуотражения. При изучении двуотражения минерала в поле зрения микроскопа устанавливается мономинеральный агрегат с несколькими разноориентированными зернами.

Цвет рудного минерала в отраженном свете — важный диагностический признак. Визуально цвет минерала определяется при сравнении с цветом окружающих минералов. Обычно цвет исследуемого минерала сравнивается с цветом эталонов — галенита, сфалерита, халькопирита, пирита.

По цвету рудные минералы в отраженном свете делятся на две группы: 1) бесцветные и слабоокрашенные; 2) ясноокрашенные. К бесцветным относится подавляющая часть рудных минералов. Цвет их белый, светло-серый и серый. Эталонами бесцветных минералов являются следующие: галенит — белый; сфалерит — серый; англезит — темно-серый, кварц — темно-серый. Слабоокрашенные минералы — это бесцветные минералы со слабыми оттенками пастельных тонов: го-

лубоватые, желтоватые, розоватые, коричневатые, зеленоватые. Оттенок цвета минерала определяется на фоне галенита или в масле. Слабоокрашенные минералы меньше распространены, чем бесцветные.

Группа ясноокрашенных, или цветных, минералов самая небольшая. Цвет ясноокрашенных минералов легко устанавливается под микроскопом. Выделяются минералы желтого, розового и синего цвета. Эталоном ясноокрашенных минералов являются: халькопирит — желтый; борнит свежееотполированный — розовый; ковеллин — синий.

При определении цвета исключительно большую роль играет фон окружающих минералов. Халькопирит в контакте с галенитом отчетливо желтый, рядом с золотом воспринимается как зеленовато-желтый.

Цвет минерала в воздухе отличается от цвета минерала в масляной иммерсии. Для одних минералов такие различия в цвете незначительны, для других — цветовой оттенок резко усиливается.

Эффект анизотропии — основной качественный диагностический признак. Рудные минералы в поляризованном отраженном свете подразделяются на изотропные и анизотропные. В группу изотропных минералов входят минералы кубической сингонии и аморфные. В группу анизотропных — минералы остальных сингоний.

Изотропный минерал при скрещенных николях становится темным и не просветляется при повороте столика на 360° . Анизотропные минералы при скрещенных николях обнаруживают изменение цвета или яркости. Наблюдается четырехкратное угасание анизотропного кристалла через каждые 90° при вращении столика микроскопа. Для одних минералов характерно прямое угасание (висмутин, никелин, энгрит и др.), а для других — косое (малахит и др.). Некоторые минералы сопровождаются цветовым эффектом анизотропии.

В скрещенных николях у некоторых минералов отчетливо проявляется двойниковое и зональное строение.

По интенсивности эффекта анизотропии минералы разделяются на три группы: сильно-, отчетливо- и слабоанизотропные.

Сильноанизотропные минералы — эффект анизотропии заметен в монозернах при вращении столика микроскопа (молибденит, антимонит, ковеллин, церуссит и др.). Отчетливоанизотропные минералы — эффект анизотропии наблюдается в агрегате разноориентированных зерен (киноварь, халькозин, тенорит и др.). Слабоанизотропные минералы показывают эффект анизотропии только в агрегате разноориентированных зерен, особенно при наблюдении в иммерсии (халькопирит, куприт и др.).

Внутренние рефлексы наблюдаются у полупрозрачных и прозрачных минералов с R ниже 44 %. Внутренними рефлексами называются цветные и бесцветные лучи, отраженные от внутренних элементов минерала (трещин спайности, твердых и жидких включений), а также от границ зерен. Они идут изнутри минерала со всей поверхности или образуют одиночные или групповые световые блики. Различают цветовые рефлексы (красные, коричневые, желтые, зеленые, синие, оранжевые) и бесцветные. Цвет внутренних рефлексов имеет важное диагностическое значение. Например, для киновари характерны красные внутренние рефлексы, для касситерита — желтовато-коричневые, желтые, редко красные и т. д. Цвет внутренних рефлексов сходен с цветом минерала, наблюдаемым макроскопически в штуфах, или с цветом его черты на фарфоровой пластинке.

Бесцветные внутренние рефлексы встречаются главным образом у нерудных прозрачных минералов с $R=5-10\%$. У прозрачных и полупрозрачных минералов в полированных шлифах наблюдают

внутренние рефлексы при полностью скрещенных николях с объективами 9×, 40× и сильным освещением. При этом просматриваются многие зерна минерала. У полупрозрачных минералов внутренние рефлексы слабо выражены и наблюдаются с трудом. Однако их можно выявить в порошке, полученном при царапании полированной поверхности, порошок изучают в скрещенных николях или под биноклем.

По интенсивности проявления внутренних рефлексов минералы разделяются на три группы:

1) внутренние рефлексы отсутствуют — в основном группа непрозрачных рудных минералов с $R > 44\%$;

2) слабые внутренние рефлексы — группа полупрозрачных рудных минералов с $R = 10-44\%$ (гематит, теннантит и др.); наблюдаются в порошке минерала или в иммерсии при скрещенных николях с объективами 9×, 40× и сильным освещении; порошок минерала изучают на поверхности шлифа;

3) сильные внутренние рефлексы — группа полупрозрачных минералов с $R = 18-30\%$ и прозрачных минералов с $R < 18\%$ (куприт, аурипигмент, реальгар, гринокит, сфалерит, малахит, азурит, кальцит, кварц и др.), сильные внутренние рефлексы наблюдаются в скрещенных николях с объективом 9× или под биноклем.

Физические свойства рудных минералов, такие как твердость, магнитность и кристалломорфные особенности, существенно облегчают их диагностику.

Твердость рудного минерала — способность его полированной поверхности оказывать сопротивление при царапании, шлифовании и микровдавливании. Применяются два метода определения твердости минералов: качественный и количественный.

В минераграфической практике широко применяется качественное определение твердости рудных минералов методом царапания стальной и медной иглами. Твердость стальной иглы (швейной) равна 5, а медной 3 по шкале Мооса.

Конец иглы вводят в поле зрения при объективе 4×, 7×, 9× и опускают до соприкосновения с полированной поверхностью минерала. Установив иглу под углом к поверхности минерала, проводят ею по направлению к руке. Если у минерала твердость ниже иглы, тогда на полированной поверхности образуется царапина. Большинство рудных минералов хрупкие и дают порошок при царапании иглой. У некоторых минералов вдоль царапины появляется стружка. Если минерал ковкий и вязкий, то игла оставляет желобок.

В определительных и описательных таблицах минералы по твердости царапания подразделяются на три группы: 1) низкой твердости до 3 по шкале Мооса, медная игла оставляет царапину; 2) средней твердости от 3 до 5 по шкале Мооса, стальная игла оставляет царапину, медная не оставляет; 3) высокой твердости выше 5 по шкале Мооса, стальная игла оставляет с трудом царапину или не оставляет ее совсем.

При проведении испытаний твердости методом царапания необходимо помнить о том, что твердость анизотропных минералов изменяется в зависимости от ориентировки зерен (например, антимонита и др.), а изотропных — в зависимости от кристаллической структуры: у скрытокристаллических разновидностей минералов твердость ниже, чем у полнокристаллических.

Широко применяется качественное определение твердости по относительному рельефу. При изготовлении полированного шлифа рудообразующие минералы имеют различное сопротивление истиранию. В ре-

зультате этого при шлифовке и полировке твердые минералы стачиваются более медленно, чем мягкие, поэтому во всех полированных шлифах более твердые минералы слегка возвышаются над окружающими их мягкими минералами. При этом твердый минерал имеет положительный рельеф, а мягкий — отрицательный.

Относительную твердость минерала по рельефу определяют по правилу световой полоски. Для этого устанавливают в поле зрения микроскопа границу срастания испытуемого минерала и минерала с известной твердостью, частично прикрывают апертурную диафрагму и медленно поднимают тубус микроскопа. При подъеме тубуса световая полоска будет двигаться в сторону мягкого минерала, при опускании — полоска передвигается в сторону твердого минерала. Явление световой полоски можно наблюдать с объективами средних увеличений ($9\times$); если при этом увеличении световой полоски незаметно, то нужно использовать объектив более сильный ($40\times$).

Правило световой полоски следует использовать при сравнении рельефа минералов близкой твердости, а также при определении твердости минералов, представленных в виде включений в другом минерале, твердость которого известна.

Твердость минерала по рельефу не всегда может быть выявлена в скрытокристаллическом и аморфном агрегате, например в агрегате окислов железа и марганца и в других гипергенных минералах.

Количественное измерение твердости методом микровдавливания может быть проведено под микроскопом путем вдавливания алмазного наконечника (индентора) при определенных нагрузках. Микротвердость является одной из главных констант при диагностике минерала. Величина твердости минерала выражается в мегапаскалях (МПа) $1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 10 \text{ МПа}$. Для измерения микротвердости минералов применяются различные модели микротвердомеров. В СССР применяется микротвердомер ПМТ-3 фирмы ЛОМО. Устройство этого прибора и методика работы на нем детально описаны в работах М. М. Хрушова [1947], С. И. Лебедевой [1963, 1977], Г. А. Ильинского [1963].

Под кристалломорфными особенностями минерала понимают форму минеральных индивидов и их внутреннее строение. При диагностике минерала внимательно наблюдают форму и внутреннее строение его зерен или выделений, твердые включения в них и границы срастания с другими минералами. Форма сечений кристаллов и агрегатов некоторых минералов очень типичная и может быть использована при диагностике.

Минеральные индивиды правильной кристаллической формы называются идиоморфными. Кристаллы и метакристаллы по форме сечений подразделяются на изометричные и удлиненные. Изометричные сечения имеют одинаковые измерения во всех направлениях в плоскости шлифа. Длина удлиненных кристаллов в несколько раз больше ширины. Изометричные формы сечений характерны для пирита, кобальтина, куприта и др. Удлиненными формами обладают все призматические, столбчатые, шестоватые, таблитчатые и игольчатые кристаллы, например молибденит, гематит, гётит, тенорит, ковеллин, вульфенит и др.

Кроме идиоморфных кристаллов в шлифе встречаются зерна аллотриоморфной или неправильной формы. Они характерны для халькопирита, сфалерита, галенита, борнита, халькозина и др.

Для ряда минералов зоны окисления типична колломорфная форма выделений — сферическая, почковидная и фестончатая, например тенорит, малахит и др. Внутреннее строение таких выделений скрыто-

кристаллическое и гелевое. В них наблюдаются трещинки усыхания. Раскристаллизованные коллоидные агрегаты имеют радиально-лучистое строение в почках, пластинчатое и волокнистое в полосках и прожилках.

В процессе перекристаллизации минералов образуются кристаллобласты линзовидной, пластинчатой и овальной формы. При растрескивании хрупкие минералы распадаются на обломки и осколки; при замещении формируются реликты ранних минералов.

При диагностике минерала большое значение имеет внутреннее строение его зерен: спайность, двойники и зоны роста. Для некоторых минералов характерно от одной до трех систем спайности. Если имеются три или четыре направления спайности, могут образоваться треугольные и четырехугольные фигуры выкрашивания. Трещинки спайности в минерале, помимо структурного травления, выявляются в процессе окисления, например галенит замещается англезитом обычно вдоль трещинок спайности (см. рис. 15).

Двойники часто наблюдаются в зернах гипогенных минералов и редко в гипергенных (например, кальцит, гематит и др.). Различают двойники роста, превращения и давления. В зернах минералов двойники роста представляют собой узкие и широкие пластинки. Они бывают простые и полисинтетические. Двойники роста характерны для многих рудных и нерудных минералов, например антимонита, сфалерита, халькопирита, гематита, кальцита и др. Двойники превращения имеют пластинчатую или веретенообразную форму и часто перекрещиваются. Полисинтетические двойники давления возникают в зернах при динамометаморфизме. При этом во всех зернах минерального агрегата образуются многочисленные тонкие пластинки двойников, часто деформированные и разбитые трещинками.

Зональное строение обычно наблюдается в гипогенных и гипергенных минералах и отчетливо выявляется в процессе окисления (см. рис. 22) или структурного травления. В натечных агрегатах гипергенных минералов гётита, тенорита и других часто наблюдается концентрически-зональное строение.

Твердые включения в гипергенных минералах часто представлены реликтами гипогенных минералов (см. рис. 14) и редко продуктами распада твердого раствора, например борнит+халькопирит; твердые включения могут быть также представлены продуктами замещения.

При диагностике гипергенных минералов в отраженном свете изучаются также их химические свойства. Наиболее распространенными микрохимическими методами являются диагностическое травление и качественный микрохимический анализ.

Методика диагностического и структурного травления основана на различном поведении полированной поверхности зерен минерала при действии химических реактивов. Для травления применяются определенной концентрации стандартные реактивы: HNO_3 концентрированная; HCl концентрированная; KCN 20%-ный раствор (вес. %); FeCl_3 20%-ный раствор (вес. %); KOH 40%-ный раствор (вес. %); HgCl_2 5%-ный раствор (вес. %); царская водка (3 части концентрированной HCl и 1 часть концентрированной HNO_3); H_2O_2 30%-ная концентрация; H_2O . Травление очень характерно для гипергенных минералов.

Реактив H_2O_2 применяется при определении некоторых марганцевых минералов. Для минералов, совершенно не реагирующих с другими реактивами, иногда применяют царскую водку. При травлении сульфатов используется H_2O .

Растворы кислот следует хранить в капельницах с тонкооттянутыми пипетками, с притертыми пробками, а растворы солей — в капельницах с резиновыми пробками. Вместимость капельниц 10—20 см³. Капельницы с реактивами для устойчивости устанавливаются в деревянную подставку или пластмассовую коробку с гнездами.

При проведении травления соблюдается определенная последовательность действий. Исследуемый минерал помещают в центр поля зрения микроскопа. На свежую и чистую полированную поверхность шлифа под микроскопом накладывается капля реактива. При этом применяются объективы, далеко отстоящие от поверхности шлифа (4×, 7× или 9×). Реактив наносится с помощью тонкооттянутой пипетки, тонкой стеклянной палочки или бумажной стрелки. После каждого реактива пипетку или палочку следует промыть водой и просушить фильтровальной бумагой, а бумажную стрелку обрезать. Капля реактива размером 0,5—1 мм накладывается на мономинеральное выделение. Испытание минерала травлением продолжается в течение 1 мин. Некоторые минералы травятся реактивами медленно в течение 3—5 мин (например, магнетит в HCl); другие минералы при воздействии реактива моментально чернеют (например, галенит в HNO₃).

За травлением минерала наблюдают под микроскопом с момента соприкосновения капли с поверхностью минерала. Наблюдатель фиксирует следующие положительные результаты травления: действие паров реактива, вскипание на поверхности минерала, образование «пятна» на поверхности минерала, выявление структурных элементов минерала.

При действии паров реактива на полированной поверхности минерала вокруг капли образуется цветная или темная кайма. Под действием кислот некоторые минералы вскипают медленно или бурно. Так, галенит медленно вскипает под действием HNO₃ и на его поверхности выделяются единичные пузырьки газа H₂S. При бурном вскипании выделяются многочисленные пузырьки газа H₂S или CO₂. Это характерно для кальцита, арсенопирита и др. Пузырьки газа хорошо наблюдать в скрещенных николях.

Через 1 мин поднимают тубус микроскопа и снимают фильтровальной бумагой каплю реактива. После снятия капли реактива результаты травления просматривают под микроскопом. Если реактив положительно действует на минерал, то на полированной поверхности образуется «пятно» или выявляются структурные особенности минерала; если реактив действует отрицательно — полированная поверхность не изменяется.

При интенсивном травлении минерала образуются пятна черного цвета или иризирующие. Если полированная поверхность минерала под действием реактива растворяется, образуется шероховатое серое, бурое или совсем черное пятно. Иногда полированная поверхность минерала окисляется, в этом случае образуется радужное иризирующее пятно желтой, красной, зеленой, синей и коричневой окраски. При слабом травлении выявляются структурные элементы минерала — границы зерен трещинки спайности, зональное и двойниковое строение зерен.

Некоторые минералы обладают векториальным травлением. На одних кристаллографических сечениях зерен они травятся реактивами интенсивно, на других — слабо или совсем не травятся. Поэтому неизвестный минерал желательно протравить одним и тем же реактивом несколько раз и на разных сечениях зерен.

Перед нанесением следующего реактива на минерал полированную поверхность хорошо промывают. Если минерал протравился пре-

дыдущим реактивом, шлиф следует дополировать. Реактивы наносят на минерал выборочно, чтобы: 1) различать минералы с близкими физическими и оптическими свойствами, например антимонит и молибденит по-разному травятся КОН (см. определительную табл. 1); 2) подтвердить диагностику минерала, произведенную по физическим и оптическим свойствам, например для халькозина результаты травления HNO_3 очень характерны.

Результаты диагностического травления минералов отражены в определительной таблице в виде различной интенсивности штриховки секторов круга.

При диагностике рудных минералов применяется структурное травление. Оно позволяет выявить внутреннее строение зерен (двойники, зональность роста, фигуры деформации), трещинки спайности и границы зерен, а также внутреннее строение агрегатов — аллотриоморфнозернистое, идиоморфнозернистое и т. д.

Структурное травление основано на том, что растворимость минерала изменяется в зависимости от кристаллографической ориентировки зерен. В плоскости шлифа одни зерна минерала будут растворяться быстрее, чем другие, а в отдельных кристаллах будут по-разному травиться двойники и зоны роста.

Структурное травление осуществляется в парах реактива и жидким реактивом. В последнем случае большую каплю реактива (2—3 мм и более) помещают на поверхность шлифа или погружают полированную поверхность минерала в реактив на часовом стекле. При травлении в парах реактива, например в парах царской водки, полированная поверхность минерала устанавливается над широким горлышком склянки с царской водкой. По истечении определенного промежутка времени результаты структурного травления в парах реактива наблюдают под микроскопом. При этом полированную поверхность шлифа нельзя вытирать.

Структурное травление минералов производится специальными реактивами в течение определенного времени [Исаенко М. П., Боршанская С. С., Афанасьева Е. Л., 1972, 1973].

Качественный микрохимический анализ применяется для определения отдельных химических элементов, присутствующих в минерале, а также для изучения химического состава руд. С помощью микрохимического анализа можно различать в отраженном свете рудные минералы и в особенности минералы окисленных руд, сходные по оптическим и физическим свойствам, например: церуссит и смитсонит, псиломелан, гётит и настуран и др.

Качественный микрохимический анализ проводится следующими методами: кристаллоскопическим, капельным, отпечатков и окрашивания.

Для качественного микрохимического анализа составляется набор реактивов, которые подразделяются на две группы: растворители и проявители. Растворителями принято называть такие реактивы, которые используются для растворения минерала с целью получения испытуемого раствора. В эту группу входят кислоты различной концентрации (азотная, соляная, серная, уксусная), царская водка, аммиак различной концентрации, перекись водорода (30%-ная) и вода. Для получения перлов необходимы сухие реактивы — сода, селитра, бура, фосфорная соль и едкие щелочи. Проявителями принято называть реактивы, которые используются в реакциях для открытия химических элементов в испытуемом растворе, например желтая кровавая соль применяется для определения в испытуемом растворе Fe^{3+} , Mo^{4+} , Cu^{2+} , U^{6+} , йоди-

стый калий — для определения Рb и т. д. Для проведения микрохимических реакций применяются жидкие и твердые реактивы.

Кристаллоскопический метод основан на свойстве химического элемента образовывать нерастворимые осадки с проявителем. Осадки отличаются цветом и формой кристаллов. При проведении кристаллоскопического анализа соблюдают следующую последовательность в работе.

1. Растворение минерала с целью получения испытуемого раствора (минерал+растворитель) — это самая ответственная часть операции. Испытуемый раствор получается при растворении минерала в кислотах или щелочах. Труднорастворимые минералы сплавляют с содой или бурой в ушке платиновой проволоки, а затем перл растворяют в HCl (1:1). Растворение минерала производится на полированном шлифе; порошка минерала — на предметном стекле. Капля растворителя наносится на полированную поверхность минерала и выдерживается определенное время (от 1 до 5 мин). Полученный испытуемый раствор остается на полированной поверхности или переносится пипеткой на предметное стекло.

2. Открытие элемента в испытуемом растворе производится путем соединения капли раствора и капли проявителя на шлифе, на стеклянной или фарфоровой пластинке. На шлифе часто выпадает скрытокристаллический или аморфный осадок. Для получения кристаллического осадка поступают следующим образом: каплю испытуемого раствора помещают рядом с каплей проявителя на стеклянной пластинке и острым концом стеклянной или деревянной палочки проводят соединяющий канальчик между этими каплями, по которому реактив постепенно вливается в каплю раствора. Иногда в каплю испытуемого раствора вводят мельчайшую крупинку сухого реактива — проявителя.

3. Полученный осадок изучается на полированном шлифе под микроскопом в скрещенных николях или под бинокляром; на предметном стекле — под микроскопом в проходящем свете. Наблюдатель записывает цвет и форму кристаллов осадка.

Капельный метод позволяет открывать химический элемент в капле испытуемого раствора по характерному цветному пятну на фильтровальной бумаге при добавлении капли проявителя. Этот метод наиболее чувствителен в микрохимическом анализе, что обусловлено абсорбирующими свойствами фильтровальной бумаги. На фильтровальной бумаге увеличивается концентрация растворенного вещества в определенных участках капельного пятна — в центре или на периферии. Анализ проводится по следующей методике.

1. Испытуемый раствор получают путем растворения минерала на полированном шлифе или в крупинках на предметном стекле в капле растворителя (минерал+растворитель). При этом обязательно соблюдается рекомендованная экспозиция травления минерала растворителем (2—3 мин).

2. Каплю испытуемого раствора переносят на фильтровальную бумагу (фильтровальная бумага+испытуемый раствор). С шлифа каплю испытуемого раствора снимают, промокая фильтровальной бумагой. С предметного стекла каплю переносят пипеткой. Величина пятна должна быть не более 2—3 мм в диаметре.

3. Элемент в испытуемом растворе открывают следующим образом. В центр капельного пятна на фильтровальной бумаге ставят пипетку с проявителем. Образуется цветное пятно в центре или кольцо на периферии капельного пятна, указывающее на присутствие искомого

го элемента. Большинство цветных пятен после высыхания устойчивы и могут быть использованы в качестве иллюстраций в отчетах, курсовых и дипломных проектах.

Метод отпечатков основан на свойстве химического элемента давать с проявителем цветные пятна на фотобумаге. Метод отпечатков позволяет: 1) по цвету отпечатка устанавливать наличие химического элемента; 2) по рисунку отпечатка изучать форму выделений минерала, строение руды и определять количество минерала в руде; 3) подбирать определенный растворитель или проявитель и получать отпечаток на фотобумаге только данного минерала или группы минералов (например отпечаток молибденита, повеллита, галенита, церусита, сфалерита, смитсонита, пиролюзита, браунита и т. д.). Приготовленные этим методом отпечатки можно хранить в течение длительного времени и использовать в качестве иллюстраций.

Для анализа отбираются свежеприготовленные полированные шлифы или пришлифовки любого размера, а также образцы керна. Штуфы, шлифы и керны тщательно очищаются от пыли и пленок окисления. Приготавливается фотобумага, покрытая тонким слоем желатина, путем промывки обычной фотобумаги (лучше тонкой, глянцевой) в 20%-ном растворе гипосульфита. Затем фотобумагу промывают в воде, высушивают, нарезают листиками требуемого размера и хранят в пакетах или стеклянных банках. Фотобумага может быть заменена бесцветным целлофаном.

Из других материалов отбирают: зеркальные стекла размером 30×30 см (или 90×12 см), ручной пресс для отпечатков — пресс с грузом или обыкновенный ручной пресс для установки полированных шлифов, фильтровальную бумагу, несколько фарфоровых чашек, необходимые реактивы для микрохимического анализа данного типа руд, песочные часы, прибор для электротравления и т. д.

Растворение минерала на фотобумаге (фотобумага+растворитель+шлиф) — это одна из наиболее ответственных операций в анализе. Фотобумагу, отмытую от бромистого серебра, смачивают в растворителе. Пропитывание бумаги растворителем продолжается от нескольких секунд до 1 мин. Избыток растворителя всегда снимают фильтровальной бумагой. На приготовленную фотобумагу накладывают полированной поверхностью шлиф, который лучше прижать к фотобумаге, чтобы обеспечить полное соприкосновение полированной поверхности с бумагой, при помощи пресса с грузом или рукой. Травление продолжается определенный промежуток времени (экспозиция). Недодержка и передержка одинаково вредны.

Некоторые минералы (например, галенит, халькопирит и др.), нерастворимые или трудно растворимые в кислотах и щелочах, требуют предварительной обработки перед травлением на фотобумаге. Рассмотрим несколько примеров.

Халькопирит перед травлением обрабатывают в течение 2—5 мин в парах царской водки до получения тусклой серой пленки CuCl_2 на полированной поверхности минерала. После травления минерала в парах царской водки шлиф плотно прижимают к фотобумаге, смоченной раствором аммиака. Травление продолжается 5 мин. Затем фотобумагу проявляют в рубеоновой кислоте. Появляется отпечаток серо-зеленого цвета.

Некоторые минералы перед травлением на фотобумаге подвергаются сплошному травлению, например образец или шлиф с галенитом погружают полированной поверхностью в чашку с HNO_3 конц. Травление продолжается 1 мин. На галените образуется пленка нитрата свин-

ца серого цвета. Затем образец осторожно промывают в воде, высушивают на фильтровальной бумаге и накладывают на фотобумагу, смоченную йодистым калием (5%-ный раствор). Моментально появляется отпечаток йодистого свинца желтого цвета.

Травление растворителем минерала, проводящего электричество, усиливается с помощью постоянного электрического тока на специальном приборе. Устанавливается следующее направление тока при определении катионов: провод отрицательным полюсом присоединяется к фотобумаге, пропитанной растворителем, а положительным — к минералу в полированном шлифе. Шлиф на этом участке тщательно очищают. При открытии анионов — устанавливают обратное направление тока в цепи: минус — к минералу, плюс — к бумаге.

Проявление отпечатка (фотобумага+проявитель). Полученный отпечаток в сыром виде погружают в реактив-проявитель (например, рубановая кислота, йодистый калий, раствор желтой соли). После проявления на фотобумаге образуется цветной отпечаток, отвечающий площади минерала, содержащего данный химический элемент. Каждый раз после проявления отпечаток промывают в воде в течение 1—3 мин. Затем отпечаток высушивают, обрезают и наклеивают как иллюстрацию.

Отпечатки можно с успехом получить с поверхности керна буровых скважин. КERN плотно заворачивается в фотобумагу, пропитанную растворителем. После этого фотобумага проявляется соответствующим проявителем. Таким образом готовят образцы для показа при шлифовке, шлифов и кернов руды, в которых наглядно можно показать наличие соответствующих химических элементов, количество рудного минерала, размеры его выделений и структурно-текстурные особенности строения руды.

Фазовый микрохимический анализ руд основан на различной растворимости минералов, содержащих один и тот же химический элемент, или на применении различных проявителей. С помощью фазового анализа определяется не только химический элемент, но и минерал, содержащий его. Обычно подбирают такой растворитель, который растворяет только один минерал из группы минералов, содержащих данный элемент, или, наоборот, растворяет все слагающие руду минералы, за исключением одного минерала.

При проведении фазового анализа методом отпечатков начинают обработку полированного шлифа или керна, применяя наиболее слабые растворители. При этом на отпечатке получают участки, отвечающие площади распространения в полированном шлифе наиболее растворимого минерала. Остальные отпечатки, полученные с помощью более сильных растворителей, соответствуют нескольким минералам, но все же отличаются друг от друга по интенсивности окраски.

Метод окрашивания, или пленочный, применяется для изучения минерального состава руд и рудовмещающих пород. Хорошие результаты окрашивания руд получаются на шлифованных шлифах, в полированных шлифах, в прозрачных шлифах без покровных стекол. При реакциях окрашивания на поверхности минерала образуется цветная пленка.

Окрашивание минералов основывается на физических и химических явлениях. Некоторые минералы (например, каолинит, серицит и др.) обладают способностью адсорбировать вещество органических красок: каолинит поглощает частицы растворенной в воде краски (кристалл-виолет или метиленовый голубой), серицит поглощает частицы родамина В.

В других минералах при воздействии реактивов развиваются химические реакции. Процесс окрашивания рассматривается как обменная реакция между красителем и минералами. В этом случае на поверхности минералов образуются пленки определенного состава и цвета. Например, на анкерите при действии HCl (1 : 20) и 5%-ного раствора $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ развивается пленка турбиновой сини, на церуссите при действии HCl (1 : 1) + 5%-ный KJ — пленка йодистого свинца желтого цвета, на скородите при действии 20%-ного раствора KOH — пленка коричневого цвета гидроокислов железа и т. д.

При окрашивании выявляется структура мономинеральных участков и строение кристаллических зерен. Окрашивание минералов также зависит от размеров зерен и иногда развивается с различной интенсивностью на определенных кристаллографических сечениях (например, у кальцита, родохрозита и т. д.). Устанавливается обратная зависимость между способностью минералов к окрашиванию и степенью их кристалличности. Аморфное и скрытокристаллическое вещество в один и тот же промежуток времени окрашивается быстрее и сильнее, чем средне- и крупнозернистые агрегаты этого же вещества. Лучше всего окрашиваются листоватые и волокнистые минералы.

Минералы в общем случае окрашиваются следующим образом. Препарат помещают в фарфоровую чашку с реактивом-красителем (лучше, когда он весь покрыт реактивом). Процесс окрашивания происходит в определенный промежуток времени и обычно подбирается экспериментально. После окрашивания препарат промывают в воде и высушивают, но не вытирают, так как в этом случае могут быть разрушены пленки.

В полевых условиях окрашивание легкорастворимых минералов (анкерита, сидерита, церуссита, скородита и др.) рекомендуется производить капельным методом. Капля реактива наносится на минерал при помощи пипетки. При этом экономят реактивы и получают хорошие результаты.

Метод окрашивания карбонатов является одним из основных методов диагностики карбонатных минералов в рудах и породах в полевых и лабораторных условиях. Такие карбонаты, как кальцит, доломит, магнезит, сидерит, анкерит, брейнерит и другие, характеризуются близкими физическими и химическими свойствами. Они весьма сходны между собой по внешнему виду. Оптические константы различных карбонатных минералов также близки. Поэтому для диагностики таких минералов в полевых условиях применяют разбавленную HCl . Главнейшие карбонаты по их взаимодействию с HCl (1 : 20) на холоде в течение 1 мин разделяются на четыре группы (табл. 9).

Таблица 9

Взаимодействие карбонатов с соляной кислотой

Группа	Минерал	Характеристика взаимодействия
I	Кальцит, арагонит, виверит, стронцианит, бисмутин, малахит, сферокобальтит	Бурно вскипают
II	Анкерит, смитсонит, родохрозит	Медленно вскипают
III	Церуссит, брейнерит, доломит	Очень медленно вскипают в порошке
IV	Сидерит, магнезит	Не вскипают даже в порошке

Если различные карбонаты образуют тесные прорастания и с помощью соляной кислоты разделить их не удастся, тогда применяются реакции окрашивания. Ниже приведено описание методик окрашивания наиболее распространенных карбонатов.

Окрашивание и структурное травление карбонатов производится в растворе комбинированного реактива $\text{HCl} + \text{ализарин рот} + \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$: 11 ч. HCl (1 : 20) + 9 ч. ализарина рот (0,1%-ный) + 2 ч. $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (1%-ный) (реакция Л. Е. Штеренберга); применяется для массовых определений в полированных и открытых прозрачных шлифах. Экспозиция составляет 30—45 с. После окрашивания шлиф промывается под сильной струей воды. В результате окрашивания получаем: кальцит — яркий розовато-красный; манганокальцит — слабая розовая окраска; железистый кальцит — бледно-фиолетовый; анкерит — синий; доломит, сидерит, родохрозит этим реактивом не окрашиваются, даже при экспозиции 68 мин и более. Чтобы отличить карбонатные минералы I группы (см. табл. 9) от карбонатных минералов II, III и IV групп, применяются реакции с фиолетовыми чернилами и азотнокислой медью.

1. Проведем реакцию с фиолетовыми чернилами или анилиновой краской «кристалл-виолет». Для этого перед употреблением приготовим на часовом стекле 2—3 капли фиолетовых чернил (один чернильный порошок, растворенный в 100 мл воды), к которым будем добавлять по каплям HCl (1 : 20) до тех пор, пока чернила не изменят фиолетовый цвет на темно-зеленый. Полученный раствор помещаем на поверхность зерна, штуфа или открытого прозрачного или полированного шлифа. Раствор вступает в реакцию с карбонатом; в результате обменных реакций поглощается энергия HCl и восстанавливается цвет чернил до нормального — фиолетового. Кальцит и арагонит восстанавливают цвет чернил в течение 10—30 с, а другие карбонаты, слабее растворимые в HCl (1 : 20), в больший промежуток времени. По истечении 1 мин каплю реактива снимают фильтровальной бумагой. Кальцит и арагонит окрашиваются чернилами в фиолетовый цвет, а другие карбонаты не изменяются.

2. Возьмем 20%-ный раствор азотнокислой меди, в который погружаем зерна, штуфы, открытые прозрачные и полированные шлифы с карбонатами на 5 ч. Затем препарат без промывки погружаем на несколько секунд в концентрированный аммиак. После обработки аммиаком препарат тщательно промываем водой и слегка высушиваем. Синеголубое окрашивание остается только на кальците и арагоните. Доломит, сидерит, анкерит, магнезит и другие карбонаты не окрашиваются.

Чтобы отличить арагонит от кальцита, применяется окрашивание арагонита в концентрированном растворе нитрата кобальта. Зерна карбоната, штуф или полированный шлиф кипятятся в течение 5—6 мин в концентрированном растворе нитрата кобальта. Рекомендуются применять нитрат кобальта такой концентрации, при которой раствор после кипячения оставался бы окрашенным в красновато-коричневый цвет. Арагонит всегда окрашивается в фиолетовый цвет, кальцит не изменяется или приобретает слабый розоватый или голубой оттенок. В нитрате кобальта также окрашиваются витерит и стронцианит в фиолетовые тона.

Окрашивание железосодержащих карбонатов (анкерит, Fe-доломит, брейнерит, сидерит и другие железосодержащие карбонаты) происходит в реактиве 1 ч. HCl (1 : 20) + 1 ч. 1%-ного раствора $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ и выполняется фазовым анализом, который основан на различной растворимости карбонатов в HCl (1 : 20). Карбонат погружают в све-

жеприготовленный реактив. При этом анкерит и Fe-доломит окрашиваются в синий цвет в течение 1 мин, брейнерит — в сине-голубой в течение 3—5 мин, а сидерит — в зеленовато-синий в течение 10—12 мин.

Магнезит окрашивается дифенилкарбазидом. Кусочек магнезита или его зерна погружают в фарфоровый тигель с 5—10 каплями щелочно-спиртового раствора дифенилкарбазида и кипятят 5 мин. Затем красную жидкость сливают и минерал промывают горячей водой до исчезновения окрашивания промывных вод. Магнезит окрашивается в красно-фиолетовый цвет (интенсивный или слабый). Иногда порошок кипятят в нескольких порциях воды до тех пор, пока вода перестанет окрашиваться. Доломит и кальцит в растворе дифенилкарбазида не окрашиваются. Доломит подвергается окрашиванию лишь после прокаливания.

Для приготовления раствора дифенилкарбазида берут 1—2 г дифенилкарбазида, растворенного в 100 см³ спирта при слабом нагревании, затем прибавляют 3 см³ 35%-ного раствора NaOH или KOH. Образуется раствор красного цвета из-за выделения натриевой соли дифенилкарбазида. Раствор кипятят в течение 5—10 мин до полного растворения щелочи. Для окрашивания необходимо применить свежеприготовленный раствор дифенилкарбазида.

Церуссит окрашивается в КJ. Минерал растворяется в течение 1 мин в HCl (1:1). Избыток кислоты снимается фильтровальной бумагой. Затем минерал смачивается 5%-ным раствором КJ. Выпадает осадок йодистого свинца желтого цвета. При этом англезит также окрашивается.

Смитсонит окрашивается ртутно-родановой солью. Минерал растворяется в течение 2 мин в растворе $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{HCl}$ (1:1). Затем на травленное место помещается реактив ртутно-родановой соли ($\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$). Выпадает осадок лилового цвета двойной роданистой соли цинка и меди.

Реакции окрашивания, применяемые для определения некоторых рудных гипергенных минералов

Англезит. Минерал в шлифе, образце или крупинках смачивается раствором КJ. Моментально образуется желтое окрашивание в результате выделения йодистого свинца. Другие минералы свинца при этом не окрашиваются.

Бульфенит, ванадинит, плюмбозарозит, пироморфит, крокоит. Растворяют минерал в HNO_3 (1:1) в течение 2 мин, а затем 5%-ным раствором КJ окрашивают в желтый цвет.

Госларит. Минерал смачивается раствором азотно-кислой меди, а затем раствором ртутно-родановой соли; образуется аморфный осадок лилового цвета.

Гидроцинкит, монгеймит, аурихальцит и другие гидрокарбонаты цинка. Минерал растворяется в HNO_3 (1:10) в течение 2—3 мин, затем обрабатывается раствором азотно-кислой меди и ртутно-родановой соли; образуется осадок лилового цвета, двойной роданистой соли ртути и цинка.

Скородит. Минерал в землистых массах, в образцах или в полированном шлифе смачивается раствором KOH. Моментально образуется красновато-бурый осадок гидроокиси железа.

Реальгар. Минерал травится 40%-ным KOH в течение 2—3 мин. Раствор реактива окрашивается в коричневый до черного цвет. Минерал окрашивается быстрее в коричневый до черного цвет вблизи трещин и в тонком порошке.

Минералы урана. Минерал растворяется в HNO_3 конц. в течение 2—3 мин. На травленное место помещают раствор $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, образуется пленка коричневого цвета.

Касситерит. Крупинки или зерна касситерита помещаются на цинковую пластинку и обрабатываются HCl (1:1). Через 1—2 мин на поверхности зерен касситерита образуется пленка металлического олова. В полированных шлифах касситерит травится HCl (1:1), в каплю кислоты добавляют порошок металлического цинка. Экспозиция 2 мин. Затем смесь снимают фильтровальной бумагой. Образуется пленка олова на шлифе.

Шеелит. Крупинки или зерна шеелита помещают в маленький фарфоровый тиглек, добавляют HCl кон. и зернышко металлического олова. Смесь подогревается в течение 3—5 мин. Зерна шеелита окрашиваются в синий цвет.

Пирролизит, мanganит, псиломелан и вад. Крупинки или порошок минерала смачиваются раствором уксуснокислого бензидина, реактив и минералы окрашиваются в синий цвет.

Глава VI

АТЛАС ТАБЛИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПЕРГЕННЫХ И РЕЛИКТОВЫХ ГИПОГЕННЫХ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Атлас состоит из определительных и описательных таблиц. Рудные минералы с помощью таблиц диагностируются по их главнейшим оптическим, физическим и химическим свойствам.

Для окисленных руд составлены две определительные таблицы. В табл. I даны главные и второстепенные минералы, в табл. II — редкие и очень редкие минералы. Всего охарактеризовано 130 минералов.

Определительные таблицы составлены в системе координат по схеме, предложенной Бауи и Тейлором [1959]. В таблицах рудные минералы распределены по значениям их отражения R (%) и микротвердости H (МПа). По оси ординат отложена максимальная величина R в белом свете, по оси абсцисс — средняя величина микротвердости H в логарифмическом масштабе. В определительных таблицах показаны и другие свойства рудных минералов, которые наблюдаются в полированных шлифах в отраженном свете: эффект поляризации, внутренние рефлексы, данные диагностического травления, форма и внутреннее строение минеральных индивидов. По величинам H и R рудные минералы внутри каждой таблицы подразделяются на 12 групп. Три группы минералов по твердости (низкая, средняя, высокая) выделены по царапанию полированной поверхности металлическими иглами по шкале Мооса, а также по величине микротвердости: I группа минералов низкой твердости, по шкале Мооса 1—3, микротвердость 10—1200 при нагрузке 10—20 г; II группа минералов средней твердости, по шкале Мооса 3—5; микротвердость 1200—5500 при максимальной нагрузке 30—100 г; III группа минералов высокой твердости, по шкале Мооса 5—7 и выше; микротвердость 5500—8000 и выше при максимальной нагрузке 100—300 г. При этом, если минерал обладает анизотропией твердости, то он относится по величине твердости к различным группам, например пирролизит и др.

По коэффициенту отражения внутри каждого подразделения по твердости выделены пять групп по сравнению с отражением минерала-эталоны. В качестве эталонов приняты пирит ($R = 54.5\%$), галенит ($R = 44\%$), сфалерит ($R = 18\%$) и англезит ($R = 10\%$); точность визуального определения $R \pm 5\%$.

Количественные данные по величине отражения минералов для желтого света приведены по И. С. Волинскому (Вл), для белого и зеленого света — по С. Х. У. Бауи (Б), П. Рамдору (Р), О. Эльснеру (Э), Н. Д. Синдеевой (С). Для некоторых минералов величина R вычислена авторами по формуле Френеля (в последнем случае нет ссылок на первоисточники). В таблицах I, II «точка» минерала наносится по максимальной величине R в воздухе.

Данные по величине микротвердости приведены по С. Х. У. Бауи и К. Тейлору (БТ), которые использовали измерения Виккерса;

С. И. Лебедевой (Л), Н. Д. Синдеевой (С), Р. В. Гецевой и К. Т. Савельевой (ГС), М. В. Соболевой и И. А. Пудовкиной (СП) и данным авторов (нет ссылок на первоисточники).

Количественные измерения отражения производятся на специальных приборах различных конструкций, количественное определение микротвердости — на приборе ПМТ-3.

Диагностика рудного минерала начинается с определения его главных констант: отражения R и твердости H . По этим константам каждый минерал попадает в одну из 12 групп определительной таблицы.

Внутри каждой группы минерал диагностируется по другим свойствам: эффекту поляризации, двуотражению, внутренним рефлексам, форме минеральных индивидов и диагностическому травлению.

По эффекту поляризации минералы подразделяются на четыре группы: 1) сильноанизотропные, 2) отчетливоанизотропные, 3) слабоанизотропные, 4) изотропные. По двуотражению ΔR — на три группы: 1) сильное (например, ковеллин, $\Delta R = 20-5$); 2) слабое (например, арсенопирит, $R_g - R_p$); 3) отсутствует (знака нет, например, галенит). По внутренним рефлексам тоже на три группы: 1) сильные, наблюдаемые в воздухе; 2) слабые, наблюдаемые в порошке или иммерсии; 3) отсутствуют (знака нет).

Для некоторых минералов с отражением ниже галенита ($R < 44\%$) внутренние рефлексы сильные или слабые, для большинства гипергенных минералов, отражение которых ниже сфалерита ($R < 18\%$), внутренние рефлексy, как правило, сильные и представляют собой важный диагностический признак.

В определительных таблицах условными обозначениями показаны: характерная форма минеральных индивидов (идиоморфная, аллотриоморфная, скрытокристаллическая, радиально-лучистая и т. д.) и внутреннее строение зерен (двойниковое и зональное). Для каждого минерала приведены данные по диагностическому травлению: внутри круга, разделенного на шесть сегментов, показаны результаты диагностического травления. Травление минерала реактивами производится выборочно.

В определительных таблицах справа от названия минерала показаны один или два характерных химических элемента, на которые с целью диагностики рекомендуется провести качественный микрохимический анализ. При диагностике рудных минералов окисленных руд приходится часто пользоваться реакциями микрохимического анализа. Реакции приведены в описательных таблицах.

Следующий этап в работе — детальное изучение и подтверждение исследуемого минерала с помощью описательных таблиц. В этих таблицах минералы сгруппированы по химическому составу, например минералы Fe, Mn, Cu и др. В каждой таблице минералы расположены по убыванию отражения. Для каждого минерала приведены следующие основные сведения: название, сингония, химический состав, R (в %), двуотражение, анизотропия, цвет, внутренние рефлексy, наблюдаемые в воздухе (В) и в иммерсии (МИ), твердость по шкале Мооса и микротвердость, поведение при полировании, микрохимические реакции и методика их проведения, форма и внутреннее строение индивидов и выделений, парагенезис, дебаеграмма (приведены наиболее интенсивные линии), показатель преломления и отличительные диагностические признаки. Реакции травления даны только для тех минералов, для которых они имеют важное диагностическое значение. На основе этих данных можно точно определить исследуемый минерал.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ ТАБЛИЦАМ

Двухотражение сильное ΔR 62-54 %

Двухотражение слабое $R_g - R_p$

ЭФФЕКТ АНИЗОТРОПИИ

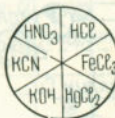
- Слабо анизотропные
- Отчетливо анизотропные
- Сильно анизотропные
- Не подчеркнуты минералы изотропные

ВНУТРЕННИЕ РЕФЛЕКСЫ

-  Рефлексy сильные, заметные в воздухе
-  Рефлексy слабые, заметные в масле и в порошке

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ

-  Не травится
-  Иногда травится
-  Тускнеет, слегка буреет
-  Травится, кризирует, буреет
-  Интенсивно травится, чернеет, буреет



- ° Бурно вскипает
- Иногда вскипает

М Медленно буреет

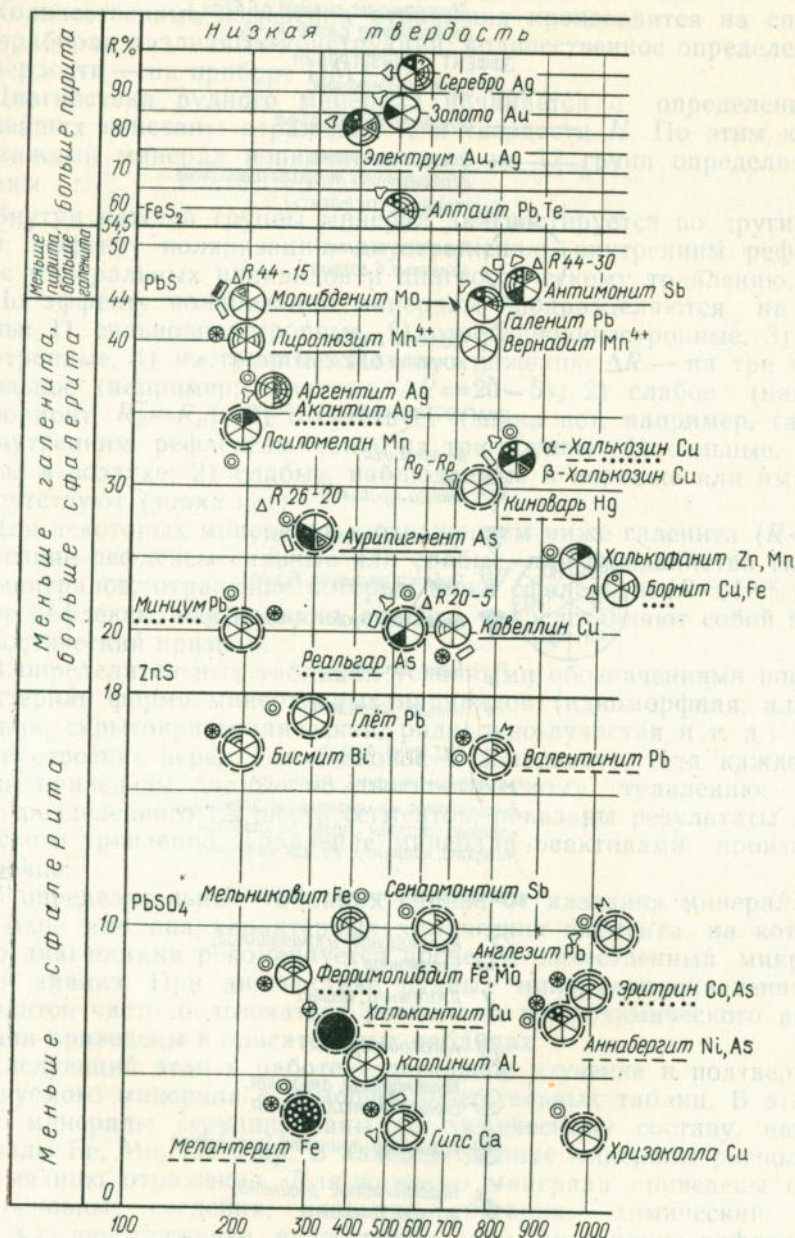
МИКРОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

Выполняются на характерные элементы, которые показаны справа от названия минерала, например, Pb для галенита

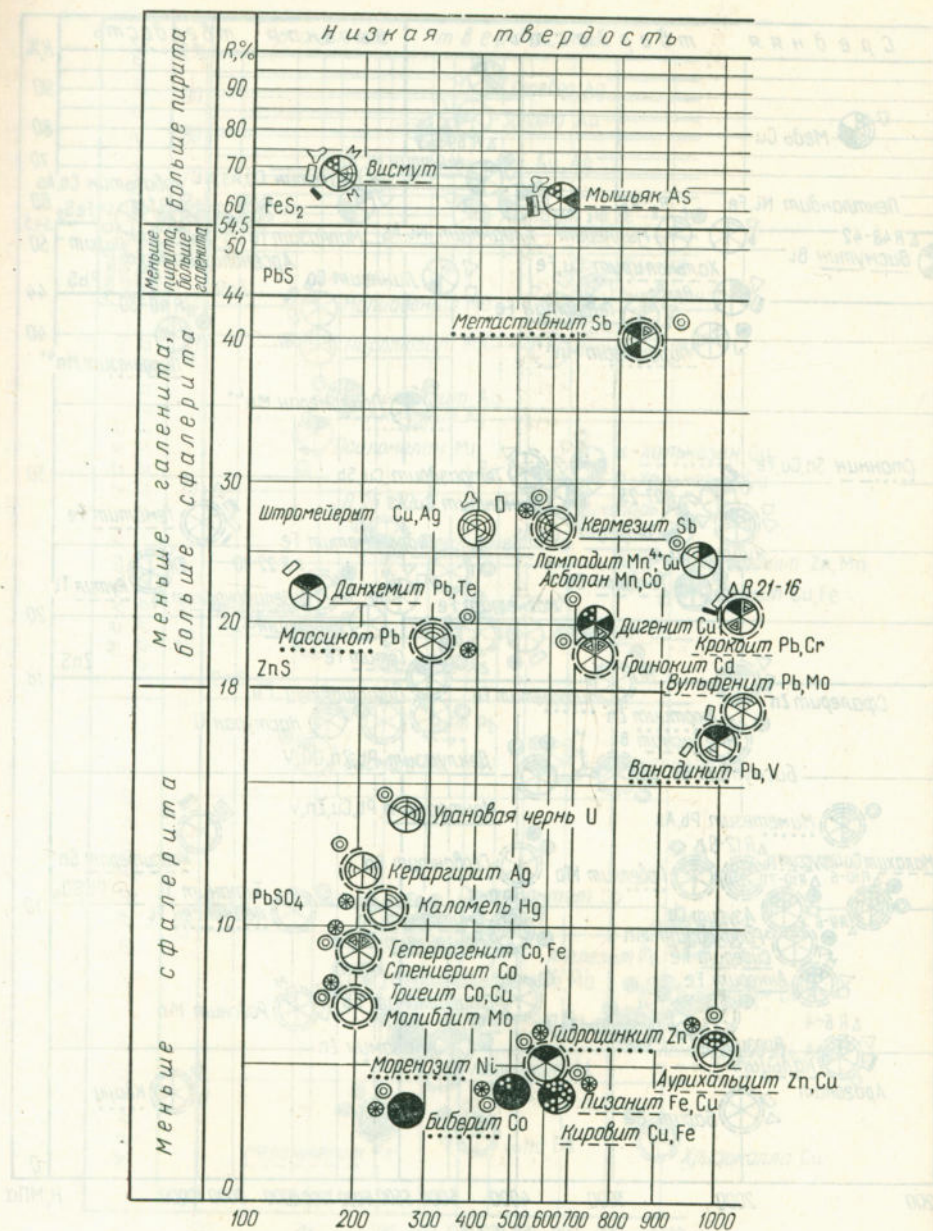
ФОРМА МИНЕРАЛЬНЫХ ИНДИВИДОВ

-  Идиоморфная: изометричная,
-  удлиненная
-  Пластинки, иголки
-  Аллотриоморфная
-  Коллоидная, аморфная, скрытокристаллическая
-  Радиально-лучистая, волоснистая
-  Пластинчатые двойники, фигуры смятия
-  Зональное строение
-  Треугольники выкрашивания

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА I. ГЛАВНЫЕ И ВТОРОСТЕПЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА II. РЕДКИЕ И ОЧЕНЬ РЕДКИЕ МИНЕРАЛЫ

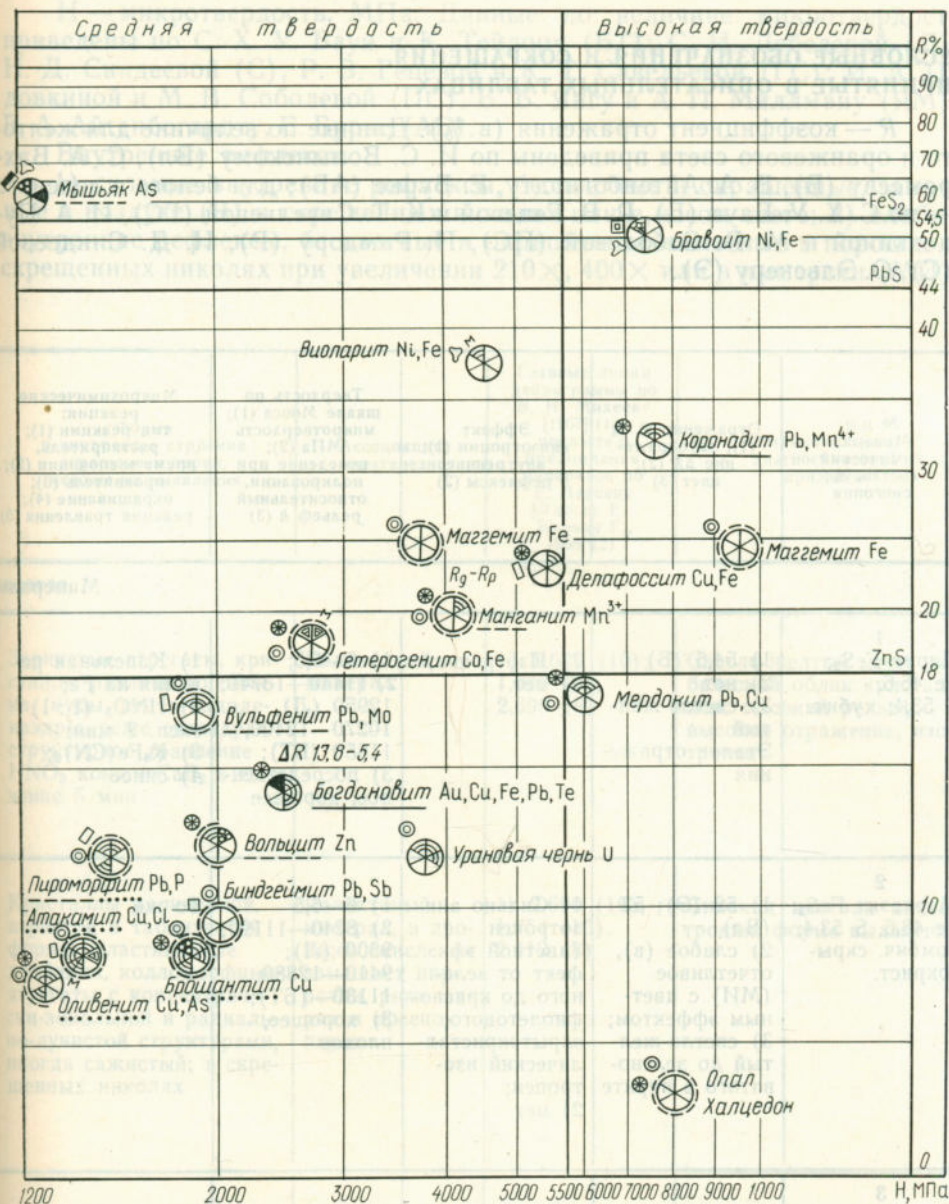


ΔR — аутографирование

1) сильное, заметное в отраженном (B)

2) слабое, заметное в иммерсии (MM)

ОПИСАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ



1200

2000

3000

4000

5000

6000

7000

8000

9000

1000

H, МПа

ОПИСАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ОПИСАТЕЛЬНЫХ ТАБЛИЦАХ

R — коэффициент отражения (в %). Данные по величине для желтого и оранжевого света приведены по И. С. Волюнскому (Вл), С. А. Вахромееву (В), В. А. Айтенобогарту, Е. Бурке (АБ); для белого и зеленого — по С. Х. У. Бауи (Б), Р. В. Гецевой и К. Т. Савельевой (ГС), И. А. Пудовкиной и М. В. Соболевой (ПС), П. Рамдору (Р), Н. Д. Синдеевой (С), О. Эльснеру (Э).

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двустраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф λ (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель; время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
Минералы				
1 Пирит FeS_2 ; Fe 46,6; S 53,4; кубич.	1) 54,5 (Б) 2) нет 3) светло-жел- тый Эталон отраже- ния	1) Изотропен; 2) нет	1) 6—6,5; 2) 11440—13740; 12950 (Л), 10270—12400, 11650 (БТ); 3) посредствен- ное, хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) HNO_3 (1:1) эксп. 2 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
2 Марказит FeS_2 ; Fe 46,6, S 53,4; ромбич. скры- токрист.	1) 52 (Э); 53 (Вл) 2) слабое (в), отчетливое (МИ) с цвет- ным эффектом; 3) светло-жел- тый до зелено- ватого в пирите	1) Сильно ани- зотропен (цветной эф- фект от зеле- ного до красно- фиолетового; скрытокристал- лический изо- тропен; 2) нет	1) 6—6,5 2) 8240—11190; 9300 (Л); 9410—12880; 11130—(БТ); 3) хорошее, плохое	То же
3 Пирротин Fe_{1-x}S ; S 36,4 Fe 63,6; гексагон. моноклин.	1) 42 (Б); 37 (Э. Вл); 2) отчетливое; 3) кремовый с розовато-ко- ричневатым от- тенком (желто- вато-коричнева- тый с розовым оттенком)	1) Сильно ани- зотропен (цвет- ной эффект желтовато-се- рый с красно- вато-коричне- вым оттенком); 2) нет	1) 4; 2) 2140—3430; 2500 (Л); 2800—3100; 3030 (БТ); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) HNO_3 конц., эксп. 1 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее

ΔR — двуотражение:

- 1) сильное, заметное в воздухе (В);
- 2) слабое, заметное в иммерсии (МИ).

H — микротвердость, МПа. Данные по величине микротвердости приведены по С. Х. У. Бауи и К. Тейлору (БТ); С. И. Лебедевой (Л); Н. Д. Синдеевой (С), Р. В. Гецевой и К. Т. Савельевой (ГС); И. А. Пудовкиной и М. В. Соболевой (ПС), Б. Б. Янгу и А. П. Миллману (ЯМ); В. А. Айтенобогарту, Е. Бурке (АБ).

Внутренние рефлексy:

1) сильные внутренние рефлексy, бесцветные и окрашенные, заметные в воздухе (В) в скрещенных николях или в косом свете; 2) слабые внутренние рефлексy, бесцветные и окрашенные, заметные в порошке в скрещенных николях при увеличении 210 $\times$, 400 $\times$ или в иммерсии (МИ).

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
железа			
Зернистые агрегаты, кристаллы различного облика (кубы, пентагондодекаэдры, реже октаэдры; структурное травление HNO ₃ конц. + CaF ₂ в течение 5 мин	Реликтовый минерал	1) 1,629 (10); 1,040 (9); 2,696 (8)	Светло-желтый цвет; кубический облик кристаллов; высокий рельеф; высокое отражение; изотропен
Кристаллы удлиненной, перистой и таблитчатой формы, пластинчатые двойники, колломорфные агрегаты с концентрически-зональной и радиально-лучистой структурами, иногда сажистый; в скрещенных николях	Реликтовый минерал, в процессе окисления замещает пирротин, реже пирит и арсенопирит	1) 2,690 (10), 1,754 (10), 2,412 (8)	Сильная цветная анизотропия; форма выделений
Аллотриоморфнозернистые агрегаты; в скрещенных николях	Реликтовый минерал	1) 2,062 (10), 2,63 (8), 1,045 (8)	Розовато-коричневый цвет, сильная анизотропия; более сильно магнитен; моноклинный пироксен

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
4 Гематит Fe_2O_3 ; Fe 70, O 30; тригон.	1) 26 (Э); 27—24 (Вл); 2) слабое (В), отчетливое (МИ); 3) серовато- белый с голубо- ватым оттенком	1) Отчетливо анизотропен (пестрые цвет- ные эффекты в блеклых то- нах); 2) густые тем- но-красные (В, МИ); красный порошок	1) 5—6; 2) 7390—8220; 7550 (БТ), ми- крокристалли- ческий агрегат; 9200—10620, 10090 (БТ), крупнозерни- стый агрегат; 3) плохое, по- средственное, хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) HCl конц., эксп. 3—5 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
5 Гидрогематит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Fe 70; O 30; тонкодисперс. скрытокрист.	1) 24—18, 18— 16 (Б); 2) нет; 3) серовато- белый с голу- боватым оттен- ком	1) Изотропен, слабоанизотро- пен; 2) красные (В, МИ)	1) 4—5; 2) 2000—5500; 3) посредствен- ное	То же
6 Магнетит Fe_3O_4 ; FeO 31, Fe 72,4, Fe_2O_3 69; кубич.	1) 21 (Э, Б); 20 (Вл); 2) нет; 3) серовато-бе- лый с коричне- вато-розовым (буроватым) оттенком	1) Изотропен; 2) нет	1) 5—6,5; 2) 5300—5990; 5600 (БТ); 5350—6950, 6100 (Л); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) HCl конц., эксп. 3—5 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
7 Маггемит Fe_2O_3 ; Fe 69,94; O 30,06; кубич.	1) 25,0 (Б); 21,1 (Р); 2) нет; 3) серый с го- лубоватым от- тенком	1) Изотропен; 2) темно-корич- невато-красные (МИ)	1) 5; 2) 3570—3870; 3780 (Л); 8940—9880; 9460 (БТ); 3) хорошее, часто трещины	То же
8 Лепидокрокит $\gamma\text{-FeOOH}$; Fe_2O_3 89,9, H_2O 10,1; ромбич.	1) 25—16 (Б), 22—10 (Э), 19—10 (Вл); 2) сильное, бо- лее отчетливое, чем у гётита, цветовой эф- фект; 3) серовато- белый	1) Отчетливо анизотропен; 2) желтоватые, коричневато- красные, бурые (МИ)	1) 4—5; 2) 6900—8030, 7240 (БТ); 3) обычно хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe^{+2} ; 2) HCl конц., эксп. 3—5 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Пластинчатые или игольчатые кристаллы, аллотриоморфнозернистые агрегаты, псевдоморфозы, корки, оолиты, конкреции; характерны пластинчатые двойники в зернах; в скрещенных николях	Реликтовый и гипергенный минерал; магнетит, ильменит, лепидокрокит, гётит, мушкетовит	1) 2,696 (10), 2,518 (10), 1,834 (10); 2) $n_e = 2,78$, $n_o = 3,01$, $n_o - n_e = 0,23$	По сравнению с магнетитом и ильменитом значительно светлее, внутренние рефлексы темно-красные; красный порошок; мартит — псевдоморфоза по магнетиту
Натечные агрегаты (почки, корки концентрически-зонального и радиально-лучистого строения), трещины дегидратации	В зоне окисления сульфидных месторождений; гётит, гидрогётит	1) 3,305 (10), 2,537 (10), 1,634 (10)	Красные внутренние рефлексы, натечные выделения. Замещает сидерит, анкерит, пирит, халькопирит, магнетит, ярозит
Агрегаты изометричных зерен, октаэдрических и кубических кристаллов; образует структуры распада с ильменитом; замещается гематитом; структурное травление в HCl конц. 3—5 мин	Ильменит, гематит, апатит, сульфиды, мушкетовит, маггемит	1) 2,541 (10), 1,612 (9), 1,479 (9); 2) $N = 2,42$	Коричневатый оттенок, сильно магнитен, изотропен, реакция на Fe; мушкетовит-псевдоморфоза магнетита по пластинкам гематита
Оолиты, корки, каемки, тонкие прожилки, замещает магнетит	Магнетит, лепидокрокит, гётит и гематит. Продукт окисления магнетитовых руд	1) 2,51 (10), 1,605 (9), 1,480 (9)	Точно диагностируется только по дебаеграмме; от магнетита отличается голубоватым оттенком и внутренними рефлексами, магнитен
Таблитчатые кристаллы, радиально-лучистые агрегаты, спайность весьма совершенная по (100); в скрещенных николях	Гидроокислы железа. Замещает пирит и арсенопирит	1) 3,292 (10), 2,471 (10), 1,973 (10); 2) $N_p = 1,94$, $N_m = 2,20$, $N_g = 2,51$, $N_g - N_p = 0,59$	От гётита отличается формой выделений, двукратным отражением, по сравнению с гематитом рефлексы слабее, двукратное отражение сильнее

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двутраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
9 Гётит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Fe_2O_3 89,9, H_2O 10,1; ромбич.	1) 18—16 (В); 17,5 (Э, ВЛ, Р); 2) слабое (В), сильное (МИ); 3) серовато-бе- лый с голубо- ватым оттенком	1) Отчетливо анизотропен (мешают внут- ренние рефлек- сы); изотро- пен — скрыто- кристаллические разности; 2) сильные желтовато-бу- рые, буровато- красные, ко- ричневые	1) 4,5—5,5; 2) микромри- сталлический 5250—6200; 5540 (БТ); крупнокри- сталлический 7720—8240; 8030 (БТ); 3) посредствен- ное, хорошее	1) реакция на Fe^{+2} ; 2) HCl конц., эксп. 3—5 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
10 Гидрогётит FeOOH ; α -гидрогётит Fe_2O_3 88—86, H_2O 12—14; ромбич., аморфный	1) 17 (Вл, Р); 2) нет; 3) серый с го- лубоватым от- тенком	1) Слабо ани- зотропен, изо- тропен; 2) желтовато- бурые (В, МИ)	1) 4—5; 2) 3000—3400; 3) посредствен- ное	1) Капельная ре- акция на Fe^{+3} ; 2) HCl конц. эксп. 5 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее 3а) KCNS 4а) красное
11 Сидерит FeCO_3 ; FeO 62,1, Fe 48,3, CO_2 37,9; тригон.	1) 10—6 (ВЛ); 10 (Э); 2) сильное (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 3) серый	1) Сильно ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные бес- цветные, буро- желтые	1) 3,5—4; 2) 2000—3970; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания на Fe^{+2} ; 2) HCl (1 : 10), эксп. 10—12 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) темно-синяя пленка
12 Мельниксит FeS_2 ; Fe 46,6, S 53,4; кубич.	1) 10; 2) нет; 3) коричневый	1) Изотропен; 2) нет	1) 2—3; 2) 400—1200; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Fe^{+3} ; 2) HNO_3 (1 : 1), эксп. 1 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
13 Ярозит $\text{KFe}_3[(\text{OH})_6 \times$ $\times (\text{SO}_4)_2]$; K_2O 9,4, Fe_2O_3 47,7, SO_3 31,9, H_2O 10,8 Плюмбоярозит $\text{PbFe}_6[(\text{OH})_6 \times$ $\times (\text{SO}_4)_2]$; тригон.	1) 8 (Вл); 2) слабое; 3) темно-серый	1) Слабо анизо- тропен, аморф- ные разности изотропны; 2) сильные желтые, бурые	1) 2,5—4; 2) 1100—2100; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания на Fe^{+3} ; 2) HCl (1 : 1), эксп. 2 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Каемки, петельчатые агрегаты, псевдоморфозы, почки, корки гелевого, скрытокристаллического, волокнистого и радиально-лучистого строения; трещинки усыхания в коллоидных агрегатах; спайность весьма совершенная по (010); в скрещенных николях	В зоне окисления замещает пирит, халькопирит, сидерит, анкерит, магнетит, гематит	1) 4,18 (10), 2,45 (9), 2,69 (8); 2) $Np=2,21$, $Nm=2,35$, $Ng=2,35$, $Ng-Np=0,14$	Сильные желтовато-бурые внутренние рефлексы; колломорфные выделения; радиально-лучистые агрегаты
Корки, каемки, псевдоморфозы по пириту халькопириту, ярозиту, повеллиту и другим минералам; агрегаты скрытокристаллические и радиально-лучистые	Встречается в «железных шляпах»; замещает пирит, халькопирит, сидерит и др.	1) 4,178 (10), 2,450 (10), 2,690 (8)	Желтовато-бурые внутренние рефлексы; колломорфные и радиально-лучистые агрегаты
Полоски, оолиты, плотные и землистые массы; скрытокристаллический и зернистый. Полисинтетические двойники; спайность по (011); в скрещенных николях	Реликтовый минерал; в зоне окисления замещается гётитом	1) 2,791 (10), 1,733 (9), 2,135 (7); 2) $Ne=1,633$, $No=1,875$, $No-Ne=0,242$	Сильное двуотражение и внутренние рефлексы; медленное травление в кислотах; реакция на Fe
Колломорфные агрегаты с концентрически-зональным строением; трещины усыхания	Гипогенный и гипергенный минерал; зона окисления колчеданных месторождений	1) 2,97 (10), 2,47 (8), 1,900 (7)	Тонкодисперсные выделения, магнитен, легко травится в HCl (1:20); реакция на Fe
Плотные и землистые массы скрытокристаллического, таблитчатого и волокнистого строения, редко друзы мелких кристаллов; смотреть под бинокуляром	Распространен в «железной шляпе». Замещается гётитом, гидрогётитом, гидрогоматитом и др.	1) 3,06 (10), 2,27 (8), 1,96 (8); 2) $Ne=1,715$, $No=1,820$, $Nm=1,817$, $No-Nm=0,105$	Сильные внутренние рефлексы, реакция на Fe; парагенезис; для плюмбоярозита характерна реакция на Pb (см. га-ленит)

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
14 Мелантерит $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; FeO 25,9; SO ₃ 28,8; монокл.	1) 4; 2) нет; 3) темно-серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бес- цветные, свет- ло-зеленые, светло-желтые, буроватые	1) 2; 2) 100—600; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Fe^{+2} ; 2) вода, эксп. 5 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4) синее
15 Кировит $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SO}_4 \times$ $\times 7\text{H}_2\text{O}$; FeO 25,9; SO ₃ 28,8; монокл.	1) 4; 2) нет; 3) темно-серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бледно-голу- бые, зеленова- тые, желтова- тые	1) 2; 2) 100—650; 3) плохое	То же
16 Пизанит $(\text{Fe}, \text{Cu})_2\text{SO}_4 \times$ $\times 7\text{H}_2\text{O}$; SO ₃ 29,9; FeO 10,98; CuO 15,56; H ₂ O 43,56; монокл.	1) 4; 2) слабое; 3) темно-серый	1) Отчетливо анизотропен, 2) сильные светло-зеленые, светло-синие	1) 2—3; 2) 600—1200; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) вода, эксп. 5 мин; 3) рубеоновая кислота; 4) серо-зеленое; Реакция на Fe^{+2} (см. кировит)

Минералы

17 Пирролюзит MnO_2 ; Mn 63,2; O 36,8; тетрагон.	1) 40—30 (Вл); 35 (Э); 2) отчетливое в масле; 3) белый, серо- белый с корич- невато-кремо- вым оттенком в кристаллических разностях; темно-серый в аморфных разностях	1) Сильно ани- зотропен — кри- сталлические агрегаты (цвет- товые эффекты поляризации желто-оранже- вые); слабо анизотропен- слабо раскры- сталлизованные разности; 2) нет, от при- меси гётита возможны реф- лексы	1) 1—6,5; 2) 760 (БТ), 2560—3460 (БТ), 2250— 4050 (БТ), 2540 (Тубо), 1610—3210 (по Янгу, Милл- ману); 3) посредствен- ное, хрупкий; хорошее (кри- сталлический)	1) Прямой отпе- чаток на Mn^{+4} ; 2, 3) уксусноокис- литель бензидин; 4) синес; 5) характерно травление с H_2SO_4 (1 : 1) + H_2O_2 (30 %-ный)
---	---	--	---	---

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дсбаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Корки, почки, сталакти- ты аморфного и волок- нистого строения; совер- шенная спайность по (001); под бинокулярном	Халькантит, гипс, ярозит, гётит; реликты пирита и дру- гих сульфидов	1) 4,90 (10), 3,78 (7), 3,23 (4); 2) $N_p=1,471$, $N_m=1,478$, $N_g=1,486$, $N_g-N_p=0,015$	Светло-зеленые внутрен- ние рефлексы, травление; реакция на Fe; для точ- ной диагностики необхо- дим химический анализ
Корки, почки, сталакти- ты аморфного и волок- нистого строения; совер- шенная спайность (по (110); под бинокулярном	Мелантерит, халькантит, гипс; реликты марказита, пи- рита и других сульфидов	1) 4,90 (10), 3,78 (7), 3,23 (4); 2) $N_p=1,467$, $N_m=1,471$, $N_g=1,476$, $N_g-N_p=0,009$	Бледно-голубые внутрен- ние рефлексы, травление; реакция на Fe^{+2} , Mg; необходим химический анализ
Корки, почки, сталакти- ты аморфного и волокни- стого строения; смотреть под бинокулярном	Мелантерит, халькантит, гипс, реликты марказита, пи- рита и других сульфидов	1) 4,90 (10), 3,78 (7), 3,23 (4); 2) $N_p=1,472$, $N_m=1,487$, $N_g=1,476$, $N_g-N_p=0,015$	Бледно-голубые внутрен- ние рефлексы, травление; реакция на F^{+2} ; необхо- дим химический анализ минерала
марганца			
Сплошные кристалличе- ские или скрытокристал- лические массы, часто псевдоморфозы по почко- видным агрегатам псило- мелана; корки, оолиты, конкреции; кристаллы имеют игольчатый или шестоватый облик, поли- синтетические двойники иногда развиты в зернах	Псиломелан, асболоан, гидро- окислы Fe и др.	1) 3,118 (10), 1,622 (10), 2,404 (9)	От других минералов марганца отличается вы- соким отражением и от- тенком

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании; относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
18 Псидомелан $MnO \cdot MnO_2 \times nH_2O$; MnO_2 60, 80, MnO 8—25; H_2O 4—6, Мп 35—60; скрыто- крист., монокл. Разновидности псидомелана: цезаролит со- держит Pb до 70%; халько- фанит содер- жит Zn до 18— 23%	1) 35 (Вл), 25 (Э), 23—24 (Б); 2) нет; 3) серовато-бе- лый до синева- то-синего (МИ)	1) Изотропен (скрытокристал- лический); от- четливо анизо- тропен (кри- сталлические разности); 2) бурые (МИ)	1) 4—6; 2) 5030—6270, 5720 (БТ), 2560 (Тубо); 3) плохое (пористый)	1) Капельная ре- акция на Mn^{++} ; 2, 3) уксуснокис- лый бензидин, эксп. 2—5 мин; 4) синее; 5) травление с H_2SO_4 (1:1) + $+H_2O_2$ (30 %-ный)
19 Коронадит $Pb_2Mn_8O_{16}$; Pb 28,6, MnO 7,8, MnO_2 60—61; тетрагон.	1) 32,5 (по Ор- селю), 29 (Б); 2) заметное; 3) светло-серый с желтоватым оттенком	1) Сильно ани- зотропен с цвет- ным эффектом от серого до коричневого, погасание пря- мое; 2) буроватые (МИ)	1) 4,5—5; 2) 3590—5420 (по Янгу, Мил- лману), 7670— 8130, 7840 (БТ); 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакция на Pb; 2) на шлифе, HNO_3 конц., эксп. 2 мин; избыток кислоты высушить фильтр. бумагой; 3) КJ 5 %-ный; 4) осадок желтого цвета; реакция на Mn (см. псидоме- лан)
20 Манганит $\gamma-MnOOH$; MnO 80,66, O 9,12, H_2O 10,22, Mn 62,43; монокл.	1) 19—15 (Вл), 17 (Э); 31,4—19 (Б); 2) сильное; 3) серый, свет- ло-серый с ко- ричневатым от- тенком	1) Отчетливо анизотропен; 2) желтовато- красновато-ко- ричневые (В, МИ)	1) 4—4,4; 2) 3670—4590, 4100 (БТ); 3) хорошее, посредственное	1) Прямой отпеча- ток на Mn^{++} ; 2, 3) уксуснокис- лый бензидин, эксп. 1 мин; 4) синее; 5) травление с H_2SO_4 (1:1) + $+H_2O_2$ (30 %-ный)
21 Лампадит $(Mn, Cu)O \times$ $\times MnO_2 \cdot nH_2O$; Cu до 20; скрытокристал.	1) До 25; 2) нет; 3) серый, свет- ло-серый	1) Изотропен; 2) нет, слабые серовато-бурые (МИ) от при- меси гидроокис- лов	1) 2—3; 2) 600—1200; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Cu и Co; 2) H_2SO_4 (1:1) + $+H_2O_2$ (30 %-ный) эксп. 1 мин. 3а) на Cu — рубео- новая кислота; 4а) серо-зеленое; 3б) на Co — $K_3Fe(CN)_6$ 5 %-ный; 4б) грязно-корич- невое; реакция на Mn^{++} (см. пиролюзит)
22 Асболан, Со- содержащий псидомелан; CoO (19—32) Примесь Cu, аморфный				

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Сферические, натечные и землистые агрегаты желе- зового, скрытокристалличе- ского, радиально-лучи- стого строения	Пирролюзит, ги- дроокислы Fe, лампадит, ас- болан и др.	1) 2,191 (10), 3,462 (6), 2,877 (6)	Форма выделения, пара- генезис; реакция на Mn⁺⁺; для точной диаг- ностики необходимы хи- мический анализ и де- баграмма
Сферические и натечные агрегаты радиально-лу- чистого строения, в скре- щенных николях	Псиломелан пирролюзит, гёт- тит, кварц, као- линит и др., редкий гипер- генный мине- рал	1) 3,466 (6), 3,104 (10), 2,400 (4)	От псиломелана отлича- ется реакцией на Pb; для полной диагностики необ- ходим химический анализ
Натечные скрытокристал- лические и радиально-лу- чистые агрегаты; в скре- щенных николях	Пирролюзит, псиломелан, гёттит и др.	1) 2,70 (10), 1,66 (8), 1,419 (7); 2) $Np=2,24$ $Nm=2,24$, $Ng=2,53$, $Ng-Np=0,29$	Реакция на Mn и ради- ально-лучистое, снопо- видное строение агрега- тов; от пирролюзита от- личается отражением и наличием внутренних рефлексов
Встречается в натечных и порошковатых массах черного цвета	Зона окисления медных и мед- но-молибдено- вых месторож- дений, гёттит, кальцит, мала- хит, хризокол- ла, куприт и др.		Лампадит от псиломела- на отличается реакцией на Si; для точной диаг- ностики необходим хими- ческий анализ; асболан отличается реакцией на Co

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двутраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
23 Родохрозит $MnCO_3$; MnO 61,7, Mn 47,8, CO_2 38,3; тригон.	1) 9—6; 2) сильное 3) темно-серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бес- цветные, розо- вые	1) 3,5—4; 2) 2380—3670 (по Янгу, Мил- лману); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Mn^{+2} ; 2) HCl конц., эксп. 2 мин, испытуемый ра- створ переносят на фильтроваль- ную бумагу; 3) $K_3Fe(CN)_6$ 5 %-ный; 4) бурое
24 Родонит $Mn(Fe, Ca)SiO_3$; MnO 50,54, CaO 2,25, FeO 0,96, SiO_2 45,46; триклин.	1) 6,7; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные, слабо- розоватые, редко бурые	1) 5,5—6,5; 2) 5530—8100 (по Янгу, Мил- лману); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Mn^{+2} ; 2) HCl 1:1, эксп. 5 мин.; испытуе- мый раствор пере- носят на фильтро- вальную бумагу; 3) $K_3Fe(CN)_6$ 5 %-ный; 4) бурое

Минералы

25 Медь самород- ная Cu; Cu 97,20—98,3; кубич.	1) 83 (Вл, Р), 85 (Э), 93 (Б); 2) нет; 3) яркий розо- вый; тускнеет на воздухе	1) Изотропен; 2) нет	1) 2,5—3; 2) 1110—1430, 1260 (Л), 1200—1430, 1430 (БТ); 3) хорошее $h >$ халькозина, $<$ кулрита, халькопирита	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) NH_4OH , эксп. 2 мин; 3) рубановая кис- лота 1 %-ная; 4) серо-зеленое; 2а) HNO_3 (1:1), эксп. 2 мин; 3а) $K_4Fe(CN)_6$ 5 %-ный 4а) розово-корич- невое
--	---	-------------------------	--	---

26 Халькопирит $CuFeS_2$; Cu 34,57, Fe 30,53, S 34,9; тетрагон., редко кубич.	1) 44 (Б), 47 (Вл), 42 (Э); 2) очень сла- бое, нет; 3) желтый	1) Слабо ани- зотропен, ино- гда отчетливо анизотропен (кубическая модификация — изотропен); 2) нет	1) 3,5—4; 2) 1840—2230, 2020 (Л), 1860—2190, 1940 (БТ), 2700 (кубиче- ская модифи- кация); 3) хорошее	1) Отпечаток на Cu; 2) анишлиф тра- вится в парах царской водки; эксп. 3—5 мин; растворитель на фотобумаге — NH_4OH (25 %-ный), эксп. 3—5 мин; 3) рубановая кислота; 4) серо-зеленое
---	---	--	---	---

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Аллотриоморфнозернистые, реже кристаллические и аморфные агрегаты; встречаются почковидные агрегаты с радиально-лучистым строением, в скрещенных николях	Реликтовый минерал	1) 2,850 (10), 1,762 (8), 3,65 (7); 2) $N_e = 1,605$, $N_o = 1,826$, $N_o - N_e = 0,221$	От других карбонатов отличается реакцией на Мп
Облик индивида толстотаблитчатый, средние-мелкозернистый, спайность совершенная по (110)	Реликтовый минерал	1) 2,938 (10), 2,968 (9), 2,755 (8); 2) косое погасание $N_p = 1,711 - 1,730$, $N_m = 1,716 - 1,741$, $N_g = 1,724 - 1,751$	В отраженном свете внутренние рефлексы розовые, совершенная спайность; реакция на Mn^{+2}
меди			
Агрегаты аллотриоморфных зерен, часто в виде дендритов; реже конкреции, порошковатые массы; полисинтетические двойники по (111); структурное травление $NH_4OH + H_2O_2$ (30 %), эксп. 30 с	В зоне окисления: гипс, халькозин, борнит, куприт, тенорит, малахит, азурит, гётит и др.	1) 1,276 (10), 2,085 (9), 1,806 (8)	Высокое отражение, яркий розовый цвет, травление, реакция на Си; парагенезис
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, очень редко кристаллы; полисинтетические двойники в зернах; эмульсия распада в сфалерите, структурное травление в парах царской водки	Реликтовый минерал, редкий гипергенный минерал в низах зоны цементации	1) 3,03 (10), 1,855 (10), 1,586 (10)	Желтый цвет, травление в парах царской водки, полисинтетические двойники, реакция на Си

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двустраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
27 Халькозин Cu_2S ; Cu 79,86, S 20,14, α -халькозин ($<103^\circ$) ромбич.; β -халькозин ($>103^\circ$); гексагон., кубич.	1) 32 (Вл), 25 (Э); 2) нет; 3) серо-белый (до светло-го- лубого), редко с розоватым от- тенком	1) Изотропен, слабо анизо- тропен (α -халь- козин); 2) нет	1) 2,5—3; 2) 700—980, 840 (Л), 680—980, 840—(БТ); 3) очень хоро- шее	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) NH_4OH (25 %-ный); эксп. 1 мин; 3) рубановая кис- лота 1 %-ная; 4) темно-зеленое
28 Джарлент $\text{Cu}_{1,93}\text{S}$; ромбич.	Похож на халькозин	То же	То же	То же
29 Тетраэдрит Cu_3SbS_3 ; Cu 45,77, Sb 29,22, S 25,01; кубич.	1) 30 (Вл), 28 (Э), 29,4 (Б); 2) нет; 3) серо-белый с оливково-ко- ричневатым от- тенком	1) Изотропен; 2) иногда в масле коричне- вато-красные	1) 3—4; 2) 3280—3670, 3510 (БТ), 2910—4440 (по Янгу, Милл- ману); 3) хорошее, выкрашивается	1) Реакция на Sb; 2) HNO_3 конц., эксп. 5 мин; избыток кислоты снять фильтро- вальной бумагой, положить каплю HCl (1:1); 3) $\text{KJ} + \text{CsCl}$ (порошок); 4) осадок красного цвета; реакция на Cu (см. теннантит)
30 Теннантит Cu_3AsS_3 ; Cu 51,57, As 20,26, S 28,17, кубич.	1) 28 (Вл, Э), 28,9 (Б); 3) серо-белый с голубовато- зеленоватым оттенком	1) Изотропен; 2) слабые ко- ричнево-крас- ные	1) 3,5—4,5; 2) 3080—3970, 3390 (Л), 3200—3610, 3380 (БТ); 3) хорошее, хрупкий, вы- крашивается	1) Отпечаток на Cu; 2) пары царской водки, эксп. 3— 5 мин; на фото- бумаге NH_4OH , эксп. 3—5 мин; 3) рубановая кислота 1 %-ная; 4) серо-зеленое
31 Штрмейерит $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Ag}_2\text{S}$; Ag 53,05, Cu 31,19, S 15,76 Разновидности: низкотемпера- турный $<78^\circ$; ромбич. высокотемпе- ратурный $>78^\circ$; кубич.	1) 27,5 (Э), 32,2 (Фолинс- би); 2) слабое; 3) серо-белый с сиреневым оттенком	1) Сильно ани- зотропен, цве- товой эффект в синих и тем- но-фиолетовых тонах; 2) нет	1) 2,5—3; 2) 380—440, 410 (БТ); 3) хорошее	1) Отпечаток на Cu; 2) пары царской водки, эксп. 3— 5 мин; на фотобу- маге NH_4OH ; эксп. 3—5 мин; 3) рубановая кислота 1 %-ная; 4) серо-зеленое

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, пластинчатые кристаллы с трещинками спайности по (001), каемки, прожилки, петьелки скрытокристаллического строения	Гипергенный халькозин в зоне цементации с ковеллином, борнитом, джарлентом	1) 1,966 (10), 2,780 (4), 3,210 (3), α -халькозин	Голубоватая окраска, эффект поляризации, низкий рельеф, травление, реакция на Си, трещинки спайности, парагенезис, халькозин и джарлент различаются дебаграммами и химическим анализом
То же	То же	1) 1,87 (10), 1,96 (10), 1,399 (9), ASTM	Халькозин и джарлент различаются дебаграммами и химическим анализом
Агрегаты аллотриоморфных зерен, редко изометричные кристаллы	Реликтовый минерал	1) 3,00 (10), 1,839 (10), 1,568 (8)	Изотропен, коричневатый оттенок, очень слабые внутренние рефлексы, реакция на Си, Sb
В совместных выделениях с другими сульфидами образует аллотриоморфнозернистые агрегаты, реже в виде изометричных кристаллов; иногда наблюдаются двойники по (111), реже по (100)	Реликтовый минерал	1) 2,94 (10), 1,803 (10), 1,537 (8)	От станинна и бурнонита отличается изотропностью, от тетраэдрита голубовато-зеленоватым оттенком, более яркими рефлексами красного цвета
Призматическая форма кристаллов; в скрещенных николях	Гипогенный реликтовый минерал; гипергенный минерал в зоне цементации	1) 3,10 (10), 2,92 (10), 2,59 (10)	Характерны сиреневый оттенок, цветовой эффект анизотропии

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1) микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
32 Энарцит Cu_3AsS_4 ; Cu 48,3, As 19,1, S 32,6; ромбич.	1) 28—25 (Б), 23 (Э); 27—23 (Вл); 2) слабое; 3) светло-розо- вый до серо- розового и фио- летового (свет- ло-розово-ко- ричневый)	1) Сильно ани- зотропен, цве- товой эффект фиолетово- красный до светло-зеленого; 2) нет	1) 3—3,5; 2) 2120—3290, 2700 (Л), 2450—3460, 2720 (БТ), 1330—1850, 1600 (БТ); 3) хорошее	1) Реакция на As; 2) HNO_3 конц., эксп. 5 мин; 3) $(\text{NH}_4)_2 \text{MoO}_4$ порошок; 4) лимонное; реак- ция на Cu (см. тениатит)
33 Куприт Cu_2O ; Cu 88,8, O 11,2; кубич.	1) 27,1 (Вл, Б); 2) нет; 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) Всегда вид- на отчетливая аномальная анизотропия; 2) сильные, красные	1) 3—4; 2) 2050—2070; 2060 (Л), 1920—2180, 1990 (БТ); 3) хорошее $h >$ меди, теро- рита, $<$ гётита	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) HNO_3 конц.; эксп. 1—2 мин; 3) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; 5 %-ный; 4) розово-корич- невое
34 Ковеллин Cu_2S ; Cu 66,4, S 33,6; гексагон.	1) 20,5 (Вл), 26—19 (Э), 22—7 (Р, Б); 2) очень силь- ное (от светло- серого до сине- го); 3) синий до слабофиолето- вого, сине-бе- лого	1) Сильно ани- зотропен, цве- товой эффект от синего до красного; 2) нет	1) 1,5—2; 2) 770—900, 860 (Л), 690— 780, 720 (БТ), 520—1280 (по Янгу, Милл- ману); 3) отличное	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) HNO_3 конц., эксп. 3—5 мин; 3) рубеоновая кислота + NH_4OH ; 4) серо-зеленое
35 Тенорит CuO ; Cu 79,9, O 20,1; минокл.	1) 24, 20 (Вл); 2) сильное (от белого до се- ровато-белого); 3) серо-белый с желто-корич- невым оттенком (рядом с куп- ритом коричне- вый)	1) Сильно ани- зотропен (цвет- овые эффекты синие и белые), косое угасание; 2) нет	1) 3,5; 2) 2090—2540; 2360 (БТ); 3) хорошее; $h >$ халькозина, $<$ куприта, гётита	1) Отпечаток на Cu; 2) NH_4OH ; эксп. 2 мин; 3) рубеоновая кислота; 4) серо-зеленое

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Агрегаты столбчатых, таблитчато-призматических кристаллов, сплошные аллотриоморфнозернистые выделения и включения в других минералах; в скрещенных николях	Реликтовый минерал	1) 3,21 (10), 3,08 (10), 2,85 (10); 2) $N_p=3,081$, $N_m=3,089$, $N_g=3,120$, $N_g-N_p=0,039$	Характерны светло-розовый цвет, сильная анизотропия, средняя твердость; травление KCN; реакция на As
Сплошные зернистые и скрытокристаллические выделения, кристаллы и метакристаллы, также в виде жилок и каемок; структурное травление HNO_3 (1:1)	Встречается в окисленных медных рудах: халькозин, гётит, тенорит, малахит, самородная медь, азурит, хризоколла и др.; замещает халькозин	1) 2,456 (10), 2,280 (10), 1,505 (9); 2) $N=2,849$	Сильные красные внутренние рефлексы, реакция на Cu; травление; парагенезис
Пластинчатые кристаллы, радиально-лучистые сростки, сажистые массы; тонкие прожилки, каемки и коломорфные выделения; совершенная спайность по (001); в скрещенных николях	Халькозин, дигенит, борнит, гётит, англезит и др.	1) 2,81 (10), 1,890 (10), 3,04 (8)	Синий цвет, сильное двуотражение и анизотропия; парагенезис
Псевдоморфозы, почки, прожилки, землистые массы скрытокристаллического и радиально-лучистого строения; полисинтетические двойники в зернах; в скрещенных николях	Малахит, гётит, хризоколла, де-лафоссит, лампадит, куприт и др.; замещает куприт	1) 2,513 (10), 2,307 (9), 1,852 (7); 2) $N_m=2,63$ (красный), $N_m=3,17$ (синий)	Сильно анизотропен; реакция на Cu; натечные агрегаты с радиально-лучистой структурой; парагенезис

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1): двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
36 Борнит Cu_5FeS_4 ; Cu 63,33; Fe 11,12, S 25,55; α -борнит ($<200^\circ\text{C}$); ромбич. псевдокубич.; β -борнит ($>200^\circ\text{C}$); кубич.	1) 24 (Вл), 18,5 (Э); 2) нет; 3) розовый в свежей поли- ровке; корич- невато-фиоле- товый в старых шлифах	1) Изотропен, иногда слабо анизотропен только в све- жем шлифе; 2) нет	1) 3; 2) 1000—1240; 1120 (Л), 970— 1050; 1010 (БТ); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) HNO_3 (1:1), эксп. 1 мин; 3) рубановая кислота 1 %-ная + NH_4OH ; 4) серо-зеленое; реакция на Fe (см. делафоссит)
37 Делафоссит CuFeO_2 ; Cu 41,99, Fe 36,88, O 21,13; тригон.	1) 22 (Вл); 2) слабое по границам зер- рен; 3) серо-белый с розовато-ко- ричневым от- тенком; похож на энаргит и тенорит	1) Отчетливо анизотропен (светло-синева- то-серые цвето- вые эффекты); прямое угаса- ние; 2) нет	1) 5,5; 2) 5000—6000; 3) хорошее, $h < \text{куприта}$, гётита	1) Капельная ре- акция на Fe; 3) HCl конц., эксп. 1 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5 %-ный; 4) синее; реакция на Cu (см. тено- рит)
38 Дигенит Cu_9S_5 ; Cu 79,8, S 20,2; кубич.	1) 19 (Б), 20—15 (Вл); 2) нет; 3) голубой, синий	1) Изотропен; 2) нет	1) 2,5—3; 2) 700—740 (по Янгу); 3) очень хоро- шее	1) Капельная ре- акция на Cu; 2) HNO_3 (1:1), эксп. 1 мин; 3) рубановая кис- лота + NH_4OH ; 4) серо-зеленое
39 Малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$; CuO 71,9, Cu 57,4, CO_2 19,9; H_2O 8,2; монокл.	1) 10—6 (Вл), 9 (Э); 2) сильное; 3) серый с ро- зоватым оттен- ком	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные зе- леные	1) 3,5—4; 2) 1240—1560 (Л); 3) хорошее	1) Отпечаток на Cu; 2) NH_4OH (10— 25 %-ный), эксп. 1 мин; 3) рубановая кислота; 4) серо-зеленое

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Аллотриоморфные выделения, каемки и тонкие прожилки	Гипогенный борнит в медных рудах; халькопирит, халькозин, блеклая руда, сфалерит и др.; гипергенный борнит в зоне цементации; халькозин, ковеллин, халькопирит и др.	1) 1,924 (10), 3,304 (8), 3,165 (8)	Розовый до светло-коричневого цвета; изотропен, низкая микротвердость; реакция на Си и Fe
Гроздевидные корочки. Друзы таблитчатых кристаллов; в скрещенных николях	Куприт, тенорит, медь, малахит, гётит, джарлеит, ковеллин и др.	1) 2,51 (10), 2,85 (8), 2,230 (8)	От тенорита отличается прямым угасанием и реакцией на Fe
Аллотриоморфные зерна с трещинками спайности по (001)	В гидротермальных месторождениях и в зоне цементации; халькозин, борнит, ковеллин и др.	1) 1,950 (4), 2,78 (2), 3,25 (1)	От изотропного халькозина отличается более низким отражением и синим цветом
Корки, почки, сталактиты скрытокристаллического и радиально-лучистого строения; спайность совершенная по (001); в скрещенных николях; под бинокуляром	Азурит, куприт, тенорит, гётит, лампадит, хризоколла и др.	1) 2,82 (10), 1,509 (9), 3,63 (8); 2) $Np=1,655$, $Nm=1,875$, $Ng=1,909$, $Ng-Np=0,254$	Зеленые внутренние рефлексы; травление в кислотах со вскипанием; сильное двуотражение; реакция на Си; натечные агрегаты; парагенезис

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
40 Атакамит $3\text{Cu} \cdot \text{CuCl}_2 \times$ $\times 3\text{H}_2\text{O}$; Cu 59,5, Cl 16,6, H ₂ O 23,9; ромбич.	1) 9; 2) слабое; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные зе- леные	1) 3—3,5; 2) 1000—2000; 3) плохое	1а) Капельная ре- акция на Cu; 2) минералы + + HNO ₃ (1 : 1), эксп. 2 мин; 3) рубановая кис- лота 1 %-ная; 4) серо-зеленое; 1б) реакция на Cl; после травления минерала HNO ₃ конц. прибавляют каплю AgNO ₃ , об- разуется белый осадок AgCl (смот- реть в косом свете)
41 Азурит $\text{Cu}_3[(\text{OH})\text{CO}_3]_2$; CuO 69,2, Cu 55,3, CO ₂ 25,6, H ₂ O 5,2; монокл.	1) 9 (Э); 9—7 (Р; Вл); 2) слабое; 3) серый с ро- зоватым оттен- ком	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные си- ние	1) 3,5—4; 2) 1200—2000; 3) хорошее	Реакция на Cu (см. малахит)
42 Оливинит $4\text{CuO} \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \times$ $\times \text{H}_2\text{O}$; CuO 56,1, As ₂ O ₅ 40,70, H ₂ O 3,2; иногда содер- жит P ₂ O ₅ до 5 %; ромбич.	1) 8,4; 2) нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные тем- но-зеленые, бу- рые	1) 3—3,5; 2) 1000—2000; 3) хорошее	Реакция на Cu и As (см. малахит и энаргит)
43 Брошантит $\text{Cu}_4[\text{SO}_4(\text{OH})_6]$; CuO 69,04— 70,36, SO ₃ 17,07—18,32, H ₂ O 11,03— 13,81; монокл.	1) 8; 2) нет; 3) темно-серый	1) Слабо анизо- тропен (мешают внутренние рефлексы); 2) сильные изумрудно-зе- леные, зеленые	1) 3,5—4; 2) 1200—2000; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания на Cu; 2, 3) минерал + + HNO ₃ (1 : 20) + + K ₄ Fe(CN) ₆ (5 %-ный), эксп. 1—3 мин; 4) пленка розово- коричневого цвета

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1955] (2)	Отличительные диагностические признаки
Мелкие кристаллы призматического облика и почковидные агрегаты радиально-лучистого строения; спайность совершенная по (010); в скрещенных николях	Замещается малахитом, хризоколлой	2) $N_p=1,831$, $N_m=1,861$, $N_g=1,880$, $N_g-N_p=0,049$	От малахита отличается более слабым двуотражением, а также реакцией на Cl
Корки, почки, землистые массы скрытокристаллического и радиально-лучистого строения; агрегаты таблитчатых зерен; в скрещенных николях; под бинокляром	Малахит, гётит, лампадит, куприт; тенорит, кальцит; халькозин, хризоколла и др.	1) 5,20 (10), 3,67 (10), 3,53 (10); 2) $N_p=1,730$, $N_m=1,758$, $N_g=1,838$, $N_g-N_p=0,108$	Синие внутренние рефлексы; травление в кислотах; сильное двуотражение; отсутствие спайности; реакция на Cu ; парагенезис
Корочки и почки скрытокристаллического, радиально-лучистого и волокнистого строения; мелкие друзы кристаллов; облик кристаллов призматический до игольчатого; под бинокляром	Малахит, азурит, гётит, скородит и др.	2) $N_p=1,747$, $N_m=1,748$, $N_g=1,829$, $N_g-N_p=0,82$	От других гипергенных минералов меди с зелеными рефлексами отличается по реакции на As и оптическими свойствами
Корки и прожилки с волокнистым и радиально-лучистым строением; призматические кристаллы; порошковатые массы; смотреть под бинокляром	Малахит, азурит, хризоколла, тенорит, куприт, церуссит, англериит, атакмит, гётит, халькантит и медь самородная	1) 2,49 (10), 3,83 (9), 6,20 (7); 2) $N_p=1,728$, $N_m=1,771$, $N_g=1,800$, $N_g-N_p=0,072$	Изумрудно-зеленые внутренние рефлексы; травление; реакция на Cu ; от малахита отличается химическим анализом и дебаеграммой

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании; относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
44 Аурихальцит (Zn, Cu) ₅ [(OH) ₃ CO ₃] ₂ ; CuO 19,92— 28,40, ZnO 45,67—53,12, CO ₂ 12,55— 16,48, H ₂ O 8,50—11,14; ромбич.	1) 5—7; 2) нет, слабое; 3) темно-серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бес- цветные, голу- бые, зеленова- тые	1) 2—3,5; 2) 1000—1200; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Zn и Cu; 2) HNO ₃ (1:1), эксп. 1 мин; 3) ртутно-родано- вая соль; 4) фиолетовое
45 Халькантит CuSO ₄ ·5H ₂ O; CuO 31,8, SO ₃ 31,1, триклин.	1) 4—6; 2) слабое, нет; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные го- лубые, зеленые, бесцветные, темно-синие	1) 2,5; 2) 450—600; 3) хорошее	1) Отпечаток на Cu; 2) вода, эксп. 5 мин; 3) рубеоновая кислота; 4) серо-зеленое
46 Хризоколла CuSiO ₃ ·nH ₂ O; CuO 45,2; SiO ₂ 34,3, H ₂ O 20,5; скрытокрист.	1) 4 (Вл); 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные светло-зеленые, голубые	1) 2—4; 2) 820—1190, 950 (Л); Хорошее	1) Отпечаток на Cu; 2) HCl (1:1), эксп. 5 мин; 3) рубеоновая кислота 1 %-ная + +NH ₄ OH; 4) серо-зеленое

Минералы свин

47 Серебро само- родное Ag; образует твер- дые растворы с Au, Hg, Sb, Bi, Cu, As, Pt; кубич.	1) 95,5 (Вл, Р), 95 (Э); 2) нет; 3) яркий, бе- лый с кремовым оттенком (на свету тускнеет)	1) Изотропен; 2) нет	1) 2,5—3; 2) 410—570, 500 (Л), 480— 630, 530 (БТ); 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакция на Ag; 2) HNO ₃ конц. на шлифе; эксп. 2 мин; остаток реактива снять фильтровальной бумагой; 3) K ₂ Cr ₂ O ₇ 20 %-ный; 4) оранжево-крас- ное
--	--	-------------------------	---	---

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Корки, сталактиты, прожилки аморфного, игольчатого и радиально-лучистого строения; в скрещенных николях	Малахит, азурит, куприт, смитсонит, гидроцинкит, гётит, ярозит	1) $a_0=27,84$, $b_0=6,41$, $c_0=5,25$; 2) $Np=1,655$, $Nm=1,740$, $Ng=1,744$, $Ng-Np=0,089$	Травление, реакция на Zn и Cu
Корки, сталактиты аморфного, волокнистого и радиально-лучистого строения; под бинокулярном наблюдается форма и внутреннее строение агрегатов	Зона окисления сульфидных месторождений; мелантерит, брошантит, гипс и др.	1) 5,40 (10), 4,67 (10), 3,96 (10); 2) $Np=1,514$, $Nm=1,537$, $Ng=1,543$, $Ng-Np=0,029$	Голубые внутренние рефлексы, травление; реакция на Cu; парагенезис
Корки, землистые выделения, прожилки аморфного, скрытокристаллического и волокнистого строения; под бинокуляром	Зона окисления медных месторождений; халцедон, опал, малахит, лампадит	1) Рентгено-аморфный; 2) $Np=1,575$, $Nm=1,597$, $Ng=1,598$, $Ng-Np=0,028$	Голубоватые внутренние рефлексы; отпечаток на Cu

ца и серебра

Аллотриоморфнозернистые агрегаты, дендриты, скелетные зерна; пластинчатые двойники и зональное строение выявляются раствором CuO_3 в HNO_3 конц. в течение 1—3 с	Реликтовый минерал; гипергенный минерал образуется при замещении аргентита, галенита, фрейбергита в ассоциации с халькозином	1) 2,37 (10), 1,232 (9), 2,05 (8)	Кремевый оттенок, изотропен; травление HNO_3 , $FeCl_3$, темнеет на воздухе и на свету
--	--	---	---

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления
48 Алтаит PbTe; Pb 61,91; Te 38,09; кубич.	1) 65,5 (Э, Б), 73 (Вл), 63,6 (С), 60 (Р); 2) нет; 3) белый с неж- но-зеленоватым оттенком	1) Изотропен; 2) нет	1) 2—3; 2) 460—600, 500 (Л), 480— 570, 510 (БТ); 3) хорошее	1) Реакция на Р 2) HNO_3 (1:1), эксп. 3 мин; 3) $\text{NH}_4\text{OH} + \text{KJ}$ 5 %-ный; 4) желтое
49 Галенит PbS; Pb 86,60, S 13,40; кубич.	1) 44 (Э), 44,0 (Вл), 43,2 (Р, Б); 2) нет; 3) белый	1) Изотропен; 2) нет	1) 2—3; 2) 640—1100, 770 (Л), 710— 840, 760 (БТ); 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакци- я на Рb; 2) HNO_3 конц. н шлифе, эксп. 1 м избыток кислоты снять фильтрова ной бумагой; 3) KJ 5 %-ный положить на тра пеленое место шли фа; 4) желтое
50 Аргентит Ag_2S ; Ag 87,06, S 12,94; α -аргентит- акантит ($<179^\circ\text{C}$) β -аргентит ($>179^\circ\text{C}$); кубич., монокл., скрытокристал.	1) 36 (Вл), 29 (Б); 2) нет; 3) серо-белый со слабым го- лубовато-зеле- новатым оттен- ком; тускнеет на воздухе	1) Изотропен, слабо анизо- тропен (акан- тит); 2) нет	1) 2—2,5; 2) 200—300 (Л), 200—300, 240 (БТ); 3) плохое, h очень низкий	1) Прямой отпеч- ток на серебро; 2, 3) одна часть 5 %-ного $\text{KCN} +$ + одна часть на- сыщенного раство- ра Р — диметил- аминобензилиден родамина в ацет- не; эксп. 3—5 м промыть в воде, подкисленной HNO_3 ; 4) фиолетовое, красное
51 Данхемит PbTeO_3 , монокл. или ромбич.	1) 22; 2) сильное; 3) светло-бу- рый	1) Сильно ани- зотропен; 2) нет	1) 1; 2) 110—130; 3) хорошее	Сильно травится HCl конц., HNO_3 конц.

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, скелетные зерна. Совершенная спайность по (100); треугольники выкрашивания (редко); структурное травление HNO_3 конц. в течение 1 мин	Реликтовый минерал	1) 3,22 (10), 2,28 (8), 1,439 (5)	От галенита отличается высоким отражением, от теллура — изотропностью; характерны парагенезис и реакция на Te
Аллотриоморфнозернистые агрегаты; редко друзы; весьма совершенная спайность по (100); треугольники выкрашивания (очень характерны)	Реликтовый минерал	1) 2,965 (10), 2,093 (10), 1,324 (10)	Треугольники выкрашивания, спайность по (100), (101), реакция на Pb , диагностическое травление HNO_3 , HCl , FeCl_3
Аллотриоморфнозернистые агрегаты; структуры распада твердого раствора в галените	Реликтовый минерал; гипергенный минерал в зоне цементации	1) 2,58 (10), 2,44 (10), 2,37 (10)	Голубовато-зеленый оттенок, очень низкая микротвердость, реакция на Ag ; парагенезис; быстро тускнеет на воздухе
Каемки, псевдоморфозы по алтанту; строение агрегатов тонкозернистое; в скрещенных николях	Англезит, церуссит, ковеллин	Нет данных	Оптические свойства; замещает алтант; недостаточно изучен

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании; относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
52 Крокоит Pb (CrO ₄); PbO 69,1; CrO ₃ 30,9; монокл.	1) 20,5—15,7 (Вл); 2) сильное; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные оранжево-жел- тые до оранже- во-красных	1) 2,5—3; 2) 1110—1200; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания на Pb; 2) минерал на шлифе травится HNO ₃ конц., эксп. 1 мин; избыток HNO ₃ снять филь- тровальной бума- гой; 3) на травленное место поместить каплю раствора KJ 5 %-ного; 4) желтое
53 Платтерит PbO ₂ ; Pb 86,62; тетрагон.	1) 17; 2) слабое, от- четливое по границам зерен; 3) серый со слабым розо- вым оттенком; похож на сфа- лерит	1) Отчетливо анизотропен в кристалличе- ском агрегате, голубой до зе- леноватого; 2) слабые крас- новато-корич- невые	1) 5—5,5; 2) 4900—6420 (АВ); 3) хорошее, h гораздо боль- ше всех мине- ралов ассо- циации	1) Реакция на Pb на шлифе; 2) HNO ₃ (1 : 1), эксп. 2—3 мин; 3) KJ, 5 %-ный + гипосульфит 20 %-ный; 4) осадок желтого цвета
54 Мёрдокит (мёрдокит) Cu ₆ PbO ₈ ; CuO 66,62, PbO ₂ 33,38; кубич.	1) 17,4 (АВ); 2) нет; 3) серый с жел- товато-корич- невым оттен- ком; похож на магнетит	1) Изотропен; 2) нет	1) 4; 2) 5190—6570 (АВ); 3) h равен, не- много больше платтерита	Реакция на Pb (см. платтерит), на Cu (см. куп- рит)
55 Деклуазит Pb (Zn, Cu) [OH/VO ₄]; PbO 55,30, ZnO 10,08, CuO 9,86, V ₂ O ₅ 22,53; ромбич.	1) 17,25—14,95 (АВ); 2) сильное, се- рый до голубо- вато-серого; 3) серый, голу- бовато-серый	1) Сильно ани- зотропен; 2) редкие бес- цветные до ко- ричневатых	1) 3—3,5; 2) 3100—4910 (АВ); 3) $h >$ вульфен- ита	1) Отпечаток на V синего цвета; 2) HNO ₃ (1 : 1), эксп. 2 мин; 3) уксуснокислый бензидин; 1а) капельная ре- акция на Zn; 2а) HNO ₃ (1 : 1), эксп. 1—2 мин; 3а) HgCl ₂ + KCN; 4а) пятно фиоле- тово-синее; реакция на Pb (см. платтерит), на Cu (см. куприт)

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Облик индивидов призматический удлинённый, иногда игольчатый; зернистые агрегаты, друзы; в скрещенных николях	Пироморфит, церуссит, вад-псиломелан, вульфенит, ванадинит и др.	1) 3,258 (10), 1,965 (9), 1,846 (9); 2) $N_p=2,31$, $N_m=2,37$, $N_g=2,66$, $N_g-N_p=0,35$	Низкое отражение, сильное двуотражение; яркие оранжево-желтые рефлексы; реакция на Сг и Рb
Корочки волокнистого строения, налеты порошковатые, редко округлые зерна со спайностью и двойниками; наблюдать под биноклем	Каламин, церуссит, пироморфит, смитсонит, вульфенит, массикот, гётит; замещает церуссит, пироморфит	1) 3,49 (10), 2,78 (10), 1,84 (10), 1,51 (7), 1,268 (7), 1,000 (8); 2) $n=2,30 \pm 0,05$ (Li)	От гидроокислов Mn и Fe отличается реакцией на Рb
Друзы призматических кристаллов, натечные агрегаты волокнистого строения; образует кристаллы со спайностью, зональным и двойниковым строением	Платтнерит, вульфенит, гемиморфит, виллемит, англезит, гётит	1) 5,30 (10), 2,659 (10), 2,109 (9), 1,629 (10) [Минералы, т. II, вып. 3, 1967]	Парагенезис, реакция на Cu, Рb
Друзы призматических и волокнистых кристаллов; натечные агрегаты концентрически-зонального строения	Миметезит, церуссит; замещает ванадинит	1) 1,65 (10), 3,20 (8), 3,52 (6); 2) $N_p=2,18$, $N_m=2,26$, $N_g=2,35$. По данным дебаграммы константы решетки монтрамита почти такие же, как у деклазита	Парагенезис, реакция на V, химический анализ

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1) растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
56 Монтрамит Pb(Cu, Zn) [OH/VO ₄]				
57 Массикот (мас- сикотит) PbO; β -массикот, Pb 92,8; ромбич.	1) ~20 (АВ); 2) нет; 3) серый	1) Маскируется внутренними рефлексами; 2) сплошные бледно-желтые	1) 2; 2) нет данных; 3) посредствен- ное	Реакция Pb (см. платтнерит)
58 Глёт (литар- гит) PbO; α -глёт; Pb 92,8; тетрагон.	1) ~20; 2) нет; 3) серый с крас- новатым оттен- ком	1) Маскируется внутренними рефлексами; 2) сплошные ярко-красные	1) 2; 2, 3) нет дан- ных	Реакция на Pb (см. платтнерит)
59 Минимум Pb ₃ O ₄ ; тетрагон.	1) ~20; 2) слабое, жел- товато-серое, серо-голубое; 3) голубой, ро- зово-желтова- то-серый	1) Маскируется внутренними рефлексами; 2) сплошные красные, розо- вые и желтые	1, 2) нет дан- ных; 3) рельеф мень- ше галенита, глёта, масси- кота	То же
60 Вульфенит PbMoO ₄ ; MoO ₃ 38,6, PbO 61,4; тетрагон.	1) 16—17; 2) слабое; 3) серый с го- лубоватым от- тенком	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные бес- цветные, жел- тые, оранже- вые, зеленова- тые	1) 3,5—4; 2) 900—1830, 2110—3330 (АВ); 3) хорошее; $h < \text{деклаузита}$	1) Отпечаток на Mo; 2) HNO ₃ (1:1), эксп. 30 с; 3) K ₄ Fe(CN) ₆ ; 5 %-ный; 4) коричневое: ре- акция на Pb (см. церуссит)

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Каемки и псевдоморфозы по галениту и церусситу, тонкопластинчатые и скрытокристаллические агрегаты; наблюдать под бинокуляром	Церуссит, вульфенит, минниум, глёт, вторичные минералы цинка; продукт замещения церуссита, реже галенита; переходит в глёт	2) $Np=2,51$ (Li), $Nm=2,61$, $Ng=2,71$, $Ng-Np=0,20$	Парагенезис; внутренние рефлексы
Землистые агрегаты и псевдоморфозы по массивоту; наблюдать под бинокуляром	Массивот, церуссит, вульфенит, минниум, вторичные минералы цинка	1) 3,115 (100), 2,809 (62), 1,872 (37), 1,675 (24) [Минералы, т. II, вып. 3, 1967]; 2) $No=2,665$, (Li), $Ne=2,535$, $No-Ne=0,130$	Парагенезис; внутренние рефлексы
Каемки и псевдоморфозы по галениту и церусситу; строение агрегатов тонкозернистое, скрытокристаллическое; наблюдать под бинокуляром	Массивот, глёт, церуссит, вульфенит, вторичные минералы цинка	Нет данных	Оптические свойства, парагенезис, химический анализ
Таблитчатые, шестоватые зерна; радиально-лучистые сростки, метакристаллы; под бинокуляром	Церуссит, деклауазит, англезит, смитсонит, гидроокислы железа, марганца и др.	1) 3,17 (10), 2,00 (8), 1,77 (8); 2) $Ne=2,28$, $No=2,40$, $No-Ne=0,12$	Реакция на Pb и Mo; встречается в зоне окисления свинцовых сульфидных месторождений; парагенезис

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1), двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель; время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
61 Ванадинит $Pb_5[Cl(VO_4)_3]$; V_2O_5 19,4, PbO 78,7, Cl 2,5; гексагон.	1) 16—17 (Вл) (меньше сфале- рита); 2) слабое; 3) серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные бу- ро-желтые, го- лубовато-жел- тые до красных	1) 3; 2) 600—1200; 3) хорошее	1) Отпечаток на V синего цвета; 2) HNO_3 (1:1), эксп. 2 мин; 3) уксуснокислый бензидин; реакция на Pb (см. церус- сит)
62 Миметезит $Pb_5(As, P) \times$ $\times O_4Cl_3$; PbO до 74,9, As_2O_5 до 23,2, P_2O_5 до 1, Cl до 2,4; гексагон.	1) 13,2 (Вл); 2) нет; 3) серый	1) Слабо ани- зотропен, изо- тропен; 2) сильные бес- цветные, жел- тые, зеленые	1) 3,5; 2) 2000; 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакция на As, P ; 2) минерал тра- вится в HNO_3 конц., эксп. 3— 5 мин; 3) на травленное место помещается порошок $(NH_4)_2MoO_4$; 4) лимонно-жел- тое; реакция на Pb (см. церуссит)
63 Церуссит $PbCO_3$; PbO 85,5, Pb 77,5, CO_2 16,5; ромбич.	1) 12—8 (Вл), 14 (Р); 2) сильное; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен (мешают внут- рение рефлек- сы), изотропен в скрытокри- сталлических разностях; 2) сильные бес- цветные, желто- вато-бурые, зе- леноватые	1) 3—3,5; 2) 2000; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания на Pb ; 2) HNO_3 конц. на шлифе, эксп. 1 мин; снять из- быток кислоты; 3) KJ 5 %-ный на травленную поверх- ность; 4) пленка желтого цвета
64 Кераргирит $AgCl$; Ag 75,3, Cl 24,7; кубич.	1) 12 (Вл); 2) нет; 3) серый	1) Изотропен; 2) бесцветные, желтые, силь- ные	1) 1—2; 2) 100—1000; 3) плохое	1) Кристаллоско- пическая реакция на Ag ; 2) HNO_3 конц., эксп. 5 мин; 3) K_2CrO_4 20 %-ный; 4) осадок корич- нево-красного цве- та

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Пластинчатые или шестоватые кристаллы; радиально-лучистые сростки; под бинокляром	Пиоморфит, миметезит, церуссит, вульфенит и др.	1) 2,958 (10), 3,37 (8), 3,04 (8); 2) $N_e=2,29$, $N_o=2,354$, $N_o-N_e=0,064$	Травление HNO_3 , HCl , KOH ; реакция на Pb и V ; парагенезис
Кристаллы призматические; друзы; колломорфные агрегаты, корки, почки скрытокристаллического строения; под бинокляром	Пиоморфит, церуссит, малахит, скородит и др.	2) $N_p=2,118$, $N_m=2,13$, $N_g=2,135$, $N_g-N_p=0,017$	От пиоморфита и ванадинита уверенно можно отличать по данным микрохимической реакции и химического анализа
Корки, каемки, сталактиты, плотные, землистые выделения скрытокристаллического и аморфного строения; редко кристаллы таблитчатого и призматического облика; полисинтетические двойники; под бинокляром и в скрещенных николях	Малахит, смитсонит, пиоморфит, фосгенит, англезит, кальцит, реликты галенита и др.	1) 3,574 (10), 3,480 (9), 2,487 (9); 2) $N_p=1,804$, $N_m=2,076$, $N_g=2,078$, $N_g-N_p=0,274$	Двуотражение; травление со вскипанием в кислотах; реакция окрашивания на Pb
Агрегаты колломорфного строения	Серебро, аргентит, церуссит	1) 2,80 (10), 1,97 (10), 1,245 (8); 2) $N=2,061$	Реакция на Ag ; парагенезис

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуетраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
65 Пироморфит $Pb_3[PO_4]_2 \cdot Cl$; PbO 82, Pb_2O_3 15,14, Cl 2,60; гексагон.	1) 11,9 (Вл); 2) нет; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен, слабо анизо- тропен (мешают внутренние реф- лексы); 2) сильные жел- товатые, зеле- новатые, буро- ватые, редко оранжево-жел- тые	1) 3,5—4; 2) 1070—2000; 3) хорошее	1) Отпечаток на P ; 2) HNO_3 конц., эксп. 2 мин; 3) порошок $(NH_4)_2MoO_4$; 4) желтое; такая же реакция полу- чается и на As , но очень медленно; реакция на Pb (см. церуссит)
66 Биндгеймит $Pb_2Sb_2O_7 \times$ $\times nH_2O$; Sb_2O_3 30,2, PbO 63,0, H_2O 6,8; кубич. аморфный	1) 9,2 (Вл); 2) нет; 3) серый	1) Изотропен; 2) бесцветные, зеленые, бурые	1) 4; 2) 2000—3000; 3) хорошее	Реакция на Sb (см. антимонит), на Pb (см. церус- сит)
67 Англезит $PbSO_4$; PbO 73,6, Pb 68,3, SO_3 26,4; ромбич.	1) 8—9 (Вл); 2) нет; 3) серый	1) Изотропен, слабо анизотро- пен; 2) сильные бесцветные, светло-бурые	1) 2,5—3; 2) 1220—1550 (Янг, Милл- ман); 3) хорошее	1) Пленочная ре- акция на Pb ; 2, 3) минерал+КJ 5 %-ый, эксп. 1 мин; 4) пленка желтого цвета в косом све- те или голубая иризирующая в отраженном свете

Минералы цин

68 Сфалерит ZnS ; Zn 67,1, S 32,9; кубич.	1) 17—18 (Вл), 19 (Э); 2) нет; 3) серый, иногда со сла- бым фиолето- вым, голубова- тым, зеленова- тым оттенком	1) Изотропен; 2) сильные бесцветные, желтые, бурые, красноватые	1) 3,5—4; 2) 1530—2700 (Л), 1860— 2090, 1980 (БТ); 3) полируется хорошо	1) Капельная ре- акция на Zn ; 2) 5 частей HNO_3 (1:1)+1 часть 1 %-ного $Cu(NO_3)_2$, эксп. 3—5 мин; 3) $HgCl_2+KCNS$; 4) фиолетовое; промыть в воде
---	---	---	---	---

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Кристаллы призматические, образуются псевдоморфозы по церусситу и галениту; под бинокляром	Церуссит, гётит, миметезит, малахит и др.	2) $N_p=2,042$, $N_m=2,050$, $N_g=2,050$, $N_g-N_p=0,008$	Низкое отражение; зеленоватые и желтоватые рефлекс; реакция на Pb и P
Почковидные и неправильные агрегаты скрытокристаллического и гелевого строения; редко кристаллы изометрического облика	В зоне окисления свинцово-сурьмяных месторождений	2) Для аморфных разностей $N=\pm 1,86-2,0$	Реакция на Sb и Pb; парагенезис
Колломорфные агрегаты гелевого и скрытокристаллического строения; каемки вокруг выделений галенита; изометричные зерна; под бинокляром и под микроскопом	Церуссит, ковеллин, реликты галенита и др.	1) 3,00 (10), 2,06 (10), 3,21 (8); 2) $N_p=1,877$, $N_m=1,882$, $N_g=1,894$, $N_g-N_p=0,017$	Изотропен, травление, реакция на Pb; парагенезис
ка и кадмия			
Зернистые агрегаты, иногда скорлуповатые и почковидные, скрытокристаллические выделения; двойниковое и зональное строение зерен выявляется при травлении в парах царской водки в течение 5—30 с	Реликтовый минерал; замещается ковеллином, халькозином, гринокитом, смитсонитом	1) 3,116 (10), 1,908 (9), 1,630 (8); 2) $N=2,36-2,47$	Сильные внутренние рефлекс; травление в парах царской водки; реакция на Zn; полисинтетические двойники

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR, (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1) ; микротвердость, МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
69 Вюртцит ZnS; Zn 67,1, S 32,9; гексагон.	1) 17 (Вл), 18,3 (Мозес), 19 (Э); 2) нет; 3) серый	1) Слабо ани- зотропен, изо- тропен (аморф- ный); 2) сильные желтые, темно- коричневые	1) 3,5—4; 2) 1590—2740 (Янг, Милл- ман); 3) полируется хорошо	То же
70 Гринокит CdS; Cd 77,7, S 22,3;	1) 18,5 (Р, Б), 19 (Вл); 2) нет; 3) серый с го- лубоватым от- тенком, в им- мерсии с зеле- новатым	1) Изотропен; 2) сильные ли- монно-красно- коричневые	1) 3,5; 2) 520—910 (Л); 3) хорошее	Спектральный ана- лиз на Cd
71 Вольцитин Zn ₆ AsS ₆ ; Zn 54,48, As 11,36, S 29,16; гексагон.	1) 12—8; 2) сильное; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бес- цветные, зеле- новато-красные, буроватые	1) 4—4,5; 2) 2000—3500; 3) хорошее	Реакция на Zn (см. сфалерит)
72 Смитсонит ZnCO ₃ ; ZnO 64,8, Zn 52, CO ₂ 35,2; тригон.	1) 9—5 (Вл); 2) отчетливое на границах зерен; 3) серый, тем- но-серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные, бес- цветные, буро- ватые, зелено- ватые	1) 4,5—5,5; 2) 4090—4220 (Л); 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Zn; 2) HNO ₃ (1 : 1), эксп. 2 мин; 3) HgCl ₂ + KCNS + + Cu(NO ₃) ₂ ; 4) фиолетовое
73 Монгеймит (смитсонит, содержащий 50 % FeCO ₃)				
74 Гидроцинкит Zn ₅ [(OH) ₃ X XCO ₃] ₂ ; Zn 74,12, CO ₂ 16,03, H ₂ O 9,85; монокл., скрытокрист.	1) 5; 2) слабое; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен, изо- тропен; 2) сильные бес- цветные, буро- ватые	1) 2—2,5; 2) 600—1200; 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Zn; 2) HNO ₃ (1 : 1) + + Cu(NO ₃) ₂ , эксп. 1 мин; 3) HgCl ₂ + KCNS; 4) фиолетово-си- нее

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Колломорфные, концентрически зональные выделения с волокнистым и радиально-лучистым строением	Реликтовый минерал	1) 3,107 (10), 1,902 (10), 1,625 (9);	Сильные внутренние рефлекс; колломорфные и радиально-лучистые агрегаты
Корки, почки, землистые выделения с коллоидным строением; структура выявляется в парах царской водки; форма индивидов — короткие призмы	В зоне цементации замещает сфалерит	1) 3,167 (10), 0,9528 (10), 1,157 (9)	Сильные внутренние рефлекс; реакция на Cd; парагенезис, микротвердость
Сферолиты, корки, тонковолокнистого и радиально-лучистого строения	Встречается в окисленных рудах полиметаллических месторождений	1) Дебаграмма минерала отвечает дебаграмме сфалерита; 2) $N_o=2,03$	От сходных минералов отличается показателем преломления (высокий показатель преломления) и микрохимическими реакциями; слабо изучен
Корки, почки, сталактиты, землистые массы аморфного, скрытокристаллического и зернистого строения; аллотриоморфный, радиально-лучистый; псевдоморфозы по кальциту; совершенная спайность по (1011), зональное строение; структурное травление в HNO_3 1 мин	Церуссит, малахит, азурит, англезит, пироморфит, миметизит, аурихальцит, кальцит и др.	1) 2,748 (10), 1,707 (10), 1,076 (9); 2) $N_e=1,615$, $N_o=1,849$, $N_o-N_e=0,234$	Сильные внутренние рефлекс; травление в кислотах; реакция на Zn; парагенезис
Корки, землистые массы, редко сталактиты скрытокристаллического и волокнистого строения; совершенная спайность по (100) в кристаллах; структурное травление HNO_3 (1:40) в течение 15—30 с; под бинокуляром	Смитсонит, кальцит, церуссит, аурихальцит и др.	1) $a_0=13,48$, $b_0=6,32$, $c_0=5,37$; 2) $N_p=1,640$, $N_m=1,736$, $N_g=1,750$, $N_g-N_p=0,110$	Сильные внутренние рефлекс; реакция на Zn; парагенезис

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
75 Каламин $2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; ZnO 67,5, SiO ₂ 25,01, H ₂ O 7,5; ромбич.	1) 5; 2) нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен; 2) внутренние бес- цветные	1) 4,5—5; 2) 3500—5500; 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Zn; 2) минерал+ра- створитель HCl (1:1) или HNO ₃ (1:1), эксп. 2 мин; испытываемый ра- створ переносят на фильтровальную бумагу; 3) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 +$ $+$ $(\text{HgCl}_2 + \text{KCNS})$; 4) фиолетовое

Минералы сурь

76 Антимонит (стибнит) Sb_2S_3 ; Sb 71,38, S 28,62; ромбич.	1) 44—30 (Э), 45—30 (Вл); 2) очень силь- ное; 3) белый, свет- ло-серый	1) Сильно ани- зотропен (из- меняет окраску от буроватых до серо-синих тонов); 2) нет	1) 2—2,5; 2) 650—1530, 720 (Л), 420—1090, 770 (БТ); 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакция на Sb; 2) HNO ₃ конц. на шлифе, эксп. 2— 3 мин; избыток кислоты снять фильтровальной бумагой; капля HCl (1:1) на травленное место шлифа; 3) KJ+CsCl (по- рошки); 4) осадок красного цвета; травится КОН
77 Метастибнит Sb_2S_3	1) Темнее анти- монита; 2) нет; 3) белый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные красные	1) Нет данных; 2) 850 ?	См. антимонит
78 Ртуть само- родная; Hg 100; тригон.	1, 2) Нет дан- ных 3) серебристо- белый	1) Нет данных; 2) нет	1), 2), 3) Нет данных	Растворяется в HNO ₃

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Колломорфные агрегаты, индивиды столчатые, игольчатые	Зона окисления полиметаллических месторождений	2) $Np=1,614$, $Nm=1,617$, $Ng=1,636$, $Ng-Np=0,022$	От других прозрачных минералов окисленных руд отличается реакцией на Zn ; от смитсонита отличается травлением, двуотражение отсутствует

мы и ртuti

Агрегаты призматических, игольчатых кристаллов и аллотриоморфнозернистые, в зернах полисинтетические двойники и фигуры смятия; в скрещенных николях	Гипогенный минерал; замещается сенармонитом, валентинитом, кермезитом, серой	1) 1,983 (10), 1,687 (10), 3,566 (9)	Сильное двуотражение и сильная анизотропия; травление с KOH (желтый осадок); реакция на Sb
Колломорфные агрегаты: почки, сферолиты; под бинокулярном и микроскопом	Кермезит; замещает антимонит	Нет данных	От антимонита отличается внутренними рефлексами и колломорфным строением
Капельки серебристо-белого цвета в пустотах	Образуется при разложении киновари	Нет данных	Характерный минерал зоны окисления ртутных месторождений

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
79 Киноварь HgS ; Hg 86,21, S 13,79; примеси Se , Te ; тригон.	1) 30 (Э), 28 (Вл); 2) слабое; 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные красные (В), порошок красный	1) 2—2,5; 2) 510—980, 780 (Л); 3) хорошее, h немного боль- ше антимонита, метациннабарна- та, меньше шватцита, куп- рита	1) Реакция на Hg ; 2) раскаленный перл соды или буры приво- дится в контакт с полированной поверхностью ми- нерала; эксп. 1— 2 мин; образуется на минерале плен- ка металлической ртути (смотреть в косом свете)
80 Каломель $HgCl_2$; Hg 84,98, Cl 15,02; тетрагон.	1, 2) Нет дан- ных	1) Нет данных; 2) сильные белые	1) 1,5; 2, 3) нет дан- ных	То же
81 Кермезит Sb_2S_2O ; Sb 74,96, S 20,04, O 5,0; трикл.	1) 27 (Вл); 2) отчетливое; 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) Сильно ани- зотропен (цвет- товой эффект от фиолетового до сине-зеле- ного); 2) сильные вишнево-крас- ные с фиолето- вым оттенком	1) 1—1,5; 2) 360—900 (Янг, Милл- ман); 3) хорошее	Спектральный ана- лиз на Sb
82 Валентинит Sb_2O_3 ; Sb 83,3, O 16,7; ромбич.	1) 16—24 (Вл, В); 2) слабое; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бес- цветные, жел- тые, розовые	1) 2,5—3; 2) 600—1200; 3) хорошее	Спектральный ана- лиз на Sb
83 Сервантит $Sb_2O_3 \cdot Sb_2O_5$; Sb 78,93, O 21,07; ромбич., аморфный	1) 12; 2) нет; 3) серый	1) Слабо ани- зотропен, ино- гда изотропен; 2) сильные бес- цветные, жел- тые	1) 4,5; 2) 2000—4000 3) хорошее	Спектральный ана- лиз на Sb ; 5) стандартными реактивами не тра- вится

(2); (5)	Форма и в внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Hg;	Кристаллы, аллотриоморфнозернистые агрегаты; строение зерен однородное, редко двойники; в зернах нередко включения антимонита	Антимонит, кварц, кальцит, замещается метациннабаритом и ливингстонитом	1) 3,37 (10), 3,16 (8), 2,869 (10), 2,074 (8), 1,980 (8), 1,756 (8)	Сильные красные рефлекс; не травится реактивами; реакция на Hg; парагенезис
	Друзы, корочки, каемки, землистые массы; кристаллы таблитчатой, изометричной формы	Самородная ртуть; замещает киноварь	1) 4,16 (10), 3,17 (10), 2,06 (10), 1,97 (10), 1,73 (8), 1,478 (10); 2) N_D 1,973, N_F 2,656	Гипергенный минерал в ртутных и ртутно-серебряных месторождениях
на-	Налеты, корочки аморфного строения по трещинкам в антимоните; радиально-лучистые сростки; псевдоморфозы по антимониту; совершенная спайность по (100); в скрещенных николях	Валентинит, стибиконит, сенармонтит, самородная сурьма и др.	1) 3,14 (10), 2,92 (9), 2,70 (8); 2) $N_m=2,74$, $N_p=2,72$	Сильные вишнево-красные внутренние рефлекс; сильная анизотропия; продукт окисления антимонита
на-	Агрегаты аморфного, призматического, радиально-лучистого и волокнистого строения; совершенная спайность по (010); в скрещенных николях	Стибиоконит, сервантит и др.	1) 3,08 (10), 10,85 (8), 1,792 (8); 2) $N_p=2,18$, $N_m=2,35$, $N_g=2,35$, $N_g-N_p=0,17$	Анализ на Sb; медленно травится HCl конц.; дебаграмма; парагенезис
на- и ра-	Псевдоморфозы по антимониту; агрегаты тонкоигловчатых кристаллов и порошковатые аморфные массы	Стибиоконит, валентинит, кермезит, реликты антимонита и др.	2) N_m от 1,88± до 2,06±	Парагенезис; химический анализ

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель в время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
84 Сенармонтит Sb_2O_3 ; Sb 83,3, O 16,7; кубич.	1) 10; 2) нет; 3) серый	1) Изотропен; 2) сильные бесцветные	1) 2—2,5; 2) 600—1000; 3) хорошее	Спектральный анализ на Sb; реакция на Sb (см. антимонит); 5) травится HCl конц.
85 Стибиоконит (сурьмяная охра) $Sb_2O_4 \cdot H_2O$ (?); Sb 74,5, O 19,9, H_2O 5,6; аморфный	1) 7; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные, жел- тые, краснова- тые	1) 4—5; 2) 2000—4000; 3) хорошее	Спектральный анализ на Sb; 5) стандартными реактивами не тра- вится

Минералы мышья

86 Золото само- родное Au; кубич.	1) 84 (Вл), 80,6 (Б), 83 (Э); 2) нет; 3) ярко-желтый	1) Изотропен; 2) нет	1) 2,5—3; 2) 500—590, 540 (Л), 500—520, 510 (БТ); 3) хорошее	1) Кристаллоско- пическая реакция на Au на предмет- ном стекле; 2) царская водка, эксп. 3 мин; 3) $SnCl_2$; 4) осадок метал- лического золота
87 Мышьяк само- родный As; тригон.	1) 58 (Вл), 50,5 (Б), 62 (Э, Р); 2) слабое; 3) белый (се- ро-бурый в ста- рых шлифах)	1) Отчетливо анизотропен; 2) нет	1) 3,5; 2) 930—1370, 1230 (Л), 570—690, 630 (БТ); 3) отличное	Реакция на As (см. арсенопирит)
88 Арсенопирит $FeAsS$; Fe 34,3, As 46, S 19,7; монокл.	1) 54 (Вл), 50 (Э); 2) слабое; 3) белый (со слабым желто- розовым от- тенком)	1) Отчетливо анизотропен (цветовой эф- фект в розова- тых, голубова- тых и зеленова- тых тонах; 2) нет	1) 5,5—6; 2) 8980—11270, 10350 (Л), 10480—11270, 10940 (БТ), 7240—12060 (Янг, Милл- ман); 3) хорошее до посредственного	1) Реакция на As; 2) HNO_3 конц. на шлифе, эксп. 5 мин; 3) $(NH_4)_2MoO_4$ порошок; 4) лимонное; реакция на Fe (см. марказит)

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Корки аморфного строения, псевдоморфозы по антимониту	Валентинит, кермезит, сурьмяные охры и др.	1) 1,673 (10), N от $1,60 \pm 1,962$ (9); 2) $N = 2,087$	Парагенезис, псевдоморфозы по антимониту; дебаграмма, химический анализ
Корковые, порошковые массы аморфного и скрытокристаллического строения; псевдоморфозы по сервантиту и антимониту; иногда волокнистые агрегаты	В зоне окисления сурьмяных месторождений	2) $Nm = 1,73 \pm$ N от $1,60 \pm$ до $1,99 \pm$	Отличается от сервантита по данным химического анализа
ка и золота			
Мелкие, аллотриоморфнозернистые агрегаты; пластинки, прожилки, примазки, дендриты, вкрапленность; структурное травление — раствор SrO_3 в царской водке, KCN	Гипогенный реликтовый минерал; гипергенное золото, гидроокислы железа, опал и др.; заполняет трещинки в гётите, ковеллине, халькозинне, дигените	1) 2,35 (10), 2,03 (9), 1,226 (9)	Ярко-желтый цвет; высокое отражение; почернение от KCN, изотропен; не травится в парах царской водки
Агрегаты аллотриоморфнозернистые и концентрические, скорлуповатые; пластинчатые двойники в зернах и зональное строение; в скрещенных николях	Редкий реликтовый и гипергенный минерал	1) 2,74 (10), 1,867 (10), 1,53 (10)	В полированных шлифах быстро чернеет на воздухе; травится H_2O_2 ; реакция на As
Кристаллы ромбической и призматической формы, звездчатые сростки, игольчатые, шестоватые и зернистые агрегаты; зональное строение зерен выявляется травлением. Структурное травление HNO_3 (1:1) в течение 1 мин; в скрещенных николях	Реликтовый минерал	1) 2,662 (10), 1,817 (10), 2,443 (9)	От сходного лёллингита отличается более высокой микротвердостью, рельефом, травлением; замещается скородитом

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R, % (1); двукраше- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
89 Аурипигмент As_2S_3 ; As 60,91, S 39,09; монокл.	1) 26—20 (Вл), 32—26 (Р); 2) сильное; 3) серо-белый	1) Сильно ани- зотропен (ме- шают внутре- нные рефлексы); 2) сильные ли- монно-желтые	1) 1,5—2; 2) 230—520, 380 (БТ), 260— 330, 290 (Л); 3) хорошее (много цара- пин)	Реакция на As (см. реальгар)
90 Реальгар AsS_3 ; As 70,08, S 29,92; монокл.	1) 21—19 (Вл); 2) слабое; 3) серо-белый	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные красновато- оранжевые до оранжесво-жел- тых	1) 1,5—2; 2) 500—570, 540 (Л), 530—600, 560 (БТ); 3) плохое, ред- ко хорошее	1) Отпечаток на As; 2) 10 частей $NH_4(OH)$ +1 часть H_2O_2 (30 %), эксп. 30—60 с; 3) $AgNO_3$; 4) шоколадно-ко- ричневое
91 Богдановит $Au_3(Cu, Fe)_3$ (Te, Pb) ₂ ; Au 62,7, Ag 1,87, Cu 9,04, Fe 4,72, Pb 11,7, Te 9,82	1) 13,8—5,4; 2) сильное, цве- товые эффекты от пурпурно- малинового или серовато-лило- вого до золоти- сто-желтого или серовато- желтого; 3) пурпурно- малиновый или серовато-лило- вый до золоти- сто-желтого или серовато- желтого	1) Сильно ани- зотропен с яр- ким цветовым эффектом; 2) нет	2) 2350—3540; 3) хорошее	Химический анализ на рентгеноспек- тральном микро- анализаторе
92 Скородит $Fe^{+2} [AsO_4] \times$ $\times 2H_2O$; Fe_2O_3 34,6, As_2O_5 49,8, H_2O 15,6; ромбич. аморфный	1) 8 (Вл); 2) слабое, нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутре- нные рефлексы), изотропен, аморфный; 2) сильные зе- леноватые, бу- роватые, бес- цветные	1) 3,5—4; 2) 2470—3220; 3) полируется хорошо	1) Реакция окра- шивания на Fe; 2) минерал + HCl конц., эксп. 2 мин; 3) $K_4Fe(CN)_6$; 4) синее; реакция на As (см. арсе- нопирит); травле- ние KOH — корич- невое пятно

	Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
As р)	Призматические зерна в агрегатах и радиально-лучистые выделения; землистые массы аморфного и скрытокристаллического строения; под бинокуляром	Реликтовый гипогенный, редкий гипергенный минерал; замещает реальгар	1) 4,77 (10), 2,83 (8), 2,71 (8); 2) $Np=2,4$, $Nm=2,81$, $Ng=3,02$, $Ng-Np=0,62$	Сильные лимонно-желтые внутренние рефлексy; реакция на As
к на часть , с; о-ко-	Пластинчатые и призматические кристаллы, аморфные массы; под бинокуляром	Редкий гипогенный и гипергенный минерал; замещается аурипигментом	1) 3,166 (10), 2,931 (7), 2,717 (7); 2) $Np=2,46$, $Nm=2,59$, $Ng=2,61$, $Ng-Np=0,15$	Красновато-оранжевые внутренние рефлексy, плохая полировка; реакция на As
анализ пек- кро-	Агрегаты различно ориентированных зерен и радиально-лучистого строения; под бинокуляром и микроскопом	Билибинскит, гипергенное золото, теллуриды Fe, Cu и Pb, гидрокислы Fe; характерный минерал зоны цементации золото-теллуридных месторождений	2,35 (10), 2,045 (16), 1,447 (6), 1,230 (8) [Спиридонов Э. М., Чвилева Т. П., 1979]	Похож на риккардит и билибинскит
окра- Fe; + HCl 2 мин; 6; акция арсе- авле- корич-	Корки, землистые массы и плотные выделения аморфного и тонкозернистого строения; каемки, нитеобразные прожилки, мелкие призматические кристаллы	Гётит, бедантит и др.; в псевдоморфозах иногда реликты золота	1) 5,56 (10), 4,44 (10), 3,16 (10); $Np=1,738-1,789$, $Nm=1,742-1,840$, $Ng=1,765-1,814$, $Ng-Np=0,027$	Сильные внутренние рефлексy; реакция на Fe; травление KOH; парагенезис; замещает арсенопирит

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
---	---	--	--	---

Минералы

93 Висмут само- родный Bi; тригон.	1) 68 (Вл, Р, Э); 2) слабое; 3) белый с ро- зовато-кремо- вым оттенком; светло-розова- то-кремовый; на воздухе темнеет	1) Отчетливо анизотропен; 2) нет	1) 2—2,5; 2) 160—260 (Л), 160—190, 180 (БТ); 3) хорошее; $h < \text{висмутина}$	1) Отпечаток на Bi; 2) HNO_3 конц.; эксп. 2 мин; 3) тиомочевина; 4) желтое
94 Висмутин Bi_2S_3 ; Bi 81,3, S 18,7; ромбич.	1) 48—42 (Вл), 48 (Э), 41 (Фоллинсби); 2) слабое; 3) белый с кре- моватым оттен- ком	1) Сильно ани- зотропен; пога- шение прямое; 2) нет	1) 2—2,5; 2) 730—1880, 1530 (Л), 920—1190, 1070 (БТ); 3) хорошее	1) Отпечаток на Bi; 2) HCl (1 : 1), эксп. 2 мин; 3а) хинин + КJ 5 %-ный; 3б) тиомочевина; 4а) оранжевое; 4б) желтое
95 Бисмит $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$?; Bi 89,68, O 10,32; монокл., аморфный	1) 16,8; 2) нет; 3) серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные, жел- тые, зеленова- тые	1) 1—4,5; 2) 200—2000; 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания; 2, 3) минерал + раствор КJ 5 %-ный + H_2SO_4 (1 : 10); 4) пленка черно- бурого цвета
96 Бисмутит (висмутовая охра) $\text{Bi}_2[\text{O}_2[\text{CO}_3] \times$ $\times n\text{H}_2\text{O}$; Bi_2O_3 91,37, CO_2 8,63; тригон. аморфный	1) 15,2; 2) нет; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен, изотропен; 2) сильные бес- цветные, свет- ло-желтые, бледно-зеленые, коричневые	1) 3—4,5; 2) 1200—3500; 3) хорошее	4) Реакция окра- шивания (см. бисмит)

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаяграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
висмута			
Дендриты, скелетные зерна; аллотриоморфнозернистые агрегаты; полисинтетические двойники видны в скрещенных николях	Реликтовый гипогенный и гипергенный минерал; продукт разложения минералов висмута в зоне окисления	1) 3,31 (10), 1,435 (9), 2,245 (9)	Низкая твердость, отчетливо анизотропный, двойниковое строение, реакция на Вi; парагенезис
Удлиненные шестоватые, игольчатые кристаллы, а также зернистые агрегаты; в скрещенных николях	Реликтовый минерал	1) 3,50 (10), 3,08 (9), 2,79 (8)	Кремевый оттенок цвета, трещинки спайности по (010); реакция на Вi; отрицательное травление КОН отличает от антимонита
Псевдоморфозы по висмуту и другим висмутсодержащим минералам; порошокватые налеты и корочки по трещинам; облик индивидов чешуйчатый; под бинокуляром	В зоне окисления образуется при окислении висмутитина, самородного висмута и других висмутсодержащих минералов; висмут, висмутит и др.	2) $Ne=1,82$, $No=2,01$, $No-Ne=0,19$	От бисмутита отличается травлением; парагенезис
Порошковатые массы, колломорфные агрегаты с гелевым и радиальнолучистым, волокнистым строением; облик индивидов волокнистый; псевдоморфозы по висмутину; в скрещенных николях	Бисмутит, бисмит малахит, церуссит и др.	2) Для аморфного ($N=2,20 \pm \pm 2,26$), $Np=2,30$, $Nm=2,36$, $Ng=2,39$, $Ng-Np=0,09$	От бисмита отличается травлением, формой выделения и показателем преломления

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
---	---	--	--	---

Минералы

97 Никелин NiAs; Ni 43,9, As 56,1; гексагон.	1) 69—53 (Вл), 48 (Э); 2) сильное; 3) кремово-ро- зовый (желто- вато-розовый)	1) Сильно ани- зотропен с цвет- ным эффектом (от розовато- желтого до зе- леноватого), прямое погаса- ние; 2) нет	1) 5—5,5; 2) 4120—4890, 4500 (Л), 3280—4550 (БТ); 3) отличное	1) Отпечаток на Ni; 2) HNO_3 конц., эксп. 1 мин; 3) диметилглио- ксим + $\text{NH}_4(\text{OH})$; рубеевановая кисло- та + $\text{NH}_4(\text{OH})$; 4) с диметилглио- ксимом — малино- вое, с рубеевановой кислотой — фиоле- товое; реакция на As (см. хлоантит)
98 Хлоантит $(\text{Ni}, \text{Co})\text{As}_{2-x}$; Co —примесь; Ni 28,13, As 71,87; кубич.	1) 60 (Э), 56 (Р); 2) нет; 3) белый	1) Изотропен; 2) нет	1) 5—5,5; 2) 2680—4020 (Л); 3) отличное	1) Реакция на As на шлифе; 2) HNO_3 конц., эксп. 2 мин; 3) $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$; 4) лимонно-жел- тое; реакция на Ni (см. никелин); реакция на Co (см. смальтин)
99 Пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$; Fe 32,55, Ni 34,22, S 33,23; кубич.	1) 53 (Вл), 51 (Э, Р); 2) нет; 3) светло-жел- тый	1) Изотропен; 2) нет	1) 3,5—4; 2) 1950—2230, 2090 (Л), 2020—2300, 2150 (БТ); 3) отличное	1) Капельная ре- акция на Ni на фильтровальной бумаге; 2) HNO_3 конц., эксп. 3 мин; 3) $(\text{NH}_4)\text{OH}$ + +рубеевановая кислота; 4) фиолетовое
100 Миллерит NiS; Ni 64,7, S 35,3; тригон.	1) 54 (Вл), 53 (Э), 60—54 (Б); 2) слабое; 3) светло-жел- тый	1) Отчетливо анизотропен, цветной эффект лимонно-жел- тый до сирене- вого и фиоле- тового; 2) нет	1) 3—3,5; 2) 2250—2560, 2360 (БТ), 1920—3760 (АБ); 3) хорошее, вы- крашивается $h >$ халькопи- рита, <сфале- рита, линнента, пентландита	1) Капельная ре- акция на Ni; 2) HNO_3 конц., эксп. 3 мин; 3) $\text{NH}_4(\text{OH})$ + +диметилглио- ксим; 4) малиновое

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Бермян Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
никеля			
Аллотриоморфнозернистые, реже почковидные радиально-лучистые агрегаты, часто зерна с зональным строением; в скрещенных николях	Реликтовый гипогенный минерал	1) 2,627 (10), 1,937 (9), 1,788 (8)	Розовый цвет, сильное двуотражение, сильная анизотропия; травление HNO_3 , конц. FeCl_3 , HgCl_2 ; реакция на Ni и As
Изометричные зерна, часто зонального строения, значительно реже — агрегаты аллотриоморфных зерен; структурное травление H_2O_2 10 %	Реликтовый гипогенный минерал	1) 6,4 (10), 3,17 (10), 2,53 (10)	Характерно зональное строение зерен; реакция на Ni; в отраженном свете не отличим от смальтина
Аллотриоморфнозернистые агрегаты; часто встречается как продукт распада смеси: пирротин + пентландит, с образованием пластинок и пламевидных выделений; спайность по (111) совершенная, треугольники выкрашивания	Реликтовый гипогенный минерал	1) 1,77 (10), 3,03 (9), 1,95 (9)	От пирротина отличается более высоким отражением, изотропностью, спайностью и треугольниками выкрашивания; реакция на Ni
Агрегаты радиально-лучистых и игольчатых кристаллов; часто наблюдается в виде пластинок в линнсите как результат распада; спайность по (1011) и (0112) совершенная; в скрещенных николях	Реликтовый гипогенный минерал; гипергенный миллерит замещает сульфиды Ni, Cu, Fe, халькозин, ковеллин	1) 1,876 (10), 1,117 (10), 2,792 (9)	Светло-желтый, отчетливо анизотропный минерал; похож на халькопирит; реакция на Ni

№ п/п Минерал: химический состав, %: сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
101 Бравойт или никельпирит (Ni, Fe, Co); Ni до 30, Co до 10, Fe 38, S 54; кубич.	1) 50 (Вл), 41 (Э); 2) чет; 3) светло-жел- тый с фиолето- вым, розова- тым и коричне- ватым оттенком	1) Изотропен; 2) нет	1) 3,5—6; 2) 6680—8610 (Л), 10030— 12880 (БТ); 3) хорошее, h выше сфале- рита, пирита, пентландита	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) растворитель HNO ₃ конц., эксп. 2 мин; 3) проявитель KCNS; 4) пятно красного цвета; реакция на Ni (см. никелин), на Co (см. кобаль- тин)
102 Виоларит FeNi ₂ S ₄ ; Fe 18,52, Ni 38,94, S 42,54; кубич.	1) 38 (Вл, Р); 2) нет; 3) серовато- белый с фио- летовым оттен- ком	1) Изотропен, иногда слабо- анизотропен; 2) нет	1) 4—5; 2) 4580 (Л); 3) хорошее	См. миллерит
103 Аннабергит Ni ₃ [AsO ₄] ₂ × × 8H ₂ O; NiO 37,5, As ₂ O ₃ 38,5, H ₂ O 24,0; монокл.	1) 6,5—7,5; 2) слабое, нет; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные зе- леные, бесцвет- ные	1) 2,5—3; 2) 600—1200; 3) хорошее	1) Отпечаток на Ni; 2) NH ₄ OH, эксп. 1—2 мин; 3) диметилглио- ксим; 4) малиновое; 1а) реакция на As; 2а) HNO ₃ конц. эксп. 2 мин; 3а) (NH ₄) ₂ MoO ₄ ; 4а) осадок лимон- но-желтого цвета
104 Моренозит NiSO ₄ · 7H ₂ O; NiO 26,6, SO ₃ 28,5, H ₂ O 44,9; ромбич.	1) 4; 2) слабое, нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен, изо- тропен; 2) сильные бес- цветные, зеле- новатые	1) 2—2,5; 2) 300—600; 3) хорошее	1) Отпечаток на Ni, малинового цвета; 2) H ₂ O, эксп. 5 мин; 3) диметилглио- ксим

	Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
ре- ель ь сного ия на пин), обаль-	Гипергенный — псевдоморфозы по пентландиту; под бинокуляром и микроскопом	Марказит, мельниковит, вторичные сульфиды меди; замещается халькозином, гётитом, аннабергитом	Дебаеграмма аналогична пириту	Реакция на Ni; парагенезис
т	Тонкие прожилки и каемки, псевдоморфозы по пентландиту; в сростании с бравоитом образует сажистые массы	Замещает пентландит	1) 2,86 (10), 1,678 (10), 2,37 (8)	Фиолетовый оттенок, микротвердость, образуется в зоне окисления Ni-содержащих сульфидов
к на оксп. тио- е; на As; онц. иоО ₄ ; пимон- цвета	Агрегаты аморфного и волокнистого строения; совершенная спайность по (010); под бинокуляром	Моренозит, лавендулан, эритрин	1) 3,19 (10), 2,998 (9), 1,557 (9); 2) $Np=1,622$, $Nm=1,658$, $Ng=1,687$, $Ng-Np=0,065$	Зеленые внутренние рефлексы, травление; реакция на Ni и As; травление; HNO_3 конц. (вскипает); HCl конц.; парагенезис
к на ого и. ио-	Корки, сталактиты радиально-лучистого и волокнистого строения; под бинокуляром	Продукт окисления сульфидов никеля в условиях сухого климата; парагенезис с аннабергитом	1) 4,20 (10), 5,3 (6), 2,85 (4); 2) $Np=1,467$, $Nm=1,489$, $Ng=1,492$, $Ng-Np=0,025$	Зеленые внутренние рефлексы, травление; реакция на Ni; сильно травится стандартными реактивами, растворяется в воде; парагенезис

№ п/п Минерал: химический состав, %: сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
---	--	--	--	---

Минералы

105 Смальтин $(\text{Co}, \text{Ni})\text{As}_3$ -х; Co 28,23, Ni от следов до 28, As от 67 до 74; Fe от долей до 16; кубич.	1) 56, 60 (P); 2) нет; 3) белый с кре- мовым оттенком	1) Изотропен; 2) нет	1) 5,5—6; 2) 6160—7290 (Л), 7480—9200 (Тубо); 3) отличное	1) Реакция на As; 2) минерал+ +HNO ₃ , эксп. 5 мин; 3) $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, порошок в из- бытке; 4) осадок лимон- ного цвета
106 Кобальтин CoAsS; Co 35,40, As 45,30, S 19,30; кубич.	1) 52 (Э, P), 56 (Вл); 2) нет; 3) розовато-бе- лый	1) Изотропен, слабо анизотро- пен; 2) нет	1) 5,5; 2) 9480—10790, 10200 (Л), 11760—12260, 12000 (БТ); 3) плохое, реже хорошее	1) Реакция на Co; 2) HNO ₃ конц., эксп. 3 мин; 3а) α -нитрозо, β -нафтол+NH ₄ OH; 3б) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4а) кирпично- красное; 4б) коричнево- бурое
107 Линнент Co_3S_4 ; Co 57,96, S 42,04; кубич.	1) 40 (Вл), 47 (Э); 2) нет; 3) кремово-бе- лый до розова- того	1) Изотропен; 2) нет	1) 5—5,5; 2) 5080—5540; 3) хорошее	Реакция на Co (см. смальтин)
108 Эритрин $\text{Co}[\text{AsO}_4]_2 \times$ $\times 8\text{H}_2\text{O}$; CoO 37,5, As ₂ O ₅ 38,5, H ₂ O 24,0; при- месь Ni, Fe; монокл.	1) 6—10; 2) слабое, нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные бес- цветные, розо- вые	1) 1,5—2,5; 2) 1000—1210; 3) хорошее	1) Прямой отпеча- ток на Co; 2, 3) HNO ₃ конц., эксп. 1—2 мин; 4) розовое; реак- ция на As (см. смальтин)

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаяграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
кобальта			
Реликты в окисленных и полуокисленных никель- кобальтовых рудах	Реликтовый минерал	1) 2,593 (10), 1,837 (8), 1,609 (8)	Травление HNO_3 , зональ- ное строение индивидов, реакция на Со
То же	То же	1) 2,495 (10), 2,278 (10) 1,074 (10)	Розово-белый цвет, высо- кая микротвердость; пло- хо полируется; зональное строение индивидов, ре- акция на Со
" "	" "	1) 1,68 (10), 2,82 (9), 1,82 (8)	От кобальтина отлича- ется более низкой микротвер- достью, лучшей полиров- кой и полной изотропно- стью; от полидимита, пирротина — реакцией на Со
Агрегаты аморфного, во- локнутого и радиально- лучистого строения; спайность по (010) весь- ма совершенная; под би- нокуляром	Гетерогенит, малахит, асбо- лан, гётит, хри- зоколл, анна- бергит, биберит	1) 3,010 (10), 3,23 (9), 2,729 (8); 2) $Np=1,626$, $Nm=1,661$, $Ng=1,699$, $Ng-Np=0,73$	Розовые внутренние реф- лексы; травление; реак- ция на Со, As; травится HNO_3 , HCl ; парагенезис

№ п/п Минерал: химический состав, %: сингония	Отражение R, % (1); двукотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
109 Гетерогенит $\text{CoO} \times$ $\times \text{OH}(\text{H}_2\text{O})_{0-1}$; CoO 72,0, O 5,98, H_2O 21,33; тригон. аморфный	1) 10—25 (АБ); 2) очень силь- ное с цветным эффектом (бе- лого, кремового, темно-бурого оттенков); нет (для аморфно- го); 3) серо-белый с желтоватым оттенком	1) Изотропен в поперечных разрезах и в скрытокри- сталлических разностях; силь- но анизотропен в разрезах па- раллельно уд- линению; цве- товой эффект (голубоватый, желтовато-бе- лый); 2) слабые крас- новато-бурые	1) 1—4; 2) 100—3000; 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Со; 2) минерал+HCl (1:1), эксп. 1— 2 мин; 3) α -нитрозо— β -нафтол; 4) красновато- коричневое
110 Стеннерит $(\text{Co,Fe,Al})_2\text{O}_3 \times$ $\times \text{H}_2\text{O}$; Fe_2O_3 0—9,4; примеси Al_2O_3 — 0,69; Си-гетерогенит; $2\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CuO} \times$ $\times 6\text{H}_2\text{O}$; CuO 0,9—22,6; тригон. аморфный				
111 Биберит $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; CoO 26,6, SO_3 28,5, H_2O 44,9; монокл. скры- токристал.	1) 4; 2) слабое, нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен; изотропен; 2) сильные ро- зово-красные, розовые, розо- вато-белые	1) 2—3; 2) 200—600; 3) хорошее	1) Отпечаток на Со; 2) H_2O , эксп. 5 мин; 3а) α -нитрозо— β -нафтол; 3б) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$; 4а) красновато- бурое; 4б) коричнево-бу- рое

Минералы

112 Рутил TiO_2 ; Ti 60, O 40; тетрагон.	1) 25—21 (Р), 24—20 (Вл); 2) слабое, за- метное по гра- ницам зерен и двойников (В), отчетливое (МИ); 3) серовато-бе- лый	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные бес- цветные, жел- тые, редко ко- ричневые, крас- но-бурые и зе- леноватые	1) 6—6,5; 2) 10740— 12100, 11390 (БТ); 3) посредствен- ное, хорошее	Спектральный анализ на Ti
---	--	--	--	------------------------------

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву (1957) (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Корки, почки, порошковые массы со скрытокристаллическим и радиально-лучистым строением; замещает кобальтин, смальтин, сафлорит; под бинокулярном	То же	2) $N=1,85$	От черных марганцевых минералов отличается реакцией на Со и парагенезисом с другими гипергенными минералами Со
Корки, сталактиты, землистые массы аморфного и радиально-лучистого строения; под бинокулярном	Зона окисления кобальтовых сульфидных месторождений	1) 4,87 (100), 4,82 (55), 3,76 (75), 3,71 (20), 2,72 (25); $a_0=14,13$, $b_0=6,55$, $c_0=11,00$; 2) $Np=1,477$, $Nm=1,483$, $Ng=1,489$, $Ng-Np=0,012$	Розовато-красные внутренние рефлексы, травление, отпечаток на Со; сильно травится стандартными реактивами; парагенезис
титана			
Мелкие агрегаты призматических и волосовидных кристаллов; простые двойники в зернах; под бинокулярном	Реликтовый минерал в окисленных сульфидных рудах	1) 1,689 (10), 3,242 (9), 2,488 (8); 2) $Ne=2,909$, $No=2,616$, $Ne-No=0,293$	Сильные внутренние рефлексы; форма индивидов, высокая твердость; спектральный анализ на Ti

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
113 Ильменит FeTiO_3 ; Fe 36,8, Ti 31,6, O 31,6; тригон.	1) 21—17 (Вл), 18 (Э, Р); 2) слабое (В), отчетливое (МИ); 3) серый с ко- ричневым оттен- ком	1) Отчетливо анизотропен	1) 5—6; 2) 5930—7340, 6400 (Л), 5190—5530, 5360 (БТ); 3) хорошее	Спектральный анализ на Ti
114 Лейкоксен $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; примесь Fe_2O_3 ; монокл. скры- токристал.	1) 10 (Э), 12—9 (Вл); 2) слабое (МИ); 3) серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные бе- лые, бурые, ко- ричневые, реже зеленоватые, золотистые, желтые	1) 5—5,5; 2) 7520—8530 (Янг, Милл- ман); 3) хорошее	То же

Минералы

115 Станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$; Cu 29,5, Fe 13,1, Sn 27,5, S 29,9; тетрагон.	1) 28 (Б), 23 (Э); 2) нет; 3) серо-белый с коричневатым оттенком (бу- ровато-зелено- вато-белый)	1) Отчетливо анизотропен, слабо анизотро- пен (цветные эффекты), изо- тропен; 2) нет	1) 3,5—4; 2) 2060—3070, 2570 (Л), 1970—2210, 2100 (БТ); 3) посредствен- ное, хорошее	1) Капельная ре- акция на Fe; 2) HNO_3 конц., эксп. 3 мин; 3) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5 %-ный; 4) синее
116 Касситерит SnO_2 ; Sn 78,8, O 21,2; тетрагон.	1) 12,5 (Вл), 11 (Э); 2) слабое; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен (мешают вну- тренние реф- лексы); 2) сильные, бес- цветные, жел- тые, бурые, красноватые	1) 6,5—7; 2) 8110—15320 (АБ); 3) плохое, ша- греновая по- верхность	1) Пленочная ре- акция на Sn; 2, 3) HCl (1:1), на шлифе, эксп. 1 мин; в каплю вводится порошок металлического Zn; 4) образуется пленка Sn («оло- вянное зеркало»)
117 Деревянистое олово (колло- морфный касси- терит); SnO_2				

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1955] (2)	Отличительные диагностические признаки
Изометричные и таблитчатые зерна; в скрещенных николях	Реликтовый минерал в окисленных и полуокисленных сульфидных рудах	1) 2,74 (10), 2,53 (9), 1,720 (8)	От рутила отличается более слабыми внутренними рефлексами, от магнетита — эффектом анизотропии, двойниковым строением
Псевдоморфозы по ильмениту, анатазу, брукиту, перовскиту, сфену; неправильные мелкие скопления скрытокристаллического строения в гидротермально измененных породах; под биноклем	То же		Сильные внутренние рефлексы, форма выделений; спектральный анализ на Ti
олова			
Аллотриоморфнозернистые агрегаты; в скрещенных николях	Реликтовый минерал в окисленных сульфидных рудах	1) 3,12 (10), 1,911 (10), 1,634 (10)	От энаргита, люцонита отличается зеленым оттенком; от блеклых руд — анизотропией и микротвердостью; реакция на Sn и Fe; парагенезис
Изометричные кристаллы дипирамидального и призматического облика, коллоидные выделения в окисленных и полуокисленных касситерит-станий-сульфидных рудах; в скрещенных николях	Касситерит-реликтовый гипогенный минерал; деревянистое; олово-гипергенный минерал в окисленных оловянно-сульфидных рудах	1) 1,758 (8), 1,079 (7), 1,213 (6), для касситерита	Низкое отражение, зональное строение зерен и реакция на Sn отличаются SnO ₂ от TiO ₂

№ п/п Минерал: химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двутраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель; время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
---	--	--	--	---

Минералы

118 Настуран или урановая смо- лка UO_2 ; U 86,8; кубич. (скрытокри- стал.)	1) 11,6—16,8 (ПС); 2) нет; 3) серый, иног- да с буроватым оттенком	1) Изотропен; 2) нет	1) 4—6; 2) 4710—7240 (ГС), 4640— 7270 (ПС); 3) посредствен- ное	1) отпечаток на U; 2) HNO_3 (1:1), эксп. 1—3 мин; 3) $K_4Fe(CN)_6$ 5 %-ный; 4) коричневое
119 Урановая чернь UO_2 ; U 7,7—34; аморфный	1) 6—11; 2) нет; 3) серый до темно-серого с буроватым оттенком	1) Изотропен; 2) слабые бу- ровато-желтые, зеленовато-бу- рые	1) 1—4; 2) 200—2000; 3) плохое	

Минералы молибдена;

120 Молибденит MoS_2 ; Mo 59,94, S 40,06; гексагон.	1) 44—15 (Вл), 43—15 (Э); 2) очень силь- ное; 3) белый, серо- белый, серый	1) Сильно ани- зотропен (цвет- товой эффект в желтых, си- неватых тонах); 2) нет	1) 1—1,5; 2) 160—190, 170 (БТ), параллельно спайности, 210—280, 230 (БТ), перпен- дикулярно спайности; 3) хорошее	1) Капельная ре- акция на Mo; 2) HNO_3 (1:1) на шлифе; эксп. 5 мин + фильтро- вальная бумага; 3) ксантогенат ка- лия (свежеприго- товленный); 4) фиолетово-крас- ное
121 Повеллит $CaMoO_4$; CaO 28, MoO_3 72; тетрагон.	1) 11 (Вл); 2) очень слабое, нет; 3) серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); изотропен в скрытокристал- лических агре- гатах; 2) сильные, бес- цветные, жел- тые, зеленова- тые	1) 3—4; 2) 2000—3000; 3) полируется хорошо	1) Отпечаток на Mo; 2) HNO_3 (1:1), эксп. 2 мин; 3а) $K_4Fe(CN)_6$ (мешают Fe и Cu); 3б) ксантогенат калия свежеприго- товленный; 4а) коричневое; 4б) фиолетово- красное

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
урана			
Реликты корковых почковидных, колломорфных агрегатов с радиальными и концентрическими трещинами в окисленных сульфидных рудах; под бинокуляром	Реликтовый минерал в зоне окисления ураносульфидных руд	1) 1,903 (10), 1,629 (10), 3,121 (9), рентгеноаморфный	Натечные формы агрегатов и реакция на U; сильно радиоактивен
Корки, землистые массы, прожилки аморфного строения; под бинокуляром	Зона окисления и зона цементации урановых месторождений; настурран, сульфиды, битумы	1) 5,438—5,44 [Гецева Р. В., Савельева К. Т., 1956]	Натечные выделения черного цвета; реакция на U
сера самородная			
Таблитчатые кристаллы, чешуйчатые агрегаты; редко скрытокристаллические агрегаты в виде почек; в зернах фигуры смятия и полисинтетические двойники; в скрепленных николях	Реликтовый минерал; замещается повеллитом, ферримолибдитом, гётитом	1) 2,045 (10), 1,826 (10), 1,534 (10)	Сильное двуотражение и анизотропия, форма индивидов, реакция на Mo; реликты молибденита в псевдоморфозах повеллита и ферримоллибдита
Прожилки, каемки, псевдоморфозы по молибдениту; скрытокристаллический, тонкозернистый; зональное строение зерен выявляется при травлении в HNO ₃ конц. в течение 5 мин	Гипергенный минерал; замещает молибденит и сам замещается гётитом	1) 1,249 (10), 3,11 (9), 1,922 (8); 2) Ne=1,984, No=1,974, Ne-No=0,01	Сильные внутренние рефлексы; реакция на Mo; Люминесцирует желтым или зеленовато-желтым

№ п/п Минерал; химический состав, %; сингония	Отражение R , % (1); двуотраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции- тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
122 Ферримоллиб- дит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times$ $\times 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; MoO_3 61,6, Fe_2O_3 21,3, H_2O 17,2; ромбич., аморфный	1) 10,8; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен, слабо анизо- тропен; 2) сильные, желтые, бурые	1) 1—2; 2) 100—300; 3) плохое	1) Капельная ре- акция на Mo ; 2) HNO_3 конц., эксп. 1—2 мин; 3) ксантогенат ка- лия (свежеприго- товленный); 4) фиолетово- красное; 1а) реакция на Fe ; 2а) HCl (1:1), эксп. 2—3 мин; 3а) KCNS 20 %-ный; 4а) красное
123 Молибдит MoO_3 ; ромбич.	То же	1) Изотропен, слабо анизотро- пен; 2) сильные, желтые	То же	Реакция на Mo (см. ферримоллиб- дит)
124 Сера самород- ная S ; α -сера; ромбич.; β -сера; монокл,	1) 10—15 (Вл); 2) отчетливое; 3) серый	1) Отчетливо анизотропен; 2) сильные бе- лые, светло- желтые	1) 1—2; 2) 240—350 (Л); 3) хорошее, h ниже гипса	1) Прямой отпеча- ток на S оранже- вого цвета; 2, 3) $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{HCl}$, эксп. 1—5 мин

Главные жилы

125 Анкерит, желе- зистый доломит ($\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca}$) CO_3 ; CaO 27,1—29,56, MgO 5,4—17,58, FeO 23,5—6,68, CO_2 42,7—45,64, Mn 1,5; тригон.	1) 7—4; 2) сильное; 3) темно-серый	1) Сильно ани- зотропен; 2) сильные бес- цветные, буро- ватые	1) 3,5—4; 2) 1200—2000, 3500—4900 (Янг, Милл- ман); 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания; 2, 3) минерал+ре- актив: 1 часть HCl (1:20) и 1 часть $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, эксп. 1—2 мин; 4) на поверхности минерала образу- ется пятно синего цвета; слабо вски- пает в HCl (1:20)
---	--	---	---	--

Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаяграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
Корковые, сферолитовые, охристые агрегаты волокнистого и радиально-лучистого строения; наблюдать под бинокуляром	Зона окисления молибденовых месторождений; замещается гётитом	1) 9,56 (10), 8,16 (10), 3,34 (5), 2,76 (5), 2,15 (5) [Исаенко М. П., 1966]; 2) $Np=1,78$, $Nm=1,79\pm$, $Ng=2,04\pm$, $Ng-Np=0,26$	Парагенезис и реакция на Мо и Fe
То же	То же	1) 3,25 (10), 3,80 (8), 3,46 (7)	Реакция на Fe отличается от ферримоллибдита; дебаяграмма
Прожилки, корочки топочернистого сложения	Халькозин, ковеллин, борнит, марказит; в зоне цементации замещает сульфиды	1) 3,85 (10), 3,21 (7), 3,10 (6), 2,85 (6), 2,12 (6); 2) $Np=1,957$, $Nm=1,037$, $Ng=2,245$	Парагенезис, реакция на S
ные минералы			
Зернистые агрегаты; форма зерен ромбоэдри и аллотриоморфная; спайность совершенная по (1011); в скрещенных николях	Реликтовый минерал в окисленных рудах	2) $Ne=1,547$, $No=1,749$, $No-Ne=0,202$	Железистый доломит и анкерит различаются по химическому составу; от сидерита эти минералы отличаются поведением при травлении в HCl (1 : 20)

№ п/п Минерал: химический состав, %: сингония	Отражение R, % (1); двутраже- ние ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1); внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
126 Кальцит CaCO_3 ; CaO 56, CO_2 44; тригон.	1) 6—4 (Вл), 10—5 (Э); 2) сильное; 3) серый	1) Сильно ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные бес- цветные	1) 3; 2) 1200—2020 (БТ); 3) хорошее	1) Реакция окра- шивания; 2, 3) минерал + HCl (1 : 20) + фиолето- вые чернила, эксп. 1 мин; 4) образуется пленка фиолето- вого цвета
126a Арагонит CaCO_3 ; ромбич.	То же	То же	То же	То же
127 Барит BaSO_4 ; BaO 65,7, SO_3 34,3; при- меси Sr, Ca, Fe; ромбич.	1) 4,5—6; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен, слабо анизотро- пен; 2) сильные бес- цветные, зеле- новатые, желто- ватые, голубо- ватые	1) 3—3,5; 2) 1200—2000; 3) хорошее	Спектральный ана- лиз на Ba; 5) не травится стандартными реактивами
128 Кварц SiO_2 ; тригон.	1) 4,5 (Вл, Э); 2) нет; 3) темно-серый	1) Слабо ани- зотропен (ме- шают внутрен- ние рефлексы); 2) сильные, бес- цветные, ра- дужные	1) 7; 2) 10230— 12360, 11350 (Л), 10970— 11680, 11350 (БТ); 3) хорошее	5) Не травится стандартными реактивами
129 Опал, халцедон $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; H_2O 4—9, SiO_2 96—91; аморфный, скрытокри- стал.	1) 3—4; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные, молоч- но-белые, буро- ватые	1) 5—6,5; 2) 5500—8000; 3) хорошее	То же

(2); (5)	Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаграммы по В. Н. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
а- НС1 о- сп.	Корки, прожилки, редко кристаллы; характерны тонкопластинчатые двойники в зернах; в скрещенных николях	Реликтовый и гипергенный минерал в окисленных сульфидных рудах	1) 3,029 (10), 1,044 (10), 1,869 (9); 2) $N_e=1,486$, $N_o=1,658$, $N_o-N_e=0,172$	Сильное двуотражение, сильные внутренние рефлексы, бурное травление в кислотах, реакция окрашивания; полисинтетические двойники
	То же	То же	1) 1,971 (10), 3,391 (9), 1,738 (9)	От кальцита отличается реакцией окрашивания в растворе нитрата кобальта; дебаграммой
на-	Индивиды таблитчатого, редко призматического, столбчатого, изометрического облика; корки, друзы, сталактиты, плотные агрегаты; зернистые, скрытокристаллические; спайность по (001) совершенная; характерны треугольники выкрашивания	Реликтовый и гипергенный минерал в зоне окисления	1) 2,106 (10), 3,058 (8), 3,456 (6); 2) $N_g=1,648$, $N_m=1,637$, $N_p=1,636$, $N_g-N_p=0,012$	От кварца отличается меньшей твердостью; не растворим в кислотах
	Аллотриоморфиозернистые агрегаты, кристаллы призматического габитуса, шестигранники в сечениях	Реликтовый, редко гипергенный минерал в сульфидных окисленных рудах	α-кварц 1) 3,34 (10), 1,813 (9), 1,539 (9); 2) $N_e=1,533$, $N_o=1,544$, $N_o-N_e=0,011$	Сильные рефлексы, высокая твердость; очень низкое отражение; шестигранные сечения кристаллов
	Натечные агрегаты, почки, корочки коллоидного и скрытокристаллического строения	Гидроокислы Fe, Mn, каолинит и др.	2) $N=1,433$, до 1,456	От кварца отличается формой выделений и оптическими свойствами в проходящем свете

№ п/п Минерал: химический состав, %: сингония	Отражение R, % (1); двуотраже- нии ΔR (2); цвет (3)	Эффект анизотропии (1): внутренние рефлексы (2)	Твердость по шкале Мооса (1); микротвердость МПа (2); поведение при полировании, относительный рельеф h (3)	Микрохимические реакции: тип реакции (1); растворитель, время экспозиции (2); проявитель (3); окрашивание (4); реакция травления (5)
130 Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; моноклин.	1) 3—4; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные	1) 2; 2) 410—750, 580 (Л); 3) плохое,	То же
131 Каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \times$ $\times 2\text{H}_2\text{O}$; Al_2O_3 39,5, SiO_2 46,5; H_2O 14; моноклин.	1) 3—5; 2) нет; 3) темно-серый	1) Изотропен; 2) сильные бес- цветные, желто- ватые, бурова- тые	1) 1—2; 2) 100—600; 3) плохое	В растворе мети- леновой голубой краски окрашива- ется в фиолетовый цвет в течение 20 мин

(2); (5)		Форма и внутреннее строение агрегатов и зерен; методы их выявления	Ассоциация; парагенезис	Главные линии дебаеграммы по В. И. Михееву [1957] (1); показатель преломления минералов по Е. Ларсену [Ларсен Е., Берман Г., 1965] (2)	Отличительные диагностические признаки
		Прожилки, гнезда; тон- козернистый, волокни- стый, пластинчатый	Ярозит, гидро- окислы Fe, Mn, кальцит, анги- дрит, халькан- тит, меланте- рит и др.	1) 4,29 (10), 2,87 (7), 3,06 (6); 2) $Np=1,520$, $Nm=1,523$, $Ng=1,530$, $Ng-Np=0,010$	Необходимо изучение в прозрачных шлифах
а- й а- вый		Скрытокристаллические, тонкочешуйчатые массы образуют псевдоморфозы по алюмосиликатам; в электронном микроскопе форма чешуек таблитча- тая	Ярозит, гидро- окислы Fe, Mn, малахит, азу- рит, гипс, ско- родит, куприт, кальцит, анги- дрит и др.	2) $Np=1,561$, $Nm=1,565$, $Ng=1,566$, $Ng-Np=0,005$	Минерал определяется в проходящем свете и под электронным микроско- пом; необходимы термо- граммы и химический анализ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акопян Е. А. Минералогия зоны окисления главнейших медно-молибденовых месторождений Армении. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1960.

Амирасланов А. А. Минералогическая характеристика месторождений Урала и вторичные процессы в них.— Тр. ВИМС, 1937, вып. 121.

Бауи С. Х. У., Тейлор К. Определитель рудных минералов.— В кн.: Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии, т. 8. М., 1959, с. 101—183.

Билибинскит $\text{Au}_3\text{Cu}_2\text{PbTe}_2$ — новый минерал золото-теллуридных месторождений/Э. М. Спиридонов, М. С. Безсмертная, Т. Н. Чвилева, В. В. Безсмертный.— Зап. Всесоюз. минер. о-ва, ч. с. VII, вып. 3—4. 1978, с. 310—315.

Виноградов В. Н. Экономическая оценка комплексного минерального сырья. М., Недра, 1978.

Витовская И. В. Новые данные по минералогии зоны окисления месторождения Акчагыл в Центральном Казахстане.— В кн.: Кора выветривания. Вып. 3. М., 1960, с. 74—116.

Гаррелс Р. Минеральные равновесия. Перевод с английского. М., Изд-во иностр. лит., 1962.

Гинзбург И. И., Ольшанский Я. И., Беляцкий В. В. Экспериментальные исследования по окислению сульфидов.— Тр. ИГЕМ, 1961, вып. 59, с. 130—131.

Гипергенные окислы железа. М., Наука, 1975.

Гецева Р. В., Савельева К. Т. Руководство по определению урановых минералов. М., Госгеолтехиздат, 1956.

Годовиков А. А. Минералогия. М., Недра, 1975.

Деды В. Ю. Зоны окисления месторождения Кальмакыр. Ташкент, ФАН, УзССР, 1971.

Евсеева Л. С., Перельман А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М., Атомиздат, 1962.

Елисеев Э. Н. Зона окисления сульфидных медно-никелевых руд.— Тр. Лабор. геол. докембрия, 1961, вып. 10, с. 286—292.

Зонтов Н. С. О зоне окисления вюрмского времени в Норильском месторождении медно-никелевых сульфидных руд.— Изв. АН СССР, т. 129, № 2, 1959, с. 405—407.

Иванов О. П. Основные факторы развития зон окисления сульфидных месторождений в условиях многолетней мерзлоты.— Геохимия, 1966, № 9, с. 1095—1105.

Иванова В. П. Термограммы минералов.— Зап. Всесоюз. минер. о-ва. Вторая серия, ч. 90, вып. 1, 1961, с. 50—90.

Иванова В. П. Термограммы минералов зоны окисления полиметаллических месторождений.— Материалы ВСЕГЕИ. Новая серия, вып. 45. Минер. сб. № 2, 1961, с. 133—147.

Ильинский Г. А. Определение микротвердости минералов методом вдавливания. Л., Изд-во ЛГУ, 1963.

Исаенко М. П. Определитель текстур и структур руд. М., Недра, 1964; 1975.

Исаенко М. П. Минералы молибдена в рудах медно-молибденовых месторождений Малого Кавказа.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1966, № 2, с. 38—52.

Исаенко М. П., Ву Нгюк Хай. Главнейшие минеральные ассоциации в окисленных медно-молибденовых рудах месторождения Каджаран (Армянская ССР).— Изв. вузов. Геология и разведка, 1969, № 7, с. 42—49.

Исаенко М. П., Боришанская С. С., Афанасьева Е. Л. Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. М., Недра, 1972; 1978.

Исаенко М. П., Афанасьева Е. Л., Боришанская С. С. История создания современных таблиц для диагностики рудных минералов в отраженном свете.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1977, № 12, с. 163—167.

Изучение зон окисления сульфидных месторождений/Н. А. Цыкункова, В. Н. Дубинина, И. А. Корнилович, Н. А. Читаева. Л., Недра, 1969.

Комбинированные методы переработки окисленных и смешанных медных руд/С. И. Митрофанов, Р. Б. Новик, А. В. Курочкина и др. М., Недра, 1970.

Кротов Б. П. Дифференциация элементов при выветривании. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Кэмерон Ю. Н. Рудная микроскопия. М., Мир, 1966.

Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. М., Недра, 1965.

Лебедева С. И. Микротвердость минералов. М., Недра, 1977.

Ляликова Н. Н. Роль бактерий в окислении сульфидных руд.— Тр. Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, вып. 9, с. 134—143.

Минералы. Справочник/Под ред. Ф. В. Чухрова. М., Изд-во АН СССР: т. I, 1960; т. II, вып. 1, 1963; т. II, вып. 2, 1965; т. II, вып. 3, 1967.

Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957.

Мовсисян С. А., Исаенко М. П. Комплексные медно-молибденовые месторождения. М., Недра, 1974.

Молчанов В. И., Юсупов Т. С. Физические и химические свойства тонкодисперсных минералов. М., Недра, 1979.

Осетров О. А. Развитие зоны окисления колчеданно-полиметаллических месторождений в условиях карста на примере Верхнеартинского месторождения.— В кн.: Сб. науч. трудов Цветметзолото, 1961, № 34, с. 42—48.

Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений/В. М. Крейтер, В. В. Аристов, И. С. Волюнский, А. Н. Крестовников, В. В. Кувичинский, М., Госгеолтехиздат, 1958.

Прахова Е. В. К минералогии и геохимии железных шляп колчеданных месторождений Урала, Мугоджар.— Тр. Горно-геол. ин-та. Уральский филиал АН СССР, вып. 35, минер. сб. 4, 1960, с. 209—263.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962.

Росляков Н. А. Методы картирования и оценки выходов сульфидных руд на примере Тушканинского месторождения.— Геология и геофизика, 1960, № 9, с. 62—67.

Росляков Н. А., Рослякова Н. В. Метод крупномасштабного картирования зоны окисления сульфидных месторождений Западного Алтая.— В кн.: Геология и геохимия рудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1965.

Росляков Н. А. Зоны окисления сульфидных месторождений Западного Алтая. Новосибирск, Наука, 1970.

Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., Изд. Ленинград. ун-та, 1967.

Синдеева Н. Д., Куликова М. Ф. Редкие элементы в зоне окисления сульфидных месторождений.— Тр. ИМГРЭ, 1963, вып. 10, с. 268—290.

Систематика минералогии. Т. 2/Дж. Д. Дэна, Э. С. Дэна, Г. Берман и др. М., Изд-во иностр. лит., 1953. 773 с.

Смирнов В. И. Лимониты зоны окисления полиметаллических месторождений.— Тр. МГРИ, № 23, 1948, с. 256—273.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. 2. М., Изд-во Моск. ун-та, 1957.

Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1969.

Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1951.

Смолянинов Н. А., Синегуб Е. С. Определитель гипергенных минералов. М., Госгеолиздат, 1950.

Современные методы минералогического исследования. Части I, II/Коллектив авторов. М., Недра, 1969.

Спиридонов Э. М., Чвилева Т. Н. Богдановит $Au_5(Cu, Fe)_3(TePb)_2$ — новый минерал из группы интерметаллических соединений золота.— Вестн. Моск. ун-та. Сер. геология, 1979, № 1, с. 44—52.

Тананаев Н. А. Капельный метод. М., Свердловск. ГОНТИ, 1939.

Тарасенко В. С., Бойко Д. Д., Полканов Ю. А. О номенклатуре продуктов гипергенного изменения ильменита.— В кн.: Основные понятия минералогии. Киев, 1978, с. 97—100.

Татарский Б. В. Кристаллооптика и иммерсионный метод. М., Недра, 1965.

Таужнянская З. А. Технология извлечения окисленного молибдена в СССР и за рубежом. М., ЦИИНЦветмет, 1976.

Файгель Ф. Капельный анализ. М., ОНТИ, 1937.

Хрущов М. М. О выборе основного метода определения твердости минералов.— Заводская лаборатория, 1947, № 9, с. 1121—1128.

Чухров Ф. В. О выветривании ярозитов.— Докл. АН СССР, т. XXIII, № 3, 1939, с. 255—256.

Чухров Ф. В. Мельниковит.— В кн.: Минералы СССР, т. II. М.—Л., 1940, с. 647—650.

Чухров Ф. В. Новые данные о галогенидах серебра в рудных месторождениях Казахстана.— Докл. АН СССР, т. XXVII, № 3, 1940, с. 244—246.

Чухров Ф. В. Некоторые общие вопросы генезиса галогидных минералов серебра.— Докл. АН СССР, т. XXVII, № 7, 1940, с. 697—700.

Чухров Ф. В. О миграции золота в зоне окисления.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 4, с. 117—126.

Чухров Ф. В. Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана. М., Изд-во АН СССР, 1950.

Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Шадлун Т. Н. Минералогия зоны окисления колчеданного месторождения Блява на Южном Урале.— Тр. ИГН, вып. 96. М., 1948.

Шахов Ф. Н. Морфологические черты зоны окисления.— В кн.: Вопросы геологии рудных месторождений Западной Сибири. Новосибирск, 1960, с. 3—42.

Штеренберг Л. Е. К диагностике карбонатных минералов методом окрашивания.— Литология и полезные ископаемые, 1965, № 2, с. 184—185.

Щербина В. В. Геохимическая эволюция зоны окисления сульфидных месторождений.— В кн.: Международный геологический конгресс, XXI сессия. Докл. сов. геологов. Проблема I, 1960, с. 78—83.

Щербина В. В. Поведение некоторых редких и рассеянных элементов в зоне гипергенеза.— Советская геология, 1962, № 6, с. 94—103.

Щербина В. В. Основы геохимии. М., Недра, 1972.

Эммонс В. Вторичное обогащение рудных месторождений. М.—Л., ОНТИ, 1935.

Юшкин Н. П. Механические свойства минералов. Л., Наука, 1971.

Юшко С. А. Методы минералогического исследования окисленных руд. М., Недра, 1973.

Яхонтова Л. К. Экспериментальное изучение окисления арсенидов кобальта и никеля в растворах, содержащих кислород и угольную кислоту.—Геохимия, 1958, № 1, с. 70—80.

Oelsner O. Atlas der wichtigsten mineral paragenesen im mikroskopischen Bild. Freiberg, 1961.

Physical methods in determinative Mineralogy. Ed. by J. Lussman. London, Academic Press, 1967.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Минерал	Номер минерала в описательных таблицах	Номер определенной таблицы	Координаты минерала	
			R, %	H, МПа×10
Азурит	41	I	10	190
Акантит	50	I	36	24
Алтаит	48	I	60	50
Англезит	67	I	9	120
Анкерит, железистый доломит	125	I	7	160
Аннабергит	103	I	7	95
Антимонит (стибнит)	76	I	44	86
Арагонит	126a	I	6	160
Аргентит	50	I	36	24
Арсенопирит	88	I	54	1094
Асболоан	22	II	25	95
Атакамит	40	II	9	140
Аурипигмент	89	I	26	30
Аурихальцит	44	II	6	100
Барит	127	I	4	200
Биберит	111	II	4	28
Биндгеймит	66	II	9	200
Бисмит	95	I	16	20; 200
Бисмутит (висмутовая охра)	96	I	15	300
Богдановит	91	II	14	250
Борнит	36	I	23	120
Бравойт	101	II	50	740
Брошантит	43	II	8	180
Валентинит	82	I	15	80
Ванадинит	61	II	17	100
Виоларит	102	II	38	458
Висмут самородный	93	II	68	18
Висмутин	94	I	48	110
Вольфит	71	II	12	200
Вульфенит	60	II	17	100; 180
Вюртцит	69	I	17	200
Галенит	49	I	44	77
Гематит	4	I	127	1000
Гетерогенит	109	II	9	20; 280
Гётит	9	I	18	554
Гидрогематит	5	I	24	500
Гидрогётит	10	I	17	305
Гидроцинкит	74	II	5	60
Гипс	130	I	3	57
Глёт	58	I	18	30
Гринюкит	70	II	19	75
Данхемит	51	II	22	13
Деклаузит	55	I	16	350
Делафоссит	35	II	22	530
Деревянистое олово	117	I	12	1100
Джарлент	28	I	32	84
Дигенит	38	II	19	75
Золото самородное	86	I	84	50
Ильменит	113	I	18	640
Каламин	75	I	5	500
Каломель	80	II	10	20
Кальцит	126	I	6	160
Каолинит	131	I	5	45
Касситерит	116	I	12	1100
Кварц	128	I	4,5	1135
Кераргирит	64	II	12	22

Минерал	Номер минерала в описательных таблицах	Номер определенной таблицы	Координаты минерала	
			R, %	H, МПа×10
Кермезит	81	II	27	60
Киноварь	79	I	85	78
Кировит	15	II	4	65
Кобальтин	106	I	56	1200
Ковеллин	34	I	20	70
Коронадит	19	II	32,5	760
Крокоит	52	II	20	120
Куприт	33	I	27	200
Лампадит	21	II	25	95
Лейкоксен	114	I	10	800
Лепидокрокит	8	I	22	724
Линнеит	107	I	47	510
Литаргит	58	I	18	30
Маггемит	7	II	25	400; 946
Магнетит	6	I	21	560
Малахит	39	I	10	130
Манганит	20	II	19	410
Марказит	2	I	52	930
Массикот	57	II	20	30
Медь самородная	25	I	83	134
Мелантерит	14	I	4	30
Мельниковит	12	I	10	40
Мёрдокит	54	II	17	590
Миллерит	100	I	54	250
Метастибнит	77	II	40	85
Миметезит	62	I	13	155
Мишнум	59	I	20	20?
Молибденит	120	I	44	20
Молибдит	123	II	8	28
Монгеймит	73	I	9	410
Монтрамит	56	I	16	400
Моренозит	104	II	4	50
Мышьяк самородный	87	II	62	63; 123
Настуран (урановая смолка)	118	I	15	720
Никелин	97	I	69	420
Оливинит	42	II	8	130
Опал, халцедон	129	II	4	800
Пентландит	99	I	53	220
Пизанит	16	II	4	65
Пирит	1	I	54,5	1165
Пиrolюзит	17	I	40	20; 210; 1300
Пироморфит	65	II	12	150
Пирротин	3	I	42	260
Платтнерит	53	I	17	570
Плюмбозит	13	I	8	210
Повеллит	121	I	11	250
Псиломелан	18	I	35	20; 572
Реальгар	90	I	20	54
Родонит	24	I	6,7	800
Родохрозит	23	I	9	175
Руть самородная	78	—	—	—
Рутил	112	I	24	1200
Сенармонтит	85	I	10	65
Сера	124	II	15	30
Сервантит	84	I	12	400
Серебро самородное	47	I	95	53
Сидерит	11	I	9	200
Скородит	92	I	8	247
Смальтин	105	I	60	650
Смитсонит	72	I	9	410

Продолжение

Минерал	Номер минерала в описательных таблицах	Номер определятельной таблицы	Координаты минерала	
			R, %	H, МПа×10
Станнин	115	I	28	220
Стеннерит	110	II	9	20
Стибиоконит	85	I	7	400
Сфалерит	68	I	18	200
Теннантит	30	I	28	340
Тенорит	35	I	22	236
Тетраэдрит	29	I	30	370
Урановая чернь	119	II	11	27; 380
Ферримолибдит	122	I	8	28
Халькантит	45	I	6	38
Халькозин	27	I	32	84
Халькопирит	26	I	44	205
Хлоантит	98	I	60	400
Хризokolла	46	I	4	100
Церуссит	63	I	12	200
Штрoмeйepит	31	II	27	41
Энаргит	32	I	27	250
Эритрин	108	I	8	100
Ярозит	13	I	8	210

Пре

Г л а

Г л а

Г л а

Г л а

Г л а

Г л а

Г л а

Опр

Опр

Опи

Спи

Алф

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Вещественный состав окисленных и полуокисленных руд сульфидных месторождений	5
Глава II. Текстуры и структуры окисленных руд	13
Глава III. Парагенетический и текстурно-структурный анализ окисленных медно-молибденовых руд	24
Глава IV. Морфологические виды сростаний гипогенных и гипергенных рудообразующих минералов, неблагоприятных для обогащения	30
Глава V. Методы изучения вещественного состава окисленных руд	42
Глава VI. Атлас таблиц для определения гипергенных и реликтовых гипогенных рудообразующих минералов	59
Определительная таблица I. Главные и второстепенные минералы	62
Определительная таблица II. Редкие и очень редкие минералы	64
Описательные таблицы	66
Список литературы	128
Алфавитный указатель минералов	132

Евгения Лукьяновна Афанасьева
Мария Прокофьевна Исаенко

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ
ГИПЕРГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ
ОКИСЛЕННЫХ
СУЛЬФИДНЫХ РУД
В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Редактор издательства Р. В. Добровольская
Обложка художника Ю. Г. Асафова
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технический редактор А. Г. Иванова
Корректор Т. В. Чирикова
ИБ № 3785

Сдано в набор 19.08.80. Подписано в печать 16.02.81. Т-05601 Формат 70×100^{1/16}. Типографская бумага № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 10,97. Уч.-изд. л. 10,33
Тираж 3000 экз. Заказ 587/8015—14. Цена 55 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»