

М.П.ИСАЕНКО, С.С.БОРИШАНСКАЯ, Е.Л.АФАНАСЬЕВА

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ главнейших минералов руд в отраженном свете

М. П. ИСАЕНКО, С. С. БОРИШАНСКАЯ, Е. Л. АФАНАСЬЕВА

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ
ГЛАВНЕЙШИХ МИНЕРАЛОВ РУД
В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

355



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1972

**Определитель главнейших минералов руд
в отраженном свете.**

Исаенко М. П., Боришанская С. С., Афанасьева Е. Л. М., «Недра», 1971, 144 стр.

Настоящая книга — справочное и методическое пособие по рудной микроскопии. Работа состоит из двух частей. В первой части приводится краткое описание основных методов диагностики рудообразующих минералов: качественного и количественного определения отражательной способности, твердости, цвета, анизотропии, внутренних рефлексов, магнитности, микрохимического и парагенетического анализов руд. Вторая часть состоит из определительных и справочных таблиц, в которых сведены данные о диагностических свойствах для 250 минералов. Таблицы „Определителя” обеспечивают микроскопическую диагностику рудообразующих минералов.

Таблиц 89, иллюстраций 32, библиография — 79 названий.



ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития науки и технического прогресса в СССР важной задачей является комплексное использование руд с бедным содержанием металлов и максимальное сокращение потерь полезных ископаемых при их добыче и переработке.

Рудная микроскопия — изучение рудных минералов в отраженном свете — применяется для определения минерального состава, строения руд и их концентратов. Это один из главных методов, с помощью которого минералог, горный инженер-геолог и обогатитель наиболее эффективно исследуют руды и организуют их обогащение. Рудная микроскопия особенно действенна в сочетании с такими методиками исследования минералов, как рентгеноструктурный, спектральный и химический анализы.

Главная цель «Определителя» — познакомить исследователей руд с вопросами диагностики рудных минералов и с методикой работы с набором специальных таблиц, с помощью которых можно точно определить минерал. Книга дополняет существующие учебники и справочники по рудной микроскопии (С. А. Вахромеев, 1956; И. С. Волинский, 1947, 1949, 1966; П. Рамдор, 1962; С. А. Юшко, 1966; О. Эльснер, 1961 и др.).

В первой части «Определителя» кратко рассматриваются главные методы количественного и качественного определения свойств рудных минералов в отраженном свете. В отдельной главе охарактеризованы типоморфные минеральные ассоциации руд различных генетических типов месторождений полезных ископаемых с целью показать начинающему исследователю важное диагностическое значение парагенетических минеральных ассоциаций. В работе приведены примеры детального описания рудных минералов молибдена на основе фактических материалов многолетних минералогических исследований руд медно-молибденовых месторождений Армянской ССР.

Во второй — основной части «Определителя» — помещены определительные и диагностические таблицы минералов. Определительные таблицы составлены в системе координат по главным количественным константам минералов. Такая схема построения таблиц была впервые предложена английскими исследователями Бауи С. Х. У и Тейлором К. (1959). На таблицах рудные минералы размещены по значениям отражательной способности и твердости по микровдавливанию. По оси ординат отложена величина отражательной способности в процентах, по оси абсцисс — число микротвердости в $кГ/мм^2$. На таблицах показаны и другие свойства рудных минералов: эффект анизотропии, внутренние рефлексы, данные диагностического травления, форма и строение минеральных индивидов.

В диагностических таблицах для каждого минерала приводятся следующие основные данные: название, формула, сингония, отражатель-

ная способность в процентах, двуотражение, цвет, эффект поляризации, внутренние рефлексы, твердость (по Моосу, микротвердость), данные диагностического и структурного травления, качественные микрохимические реакции, форма и внутреннее строение выделений, парагенезис, дебаграмма, отличительные признаки. На основе этих данных можно точно определить минерал.

Предлагаемое пособие составлено группой сотрудников кафедры полезных ископаемых МГРИ и научного сектора МГУ в итоге многолетней педагогической и исследовательской деятельности в области геологии полезных ископаемых и рудной микроскопии. Общее руководство работой выполнено доктором геолого-минералогических наук, профессором М. П. Исаенко.

Авторы выражают искреннюю благодарность доценту МГУ И. С. Бородаеву за ряд ценных замечаний, которые были учтены при подготовке рукописи к печати.

ЧАСТЬ I

ГЛАВНЕЙШИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

При диагностике рудного минерала под микроскопом в отраженном свете применяется комплекс методов, с помощью которых изучаются его физические и химические свойства.

Физические свойства рудного минерала подразделяются на две группы:

1) оптические свойства (цвет, отражательная способность, двуотражение, эффект поляризации, внутренние рефлексии);

2) собственно физические свойства (твердость, магнитность, кристалломорфные особенности).

Химические свойства рудного минерала изучаются двумя микрохимическими методами: с применением диагностического и структурного травления и качественным микрохимическим анализом. Изучение рудного минерала с целью его диагностики всегда начинается с определения оптических и физических свойств, из которых главные — отражательная способность и твердость, а также выборочно применяются микрохимические методы. В «Определителе» рекомендуется широко использовать дополнительный диагностический признак минералов — парагенезис.

Глава I

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

При работе с набором таблиц с целью диагностики рудных минералов определяются следующие оптические свойства: цвет, отражательная способность, двуотражение, эффект поляризации и внутренние рефлексии.

ЦВЕТ

Цвет рудного минерала в отраженном свете — важный диагностический признак. Он зависит от показателя преломления минерала и коэффициента абсорбции или от дисперсии отражательной способности. Если минерал для определенной длины волны имеет наибольшее значение отражательной способности, чем для других длин волн монохроматического света, то этот минерал в отраженном свете будет обладать цветом или оттенком, соответствующим характерной волне. Например, наибольшая величина отражательной способности 23,7% в воздухе для

ковеллина измерена в синем свете, наибольшая величина отражательной способности 44,4% в воздухе для халькопирита измерена в оранжевом свете (см. рис. 1, табл. 1).

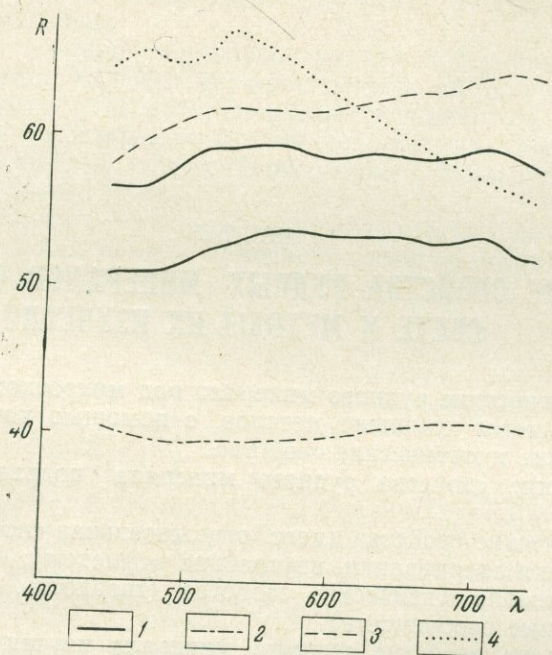


Рис. 1. Кривые дисперсии отражательной способности. Кафанское месторождение. Образцы Е. Л. Афанасьевой. Замеры Л. Н. Вяльсова
 1 — тетрадимит (цвет серо-белый с розовым оттенком);
 2 — гессит (цвет серо-белый с синеватым оттенком);
 3 — теллуросмугит (цвет белый с розовым оттенком);
 4 — аллант (цвет белый с зеленоватым оттенком)

Цвет минерала под микроскопом в отраженном свете можно определять двумя методами: 1) качественно по сравнению с цветом минерала-эталоны в белом свете и 2) количественно по наибольшей величине отражательной способности, измеренной для различных длин волн монохроматического света. Визуально цвет минерала определяется по сравнению с цветом окружающих минералов на рудном или сравнительном микроскопе. Обычно цвет исследуемого минерала сравнивается с цветом эталонов — галенита, сфалерита, халькопирита, пирита. С галенитом сравниваются все минералы, со сфалеритом — минералы с отражательной способностью меньше, чем у сфалерита. При этом устанавливается цветной оттенок минерала. Определение цвета представляет большую трудность для начинающего исследователя. Точность визуального определения цвета минерала приобретает после значительной практики и требует очень опытного глаза. Чем больше работает исследователь с аншлифами, тем лучший он диагност. Каждый наблюдатель должен давать свое собственное описание цвета минерала. Глаз человека обладает большой чувствительностью к очень слабым различиям цвета и яркости двух объектов, расположенных рядом.

По цвету рудные минералы в отраженном свете делятся на две группы: 1) бесцветные и слабоокрашенные; 2) ясноокрашенные. К бесцветным относится подавляющая масса рудных минералов. Цвет их белый, светло-серый и серый. Эталоны бесцветных минералов являются следующие: галенит — цвет белый; сфалерит — серый; шее-

Стандартная таблица 1

Минерал, химический состав, сингония	Число микро- твердости ² , кг/мм ²	λ_{nm}	Монохрома- тический свет	Отражательная способность, %				Примечание
				в воздухе		в масле		
				R_p	R_g	R_p	R_g	
Халькопирит CuFeS ₂	186—219 194	470 546 ⁴	Синий зеленый	43,5—43,7 42,9—43,3	43,7—43,9 43,9—44,2	32,2—32,4 32,4—32,6	32,3—32,6 32,5—32,8	$R_p=0$
тетраг.	c ³	589 650	оранжевый красный	43,9—44,2 39,8—44,1	44,2—44,4 44,0—44,2	34,2—34,5 34,7—35,0	34,4—34,8 35,3—35,6	$R_g=E$
Хромит (Mg, Fe) (Cr, Al, Fe) ₂ O ₄	1195—1210 1206 (300 г)	470 546 589 650	Синий зеленый оранжевый красный	14,0—14,4 13,8—14,2 11,0—11,5 10,8—11,4	5,3—5,5 5,2—5,4 3,5—3,7 3,4—3,6			
кубич.	c							
Ковеллин CuS	69—78 72	470 546 589 650	Синий зеленый оранжевый красный	7,7—8,1 7,0—7,4 6,7—7,1 6,6—7,0	23,1—23,7 22,1—22,7 21,5—22,1 20,9—21,5	2,0 2,0 5,1—5,3 6,4—6,6	9,4—9,6 8,8—9,2 17,8—18,2 20,6—21,0	$R_p=0$ $R_g=E$
гексаг.	ст, вг, вп							
Стибнит Sb ₂ S ₃	42—109 77	450 546 589 650	Синий зеленый оранжевый красный	32,9—33,3 32,5—33,1 28,1—28,7 26,3—26,9	42,8—43,4 42,6—43,2 38,4—39,0 36,2—36,8	26,8—27,2 26,5—26,9 22,4—22,8 22,3—22,7	36,9—37,3 36,7—37,1 32,0—32,2 32,3—32,7	
ортогон.	c							

¹ Принята в 1964 г. Международной комиссией рудной микроскопии при Международной минералогической ассоциации.

² По Викерсу величина груза 100 г; экспозиция вдавливания 15 сек.

³ Форма отпечатка вдавливания: с—совершенная; ст—слабо трещиноватая; т—трещиноватая; вг—вогнутая; вп—выпуклая.

⁴ Для 546 нм значения должны быть приведены обязательно.

лит — темно-серый; кварц — темно-серый. Слабоокрашенные минералы — это бесцветные минералы со слабыми оттенками бледных пастельных тонов: голубоватые, желтоватые, розоватые, коричневатые, зеленоватые. Оттенок цвета минерала определяется на фоне галенита или в иммерсии. Слабоокрашенные минералы имеют меньшее распространение по сравнению с бесцветными.

Группа ясноокрашенных, или цветных, минералов самая небольшая. Цвет ясноокрашенных минералов легко устанавливается под микроскопом. Выделяются минералы желтого, розового и синего цвета. Эталонами ясноокрашенных минералов являются следующие: халькопирит — цвет желтый; борнит свежеотполированный — 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 цветной оттенок резко усиливается.

Факторы, влияющие на определение цвета минералов. Для определения цвета минерала под микроскопом необходимо соблюдать следующие условия.

1. Установка микроскопа: выключают анализатор, хорошо центрируют освещение микроскопа, лампе сообщается полный накал, широко раскрывают обе диафрагмы, вставляют слабые объективы ($4,7\times$ и $9\times$); желательно установить стеклянную пластинку в оплке.

2. В поле зрения микроскопа помещают хорошо отполированные и чистые поверхности исследуемого минерала и эталона или исследуемого минерала и известного минерала.

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Отражательной способностью называется свойство полированной поверхности минерала отражать определенное количество падающего на него света. Отражательная способность наблюдается без анализатора. Рудные минералы сильно отражают свет и выглядят в полированном шлифе светлыми, яркими. Наоборот, жильные минералы слабо отражают свет и кажутся поэтому серыми, темно-серыми. Яркость рудных минералов в полированном шлифе не одинакова, потому что у них разная отражательная способность. Численное значение отражательной способности называется коэффициентом отражения и обозначается символом R .

Наиболее яркими, блестящими выглядят самородные металлы, арсениды, антимониды, теллуриды с высокой отражательной способностью ($R > 60\%$). Менее яркими, но очень светлыми выглядят сульфиды со средней отражательной способностью ($R 30-60\%$). Окислы выглядят светло-серыми и серыми, средняя и низкая отражательная способность ($R 10-30\%$). Нерудные минералы (силикаты, карбонаты, окислы, сульфаты) — темно-серые в полированных шлифах, у них очень низкая отражательная способность (например, R кварца 4%).

Отражательная способность рудного минерала равна отношению интенсивности света, отраженного минералом (I_r), к интенсивности света, падающего на него (I_i), и выражается в процентах:

$$R = \frac{I_r}{I_i} \%$$

Показатель отражения R зависит от показателя преломления минерала и показателя преломления среды (воздуха или иммерсионного

масла) — между минералом и фронтальной линзой объектива, а также от коэффициента поглощения.

Для изотропных и аморфных прозрачных минералов величина R может быть вычислена по формуле Френеля

$$R = \frac{(n-n^0)^2}{(n+n^0)^2} \text{ или } R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2},$$

где n — показатель преломления минерала;
 n^0 — показатель преломления среды (в воздухе $n=1$, в кедровом масле $n=1,516$).

Для изотропных абсорбирующих минералов

$$R = \frac{(n-n^0)^2 + K^2}{(n+n^0)^2 + K^2},$$

где K — коэффициент абсорбции¹ минерала.

Чем выше значение n и K минерала, тем больше его отражательная способность.

Большое значение R обуславливается либо высокими значениями показателя абсорбции (например, для серебра), либо высокими показателями преломления (например, галенит), либо одновременно большими значениями обоих показателей минерала.

Отражательная способность минерала в воздухе выше, чем в масле (см. табл. 1).

Если для рудного минерала показатель преломления или коэффициент абсорбции изменяется с длиной волны монохроматического света, то соответственно будет изменяться и величина R минерала для различных волн монохроматического света. Так, у галенита в воздухе в зеленом свете (λ 546) R равно 43,4%, в оранжевом (λ 589) 41,6%, в красном (λ 650) 40,0% (Рамдор, 1962). Это явление называется дисперсией отражательной способности (см. рис. 1).

Для анизотропных рудных минералов количественно определяются показатели отражения (R_o, R_e), (R_g, R_m, R_p); для изотропных — R .

Для изотропных и анизотропных минералов, кроме того, определяется показатель отражения в воздухе (R_a) и в иммерсионной среде (R_u).

Методы измерения отражательной способности. Существуют два метода: 1) качественная оценка или визуальный метод и 2) количественное измерение на приборах.

Визуальный метод. Качественная оценка отражательной способности 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 низкую отражательную способность, наиболее светлый или яркий минерал — более высокую точность визуального определения $R \pm 5\%$.

В воздухе отражательную способность минерала наблюдают при небольших увеличениях ($9\times$); небольшие различия, едва заметные в воздухе, часто усиливаются в масляной иммерсии. Для качественной оценки R рекомендуются иммерсионные объективы слабых увеличений (МИ-11 \times). Качественная оценка R может быть произведена на сравнительном микроскопе и на рудном микроскопе при сравнении с эталонами или с известными рудными минералами в шлифе. В качестве эталонов принимаются следующие свежеотполированные минералы: пирит R_a 54,5%; галенит R_a 43,4%; сфалерит $R_a = 18\%$, шеелит $R_a = 10\%$.

На изменение отражательной способности влияют следующие факторы.

¹ Термином «абсорбция» в оптике называют явление поглощения света при прохождении его через какую-либо среду.

1. Важное значение имеет качество полировки минерала. При большом количестве трещин, царапин, выбоин и пор на полированной поверхности минерала R снижается на несколько процентов (например, гидроокислы марганца, железа и т. д.). Поэтому выбирают в шлифе зерна без трещин и царапин, устанавливают их в поле зрения и сравнивают с эталоном.

2. Визуальное определение интенсивности R ясноокрашенных минералов необходимо проводить с помощью соответствующих светофильтров — синего, зеленого, оранжевого, желтого, красного (например, для халькопирита — с желтым; для ковеллина — с синим и т. д.), чтобы при наблюдении цвет минерала не оказывал влияния на величину отражательной способности. У минерала R будет выше с тем светофильтром, окраска которого близка к окраске минерала, и наоборот. Светофильтр устанавливается в щель опак — иллюминатора или накладывается сверху на окуляр.

3. Отражательная способность анизотропных минералов изменяется с ориентировкой зерен, поэтому величину R_{\max} необходимо измерять на наиболее ярких и светлых зернах.

4. Для некоторых минералов изменения величины R обусловлены изменениями их химического состава — изоморфными примесями химических элементов (например, для минералов — твердых растворов, для сфалерита и т. д.).

Количественный метод. Измерения отражательной способности, дисперсии отражательной способности, определение осности и оптического знака рудного минерала производятся на специальных приборах. По конструкции они подразделяются на два типа: микрофотометрические и электрофотометрические устройства. Измерения R производятся как в белом, так и в монохроматическом свете, в воздухе и в иммерсии. Во всех приборах измерения производятся по методу сравнения с природными минералами-эталоном (платина, пирит, галенит, сфалерит) или для этого готовят искусственные эталоны.

Комиссия по рудной микроскопии при Международной минералогической ассоциации рекомендует применять в качестве основных эталонов синтетический корунд и алмаз — для слабоотражающих минералов, металлический кремний — для среднеотражающих, металлический галлий и платину — для высокоотражающих (Шадлун, 1966).

Для измерения R и других констант минерала электрофотометрическим и фотометрическим методами были сконструированы различные модели приборов: селеновый фотоэлемент (Орсель, 1936); фотометрическая установка «Яшма» (ВИМС, 1964); фотометрическая насадка типа ФМЭ-1 (1963, заводской выпуск); установка ПООС-1 (ВСЕГЕИ, 1966); прибор системы А. Д. Ракчеева (Ракчеев, МГУ, 1964), прибор «Пиор» конструкции Л. Н. Вяльсова (ИГЕМ АН СССР, 1969) и др. Описание приборов и методики работы с ними даны в учебниках по рудной микроскопии (Вахромеев, 1948, 1956; Волинский, 1966; Кэмерон, 1966; Юшко, 1966, 1969) и в специальных статьях (Пудовкина, 1961; Ракчеев, 1960_{1,2}; Вяльсов, 1969).

Точность измерения R на приборах колеблется $\pm 1-2\%$. Измерения могут быть выполнены на зернах размером $0,01-0,06$ мм в диаметре. В учебниках, справочниках и в периодической литературе приведены результаты измерения R для подавляющего количества рудных минералов.

ДВУОТРАЖЕНИЕ

Двуотражение является одним из характерных свойств минерала и обозначается символом ΔR . Диагностическое значение исключительно велико. Двуотражение наблюдается у анизотропных рудных и жиль-

ных минералов с поляризатором при вращении столика микроскопа на 360° .

Для сильно анизотропных минералов при вращении столика микроскопа характерны отчетливые изменения отражательной способности и реже цвета. При этом зерна минерала разной ориентировки, расположенные в шлифе рядом, заметно отличаются друг от друга по цвету и отражательной способности. Описанный эффект называется двуотражением и численно выражается разностью главных показателей отражения минерала: $\Delta R = R_g - R_p$. Например: ΔR молибденита $44 - 15 = 29\%$; антимонита $44 - 30 = 14\%$; графита $23 - 4 = 19\%$; ковеллина $20 - 5 = 15\%$ и т. д.

У изотропных минералов двуотражение отсутствует, так как отражательная способность и цвет их не изменяются при вращении столика микроскопа. Двуотражение рудных минералов определяется качественно и количественно.

Визуально у анизотропных минералов по интенсивности различаются сильное и слабое двуотражение.

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

Слабое двуотражение наблюдается только в агрегате разноориентированных зерен исследуемого минерала, в иммерсии, с объективами малого увеличения (МИ-11 \times).

Двуотражение выражено как у непрозрачных, так и у полупрозрачных и прозрачных минералов. У некоторых прозрачных минералов с высоким двупреломлением наблюдается сильное двуотражение (например, у карбонатов Ca, Mg, Fe, Pb, Zn). Кварц и полевые шпаты не имеют двуотражения.

При изучении двуотражения минерала в поле зрения микроскопа устанавливается мономинеральный участок, где имеется несколько разноориентированных зерен. Лучше всего изучать двуотражение на таких минералах, как молибденит, антимонит, ковеллин, пирротин, арсенопирит, кальцит.

ЭФФЕКТ ПОЛЯРИЗАЦИИ

При наблюдении рудного минерала в скрещенных николях можно определить изотропность или анизотропность минерала, поляризационные окраски и вращательные свойства. Эффект поляризации — основной качественный диагностический признак. Рудные минералы в поляризованном отраженном свете подразделяются на изотропные и анизотропные. В группу изотропных минералов в основном 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° . Некоторые рудные минералы кубической сингонии (например, кобальтин и борнит) часто слабо анизотропны. Это аномальная анизотропия. 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 (мелонит, висмутин, никелин, энар-

гит и др.), а для других косое (люцит, фаматинит, вольфрамит, ма-лахит и др.).

Некоторые минералы сопровождаются цветным эффектом анизотропии. Поляризационные окраски, наблюдаемые в анизотропном минерале при скрещенных николях, обусловлены главным образом дисперсией двуотражения. Их можно наблюдать как в воздухе, так и в масле, при этом в масле они лучше выражены. Они проявляются в скрещенных николях при вращении столика микроскопа, при наиболее ярком освещении. Например, у ковеллина цвет изменяется от красного до синего, у арсенопирита от голубоватого до розового, у пирротина от желтого до фиолетового и т. д. Цветные эффекты анизотропии различны в зависимости от сечения зерен и полноты скрещения николей.

Цветные эффекты не всегда хорошо наблюдаются по следующим причинам:

1) поляризационные окраски минералов постоянны только в том случае, если николи точно скрещены; правильная установка николей контролируется чередованием положений темноты строго через 90° при вращении столика микроскопа; отчетливое изменение цвета происходит при малых поворотах кристалла в обоих направлениях от положения темноты; положением не вполне скрещенных николей пользуются при наблюдении слабого эффекта анизотропии, незаметного при строго скрещенных николях;

2) поляризационные цвета визуально воспринимаются различными наблюдателями по-разному;

3) интенсивность и даже оттенки поляризационного цвета минерала изменяются в зависимости от марки микроскопа; необходимо также тщательно устанавливать объективы.

У минералов с бесцветным эффектом анизотропии при скрещенных николях при вращении столика микроскопа изменяется интенсивность освещенности. Они становятся серыми, светло-серыми (например, вольфрамит, киноварь, рутил, ильменит, гематит). Для минералов гексагональной, тетрагональной, ромбической, моноклинной, триклинной сингонии большинство сечений анизотропно, однако некоторые сечения будут казаться полностью изотропными. Поэтому наблюдение эффекта поляризации всегда необходимо производить на нескольких зернах минерала. У большинства полупрозрачных и прозрачных минералов эффект анизотропии слишком слаб, за исключением нескольких карбонатов, и маскируется внутренними рефлексами.

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

По интенсивности эффекта поляризации анизотропные минералы разделяются на три группы: сильно анизотропные, отчетливо анизотропные, слабо анизотропные.

Сильно анизотропные минералы — эффект анизотропии заметен в монокристаллах при скрещенных николях при вращении столика микроскопа (молибденит, графит, антимонит, ковеллин, пирротин и др.).

Отчетливо анизотропные минералы — эффект анизотропии наблюдается в агрегате разноориентированных зерен (вольфрамит, киноварь, буланжерит, касситерит, ильменит).

Слабо анизотропные минералы — показывают эффект поляризации только в агрегате разноориентированных зерен, особенно при наблюдении в иммерсии (халькопирит, бурнонит).

При изучении эффекта поляризации рудных минералов необходимо проверить установку микроскопа с помощью сильно анизотропного минерала (например, антимонита), для чего шлиф с таким минералом ставится на столик микроскопа, включается анализатор, затем вращая поляризатор, добиваются более резкого эффекта поляризации этого

минерала. После проверки установки микроскопа ставят на столик микроскопа шлиф с испытуемым минералом и при одном поляризаторе проверяют правильность установки его в горизонтальном положении при вращении столика микроскопа на 180° . Шлиф установлен правильно, если при повороте столика на 180° не произошло заметного изменения в освещенности всего поля зрения. После этого включают анализатор и определяют эффект поляризации. Рудные минералы изучаются также в отраженном сходящемся (коноскопическом) свете. Отношение минералов к этому свету проявляется в образовании поляризационных фигур (Кэмерон, 1966).

ВНУТРЕННИЕ РЕФЛЕКСЫ

Внутренние рефлексy наблюдаются у небольшой группы 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 цветные рефлексy (красные, коричневые, желтые, зеленые, синие, оранжевые) и бесцветные. Цвет внутренних рефлексов имеет важное диагностическое значение. Например, для киновари характерны красные внутренние рефлексy, 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 рефлексy встречаются главным образом у нерудных прозрачных минералов с R 5—10%.

У прозрачных и полупрозрачных минералов в полированных шлифах наблюдают внутренние рефлексy при полностью скрещенных николях с объективами $9\times$, $40\times$ и сильным освещением. При этом просматриваются многие зерна минерала. Внутренние рефлексy минерала в шлифе определяют также в косом свете. Для этого вынимают лампочку из осветителя и направляют свет на полированный шлиф.

У слабопрозрачных минералов внутренние рефлексy слабо выражены и наблюдаются с трудом. Однако их можно выявить в порошке, полученном при царапании полированной поверхности; порошок изучают в скрещенных николях или в косом свете, или в масле.

Количество внутренних рефлексов зависит от состава минерала: например, в маложелезистом сфалерите они многочисленны; в сильножелезистом сфалерите или сфалерите с включениями халькопирита или пирротина редки или совсем отсутствуют.

По интенсивности проявления внутренних рефлексов минералы разделяются на три группы:

1) внутренние рефлексy отсутствуют — главным образом группа непрозрачных рудных минералов с $R > 44\%$;

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

3) сильные внутренние рефлексy — группа полупрозрачных минералов с R 18—30% и прозрачных минералов с $R < 18\%$ (киноварь, куприт, аурипигмент, реальгар, гринокит, сфалерит, малахит, азурит, кальцит, кварц и др.); сильные внутренние рефлексy наблюдаются в скрещенных николях с объективами $9\times$ или под бинокляром, или в косом свете.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

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

ТВЕРДОСТЬ

Твердость — одна из главных констант рудного минерала. Твердостью рудного минерала называется способность его полированной поверхности оказывать сопротивление при царапании, при шлифовании и при микровдавливании. Минералам свойственна различная твердость в зависимости от кристаллографических направлений. Применяются два метода определения твердости минералов: качественный и количественный.

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

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

В определительных таблицах минералы по твердости царапания подразделяются на три группы: 1) минералы низкой твердости (до 3, по Моосу) царапаются медной иглой; 2) минералы средней твердости (от 3 до 5, по Моосу) царапаются стальной иглой, но не царапаются медной; 3) минералы высокой твердости (выше 5, по Моосу) царапаются с трудом или не царапаются совсем стальной иглой.

На специальном приборе микросклерометре С. Б. Талмейдж определял твердость царапания минералов алмазным острием под определенной нагрузкой, каждый раз получая на полированной поверхности минерала царапину стандартной ширины. По твердости царапания он подразделил минералы на семь групп, с соответствующими буквенными обозначениями, выделив для каждой группы минерал-эталон (табл. 2).

В табл. 2 приводится твердость по данным различных исследователей.

При проведении испытаний твердости методом царапания необходимо помнить о том, что твердость анизотропных минералов изменяется в зависимости от ориентировки зерен (например, антимонита, вольфрамиты и др.), а изотропных минералов в зависимости от кристаллической структуры: у скрытокристаллических разновидностей минералов твердость ниже, чем у полнокристаллических, например колломорфный мельниквит-пирит и кристаллический пирит будут отличаться по твердости.

Качественное определение твердости по относительному рельефу. При изготовлении полированного шлифа рудообразующие минералы имеют различное сопротивление истиранию. В результате этого при шлифовке и полировке на сукне твердые мине-

Шкала твердости стандартных минералов

Минерал-эталон, химический состав, сингония	Твердость					Микротвердость, кг/мм ²	Поведение при полировке
	по Моосу	по Талмей- джу	по Вольнско- му	по царапанию	по рельефу		
Аргентит Ag ₂ S куб.	2—2,5	A	I	Низкая	< галенита	20—30 (В) 24 20—30 (Л)	Плохое
Галенит PbS куб.	2,5	B	II	Низкая	> аргентита < сфалерита	71—84 (В) 76 64—110 (Л)	Хорошее
Халькопирит CuFeS ₂ тетраг.	3,5—4	C	III	Средняя	> галенита < сфалерита < пирротина	126—219 (В) 194	Хорошее
Сфалерит ZnS куб.	3,5	D	IV	Средняя	> галенита > халькопирита > блекл. руды < пирротина < магнетита	186—209 (В) 198 153—270 (Л)	Хорошее
Теннантит (блеклая руда) куб.	3,5—4,5	D	IV	Средняя	> галенита < сфалерита < пирротина	320—361 (В) 338 308—397 (Л)	Отличное
Никелин NiAs гексаг.	5—5,5	E	V	Высокая	> пирротина < пирита < сафлорита	328—455 (В) 392 412—489 (Л)	Отличное
Магнетит Fe ₃ O ₄ куб.	5,5	F	VI	Высокая	> сфалерита < гематита	530—699 (В) 560 535—695 (Л)	Хорошее
Ильменит FeTiO ₃ тригон.	5—6	G	VII	Высокая	> магнетита < гематита	519—703 (В) 611 593—735 (Л)	Хорошее
Пирит FeS ₂ куб.	6—6,5	F	VII	Высокая	> арсенопирита > гематита < кобальтина	1027—1240 (В) 1165 1144—1374 (Л)	Плохое, хорошее

ралы 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 минерал 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 тубуса полоска передвигается в сторону твердого минерала. Явление световой полоски можно наблюдать с объективами средних увеличений ($9\times$); если при этом увеличении световой полоски не заметно, 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 мелких включений в другом минерале, твердость которого известна.

На определительных таблицах каждый минерал (расположенный справа) с большей микротвердостью имеет более высокий рельеф по сравнению с минералами (расположенными слева) с меньшей микротвердостью.

Рудные минералы принято разделять на группы по высоте относительного рельефа в полированных шлифах. И. С. Вольтский предложил объединить минералы по высоте относительного рельефа в семь групп в соответствии с числом классов Талмейджа. По Талмейджу группы минералов обозначены буквами, по Вольтскому те же самые группы обозначены римскими цифрами (см. табл. 2).

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

Количественное измерение твердости методом микровдавливания. Твердость или микротвердость полированной поверхности минерала может быть измерена под микроскопом путем вдавливания алмазного наконечника (индентора) при определенных нагрузках. Микротвердость является одной из главных констант для диагностики минерала. Измеряют минимальные, максимальные величины микротвердости и вычисляют средние. Форма и качество фигуры вдавливания также отмечают (рис. 2, табл. 1). Для большинства рудообразующих минералов микротвердость и твердость по рельефу, как правило, совпадают, но наблюдаются исключения, когда микротвердость минерала ниже, чем твердость по рельефу (молибденит и халькопирит, сфалерит и теннантит и др., табл. 3). Это объясняется характером кристаллической структуры минерала, от которой зависят спайность, хрупкость, ковкость, вязкость, а также химический состав минерала.

Для измерения микротвердости минералов применяются различные модели микротвердометров. В СССР применяется микротвердометр ПМТ-3 фирмы ЛОМО. Устройство этого прибора и методика работы на нем детально описаны в работах М. М. Хрушова (1947), В. И. Лебедевой (1963) и Г. А. Ильинского (1963).

В приборе ПМТ-3 используется четырехгранная алмазная пирамида с углом 136° . Микротвердометры могут применяться для изучения зерен размером до 1μ в диаметре.

В каждом микротвердометре при испытании микротвердости минерала алмазная пирамида под нагрузкой свободно погружается в зерно минерала и выдерживается в течение некоторого времени. В микротвердометре ПМТ-3 нагрузка колеблется от 10 до 300 г. Отпечаток пи-

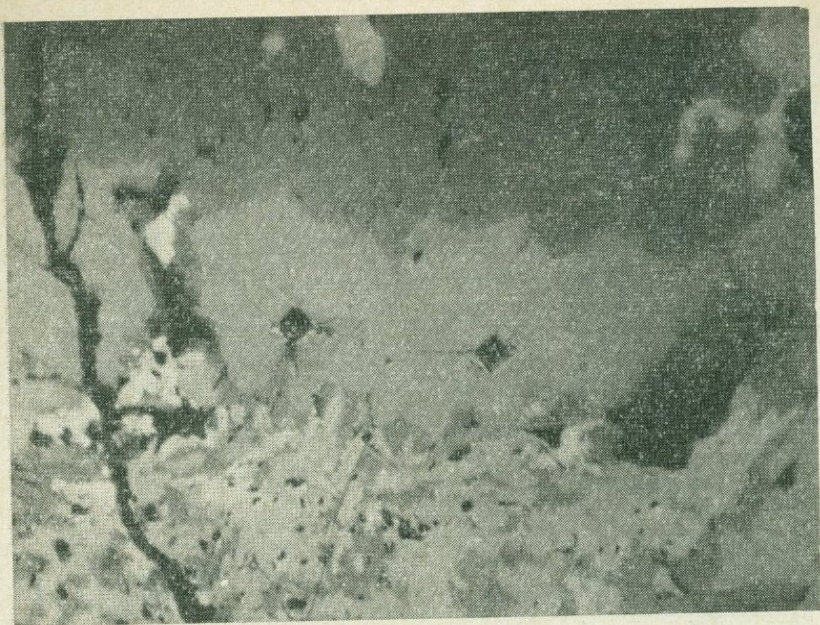


Рис. 2. Фигурки вдавливания (черное) с небольшими трещинками от алмазной пирамидки на люционите (светло-серое). Нагрузка 20 г. Месторождение Кафан, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 165

Таблица 3

Соотношения микротвердости и твердости по рельефу для некоторых минералов

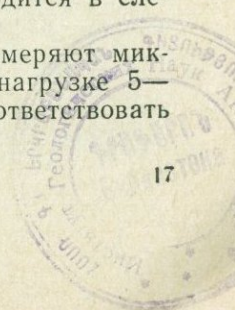
Распределение минералов в порядке увеличения твердости по рельефу	Среднее значение микротвердости по Викерсу, $кг/мм^2$	Пределы колебаний микротвердости по Викерсу, $кг/мм^2$	Примечание
Аргентит	24	20—30	
Галенит	76	71—84	
Борнит	103	97—105	
Халькопирит	194	186—219	
Молибденит	17	16—19	
Тетраэдрит	351	328—367	
Теннантит	338	320—361	
Сфалерит	198	186—209	
Пирротин	248	230—259	Анизотропное сечение
Никелин	336	328—348	То же
Магнетит	560	530—599	
Ильменит	536	519—553	
Рутил	1139	1074—1210	
Арсенопирит	1094	1048—1127	
Гематит	755	739—822	Микрокристаллический агрегат
Марказит	1113	941—1288	
Пирит	1165	1027—1240	

рамиды измеряют, и по величине диагонали вычисляют микротвердость при данной нагрузке. Величины твердости вдавливания выражаются отношением нагрузки (в $кг$) к площади поверхности отпечатка (в $мм^2$).

Измерение микротвердости на приборе ПМТ-3 проводится в следующей последовательности.

1. Регулировка прибора по контрольному эталону. Измеряют микротвердость прозрачного кристалла каменной соли при нагрузке 5—10 г. Среднее арифметическое из 5 отпечатков должно соответствовать 20,0—22,5 $кг/мм^2$.

355



2. На предметном столике отрегулированного прибора устанавливают полированный шлиф под объективом таким образом, чтобы зерно исследуемого минерала находилось в центре поля зрения (на перекрестке нитей окуляра).

3. На индентор помещают груз определенного веса. Для получения оптимального размера отпечатка для каждого минерала рекомендуется соответствующая оптимальная нагрузка (табл. 4).

Таблица 4

Величины нагрузок для получения оптимального размера отпечатков в зависимости от порядка твердости минералов, по данным Вольнского (1966)

Группа твердости		Пределы микротвердости по Викерсу в кг/мм^2 при грузе в 100 г	Стандартная нагрузка, г		
по Лебедевой	по Моосу		по Лебедевой	по Янгу и Миллману	по Тубо
I очень мягкие	1—2	0—60	5—10	15	
II мягкие	2—3	60—120	10—20	25	15—25
III средней твердости	3—4 4—5	120—200 200—550	20—50	50	50—100
IV твердые	5—7	550—1100	50—100, иногда 200		100—200
V очень твердые	7	1100—1400 1400	200 для очень хрупких 100	100	300—500

4. Предметный столик с полированным шлифом поворачивают за рукоятку на 180° (до упора), чтобы исследуемый минерал попал точно под алмазную пирамиду индентора.

5. Производят вдавливание (в течение 15 сек), поворачивая медленно рукоятку арретира индентора одним пальцем левой руки до упора, и снимают руку от прибора.

6. Давление алмазной пирамиды на полированную поверхность минерала выдерживается 10—15 сек, затем пирамиду возвращают в исходное положение с помощью рукоятки арретира.

7. Снимают нагрузку, поворачивают столик и измеряют диагональ отпечатка с помощью микрометричного окуляра. В течение 2—3 мин для исследуемого минерала может быть измерено примерно 4—5 отпечатков с точностью до 5%.

Величину микротвердости H вычисляют по формуле (Хрущов, Беркович, 1943₁)

$$H = \frac{1,854 \cdot P}{d^2},$$

где P — нагрузка на индентор в граммах,
 d — длина диагонали отпечатка в микронах.

Для удобства работы показатель микротвердости H находят по справочным таблицам по величине P и длине диагонали d (Лебедева, 1963).

8. Обработка результатов измерения микротвердости. Определяют микротвердость $H_{\text{ср}}$ минерала путем вычисления среднего арифметического из нескольких значений микротвердости.

При исследовании изотропного или слабо анизотропного по твердости минерала ($K_H \leq 1,2$) в полированных шлифах $H_{\text{ср}}$ вычисляют из 5—7 замеров микротвердости, полученных на различных сечениях зерен.

При исследовании минерала со средневыраженной анизотропией твердости ($K_H = 1,12—1,20$) $H_{\text{ср}}$ вычисляют из 9—13 замеров и по возможности на различных зернах.

При исследовании минерала сильно анизотропного по твердости ($K_H > 1,20$) $H_{\text{ср}}$ вычисляют из 30—40 замеров. Для исследования твердости лучше готовить полированные брикеты из дробленой фракции (0,5—1 мм).

Коэффициент анизотропии твердости в минералах вычисляют по формуле

$$K_H = \frac{H_{\text{max}}}{H_{\text{min}}},$$

где H_{max} — максимальное, а H_{min} — минимальное значения твердости, полученные в одном минерале (Лебедева, 1963).

На получаемые значения микротвердости влияют следующие факторы.

1. Явления векториальности твердости наблюдаются даже в минералах кубической сингонии. Поэтому в различных сечениях зерен одного и того же минерала могут быть большие колебания значений микротвердости. Некоторые анизотропные минералы обнаруживают резкую изменчивость микротвердости в зависимости от ориентировки (например, молибденит).

2. Микротвердость минерала зависит от изоморфных примесей, в частности, она значительно колеблется в минералах, представляющих собой твердые растворы.

3. Наблюдается анизотропия твердости в минералах из месторождений различного генезиса. Например, Сияков (1966) приводит следующие значения $H_{\text{ср}}$ (кг/мм^2) для магнетита: магматический 647; скарновый 560; гидротермальный 758; метаморфогенный 509.

4. Величина микротвердости зависит от размеров зерен. В гелевых и скрытокристаллических агрегатах микротвердость ниже, а в средних и крупнозернистых агрегатах — выше.

5. На величину микротвердости влияет применяемая нагрузка. Установлено, что величина микротвердости падает с увеличением нагрузки.

МАГНИТНОСТЬ

Магнитность — свойство, характерное для небольшой группы рудных минералов. К числу сильно магнитных минералов относятся: самородное железо, магнетит, магномагнетит, франклинит, поликсен, пирротин, кубанит, реньерит и др.

Определение магнитности минералов с помощью магнитной стрелки и магнитной стальной иглы. Крупные выделения магнитных минералов в полированных шлифах исследуются с помощью магнитной стрелки. Шлиф подносят к стрелке (северному или южному полюсу) и наблюдают за ее поведением. Магнитные минералы притягивают конец стрелки к поверхности шлифа. Намагниченная стальная игла притягивает порошок минерала, полученный при царапании полированной поверхности.

Исследование магнитности минералов в рудах

методом магнитной порошкографии. Если магнитный минерал представлен мелкими выделениями (сотые доли — несколько миллиметров в поперечнике), которые вкраплены в немагнитные минералы, и его количество измеряется долями или несколькими процентами, то для определения магнитности применяется метод магнитной порошкографии. Этот метод применяется при диагностике магнитных минералов, а также для отличия похожих в отраженном свете магнитных минералов от немагнитных и слабомагнитных (троилит — пирротин, магнетит — маггемит, моноклинный пирротин — гексагональный пирротин и др.). Метод применяется также при изучении структур распада с магнитными минералами (магнетит + ильменит; пирротин + пентландит).

Методика магнитной порошкографии состоит в том, что суспензию наносят пипеткой на всю поверхность или на некоторые участки полированного шлифа при горизонтальном положении столика микроскопа. Она выдерживается на поверхности шлифа 1—2 мин. Время подбирается экспериментально. По истечении времени осаждения шлиф наклоняется (или наклоняется столик микроскопа) и суспензия смывается несколькими каплями спирта или дистиллированной водой. После высыхания шлифа, когда под микроскопом на шлифе не наблюдаются остатки капель суспензии, изучают картину осаждения в отраженном свете с одним николем и в скрещенных николях, с воздушными и иммерсионными объективами. Минерал, обладающий магнитными свойствами, покрывается пленкой магнитного порошка.

Следует отметить, что магнитные порошки осаждаются не только на ферромагнитных зернах, выходящих на полированную поверхность шлифа, но могут отмечать ферромагнитные включения, расположенные ниже поверхности шлифа на глубине 0,01—0,1 мм.

Фигуры осаждения порошка на магнитных минералах можно фотографировать (например, формы срастания магнетита и ильменита). Выбранный участок шлифа следует фотографировать два раза: до покрытия магнитным порошком, с одним николем или при скрещенных николях, и после покрытия магнитным порошком, без анализатора. Снимки должны быть сделаны точно с одного и того же участка шлифа.

Удаление порошка с полированной поверхности шлифа производится замшей или сухой ватой; если порошок полностью не снимается, шлиф смачивают спиртом и снова протирают.

Техника изготовления магнитной суспензии приведена в статье Т. С. Дубинко и Н. Д. Ветошкина (1965).

КРИСТАЛЛОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Под кристалломорфными особенностями минерала понимаются форма минеральных индивидов и их внутреннее строение. На определенных таблицах показаны форма и внутреннее строение зерен минералов.

Форма сечений минеральных зерен в шлифе и характерные выделения минералов. Форма кристаллов некоторых минералов очень характерна и может быть использована при диагностике. В полированных шлифах мы наблюдаем лишь сечения кристаллов. Представление о полной кристаллической форме минерала может быть составлено при наблюдении ряда сечений кристалла в полированных шлифах. Так, кубы могут дать в сечении прямоугольники, равносторонние или прямоугольные треугольники.

Минеральные индивиды правильной кристаллической формы называются идиоморфными. В виде хорошо образованных кристаллов и метакристаллов отлагаются рудные минералы с большой силой кристаллизационного роста и высокой твердостью.

Кристаллы и метакристаллы по форме сечений подразделяются на изометрические и удлиненные. Изометрические сечения имеют более или менее одинаковые измерения во всех направлениях в плоскости шлифа. Длина удлиненных кристаллов в несколько раз больше ширины. Изометрические формы сечений характерны для пирита, магнетита, кобальтина, хромита, уранинита и других минералов (рис. 3). Удлиненными формами обладают все призматические, столбчатые, шестоватые, таблитчатые и игольчатые кристаллы. Например, призматические формы характерны для антимонита, арсенопирита, вольфрамита и др.; таблитчатые или пластинчатые — для молибденита, гематита, кубанита, людовита и др.; игольчатые — для рутила, джемсонита, гётита и др. (рис. 4, 5).

Кроме идиоморфных кристаллов в сечении шлифа встречаются минералы аллотриоморфных форм. Аллотриоморфными называются зерна и выделения неправильной формы. Они характерны для минералов с низкой кристаллизационной способностью, например, для сфалерита, халькопирита, пирротина и др. (рис. 6, 7, 8).

Для ряда минералов характерна колломорфная форма выделений, сферическая, почковидная и фестончатая; такие формы часто наблюдаются у гётита, псиломелана, настурана, марказита, реже у вюрцита, халькопирита, пирита и др. (рис. 9, 10, 11, 12).

Раскристаллизованные коллоидные агрегаты имеют радиально-лучистое строение в почках и волокнистое строение в полосках и прожилках.

Внутреннее строение минеральных индивидов. При диагностике минерала иногда имеет большое значение внутреннее строение его зерен: спайность, двойниковое и зональное строение. В полированных шлифах, благодаря особенностям их приготовления, спайность рудных минералов обычно слабо выражена. Часто спайность хорошо выявляется после структурного травления, в результате разрушения тонкой пленки полирования, или при окислении, или деформации. Обычно трещины спайности и фигуры выкрашивания наблюдаются в крупнозернистых агрегатах и в полированных шлифах плохого качества.

Спайность рудных минералов обнаруживается в шлифах в виде одной или нескольких систем параллельных трещин различной степени отчетливости. Некоторые минералы имеют от одной до трех систем трещин, в зависимости от числа плоскостей спайности в минерале и от ориентировки полированной поверхности. Если имеются три или четыре направления спайности, могут образоваться своеобразные фигуры выкрашивания, треугольные и четырехугольные (рис. 13, 14).

Треугольники выкрашивания характерны для минералов кубической сингонии (галенита, алтаита, пентландита, сфалерита, магнетита и др.).

Трещины спайности в минерале помимо структурного травления могут быть выявлены в процессе окисления и при динамометаморфизме; например, окисление галенита в англезит обычно происходит вдоль трещинок кубической спайности.

Двойниковое строение наблюдается в минералах под микроскопом. Различают двойники роста, превращения и давления. Двойники роста характерны для многих рудных и нерудных минералов, например, антимонита, станнина, сфалерита, халькопирита, марказита, магнетита, ильменита, гематита, сильванита, геокронита, кальцита и др. Двойники роста бывают простые и полисинтетические (рис. 15). В зернах минералов двойники представляют собой узкие и широкие строго прямолинейные пластинки. Двойники роста могут быть развиты в некоторых зернах мономинерального агрегата и отсутствовать в других зернах

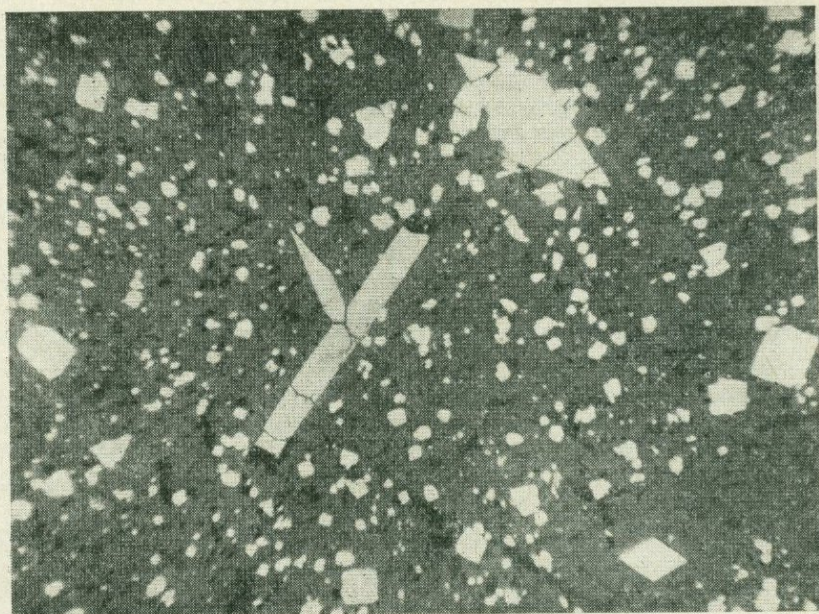


Рис. 3. Изометричная форма метакристаллов пирита (белое) и удлиненно-ромбическая форма метакристаллов арсенопирита (белое). Месторождение Бақырчак, Казахская ССР. Полированный шлиф. Ув. 90



Рис. 4. Удлиненные игольчатые кристаллы людвигита (белое) в породе (серое). Сибирское месторождение, СССР. Полированный шлиф. Ув. 50

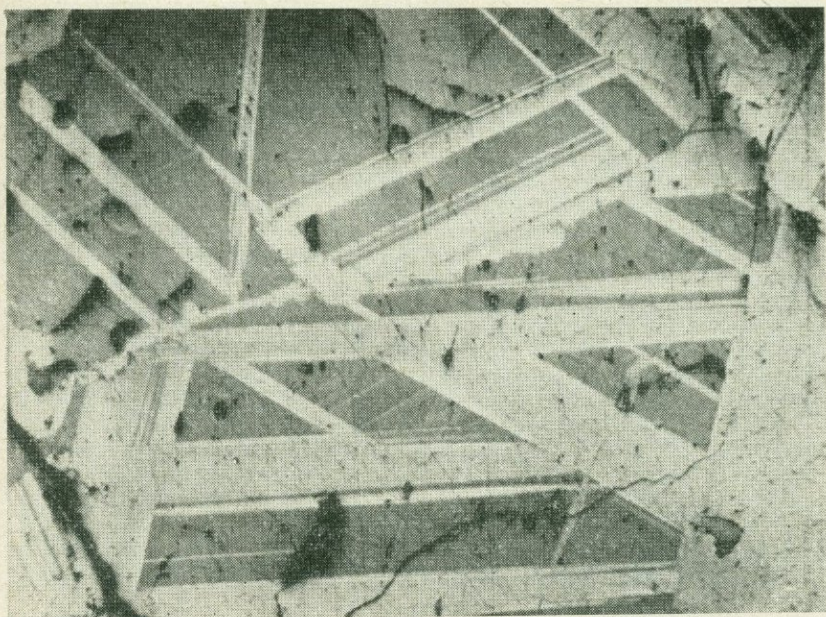


Рис. 5. Пластинки кубанита (белое) в халькопирите (серое). Черное — пустотки, трещинки. Месторождение Талнах, Сибирь. Полированный шлиф. Ув. 50. Николи скрещены

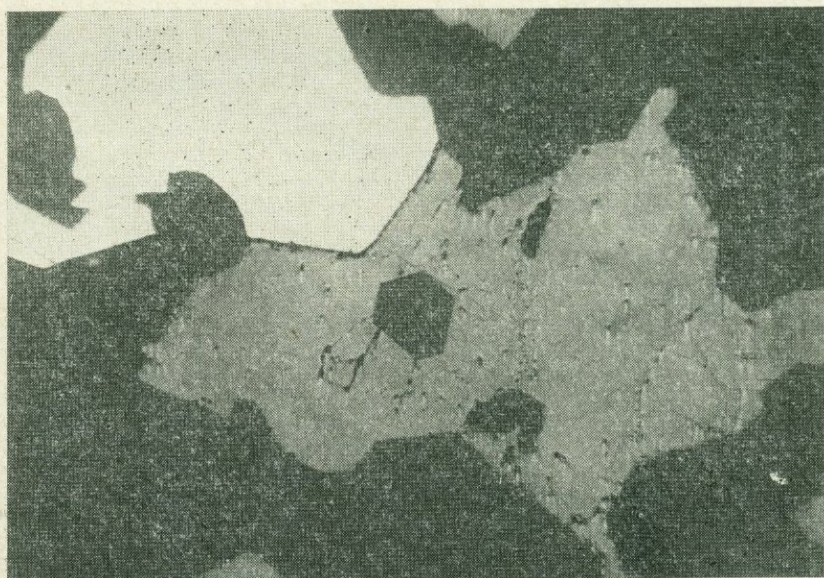


Рис. 6. Аллотриоморфные выделения сфалерита (серое) в кварце (черное). Белое — пирит. Месторождение Тейское, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 40

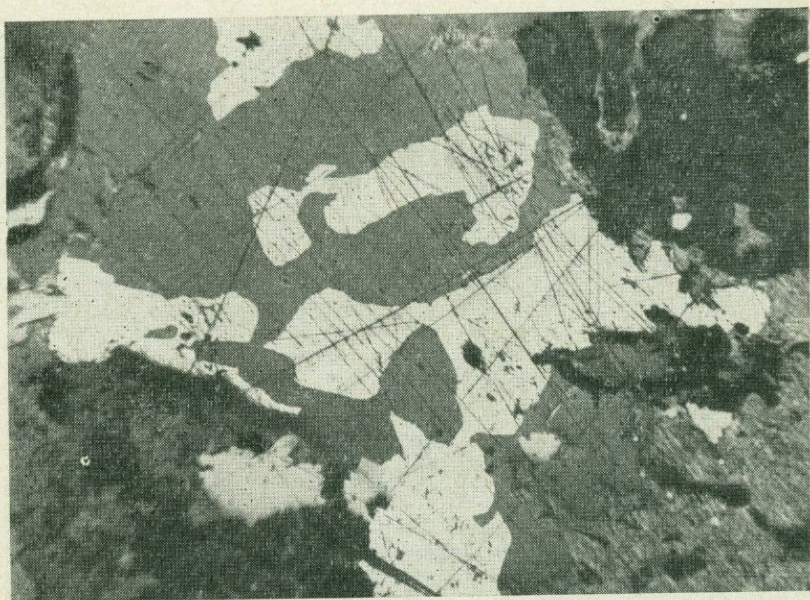


Рис. 7. Аллотриоморфные выделения халькопирита (белое) в породе (темно-серое). Черное — ямки. Месторождение Агарак, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 90

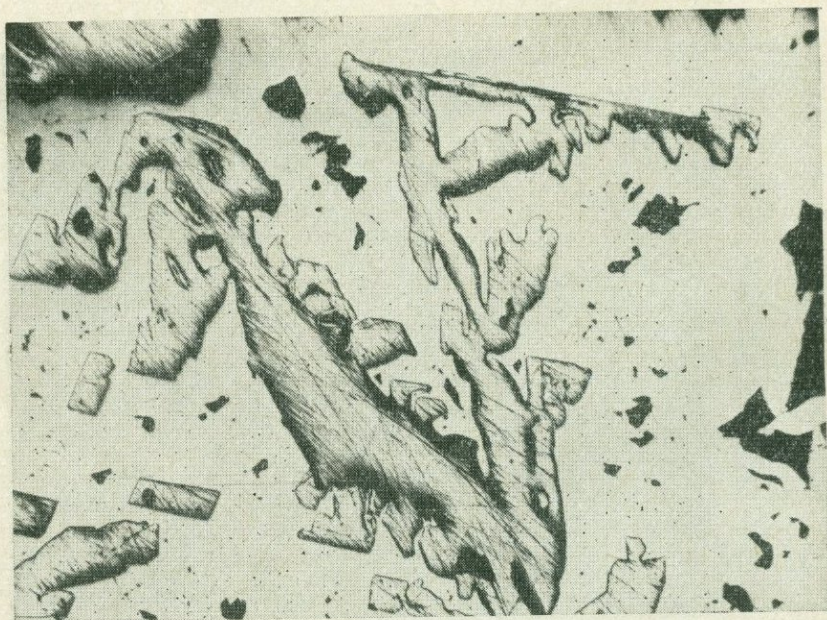


Рис. 8. Аллотриоморфные дендритовидные выделения самородного висмута в сафлорите (белое). Черное — ямки, трещины. Месторождение Аннаберг, ГДР. Полированный шлиф. Ув. 50

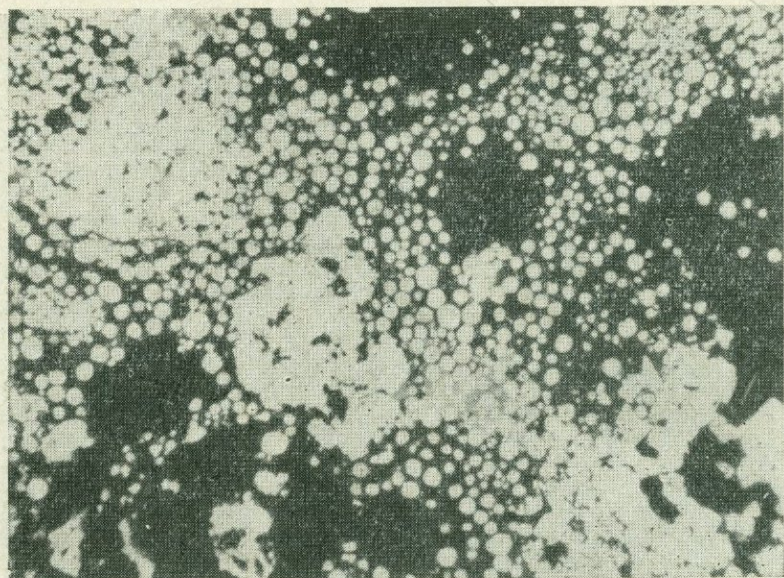


Рис. 9. Колломорфная форма (шарики) выделений пирита (белое) в кварце (черное). Месторождение Кафан, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 120

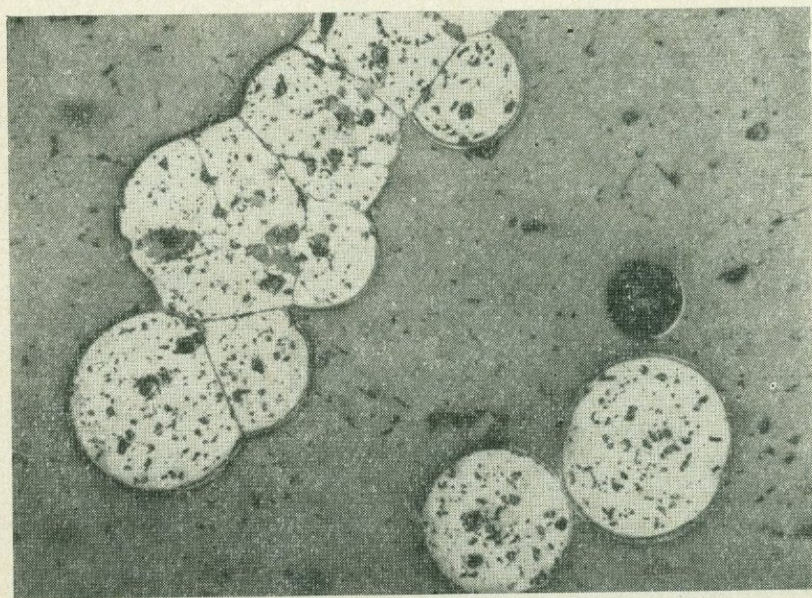


Рис. 10. Колломорфная форма (шарики) выделений настурана (белое) в породе (темно-серое). Месторождение Аннаберг, ГДР. Полированный шлиф. Ув. 90

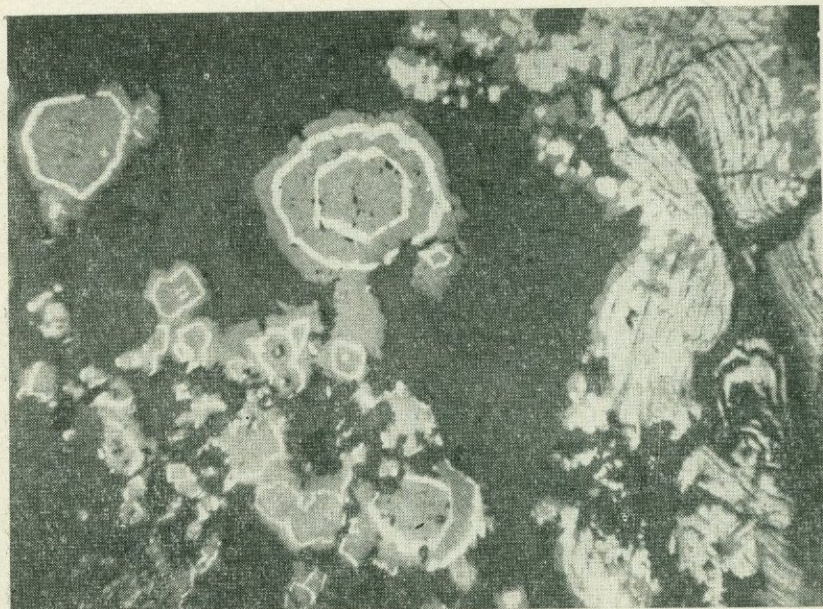


Рис. 11. Колломорфная, почковидная и концентрически-зональная форма выделений халькопирита (белое) и сфалерита (серое) в нерудных минералах (темно-серые). Месторождение Риддер, Алтай. Полированный шлиф. Ув. 90

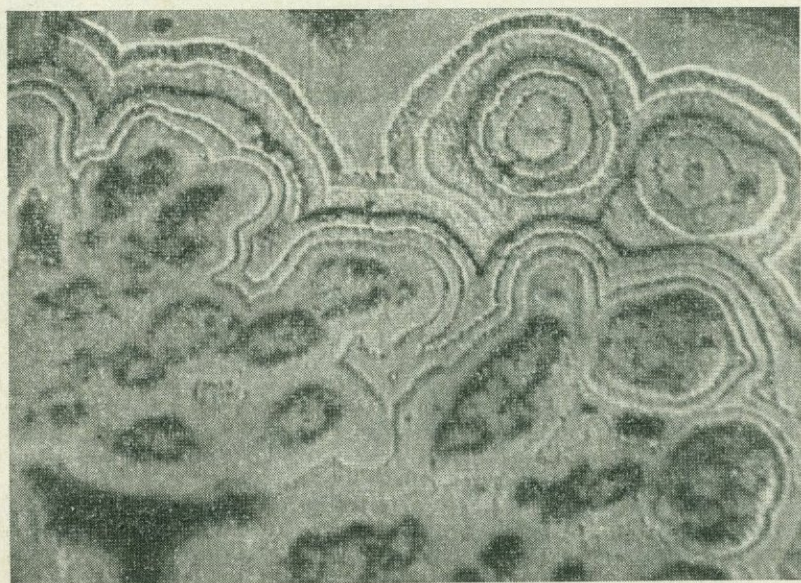


Рис. 12. Колломорфная, фестончатая форма выделений псиломелана (белое). Черное — ямки. Месторождение Чнатурское. Полированный шлиф. Ув. 90



Рис. 13. Халькозин (белое) с трещинками спайности по (001) в борните (серое). Черное — ямки. Месторождение Кафан, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 90

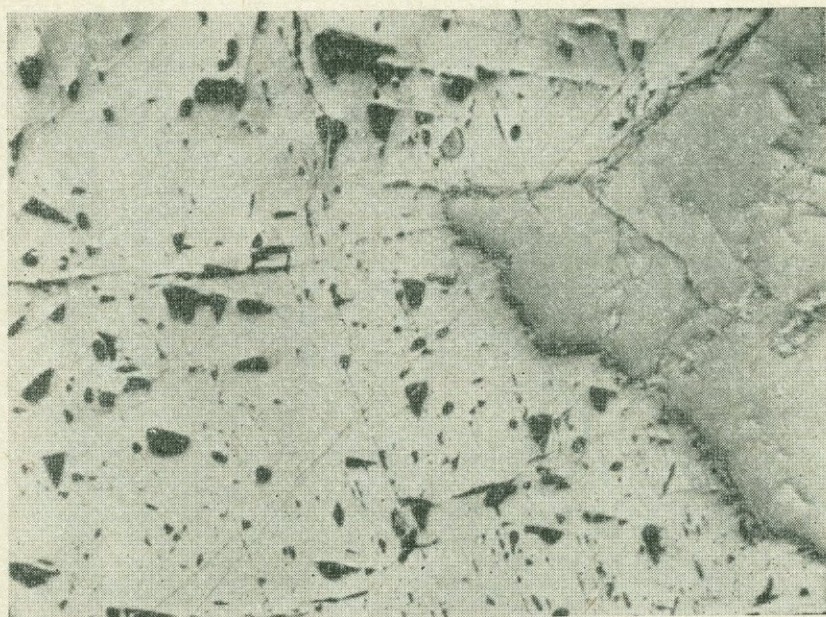


Рис. 14. Пентландит (белое, слева) с треугольниками выкращивания по спайности. Пирротин (светло-серое, справа) разбит трещинками. Черное — ямки. Месторождение Талнах, Сибирь. Полированный шлиф. Ув. 90

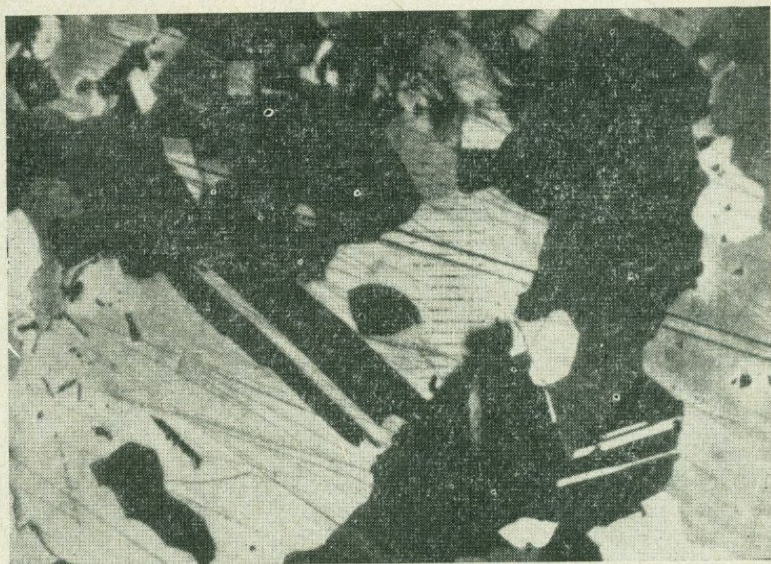


Рис. 15. Двойники роста в халькопирите. Протравлен в парах царской водки. Месторождение Каджаран, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 90

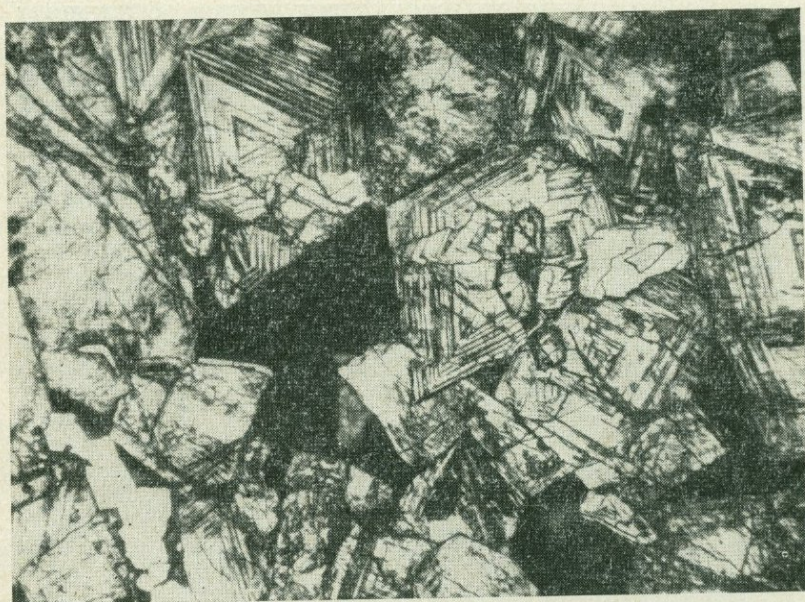


Рис. 16. Зональное строение кристаллов арсенопирита. Протравлен в HNO_3 конц. в течение 1 мин. В центре кварц (черное). Месторождение Тейское, Армянская ССР. Полированный шлиф. Ув. 90

того же агрегата. У некоторых минералов наблюдаются решетчатые двойники, например у бурнонита.

Двойники превращения имеют пластинчатую или веретенообразную форму и часто перекрещиваются. Они встречаются лишь в некоторых зернах. Наблюдаются в высокотемпературном крупнозернистом халькопирите, кубаните, пирротине, аргентите, станнине, шапбахите, халькозине, самородном висмуте и в др.

Полисинтетические двойники давления возникают в зернах при динамометаморфизме. Ярким примером могут служить молибденит, антимонит, пирротин, ковеллин и др. При этом во всех зернах образуются тонкие пластинки двойников одинаковой ширины, часто смятые и деформированные. В зернах помимо двойников давления наблюдаются волнистое погасание, трещины дробления, искривление трещин спайности.

Двойниковое строение для некоторых минералов является характерным и поэтому заслуживает пристального изучения. Например, двойникование сфалерита помогает отличать его от вюртцита, особенности двойникования раммельсбергита отличают его от парараммельсбергита, двойниковое строение халькопирита отличает его от золота и т. д.

В анизотропных минералах двойники различаются в скрещенных николях. При вращении столика микроскопа просветленные пластины угасают, а темные, наоборот, просветляются. В изотропных минералах двойники выявляются структурным травлением, например, сфалерит и халькопирит травят в парах царской водки в течение 15—20 сек (см. табл. 5).

Зональное строение характерно для многих минералов, а для некоторых (шмальтина, герсдорфита, кобальтина, касситерита, арсенипирита, сафлорита, бравоита и пирита)¹ эта особенность строения постоянна и может быть использована как диагностический признак (рис. 16). В минералах обнаруживают зональность роста, которая проявляется в отдельных кристаллах в виде кристаллически-зонального строения, свидетельствующего о последовательности отложения вещества вокруг центра кристаллизации. В натечных агрегатах гётита, псиломелана, настурана и др. наблюдается концентрически-зональное строение (см. рис. 11, 12).

Глава 3

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ В ПОЛИРОВАННЫХ ШЛИФАХ

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

В настоящее время в связи с бурным развитием физических и оптических методов диагностики микрохимические методы потеряли в большой степени свою значимость. Однако, по мнению авторов, полностью игнорировать их нецелесообразно, так как в некоторых случаях результаты, полученные этими простыми методами, исключают применение более трудоемких специальных методов (химический, рентгеноструктурный, термический анализы и др.). Так, например, антимонит от травления КОН покрывается специфическим для него ярко-желтым налетом, а цинкениит после длительного травления КОН выявляет присущую ему

¹ Зональное строение пирита характерно для кристаллов и метакристаллов и отсутствует в бластах.

одному структуре «пальмовых палочек», что дает возможность легко определить эти минералы.

Систематическое изучение рудных минералов реакциями травления было начато в 1910—1916 г. различными исследователями и вылилось в два основных направления. Первое направление отражено в работах Мэрдоха, Деви-Фарнхама, Шорта, Юшко и др. Перечисленные исследователи применяли диагностическое травление главным образом для определения минералов и на этой основе разработали схемы первых определителей. Установлено, что методика диагностического травления наиболее применима к сульфидам и сульфосолям и имеет небольшое значение при диагностике окисленных и силикатных рудных минералов. Второе направление представлено работами Ван дер Вина, Шнейдерхена, Рамдора, Бетехтина, Генкина, Филимоновой, Шадлун и др. Они разрабатывали методику травления не только для диагностики минералов, но в первую очередь для выявления структуры минеральных агрегатов и внутреннего строения зерен.

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ И СТРУКТУРНОЕ ТРАВЛЕНИЕ

Методика травления основана на различном поведении полированной поверхности минералов при действии химических реактивов. Для травления применяются реактивы определенной концентрации. Необходимы следующие стандартные реактивы: HNO_3 концентрированная¹; 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.

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

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

Методика травления. При проведении травления соблюдается определенная последовательность действий. Исследуемый минерал помещают в центр поля зрения микроскопа. На свежую и чистую полированную поверхность шлифа под микроскопом накладывает капля реактива. При этом применяются объективы, далеко отстоящие от поверхности шлифа (4,7× или 9×), т. е. с большим фокусным расстоянием. 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 раствора размером в 0,5—1 мм накладывает 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 HNO_3).

Наблюдения за травлением минерала производятся 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.

¹ В работах Шорта (1934) и Рамдора (1962) применяются для диагностического травления HNO_3 (1:1), HCl (1:1).

При действии паров реактива на полированной поверхности минерала вокруг капли образуется цветная или темная кайма. Под действием кислот некоторые минералы вскипают медленно или бурно. Если минерал медленно вскипает, например галенит медленно вскипает от действия HNO_3 , то на его поверхности выделяются единичные пузырьки газа (H_2S), при бурном вскипании — выделяются многочисленные пузырьки газа (H_2S или CO_2), это характерно для кальцита, арсенопирита и др. Пузырьки газа хорошо наблюдать в скрещенных николях.

Через 1 мин поднимают тубус микроскопа и промокают фильтровальной бумагой каплю реактива, а затем на травленое место накладывают влажную фильтровальную бумагу и осторожно прижимают указательным пальцем некоторое время. 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 сечениях — 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 хорошенько промывают. Если минерал протравился предыдущим реактивом, шлиф следует дополировать. Реактивы наносят на минерал выборочно, чтобы: а) различать минералы с близкими физическими и оптическими свойствами в пределах определенной таблицы, например арсенопирит и леллингит по-разному травятся HNO_3 (см. определительную таблицу V), и б) в том случае, когда необходимо подтвердить диагностику минерала, произведенную по физическим и оптическим свойствам, например для антимонита результаты травления КОН очень характерны.

Исследователю, применяющему диагностическое травление, следует учитывать некоторые факторы, влияющие на результаты травления. Капля реактива не должна выходить за пределы одного минерала, так как, если она попадет на сrostок двух минералов, могут возникнуть электролитические пары, которые изменяют характер травления минерала. Чаще всего в значительном большинстве минеральных ассоциаций эти электролитические эффекты слишком слабы и почти не влияют на реакцию травления.

При проведении диагностического травления большое влияние также имеют окружающие минералы. Если испытуемый минерал окружен минералами, более легко поддающимися травлению данным реактивом, то реакция с испытуемым минералом может быть отрицательной. Так, например, в окружении карбонатов сильно травящиеся рудные минералы могут остаться не измененными, так как кальцит и другие карбонаты нейтрализуют кислоты; в контакте галенита с борнитом при травлении раствором хлорного железа реакция протекает сильнее в борните, в то время как галенит остается не измененным. Как известно, галенит в обычных условиях от этого реагента моментально иризирует.

Нередко на результаты травления влияют изоморфные примеси в минерале, а также различная восприимчивость к травлению различно ориентированных зерен одного и того же минерала. В некоторых случаях слабый эффект травления не позволяет однозначно решить — отрицательный или положительный характер оно имеет. На процесс травления часто оказывает отрицательное влияние плохое качество полирования шлифов.

Характер диагностического травления минералов отражен в определительных таблицах (I—VI), 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 меняется в зависимости от кристаллографической ориентировки зерен. В плоскости шлифа одни кристаллы 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 накладывают большую каплю реактива (2—3 мм и более) на поверхность шлифа или сплошь 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 осуществляется специальными реактивами и в течение определенного времени (табл. 5).

Таблица 5

Методы выявления формы и внутреннего строения зерен некоторых рудных минералов в полированных шлифах

Название минерала	Поляризованный отраженный свет		Структурное травление	
	явления анизотропии	результаты наблюдений	главные реагенты	экспозиция
Антимонит	Сильно анизотропный	+	КОН (20%-ный)	1—10 сек
Арсенопирит	То же	+	HNO ₃ 1 : 1	1 мин
Ковеллин	»	+		
Магнетит	Изотропный	—	HCl конц.	2—5 мин
Киноварь	Отчетливо анизотропный	+		
Молибденит	Сильно анизотропный	+		
Пирит	Изотропный	—	HNO ₃ конц. +CaF ₂	1—3 мин
Пирротин	Сильно анизотропный	+	КОН (20%-ный)	1—2 мин
Сфалерит	Изотропный	—	Пары царской водки	10—20 сек
Халькопирит	Слабо анизотропный	—	То же	15—30 сек

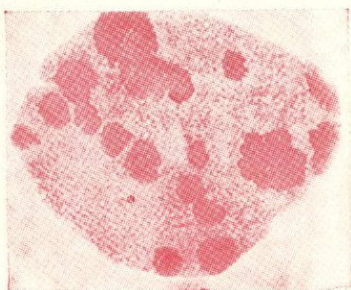


Рис. 17. Отпечаток (электролитический) никеля в пентландите (красное), никеля и железа в пирротине (розовато-бурый фон). Растворитель — NH_4OH с электрическим током, экспозиция 15 сек; проявитель — диметил-гиоксим

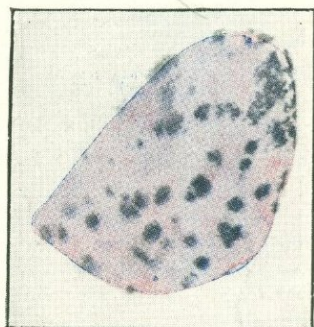


Рис. 18. Отпечаток никеля в пентландите (темно-синий, фиолетовый, пятна). Растворитель — NH_4OH с электрическим током, экспозиция 15 сек; проявитель — рубановая кислота



Рис. 19. Отпечаток кобальта в кобальтине (розовато-коричневый). Растворитель — NH_4OH с электрическим током, экспозиция 30 сек; проявитель — α -нитрозо- β -нафтол



Рис. 20. Отпечаток меди в куприте (темно-зеленый до черного). Растворитель — NH_4OH , экспозиция 60 сек; проявитель — рубановая кислота

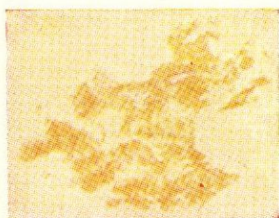


Рис. 21. Отпечаток висмута в висмутине (оранжевый). Растворитель — HCl (1:1) с электрическим током, экспозиция 30 сек; проявитель — тиомочевина



Рис. 22. Отпечаток на селен в клаусталите (оранжево-красный). Растворитель — HCl (1:1), экспозиция 120 сек; проявитель — тиомочевина



Рис. 23. Отпечаток железа в пирите (синий). Растворитель — HNO_3 (1:1) с электрическим током, экспозиция 10—30 сек., проявитель — $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$; растворитель HNO_3 (1:1), экспозиция 120 сек., проявитель — $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$

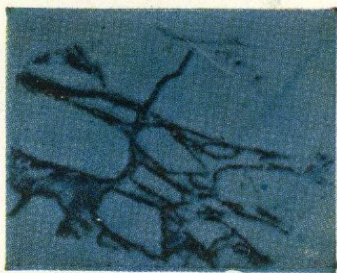


Рис. 24. Отпечаток железа в гематите (синий). Растворитель — HCl конц., экспозиция 180—300 сек.; проявитель $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$



Рис. 25. Отпечаток молибдена в повеллите (коричневый). Растворитель — HNO_3 (1:1), экспозиция 30 сек.; проявитель — $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$

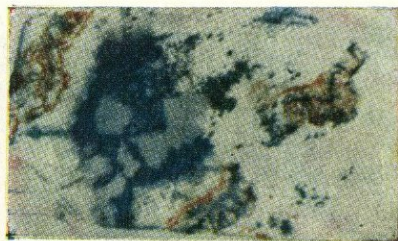


Рис. 26. Отпечаток урана в настуране (коричневый) и железа в марказите (синий). Растворитель HNO_3 (1:1), экспозиция 60 сек.; проявитель — $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$



Рис. 27. Отпечаток цинка в сфалерите (светло-фиолетовый). Растворитель — HNO_3 конц. + $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$; экспозиция 180—300 сек. Предварительно полированная поверхность минерала травится в парах царской водки до потускнения. Проявитель — $\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$



Рис. 28. Прямой отпечаток свинца в галените (желтый). Полированная поверхность минерала травится на шлифе HNO_3 конц. в течение 60 сек. Остаток кислоты снимается фильтровальной бумагой. Проявитель — KI



Рис. 29. Прямой отпечаток на Mn^{4+} в псиломелане (бурый). Растворитель и проявитель — уксуснокислый бензидин, экспозиция 60 сек



Рис. 30. Отпечаток на мышьяк в энаргите (шоколадно-коричневый до черного). Растворитель — $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$ (30%) с электрическим током, экспозиция — 30 сек. Проявитель — AgNO_3

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 своим оптическим и физическим свойствам, например, церуссит и смитсонит, теннантит и тетраэдрит и др.

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 (и.р.). В эту группу входят кислоты различной концентрации (азотная, соляная, серная, уксусная), царская водка, аммиак различной концентрации, перекись водорода (30%) и вода. Для получения перлов необходимы сухие реактивы — сода, селитра, бура, фосфорная соль и едкие щелочи.

Проявителями принято называть реактивы, которые используются в реакциях открытия химических элементов в испытуемом растворе, например: желтая кровяная соль применяется для определения в испытуемом растворе Fe^{3+} , Mo^{4+} , Cu^{2+} , U^{6+} ; иодистый калий — для определения Рb и т. д.

Для проведения микрохимических реакций применяются жидкие и твердые реактивы. Жидкие реактивы хранят в капельницах емкостью 10—20 $см^3$ с тонкооттянутыми пипетками-капиллярами, закрытыми резиновыми колпачками. Твердые реактивы хранят в стеклянных баночках емкостью 10—20 $см^3$. На баночках и капельницах надписывается формула или название реактива.

Жидкие реактивы устанавливаются на деревянную подставку с высверленными гнездами для капельниц. Всего на такой подставке помещается до 40 капельниц. В первом ряду обычно располагаются растворители, во втором и третьем — проявители. Каждый реактив имеет свое постоянное место на подставке. Не рекомендуется вынимать капельницы с реактивами из подставки. Для проведения микрохимического анализа необходимо также иметь фильтровальную бумагу, нарезанную полосками 5×7 $см$; фотобумагу, отмытую в гипосульфите, высушенную и нарезанную листочками 5×6 $см$; предметные и часовые стекла, песочные часы 1, 2, 3, 5 $мин$; пипетки и стеклянные палочки; фарфоровые пластинки, фарфоровые чашки емкостью 200—300 $см^3$, платиновую пластинку, прибор для электротравления, ручной пресс для отпечатков.

Для проведения микрохимического анализа в полевых и лабораторных условиях составлены полевые лаборатории, снабженные набором реактивов и всеми необходимыми материалами (ЛОР, ЛРЭ и др.).

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

Кристаллоскопический метод

Кристаллоскопический метод основан на свойстве химического элемента образовывать нерастворимые осадки с проявителем. Осадки отличаются цветом и формой кристаллов. При проведении кристаллоскопического анализа соблюдают следующую определенную 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 или на предметном стекле, растворяется порошок минерала. 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. Открытие элемента 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: капля испытуемого раствора помещается рядом с каплей проявителя на стеклянной пластинке и острым концом стеклянной или деревянной палочки делается канальчик между этими каплями, по которому реактив постепенно вливается в каплю раствора. Иногда в каплю испытуемого раствора вводят мельчайшую крупинку сухого реактива-проявителя.

3. Изучение результатов реакции. 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.

Кристаллоскопический анализ имеет наиболее широкое применение в практике минералогических исследований. Реакции и метод детально описаны в работах И. М. Коренман (1955) и С. А. Юшко (1966).

Примеры реакций кристаллоскопического анализа.

1. *Открытие свинца в сульфидах (галените, буланжерите, джемсоните, бурноните и др.) и в висмутитах с KJ (5%-ный раствор).* Минерал в течение 1—2 мин растворяют в HNO₃ конц., затем остаток кислоты тщательно снимают фильтровальной бумагой. Травленный участок минерала или шлифа смачивают 5%-ным раствором KJ. Образуется осадок йодистого свинца желтого цвета.

Аналогичную реакцию дает висмут.

2. *Открытие сурьмы в сульфидах и антимонидах с KJ и CsCl.*

Минерал растворяется на шлифе HNO₃ конц. в течение 1—2 мин. Избыток кислоты высушивается фильтровальной бумагой. Травленное место смачивается каплей HCl 1:1, а затем с противоположных участков капли вносится в небольшом количестве сначала тонкорастертый KJ, а затем CsCl. Образуется осадок кирпично-красного цвета комплексной соли сурьмы, хлористого цезия и йода.

Аналогичную реакцию дает висмут.

3. *Открытие мышьяка в сульфидах и арсенидах.* Минерал + HNO₃ конц. на шлифе. Экспозиция 5 мин + порошок (NH₄)₂HoO₄. Осадок лимонного цвета образуется через 1—2 мин. Цвет осадка хорошо наблюдать на белом фоне фильтровальной бумаги.

Аналогичную реакцию дает фосфор.

4. *Открытие ртути в киновари.* Минерал растворяется на шлифе в капле царской водки (ц. в.) в течение 5 мин. Избыток кислоты высушивается фильтровальной бумагой. Травленное место смачивается каплей HCl 1:20, вносится в небольшом количестве проявитель — тонкорастертый порошок Co(NO₃)₂, затем KCNS. Образуется осадок синего цвета (призмы и дендриты).

Капельный метод

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.

Детальное описание реакций и методики проведения капельного анализа дано в работах Файгля (1937), Тананаева (1954), Юшко (1966). Методика проведения анализа такова.

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. Капля испытуемого раствора переносится на фильтровальную бумагу (фильтровальная бумага+испытуемый раствор). С шлифа капля испытуемого раствора снимается путем промокания фильтровальной бумагой. С предметного стекла капля переносится пипеткой. Величина пятна должна быть не более 2—3 мм в диаметре.

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

Примеры реакций капельного анализа.

1. *Открытие Fe^{3+} в сульфидах.* Минерал + HNO_3 конц. Экспозиция 1 мин. Фильтр. бумага + и. р. + $K_4Fe(CN)_6$. Пятно синего цвета.

2. *Открытие Cu в хорошо растворимых сульфидах (халькозин, дигенит, борнит) и окислах (куприт, тенорит).* Капельным методом Cu открывается в минералах двумя реакциями: с ферроцианидом калия (желтой кровяной солью) $K_4Fe(CN)_6$ в кислой среде; с рубановой кислотой $CNCS_2 \cdot NH_2$ в нейтральной или щелочной среде:

а) Минерал + HNO_3 (1:1). Экспозиция 2 мин. Фильтр. бумага + и. р. + NH_4OH + рубановая кислота. Пятно серо-зеленого до черного цвета. Мешает никель.

б) Минерал + HNO_3 (1:1). Экспозиция 2 мин. Фильтр. бумага + $K_4Fe(CN)_6$. Пятно розово-коричневого цвета. Мешают Fe^{3+} , Mo^{4+} , U^{6+} .

3. *Открытие Cu в труднорастворимых сульфидах (халькопирит, теннантит, тетраэдрит, энаргит).* Минерал + HNO_3 конц. или ц. в. Экспозиция 5 мин. Фильтр. бумага + и. р. + NH_4OH + рубановая кислота. Пятно серо-зеленого цвета. Мешает никель.

4. *Открытие Ni в сульфидах, арсенидах, антимонидах.* Капельным методом Ni хорошо открывается двумя реактивами: с диметилглиоксимом, реакция Л. А. Чугаева; с рубановой кислотой:

а) Минерал + HNO_3 конц. Экспозиция 1—2 мин. Фильтр. бумага + и. р. + NH_4OH + диметилглиоксим. Пятно малиново-розового цвета.

б) Минерал + HNO_3 конц. Экспозиция 1—2 мин. Фильтр. бумага + и. р. + NH_4OH + рубановая кислота. Пятно сине-фиолетового цвета. Мешает медь.

5. *Открытие Mo^{4+} в сульфидах (молибденит, джорджинит).* Минерал + HNO_3 (1:1). Экспозиция 3—5 мин. Фильтр. бумага + и. р. + ксантогенат калия, свежеприготовленный водный раствор. Пятно розового, красного или фиолетового цвета. Пятно выцветает через 20—30 мин.

Открытие Mo^{6+} в молибдатах, окислах (вульфенит, повеллит, ферромolibдат). Минерал + HNO_3 (1:1). Экспозиция 1—3 мин. Фильтр. бумага + и. р. + $K_4Fe(CN)_6$.

Пятно коричневого цвета. Мешает Cu^{2+} , U^{6+} .

Метод отпечатков

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 изучают форму выделений минерала, строение руды и количество минерала в руде, 3) подбирая определенный растворитель или проявитель, можно получить отпечаток на фотобумаге только данного минерала или группы минералов (например, отпечаток молибденита, халькопирита, галенита, церуссита, смитсонита, пиролюзита, алабандина и т. д.), 4) приготовленные отпечатки могут храниться в течение длительного времени и используются в качестве иллюстраций в отчетах, курсовых и дипломных проектах (рис. 17—30).

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 фотобумага промывается в воде, высушивается, нарезается листиками требуемого размера и хранится в пакетах или в стеклянных банках. Фотобумага может быть заменена бесцветным целлофаном.

Из других материалов отбирают следующие: зеркальные стекла размером 30×30 см (или 9×12 см), ручной пресс для отпечатков — пресс с грузом или обыкновенный ручной пресс для установки полированных шлифов, фильтровальная бумага, несколько фарфоровых чашек, необходимые реактивы для микрохимического анализа данного типа руд, песочные часы, прибор для электротравления и т. п.

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

Некоторые минералы (например, галенит, халькопирит и др.), не растворимые 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 рубановой 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 серого цвета нитрата свинца. 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 с отрицательным полюсом присоединяется к фотобумаге, пропитанной растворителем, а положительный полюс — к минералу в полированном шлифе. Шлиф в этом участке тщательно очищают. При открытии серы — 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 (см. рис. 17—30), отвечающий площади минерала, содержащего данный химический элемент. Каждый раз после проявления отпечаток промывают в воде в течение 1—3 мин. Затем отпечаток высушивается, обрезается и наклеивается в отчет.

Отпечатки можно с успехом получить из зерна буровых скважин. КERN плотно заворачивается в фотобумагу, пропитанную растворителем. После этого фотобумага проявляется соответствующим проявителем. Таким образом приготавливаются отпечатки с шлифовок, 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.

Примеры реакций методом отпечатков для упражнений.

1. *Открытие Pb в сульфидах.* Полированную поверхность минерала на шлифе смачивают HNO_3 конц. до потускнения. Затем избыток кислоты тщательно снимают фильтровальной бумагой. Фотобумагу смачивают в растворе KJ, слегка просушивают на фильтровальной бумаге и накладывают на полированную поверхность минерала. Образуется прямой отпечаток желтого цвета.

2. *Открытие Zn в сфалерите, вюрцитите.* Фотобумага + HNO_3 конц. + HCl конц. + 0,1%-ный раствор $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (в равных количествах) + шлиф. Предварительно полированная поверхность минерала травится в парах ц. в. до потускнения. Экспозиция 3 мин + $\text{HgCl}_2 \cdot \text{KCNS}$. Отпечаток фиолетового цвета. Промыть отпечаток в воде от роданистого железа.

3. *Открытие Fe^{3+} в сульфидах.* Фотобумага + HNO_3 конц. + шлиф. Экспозиция 1 мин + $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Отпечаток синего цвета. Мешают Cu, Mo, U.

4. *Открытие Mn^{4+} в алабандине.* Фотобумага + уксуснокислый бензидин + шлиф. Экспозиция 3 мин. Отпечаток от голубого — до синего и до бурого цвета.

5. *Открытие Mn^{2+} в алабандине.* Фотобумага + HNO_3 конц. + шлиф. Экспозиция 3—5 мин + $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$. Отпечаток бурого цвета.

6. *Открытие Cu в халькопирите, теннантите, тетраэдрите, энаргите.* Полированная поверхность минерала на шлифе обрабатывается 3—5 мин в парах ц. в. до образования серой пленки. После травления шлиф плотно прижимают к фотобумаге, смоченной раствором аммиака. Травление на фотобумаге продолжается 3—5 мин. Затем фотобумагу проявляют в рубеоновой кислоте. Появляется отпечаток серо-зеленого цвета.

7. *Открытие Cu в халькозине, борните, тенорите, куприте.* Фотобумага + HNO_3 (1:1) + шлиф. Экспозиция 1—3 мин + рубеоновая кислота + NH_4OH . Отпечаток серо-зеленого до черного цвета. Отпечатки черного цвета получаются на хорошо растворимых минералах.

8. *Открытие Ni в сульфидах, арсенидах.* Фотобумага + NH_4OH + шлиф, протравленный в парах ц. в. Экспозиция 3—5 мин + диметилглиоксим. Отпечаток красного цвета.

9. *Открытие As в сульфидах, арсенидах.*

Фотобумага + 5 ч. NH_4OH + 1 ч. H_2O_2 (30%) + шлиф. Экспозиция 1—3 мин + AgNO_3 . Отпечаток шоколадно-коричневого цвета.

10. *Открытие Se в селенидах.* Фотобумага + HNO_3 (1:1) + шлиф. Экспозиция 2 мин + тиомочевина. Отпечаток красного цвета.

Фазовый микрохимический анализ

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 большинство слагающих руду минералов, за исключением одного минерала.

При проведении фазового анализа методом отпечатков начинают обработку полированного шлифа или зерна с применением наиболее слабых растворителей. 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.

Реакции фазового микрохимического анализа руд черных, цветных, редких и радиоактивных металлов, проводимые капельным методом или методом отпечатков, приведены в табл. 6—14.

Таблица 6

Фазовый микрохимический анализ железных руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Сульфаты</i> Пизанит ¹ Мелантерит Ярозит	Вода HCl (1:1)	2 2	$K_3Fe(CN)_6$	Синий	В минералах открывается Fe^{2+} ¹ на Cu^{2+}
<i>Карбонаты</i> Монгеймит ¹ Анкерит, Fe-доломит ² Сидерит	HCl (1:20) HCl (1:1)	2 2	$K_3Fe(CN)_6$		В минералах открывается Fe^{2+} ¹ на Zn ² на Ca, Mg
<i>Сульфиды</i> Пирит ¹ Марказит ² Пирротин ³ Арсенопирит ⁴ Халькопирит ⁵ Борнит ⁶	HNO_3 (1:1) HNO_3 конц. HNO_3 (1:20) + +эл. ток 4—8 в	2 1 0,1—0,5	$K_4Fe(CN)_6$ ³ $K_3Fe(CN)_6$		В минералах открывается Fe^{3+} , Fe^{2+} ; 1,2,3 на S ⁴ на As, S ^{5,6} на Cu, S
<i>Оксиды</i> Магнетит, мушкетовит ¹ Магномагнетит ² Ильменит ³ Гётит, лепидокрокит ⁴ Гидрогётит ⁵ Гематит, мартит ⁶ Гидрогематит ⁷	HCl конц.	3—5	^{1,2,6} $K_4Fe(CN)_6$ ^{1—7} $K_3Fe(CN)_6$		В минералах открывается Fe^{3+} , Fe^{2+} ² на Mg ³ на Ti
<i>Силикаты</i> Шамозит Тюрингит	HCl конц.	3—5	$K_3Fe(CN)_6$ $K_4Fe(CN)_6$		В минералах открывается Fe^{2+} , Fe^{3+}

Таблица 7

Фазовый микрохимический анализ марганцевых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Оксиды</i> Пирролозит Псиломелан, вад Вернадит	Уксусноукислый бензидин	1—3	Прямой отпечаток	Темно-синий, бурый	В минералах открывается Mn^{4+}
Браунит Гаусманит Манганит	HNO_3 (1:1)	2	$K_3Fe(CN)_6$	Красно- бурый	В минералах открывается Mn^{2+} , Mn^{3+}

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Сульфиды</i> Алабандин	HNO ₃ конц.	3—5	K ₃ Fe (CN) ₆	Красно-бурый	В минералах открывается Mn ²⁺
<i>Карбонаты</i> Родохрозит	HNO ₃ (1:1)	2			
<i>Силикаты</i> Родонит	HCl конц.	5			

Таблица 8

Фазовый микрохимический анализ медных руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Сульфаты</i> Халькантит Брошантит Пизанит ¹	Вода, подкисленная HNO ₃	2	а) рубеоновая кислота б) K ₄ Fe (CN) ₆	а) серо-зеленый б) розово-коричневый	1,2 на Fe ²⁺
<i>Карбонаты</i> Малахит Азурит	а) NH ₄ OH (10%) б) HNO ₃ (1:20)	0,5—1			
<i>Окислы</i> Куприт Тенорит	а) NH ₄ OH (25%) б) HNO ₃ (1:10)	1—2			
<i>Силикаты</i> Хризоколла	б) HCl (1:1)	5			
<i>Самородные элементы</i> Самородная медь	а) NH ₄ OH (25%) б) HNO ₃ (1:1)	1—2			
<i>Сульфиды легко-растворимые</i> Халькозин, дигенит Борнит ²	а) NH ₄ OH (1:1) NH ₄ OH+эл. ток 4—8 в б) HNO ₃ (1:1) HNO ₃ +эл. ток 4—8 в	1—2 0,6—0,4 0,5—1 0,6—0,4			
<i>Сульфиды трудно-растворимые</i> Ковеллин Халькопирит ¹ Энардит ² Теннантит ³ Тетраэдрит ⁴	NH ₄ OH (1:1)+ +эл. ток 4—8 в NH ₄ OH (1:1) предварительно полированная поверхность минерала травится в парах ц. в. в течение 5 мин	0,5 5 5			

Примечание. а) и б) обозначены растворитель, проявитель и результат реакции для I и II варианта

Таблица 9

Фазовый микрохимический анализ цинковых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Сульфаты</i> Госларит	Вода, подкисленная каплями HNO_3	1—2	$\text{HgCl}_2 + \text{KCNS} +$ $+ \text{Cu} (\text{NO}_3)_2$	Светло-фиолетовый	¹ При растворении порошка минерала в HCl выпадает студень SiO_2 ² При определении минерала необходима реакция капельного анализа на медь
<i>Силикаты</i> Каламин ¹ , виллемит	HNO_3 (1:20)				
<i>Окислы</i> Цинкит					
<i>Карбонаты</i> Гидроцинкит Аурихальцит ² Смитсонит	HNO_3 (1:40) HNO_3 (1:1)				
<i>Сульфиды</i> Сфалерит Вюртцит	Полированную поверхность минералов обрабатывают парами ц. в. в течение 3—5 мин HNO_3 конц. + $+ \text{HCl}$ конц. + $+ 0,1\%$ $\text{Cu} (\text{NO}_3)_2$	2	$\text{HgCl}_2 + \text{KCNS}$		

Таблица 10

Фазовый микрохимический анализ свинцовых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Карбонаты</i> Церуссит	HNO_3 (1:1)	2	КJ (5%-ный раствор)	Желтый	¹ на Mo
<i>Сульфаты</i> Англезит					
<i>Молибдаты</i> Вульфенит ¹					
<i>Сульфиды</i> Галенит Буланжерит ² Бурнонит ³ Джемсонит ⁴ и др.	Полированная поверхность минерала травится в HNO_3 конц. и просушивается фильтровальной бумагой	1—2			^{2,3,4} на Sb, Cu, Fe

Фазовый микрохимический анализ молибденовых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
Молибдаты Вульфенит ¹ Повеллит	HNO ₃ (1:1)	0,4—0,3 0,5—1	K ₃ Fe (CN) ₆	Коричневый	¹ на Pb
Окислы Ферримолибдит ²	HCl конц.	2—3			² на Fe ³⁺
Сульфиды Молибденит Джордизит	HNO ₃ (1:1)	1—3	Ксантогенат калия	Фиолетово-красный, окрашивание выцветает через 20 мин.	Реакция на S

Таблица 12

Фазовый микрохимический анализ никелевых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
Сульфаты Моренозит	Вода, подкисленная HNO ₃	1—3			
Карбонаты Заратит ¹	NH ₄ OH (10%)	0,5—1			¹ Вскипает в HCl (1:20)
Арсенаты ² Аннабергит Форбесит ³		0,5—3			² на As ³ на Co
Арсениды ⁴ Никелин Хлоантит ⁵	NH ₄ OH конц. NH ₄ OH конц. + +эл. ток 4—8 в	0,5—2 5—15 сек	а) диметилглиоксим б) рубеновая кислота	а) малиновый б) сине-фиолетовый	⁴ на As ^{5,6} на Co
Смальтин ⁶ Раммельсбергит Герсдорфит ⁷					⁷ на S
Антимониды ⁸ Ульманит Брейтгауптит ⁹					⁸ на Sb ^{9—12} на S
Сульфиды Виоларит ¹⁰ Бравоит ¹¹					
Труднорастворимые сульфиды Пентландит ¹² Миллерит	Минерал травится в парах ц. в. в течение 2—3 мин, затем NH ₄ OH конц.	0,5—1			
Полидимит		5—15 сек			

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Силикаты никеля</i> Гарниерит Ревдинскит	Царская водка	3—10	а) диметилглиоксим + аммиак б) рубеоновая кислота + аммиак	а) малиновый б) сине-фиолетовый	

Таблица 13

Фазовый микрохимический анализ кобальтовых руд

Минералы	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции
<i>Сульфаты</i> Биберит	Вода, подкисленная каплями HNO_3	2—3			
<i>Карбонаты</i> ¹ Сферокобальтит Кобальтсмитсонит ²	HCl (1:20)	1			¹ От HCl (1:20) бурно вскипает ² на Zn
<i>Оксиды</i> Гетерогенит (стениерит) Асболоан ³	HCl (1:1)	1			³ на Ni ; Mn^{4+}
<i>Арсенаты</i> ⁴ Эритрин Розелит ⁵ Кеттигит ⁶ Форбесит ⁷	HCl (1:10)	1	а) α -нитрозо- β -нафтол + NH_4OH б) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	а) красновато-бурый б) коричневатобурый	⁴ на As ⁵ на Mg ⁶ на Zn ⁷ на Ni
<i>Сульфиды</i> ⁸ Линнеит Зигенит ⁹ Карролит ¹⁰	HNO_3 (1:10) или (1:1)	1—3			⁸ на S ⁹ на Ni ¹⁰ на Cu ¹¹ на Fe^{3+}
Кобальтин Глаукодот ¹¹	а) HNO_3 конц. NH_4OH (1:1) + +эл. ток 4—8 в	2—3 0,5			
<i>Арсениды</i> ¹² Смальтин ¹³ Саффорит Скуттерудит	а) HNO_3 (1:1) NH_4OH (1:1) + +эл. ток 4—8 в	1—3 0,5	α -нитрозо- β -нафтол	Красноватобурый	¹² на As ¹³ на Ni

Фазовый микрохимический анализ урановых руд

Название минералов	Растворитель	Экспозиция, мин	Проявитель	Цвет отпечатка или пятна	Другие микрохимические реакции		
<i>Сульфаты</i> Иоганнит ¹ Ципент	$K_4Fe(CN)_6$	1—3	Прямой отпечаток		¹ на Cu		
<i>Карбонаты</i> Шрёкингерит	$HNO_3 (1:20)$	3	$K_4Fe(CN)_6$	Шоколадно-коричневый			
<i>Ванадаты</i> Карнотит ² Тюямунит ³		1—3 0,5—1			² на K ^{3,5} на Ca		
<i>Фосфаты</i> ⁴ Фосфуранилит Отенит ⁵ Торбернит ⁶ Ренардит ⁷		0,5—3			⁴ на P ⁶ на Cu ⁷ на Pb		
<i>Арсенаты</i> ⁸ Цейнерит	1—3	⁸ на As; Cu					
<i>Силикаты</i> ⁹ Уранофан Казолит	$HCl (1:1)$	1—3			⁹ на SiO_2		
<i>Окислы</i> Уранинит (кристаллический) Браннерит Урановая смолка Урановая чернь (аморфный)	HNO_3 конц. $HNO_3 (1:1)$	3—5 3—5					

Метод окрашивания, или пленочный

Метод окрашивания, или пленочный, применяется для изучения минерального состава руд и рудовмещающих пород. Хорошие результаты окрашивания руд получаются на пришлифованных штуфах, 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 роданамина 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 $K_3Fe(CN)_6$ развивается пленка турбулевого сини, на церуссите при действии $HCl (1:1) + 5\% KJ$ — пленка йодистого свинца желтого цвета,

на скородите при действии 20%-ного раствора КОН — пленка коричневого цвета гидроокислов железа и т. д.

При окрашивании выявляется структура мономинеральных участков и строение кристаллических зерен. В этих случаях окрашивание минералов также зависит от размеров зерен и иногда развивается с различной интенсивностью на определенных кристаллографических сечениях (например, у кальцита, у 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 сильнее, чем среднезернистые и крупнозернистые агрегаты этого же вещества. Лучше всего красятся листоватые и волокнистые минералы.

Окрашивание минералов производится в общем случае 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.

При изучении каолинизированных и серицитизированных рудовещающих горных пород приготавливалось несколько прозрачных открытых шлифов из одного образца. Шлифы тщательно изучались до окрашивания, а затем помещались в раствор кристалл-виолет, в метиленовый голубой, в родамин В. После окрашивания шлифы вновь изучались, и результаты окрашивания серицита и каолинита в различных красителях сравнивались.

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

Методика окрашивания карбонатов. Метод окрашивания является одним из главных методов диагностики карбонатных минералов в рудах и породах в полевых и лабораторных условиях. Такие карбонаты, как кальцит, доломит, магнезит, сидерит, анкерит, брейнерит и др., характеризуются близкими физическими и химическими свойствами. Они весьма сходны между собой по внешнему виду. Оптические константы различных карбонатных минералов также близки. Поэтому для диагностики карбонатных минералов в полевых условиях применяют разбавленную соляную кислоту. Главнейшие карбонаты по их взаимодействию с HCl (1 : 20) на холоде разделяются на четыре группы (табл. 15).

Таблица 15

Группы карбонатов при взаимодействии с HCl

Группы	Взаимодействие с HCl (1 : 20) на холоде в течение 1 мин	Минералы
I	Бурно вскипают с шипением	Кальцит, арагонит, витерит, стронцианит, бисмутин, малахит, сферокобальтит
II	Медленно вскипают	Анкерит, смитсонит, родохрозит
III	Очень медленно вскипают в порошке	Церуссит, брейнерит, доломит
IV	Не вскипают даже в порошке	Сидерит, магнезит

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

Арагонит. Окрашивание арагонита в концентрированном растворе нитрата кобальта применяется для отличия арагонита от кальцита. Зерна карбоната или штуфы или полированный шлиф кипятятся в течение 5—6 мин в концентрированном растворе нитрата кобальта. Рекомендуется применять нитрат кобальта такой концентрации, чтобы раствор после кипячения оставался окрашенным в красновато-розовый цвет. Арагонит всегда окрашивается в фиолетовый цвет, кальцит не изменяется или приобретает слабый розоватый или голубой оттенок. В нитрате кобальта также окрашиваются виверит и стронцианит в фиолетовые тона.

Кальцит, арагонит и другие хорошо растворимые в HCl (1:20) карбонаты. Для отличия карбонатных минералов I группы (см. табл. 15) от карбонатных минералов II, III и IV групп применяются реакции с фиолетовыми чернилами и азотнокислой медью.

А. Реакция с фиолетовыми чернилами или с анилиновой краской кристалл-виолет проводится следующим образом. Перед употреблением готовят на часовом стекле 2—3 капли фиолетовых чернил (один чернильный порошок, растворенный в 100 мл воды), к которым добавляют по каплям HCl (1:20) до тех пор, пока чернила не изменят фиолетовый цвет на темно-зеленый. Полученный раствор помещают на поверхность зерна, штуфа или открытого прозрачного или полированного шлифа. Раствор вступает в реакцию с карбонатом; в результате обменных реакций поглощается энергия соляной кислоты и восстанавливается цвет чернил до нормального — фиолетового. Кальцит и арагонит восстанавливают цвет чернил в течение 10—30 сек, а другие карбонаты, слабее растворимые в HCl (1:20), — в больший промежуток времени. По истечении 1 мин, капля реактива снимается фильтровальной бумагой. Кальцит и арагонит окрашиваются чернилами в фиолетовый цвет, а другие карбонаты не изменяются.

Б. В 20%-ный раствор азотнокислой меди погружаются зерна, штуфы, открытые прозрачные и полированные шлифы с карбонатами на 5 ч. Затем препарат без промывки погружается на несколько секунд в концентрированный аммиак. После обработки аммиаком препарат тщательно промывается водой и слегка высушивается. Сине-голубое окрашивание остается только на кальците и арагоните. Доломит, сидерит, анкерит, магнезит и другие карбонаты не окрашиваются.

Анкерит, Fe-доломит, брейнерит, сидерит и другие железосодержащие карбонаты. Окрашивание железосодержащих карбонатов проводится в реактиве 1 ч. HCl 1:20 + 1 ч. 1%-ного раствора $K_2Fe(CN)_6$ и выполняется фазовым анализом, который основан на различной растворимости карбонатов в HCl (1:20). Карбонат погружают в свежеприготовленный реактив. При этом анкерит и Fe-доломит окрашиваются в синий цвет в течение 1 мин, брейнерит окрашивается в сине-голубой цвет в течение 3—5 мин, а сидерит окрашивается в зеленовато-синий цвет в течение 10—12 мин.

Магнезит. Окрашивание с дифенилкарбазидом. Кусочек или зерна магнезита погружают в фарфоровый тигель с 5—10 каплями щелочноспиртового 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 прекращения окрашивания последней. Доломит и кальцит в растворе дифенилкарбазида не окрашиваются. Доломит подвергается окрашиванию лишь после прокаливания.

Приготовление раствора дифенилкарбазида: 1—2 г дифенилкарбазида растворяют в 100 см³ спирта при слабом нагревании, затем прибавляют 3 см³ 25%-ного раствора NaOH или KOH, образуется раствор красного цвета благодаря выделению натриевой соли дифенилкарбазида. Раствор кипятят в течение 5—10 мин до полного растворения щелочи. Для окрашивания необходимо применить свежеприготовленный раствор дифенилкарбазида.

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

Смитсонит. Окрашивание в ртутно-родановой соли. Минерал растворяется в течение 2 мин в растворе $Cu(NO_3)_2 + HCl$ (1:1). Затем на травленое место помещается реактив ртутно-родановой соли ($HgCl_2 + KCNS$). Выпадает осадок лилового цвета двойной роданистой соли цинка и меди.

Методика окрашивания минералов группы гидроалюмосиликатов. Изучение минерального состава руд и пород из зоны окисления также проводится с применением окрашивания. Обычно детальное минералогическое изучение образца всегда предшествует окрашиванию. Исследованию подвергаются светлоокрашенные породы и минералы — белые, серые и реже зеленые. Глинистые минералы хорошо окрашиваются в органических красителях благодаря большой их адсорбционной способности.

Наиболее доступной и универсальной краской является метиленовый голубой. Она используется при окрашивании глин в качестве важ-

нейшего реактива; эта краска окрашивает монтмориллонит в густой темно-лиловый цвет, каолинит в фиолетовый, а монотермит в серо-зеленый. Очень ценный органический краситель — солянокислый бензидин, хорошо растворимый в воде. Бесцветный раствор солянокислого бензидина окрашивает монтмориллонит в синий цвет.

Каолинит. Хорошо окрашивается водными растворами кристалл-виолет (фиолетовые чернила), метилен-блау (синие чернила). В отличие от серицита каолинит не окрашивается спиртовым раствором кристалл-виолет, водным и спиртовым раствором родamina В. У каолинита, окрашенного водным раствором кристалл-виолет, наблюдается резкий плеохроизм от интенсивного фиолетового до малинового цвета. У галлуазита и монтмориллонита в большинстве случаев плеохроизм не появляется.

Окрашивание каолинита в краске метиленовой голубой. Кусок глины или минерала массой в 0,5 г помещают в пробирку и замачивают водой; затем растирают стеклянной палочкой и добавляют 5—10 см³ раствора метиленовой голубой и взбалтывают; дают постоять 15—20 мин. Каолинит и каолинистая глина окрашиваются в фиолетовый цвет, который не меняется от добавки KCl. Окраска гидрослюды изменяется от добавления KCl: фиолетово-синий, синий или голубой цвет (в зависимости от возрастания количества гидрослюды).

Монтмориллонит. Окрашивается в насыщенном водном растворе бензидина. Темно-голубое до интенсивно синего окрашивание монтмориллонита обычно появляется сразу, а иногда только через несколько часов. Монтмориллонит окрашивается в более густой цвет, чем окраска раствора самого красителя. Бензидин совсем не окрашивает каолинит, слабо окрашивает гидрослюды.

Проведение окрашивания. В пробирку всыпают 0,5 г глины или измельченной пробы и приливают 2 см³ воды и 1 см³ раствора бензидина. Глины кил, гумбрин и другие окрашиваются сразу в синий цвет, бентонитовые глины большей частью окрашиваются медленно и не так интенсивно. Во многих случаях хороший результат в процессе окрашивания дает добавление очень слабого раствора аммиака. При высыхании монтмориллонитовые глины обесцвечиваются. Бейделлит часто остается голубым и при высыхании.

Серицит. Хорошо окрашивается водным и спиртовым растворами органических красок (кристалл-виолет, метиленовой голубой, родамин В). По мере возрастания размеров чешуек способность его к окрашиванию постепенно падает и мусковит совершенно не окрашивается. Перестертый и смятый серицит из тектонических зон дробления окрашивается значительно быстрее, чем неизменный серицит.

Реакции окрашивания, применяемые для определения некоторых рудных минералов, первичных и вторичных.

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

Вульфенит, ванадинит, плюмбоарозит, пироморфит, крокоит. Растворяют в HNO₃ (1:1) в течение 2 мин, а затем раствором KI окрашивают в желтый цвет.

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

Гидроцинкит, монгеймит, аурихальцит и другие гидрокарбонаты цинка. Минерал растворяется в HNO₃ (1:10) в течение 2—3 мин, затем обрабатывается раствором азотнокислой меди и ртутно-родановой соли; образуется осадок лилового цвета, двойной роданистой соли ртути и цинка.

Скородит. Окрашивание в растворе КОН. Минерал в землистых массах в образцах или полированном шлифе смачивается раствором КОН. Моментально образуется красновато-бурый осадок гидроксидов железа.

Реальгар. Окрашивание в КОН. Минерал травится КОН 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. Окрашивание светлых вторичных минералов урана в желтой кровяной соли. Минерал растворяется в HNO₃ конц. в течение 2—3 мин. На травленом месте помещается раствор K₄Fe(CN)₆, образуется пленка коричневого цвета.

Касситерит. Крупинки или зерна касситерита помещаются на цинковую пластинку и обрабатываются в 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 добавляют порошок металлического цинка. Экспозиция 2 мин. Затем смесь снимают фильтровальной бумагой. Образуется пленка олова.

Шеелит. Крупинки или зерна шеелита помещаются в маленький фарфоровый тигелек, затем добавляется HCl конц. и зернышко металлического олова. Смесь подогривается в течение 3—5 мин. Зерна шеелита окрашиваются в синий цвет.

Пиролозит, манганит, псиломелан и вад. Крупинки или порошок минерала смачиваются раствором уксуснокислого бензидина, реактив окрашивается в синий цвет. Минералы также окрашиваются в синий цвет.

ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ РУД И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Руда представляет собой набор типоморфных минеральных ассоциаций. Каждая минеральная ассоциация является продуктом специфических геологических и физико-химических условий, она образуется в определенную стадию процесса минерализации. Набор типоморфных минеральных ассоциаций в руде определяет тип рудной формации месторождений полезных ископаемых.

Термином **рудная формация** принято обозначать генетическую группу месторождений, обладающих сходным вещественным составом руд и вмещающих пород. В рудной формации может быть выделена одна или несколько типоморфных минеральных ассоциаций, развитых в определенных количественных отношениях.

В развитии учения о парагенетических минеральных ассоциациях и о парагенетическом анализе минеральных сообществ большое значение имели работы В. И. Вернадского, А. Г. Бетехтина, Д. С. Коржинского, Н. В. Петровской, Т. Н. Шадлун, Р. Гаррелса и др.

Понятие **минеральная ассоциация** означает закономерное сообщество минералов, совместно образовавшихся в близких геологических и физико-химических условиях. В состав минеральной ассоциации входит набор типоморфных минералов, которые по количеству подразделяются на главные ($1-n \cdot 10\%$), второстепенные ($0,1-1\%$), редкие ($0,01-0,1\%$) и очень редкие ($<0,01\%$). Среди минералов данной ассоциации могут встречаться реликтовые, метаморфические и вторичные минералы, которые образовались в иных условиях и относятся к другим ассоциациям.

Внутри минеральной ассоциации при геолого-минералогическом изучении выделяются узкие парагенетические группы минералов, или парагенезисы минералов. Парагенетическая минеральная ассоциация представляет собой закономерное совместное нахождение двух или нескольких минералов в минеральной ассоциации, отложившихся одновременно в равновесных условиях и образующих сростания с прямыми границами, редко с признаками слабой коррозии одного минерала другим.

Таким образом, в минеральной ассоциации можно выделить один или несколько парагенезисов, формирование которых происходило на определенной стадии процесса минерализации. При диагностике рудообразующих минералов важно знать и учитывать вещественный состав парагенетических минеральных ассоциаций, так как каждый минерал представляет собой характерную составную часть в группе минералов своей ассоциации.

В диагностических таблицах «Определителя» одним из важных критериев диагностики минерала являются парагенезисы.

В табл. 16 приводятся сведения о минеральном составе типоморфных ассоциаций в рудах из различных генетических типов месторождений.

Типоморфные минеральные ассоциации в рудах

Генетический тип месторождений	Типы руд	Минеральный состав ассоциаций	
		главные минералы	второстепенные, редкие минералы и минералы других ассоциаций
Собственно магматические	Хромитовые руды в дунитах, перидотитах и серпентинитах	Хромит, оливин, пироксен	Магнохромит, феррохромит, феррохромпикотит, хромпикотит, платина, поликсен, осмистый иридий, иридистая платина, другие минералы платины, никелин, серпентин и др.
	Руды самородной платины и платиноидов в дунитах, перидотитах и пироксенитах	1. Оливин, пироксены 2. Поликсен, самородная Pt и другие минералы платины, хромит	Иридистая платина, осмистый иридий, титаномагнетит, диаллаг, серпентин, уваровит, хромдиопсид, хромвезувиан, хромовые слюды, хлориты, пентландит, пирротин, кубанит, магнетит, карбонаты, опал, халцедон и др.
	Титаномагнетитовые или ильменит-магнетитовые руды в габбро и пироксенитах	1. Пироксены, основные плагиоклазы, роговая обманка, оливин 2. Магнетит, ильменит, шпинель, гематит, апатит	Рутил, брукит, анатаз, пирит, пирротин, халькопирит, борнит, хлорит, лейкоксен, биотит, кубанит, пентландит, шпинель, ульвит, серпентин, тальк, актинолит, гранат, биотит, эпидот, кальцит, гейкилит, пирофанит, браннерит и др.
	Медно-титаномагнетитовые руды в габбро и пироксенитах	1. Диопсид, основной плагиоклаз 2. Ильменит, магнетит, шпинель, гематит, апатит, амфибол 3. Халькопирит, борнит, пирит, эпидот, соскурит	Рутил, лейкоксен, хлорит, кварц, альбит и др.
	Ильменит-гематитовые руды в лабрадоритах	1. Основные плагиоклазы, пироксены, амфиболы 2. Ильменит, гематит, магнетит, шпинель	Рутил, пирротин, пирит, халькопирит, апатит, перовскит, оливин и др.
	Магнетитовые и апатит-магнетитовые руды в сиенитах	Магнетит, апатит, полевые шпаты	Гематит, диопсид, амфиболы, турмалин, циркон, биотит, кварц, карбонаты, редко сульфиды
	Сульфидные медно-никелевые руды в габбро-норитах и перидотитах	1. Плагиоклазы, пироксены, оливин 2. Пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит, ильменит	Сперрилит, минералы платиновой группы, пирит, арсенопирит, леллингит, марказит, миллерит, арсениды никеля и кобальта, кубанит, виоларит, борнит, сфалерит, галенит, валлернит, линнеит, молибденит, шеелит, гематит, графит, полидимит, бравоит, золото и др.
Пегматитовые	Nb-Ta-U-Mo-Sn-W руды в пегматитах	Танталит, колумбит, касситерит, вольфрамит, молибденит, уранинит, кварц, полевые шпаты, слюды, циркон, сподумен, берилл, флюорит	Минералы урана и тория, монацит, флюорит, пирохлор, ильменорутил, турмалин, сфен, кальцит, магнетит и др.

Генетический тип месторождений	Типы руд	Минеральный состав ассоциаций	
		главные минералы	второстепенные, редкие минералы и минералы других ассоциаций
Карбонатные	Редкометалльные, апатит-магнетитовые, флогопитовые карбонаты	Карбонаты (кальцит, доломит, анкерит, манганосидерит), апатит, магнетит, пирохлор, флогопит	Бадделейт, гатчеттолит, циркон, пировскит, колумбит, гематит, паризит, бастанезит, флюорит, барит, эгирин, гидрослюда, сфен, ильменит, монацит, оливин, нефелин, борнит, халькопирит и др.
Постмагматические скарповые	Магнетитовые руды	Магнетит, гематит, гранаты (андрадит, гроссуляр), пироксены (диопсид, геденбергит и др.), скаполит, кальцит	Флогопит, везувиан, людовигит, котонит, ильваит, волластонит, апатит, плагиоклаз, мусковит, пренит, флюорит, кварц, пирит, сидерит, халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит, марказит, арсенопирит, кобальтин, глаукоdot, саффлорит, эпидот, актинолит, хлорит, мушкетовит и др.
	Кобальтин-магнетитовые руды	Магнетит, гематит, кобальтин, Со-пирит, пироксены, гранаты, эпидот, кварц, кальцит, амфиболы	Хлорит, шмальтин, глаукоdot, арсенопирит, пирит, халькопирит, везувиан, скаполит, волластонит, плагиоклаз, слюда, апатит, флюорит, скуттерудит, актинолит, дацкесанит, лёллингит, саффлорит и др.
	Пирротин-халькопиритовые руды	1. Гроссуляр, андрадит, диопсид, геденбергит 2. Халькопирит, борнит, пирротин, пирит	Сфалерит, магнетит, мушкетовит, блеклая руда, молибденит, галенит, арсенопирит, гематит, линнеит, кубанит, валлерит, марказит, блеклая руда, бурнонит, эпидот, хлорит, актинолит, тальк, кальцит, кварц, ильваит и др.
	Молибденит-шеелитовые	1. Гранаты, пироксены 2. Молибденит, шеелит, молибдосеелит, кварц, кальцит, скаполит	Везувиан, актинолит, плагиоклаз, волластонит, флюорит, пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, повеллит, альбит, хлорит, апатит, сфен, касситерит, уралит, марматит, тунгстенит, эпидот, гематит, вольфрамит, висмут, золото, цеолиты и др.
	Галенит-сфалеритовые руды	1. Гранаты, пироксены, геденбергит 2. Галенит, сфалерит, марматит, халькопирит, пирит, пирротин, висмутин, кварц, хлорит	Магнетит, гематит, волластонит, актинолит, кварц, карбонат, родонит, пирит, халькопирит, марказит, арсенопирит, теннантит, тетраэдрит, станнин, аргентит, висмутин, франклинит, цинкит и др.
Постмагматические гидротермальные	Касситерит-кварцевые и вольфрамит-кварцевые руды в грейзенах	Касситерит, вольфрамит, молибденит, кварц, мусковит, берилл, ферберит, гюбнерит	Лепидолит, циннвальдит, топаз, турмалин, флюорит, микроклин, биотит, альбит, гематит, магнетит, шеелит, колумбит, браннерит, пирротин, пирит, арсенопирит, висмутин, висмут и др.
	Золото-арсенопирит-кварцевые руды в березитах	1. Кварц, арсенопирит, пирит 2. Золото самородное, теллуриды золота, Pb-Bi сульфосоли	Халькопирит, пирротин, лёллингит, молибденит, теллуриды Bi, Ag, Pb, висмутин, висмут, магнетит, глаукоdot, теннантит, тетраэдрит, шеелит, геокронит, буланжерит, семсейит, бурнонит, плагионит, джемсонит, цинкениит, галенит, сфалерит, турмалин, хлорит, серицит, апатит и др.

Генетический тип месторождений	Типы руд	Минеральный состав ассоциаций	
		главные минералы	второстепенные, редкие минералы и минералы других ассоциаций
Постмагматические гидротермальные	Золото-пирит-кварцевые руды в березитах (золото-сульфидные руды)	1. Кварц, серицит, фуксит, пирит (Au) 2. Золото самородное	Арсенопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, теллуриды Au, Ag, Bi, айкинит, буланжерит, геокронит, джемсонит, семсейит, плагионит, цинкит, халькопирит, висмутин, висмут, шеелит, бурнонит, карбонаты и др.
	Золото-серебряные руды с теллуридом и селеном	Золото, серебро, электрум, алтаит, силванит, калаверит, креннерит, пирит, арсенопирит, петцит, гессит, аргентит, пираргирит, полибазит, прустит	Валлериит, галенит, нагиагит, халькопирит, бертьерит, алабандин, сфалерит, карбонаты, кварц, халцедон, адуляр
	Молибденит-кварцевые руды во вторичных кварцитах	1. Кварц 2. Молибденит	Вольфрамит, шеелит, пирит, халькопирит, топаз, серицит, монацит, касситерит и др.
	Медные и медно-молибденовые руды во вторичных кварцитах	1. Кварц 2. Молибденит 3. Халькопирит, пирит, энаргит	Теннантит, борнит, сфалерит, галенит, эмплектит, виттихенит, люционит, арсенопирит, магнетит, золото, гематит, шеелит, рутил, лейкоксен, хлорит, серицит, андалузит, карбонаты
	Медно-мышьяковые руды	1. Кварц 2. Энаргит, теннантит, тетраэдрит, халькопирит, борнит, халькозин	Пирит, арсенопирит, станнин, сфалерит, висмутин, ковеллин, дигенит, кубанит, турмалин и др.
	Медноколчеданные, серноколчеданные, полиметаллически-колчеданные руды в вулканогенно-осадочных породах и в кристаллических сланцах	1. Кварц, серицит, хлорит, пирит 2. Пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, борнит, теннантит, энаргит, халькозин	Арсенопирит, магнетит, гематит, висмутин, теллуrowисмутин, алтаит, гессит, айкинит, золото, серебро, аргентит, реньерит, лазаревичит, люционит, идаит, ковеллин, рутил, гипс, ангидрит, диксит, барит, карбонаты, кварц, серицит, хлорит, пирротин, марказит и др.
	Руды медистых песчаников	Халькопирит, борнит, халькозин	Ковеллин, сфалерит, галенит, пирит, арсенопирит, марказит, таннантит, джезказганит, магнетит, гематит, рутил, кварц, полевые шпаты, карбонаты и др.
	Медные руды в основных эффузивах	1. Цеолиты (ломонит, датолит), кальцит 2. Медь самородная, халькозин, дигенит	Адуляр, прениит, хлорит, эпидот, кварц, пумпеллит, анкерит, серицит, серебро, арсениды меди и др.
	Касситерит-сульфидные руды	Касситерит, пирротин, галенит, сфалерит, висмутин, станнин, пирит, кварц, турмалин, железистый хлорит	Арсенопирит, халькопирит, цилиндрит, киллит, канфильдит, буланжерит, вольфрамит, магнетит, карбонаты и др.

Генетический тип месторождений	Типы руд	Минеральный состав ассоциаций	
		главные минералы	второстепенные, редкие минералы и минералы других ассоциаций
Постмагматические гидротермальные	Руды «пяти-элементной» формации (U, Ni, Co, Bi, Ag)	Настуран, серебро, висмут, никелин, раммельсберgit, скуттерудит, смальтин, хлоантит, сафлорит, мышьяк, аргентит, висмутин, гематит, доломит, анкерит, кварц, сидерит, флюорит, барит, алабандин	Касситерит, хлорит, кальцит, пирротин, арсенопирит, пирит, марказит, сфалерит, галенит, халькопирит, блеклые руды, прустит, пираргирит, борнит, виттихенит, глаукоdot, брейтгауптит, герсдорфит, миллерит, парараммельсберgit, дискразит, станнин
	Урановые руды с селенидами	Настуран, барит, флюорит, кварц, карбонаты, умангит, клоkmанит, клаусталит, берцелианит	Гематит, прустит, тимманит, пираргирит, халькопирит, галенит, айкиннит, пирит, никелин, раммельсберgit, хастит, трогталит и др.
	Полиметаллические руды (Pb, Zn, Cu, Cd, Ag)	1. Пирит, кварц 2. Галенит, сфалерит, буланжерит, халькопирит, пирит, пирротин, блеклые руды, карбонаты, барит	Касситерит, борнит, вюртцит, ковеллин, станнин, халькозин, дигенит, гематит, штроейерит, теннантит, тетраэдрит, фрейберgit, стефанит, прустит, пираргирит, бурнонит, грейтонит, иорданит, джемсонит, аргентит, менегинит, арсенопирит, марказит, золото, серебро, серицит и др.
	Свинцово-цинковые руды в карбонатных породах	Галенит, сфалерит, кальцит, доломит, пирит	Аргентит, фрейберgit, халькопирит, сульванит, теннантит, пирит, марказит, анкерит, барит, кварц и др.
	Сурьмяные руды	1. Кварц 2. Антимонит, бертьерит 3. Флюорит, карбонат 4. Антимонит, киноварь	Арсенопирит, пирит, каолинит, халцедон, опал, шеелит, ферберит, реальгар, аурипигмент, теллуриды, Au, Ag и др.
	Ртутные, сурьмяно-ртутные руды	1. Кварц 2. Киноварь, метациннабарит, антимонит	Бертьерит, тетраэдрит, шватцит, арсенопирит, марказит, гудмундит, аурипигмент, барит, диккит, накрит, каолинит, карбонаты, флюорит, цеолиты и др.
	Мышьяковые руды	Реальгар, аурипигмент, карбонаты, халцедон, опал, кварц	Антимонит, киноварь, пирит, мельниковит, марказит, арсенопирит, каолинит и др.
Месторождения выветривания	Железные руды (железистые латериты)	Гётит, гидрогётит, гематит, гидрогематит, кварц, халцедон, опал, нонтронит, магнезит	Псилоmелан, асболан, гарниерит, хромит, реvдинскит, каолинит, гидраргиллит и др.
	Силикатные никелевые руды	Гарниерит, реvдинскит, пимелит, шухардит, опал, халцедон, магнезит, нонтронит, галлуазит, монтмориллонит	Асболан, хромит, гидроокислы железа, серпентин и др.

Генетический тип месторождений	Типы руд	Минеральный состав ассоциаций	
		главные минералы	второстепенные, редкие минералы и минералы других ассоциаций
Месторождения выветривания	Железные руды (шляпы на колчеданных месторождениях)	Гётит, гидрогематит, гидрогётит, лепидокрокит, ярозит, каолинит, опал, халцедон, церуссит, англезит, ковеллин	Золото, куприт, тенорит, медь самородная, делафоссит, малахит, азурит, кальцит, гипс, халькантит, мелантерит, псиломелан и др.
Инфильтрационные	Медные руды (зона вторичных сульфидов под железными шляпами)	Борнит, халькозин, ковеллин	Аргентит, штрмейерит, марказит, халькопирит; реликты пирита, халькопирита, сфалерита, галенита, блеклых руд; золото, серебро
Осадочные	Железные руды	Гидрогётит, гётит, гематит, лепидокрокит, шамозит, сидерит, опал, кварц, каолинит	Магнетит, псиломелан, пиролюзит, пирит, марказит, пирротин, вивианит, родохрозит и др.
	Марганцевые руды	Пиролюзит, псиломелан, манганит, родонит, родохрозит, опал, карбонаты	Алабандит, браунит, гаусманит, якобит, гидроокислы железа, марказит и др.
Метаморфизованные	Железные руды в кварцитах и джеспилитах	Магнетит, гематит, кварц	Амфиболы, слюды, эгирин, пирит, пирротин, мартит, сидерит, ильменит
	Марганцевые руды	Браунит, гаусманит, родонит, якобит, хлориты, биксбиит, голландит	Эпидот, пироксены, гранаты, магнетит, пиролюзит, гематит
	Золото-урановые руды в конгломератах	Золото, браунерит, уранинит, ураноторит, тухолит	Хромит, циркон, алмаз, Os, Ir, минералы платины, арсенопирит, пирит, пирротин, скуттерудит, смальтин, хлорантит, кальцит, данаит, кубанит

Глава 5

ОПИСАНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАКРОСКОПИЧЕСКОГО И МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ

Начиная изучать руду, исследователь должен тщательно просмотреть изготовленные из нее полированные и прозрачные шлифы с малыми и большими увеличениями. Описания шлифов и образцов выполняются по определенному плану: 1) описание минералов; 2) строение руды (текстура, структура); 3) последовательность выделения минералов; 4) типы руд.

Характеристика рудообразующих минералов составляется в следующей последовательности: 1) название минерала и его формула; 2) количество минерала в различных типах руд; 3) генерация минерала; для каждой генерации приводятся сведения о форме и величине

мономинеральных выделений, о форме, величине и внутреннем строении зерен, о характере сростаний с другими минералами; 4) характерные диагностические особенности минерала. Текст иллюстрируется зарисовками, микрофотографиями и отпечатками.

Описание рудообразующих минералов проводится в порядке их распространенности или последовательности выделения в руде. Вначале описываются рудные, а затем нерудные минералы. Рудные минералы могут быть разделены на группы по металлам, например, минералы молибдена, меди и др. В каждой группе минералы того или другого металла разделяются по химическому составу на классы. Внутри каждой группы минералы располагаются в следующем порядке: вначале гипогенные, затем гипергенные.

Описания последующих шлифов лишь дополняют предыдущие.

После того как все шлифы будут просмотрены и изучены, составляется сводное описание по отдельным жилам или участкам месторождения. Ниже приводится пример такого сводного описания рудных минералов на основе просмотра шлифов и макроскопического изучения руды.

Минералы молибдена в рудах медно-молибденового месторождения Каджаран (Исаенко, 1966). В рудах месторождения Каджаран были установлены следующие минералы молибдена: молибденит, повеллит, ферримолибдит, молибденосодержащие гётит, гидрогётит и гидрогематит.

Молибденит. Один из главных рудообразующих минералов. В сульфидных медно-молибденовых рудах выделяются три генерации молибденита.

Морфогенетические свойства. Крупночешуйчатый молибденит первой генерации образует мономинеральные агрегаты в интрузивных вмещающих породах и в раздробленных кварцевых жилах. Форма агрегатов — вкрапленность, гнезда, прожилки, друзы и цемент в брекчиях. Размеры отдельных чешуек обычно колеблются от 1 до 10 мм (а иногда и больше), размеры отдельных выделений — от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Молибденит выделяется позже кварца, анортклаза, альбита и мелкочешуйчатого биотита. Главная масса молибденита развивается метасоматическим путем.

Метасоматические выделения молибденита чаще всего развиты в кварцевых жилах и реже в горных породах. Наиболее интенсивно молибденит замещает безрудный кварц. Чешуйки молибденита обычно наполнены реликтами кварца. Прожилкообразные выделения молибденита сосредоточены в раздробленных приальбандовых зонах кварцевых жил и прожилков. Они характеризуются гребенчатым сложением, причем молибденитовые чешуйки растут от альбанда внутрь кварцевых жил, расположены в интерстициях шестоватых кварцевых зерен и развиты по трещинам в них. Реже встречаются выделения, сложенные чешуйками молибденита, вытянутыми параллельно альбандам. Метасоматические прожилки молибденита развиты в кварцевых жилах вдоль альбандов. Иногда они выходят из кварцевых жил и прожилков во вмещающую боковую породу. Мощность прожилков изменчива, нередко они прерываются.

Вкрапленность метакристаллов молибденита развита в кварцевых диоритах, монзонитах и приурочена к микроскопическим трещинкам, к брекчированным зонам или к скоплениям биотита. Наблюдались метакристаллы молибденита в раннем халькопирите (рис. 31). Молибденит первой генерации пересекает и корродирует прожилки и участки раннего пирита, кварца и халькопирита. Поздние генерации халькопирита, борнита, сфалерита, серицита, кварца и карбонатов развиваются в молибдените по трещинкам спайности. Поздний халькопирит

и борнит часто образуют с молибденитом коррозионные графические и субграфические сростания. Пластинки молибденита первой генерации сильно смяты, иногда перетерты до тончайшей массы, образующей черные глинки трения. Для большинства чешуек молибденита характерны полисинтетические двойники давления, фигуры смятия, блочное и волнистое погасание.

Мелкочешуйчатый молибденит второй генерации с размерами чешуек от 0,02 до 1 мм всегда ассоциирует с серым мелкозернистым мозаичным кварцем. Молибденит и кварц слагают в штокверках (Каджаран, Центральный участок) главную массу молибденит-кварцевых прожилков мощностью от 1—2 мм до 2 см. Молибденит-кварцевые прожилки при выклинивании иногда переходят в тонкие (0,1—0,2 мм)

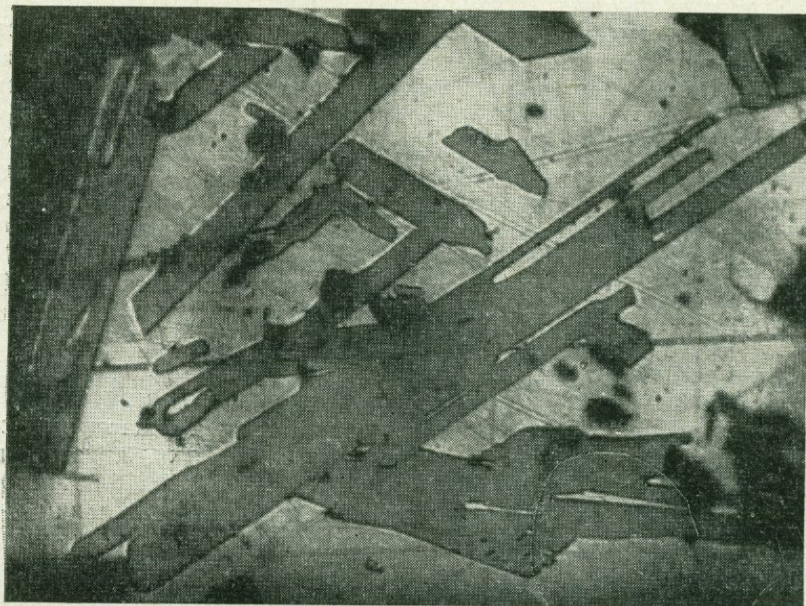


Рис. 31. Форма сростания молибденита (серое) с халькопиритом (белое). Черное — ямки. Полированный шлиф. Ув. 40

молибденитовые. Волосовидные молибденитовые прожилки развиваются по многочисленным трещинкам в рудовмещающих породах и в жильном кварце. В жильном кварце молибденит встречается в виде единичных чешуек и радиальнолучистых сростаний. Чешуйки молибденита располагаются в кварцевых прожилках параллельно простиранию или перпендикулярно к зальбандам, или в беспорядке.

Молибденит второй генерации имеет наиболее широкое распространение в сульфидных медно-молибденовых прожилково-вкрапленных рудах. На Каджаранском месторождении количество мелкочешуйчатого молибденита с глубиной увеличивается.

Тонкочешуйчатый молибденит третьей генерации с размерами чешуек в тысячные доли миллиметра изредка встречается в сульфидно-кварцевых и сульфидных прожилках. Молибденит этой генерации наблюдался в прожилках темно-серого среднезернистого кварца в виде розеток и единичных зерен, разбросанных в беспорядке. Встречаются мелкие спутанноволокнистые выделения молибденита в среднезернистом халькопирите.

Чешуйки молибденита первой, второй и третьей генераций, подвергшиеся динамометаморфизму, интенсивно смяты, расщеплены, а

иногда перекристаллизованы. Развитие процессов динамометаморфизма привело к возникновению двух вторичных морфогенетических разновидностей молибденита: расщепленного и идиобластического.

Расщепленный молибденит встречается в брекчированных сульфидно-кварцевых и сульфидных прожилках и жилах. Он представлен мельчайшими субмикроскопическими пластинками в кварце, сульфидах и редко в карбонатах. Расщепленные чешуйки молибденита и тончайшие обломки сульфидов (пирита и халькопирита) придают кварцу синевато-серую окраску.

Идиобластический молибденит формируется при перекристаллизации в твердом состоянии молибденитовых глинок трения. Он не содержит включений и не имеет фигур смятия. Встречается редко.

Диагностические свойства. Молибдениты Каджаранского месторождения характеризуются обычными оптическими и физическими свойствами. Число микротвердости, измеренное на приборе ПМТ-3, составляет 19—23 кГ/мм^2 . Удельный вес крупночешуйчатого молибденита первой генерации из кварцевой жилы (проба 3777, месторождение Каджаран) равен 4,644—4,655 и является более низким по сравнению со стандартными образцами, что объясняется загрязненностью минерала тончайшими включениями кварца.

Химическими и спектральными анализами в молибдените обнаружены кремний, алюминий, магний, железо, кальций, медь, рений, селен, теллур, свинец, марганец, титан, серебро. В единичных пробах молибденита были определены кадмий, цирконий, вольфрам, олово, кобальт и никель.

В молибдените первой и второй генераций постоянно присутствуют рений, селен и теллур в количестве 0,01—0,1%. Рений и селен обнаружены во всех пробах молибденита. В молибдените первой и второй генераций обычны примеси меди и железа (0,01—0,1%). Перечисленные элементы входят в состав халькопирита и пирита, образующих тесные сростания с молибденитом.

В зоне окисления молибденит первой и второй генераций замещается главным образом повеллитом, реже гётитом и еще реже ферримолибдитом. Отдельные чешуйки и мелкие агрегаты молибденита в жильном кварце иногда нацело замещены повеллитом. Часть молибденита в трещиноватых зонах растворяется в процессе выщелачивания, о чем свидетельствуют характерные пустоты в кварце.

Повеллит. Повеллит имеет гипергенное происхождение и распространен в полуокисленных и окисленных рудах. На месторождении Каджаран развит в количестве до 1—5% в молибденит-кварцевых жилах и в минерализованных участках монзонитов как на северном, так и на южном склонах горы Каджаран. Более широко распространен в окисленных рудах по сравнению с ферримолибдитом, особенно в нижних частях зоны окисления на глубине более 8—10 м от поверхности. В раздробленных молибденит-кварцевых жилах повеллит встречен на глубине более 200 м от поверхности (штольни 32 и 34).

Морфогенетические свойства. Встречается три разновидности повеллита: 1) псевдоморфный; 2) кристаллизующийся в трещинах (зональный) и 3) перекристаллизованный. Преобладает повеллит первой разновидности.

Псевдоморфный повеллит метасоматически замещает крупно- и среднечешуйчатый, реже мелкочешуйчатый, молибденит. Агрегаты молибденита в окисленных и смешанных рудах иногда замещены повеллитом полностью, а чаще лишь по периферии выделений или по трещинкам спайности.

Повеллит образует по молибдениту типичные псевдоморфозы в виде пластин, изогнутых и смятых чешуек с сохранением всех деталей внутреннего строения молибденита: двойников, трещинок спайности

и т. д. Имеет волокнистое строение. В большинстве случаев в псевдоморфном повеллите наблюдаются реликты молибденита в виде тонких полосок и чешуек. После травления псевдоморфоз повеллита в HNO_3 конц. выявляются участки перекристаллизованного повеллита, для которого характерны изометричные зерна размером в $0,02 \text{ мм}$ и меньше, а также гранобластовая структура. Перекристаллизация псевдоморфного повеллита начинается по периферии его выделений и вдоль трещинок.

Зональный повеллит выделяется по трещинкам в жильном кварце и в рудовмещающих породах. Он образует прожилки, линзочки и скопления неправильной формы. Нередко прожилки зонального повеллита соединяются с его псевдоморфозами. Тонкие пленки зонального повеллита наблюдаются на поверхности кристаллов вторичного кальцита. Для повеллита, образующегося при заполнении трещин, характерны зерна изометричной формы с зональным внутренним строением. Зональность роста в зернах повеллита развивается в виде четырехугольников и многоугольников сложной формы.

В верхних горизонтах зоны окисления повеллит замещается ферримолибдитом и гётитом. В нижних горизонтах повеллит или замещается опалом, или выщелачивается, образуя пустотки.

Диагностические свойства. Повеллит в полуокисленных и окисленных рудах представлен разновидностями серого, светло-серого, желтовато-зеленого, желтовато-серого и редко белого цвета. Желтовато-зеленый повеллит обычно развит на границе с реликтами молибденита и является ранней по времени образования разновидностью, которая при дальнейшем выветривании приобретает вид рыхлой мучнистой массы белого или серого цвета.

Число микротвердости, измеренное на приборе ПМТ-3, составляет $200\text{--}300 \text{ кг/мм}^2$. Хорошо полируется. Трещинки спайности, унаследованные при замещении молибденита, остаются на поверхности минерала. В прозрачных шлифах слабо анизотропен, двупреломление очень слабое. Показатель преломления n_e равен $1,946 \pm 3$ (измерен с фосфорной жидкостью).

Отражательная способность повеллита низкая $R=9\text{--}11\%$. В отраженном свете повеллит темнее сфалерита и гётита и светлее кварца; в отраженном свете цвет серый. Внутренние рефлексы сильные, бесцветные, желтоватые или зеленоватые. Эффект анизотропии маскируется внутренними рефлексами. Двухотражение незаметное. При травлении HNO_3 конц. образуется серое пятно, выявляются трещинки спайности и зональное строение. В HCl конц. быстро темнеет, появляется налет темно-бурого цвета; FeCl_3 , HgCl_2 , KOH , KCN не действуют.

Внутренняя структура минерала выявляется при травлении в HNO_3 конц. в течение $3\text{--}5 \text{ мин}$.

Повеллит в ультрафиолетовых и катодных лучах характеризуется интенсивной зеленовато-желтой люминесценцией.

По данным спектрального анализа, постоянными примесями в минерале являются: кремний, железо, магний, медь, марганец; спорадические элементы: Na , Cr , Al , As , Pb , Ag , Bi , Co , Ni , Ti , Sn , Ga .

Ферримолибдит. Встречен в верхних частях зоны окисления. Иногда развит и на больших глубинах в сильно раздробленных сульфидно-кварцевых жилах (Каджаран, жила 6, штольня 32). Вокруг выделений ферримолибдита сульфиды обычно лимонитизированы или выщелочены.

Морфогенетические свойства. Ферримолибдит образует почки и рыхлые корочки охристой массы, местами пигментные пятна лимонно-желтого цвета с буроватым оттенком. Он окрашивает породу и жильный кварц в характерный серо-желтый цвет. Его тонко- и мелкозернистые почковидные выделения обрастают более крупными волокнами.

Для индивидов ферримолибдита наиболее характерна волокнистая форма. Обычно он развит в виде сплошной спутанноволокнистой или мохоподобной массы. Значительно реже встречаются розетки, в которых отдельные лучики представляют пачки, сложенные многочисленными волокнами ферримолибдита. Более толстые волокна ферримолибдита при большом увеличении представляют собой пучки из нескольких параллельно сросшихся тонких индивидов. Длина пучков в розетках достигает 1,5—2 мм, а длина отдельных волокон до 0,1—0,2 мм при толщине их порядка 0,001—0,0005 мм.

Выделяются две разновидности ферримолибдита: псевдоморфный и кристаллизующийся в пустотах. Преобладает вторая.

Псевдоморфный скрытокристаллический ферримолибдит замещает пластинки молибденита с сохранением их формы. В таких участках можно наблюдать наслаивающиеся один на другой слоистые агрегаты ферримолибдита. Иногда ферримолибдит образует плоские волокнистые или веерообразные агрегаты между чешуйками разрушенного молибденита, уже распавшегося на мелкие пластинки. Он замещает тонкорастертый молибденит на зеркалах скольжения, а также развивается в виде каемок по периферии крупных выделений молибденита. Образуется как более поздний минерал по повеллиту в присутствии гидроокислов железа. Псевдоморфный ферримолибдит замещается гётитом. Между ними наблюдаются постепенные переходы.

Другая разновидность ферримолибдита, заполняющая пустотки, обычно отлагается в виде радиальнолучистых, волокнистых и почковидных агрегатов на поверхности кварца и породообразующих минералов, часто покрытых бугристой коркой гидроокислов железа. Иногда он заполняет пустотки в лимоните в виде мелких пачек и розеток. Наблюдаются розетки ферримолибдита на корочках малахита.

Ферримолибдит подвергается дальнейшему разложению, переходя в лимонит, при этом по нему развивается бурая гелевая масса гётита и гидрогётита.

Диагностические свойства. По данным спектральных анализов, в ферримолибдите постоянно присутствуют следующие элементы: железо, кремний, алюминий, медь, магний и марганец. Из других элементов в некоторых пробах минерала были обнаружены Са, Ва, Рb, Ag, Sb, Ti, V, Cr, Sn, In.

Показатель преломления ферримолибдита был определен с фосфорными жидкостями: по $N_g > 2,065$ (верхний предел набора фосфорных жидкостей), по $N_p = 1,721 \pm 2$.

Для волокнистого ферримолибдита получены рентгенограммы по методу порошков. В двух случаях, когда проба ферримолибдита снималась с растиркой, на снимках линии отсутствуют. Фон интенсивный. По заключению Н. Н. Слудской (лаборатория ИГЕМ), растертая масса ферримолибдита представляет рентгеноаморфное вещество.

Гидроокислы железа. Широко распространены на месторождении, как показывают химические и спектральные анализы — содержат постоянную примесь молибдена. Таким образом, часть окисленного молибдена заключена в гётите, гидрогётите, лепидокроките, гидрогематите. Перечисленные минералы образуются при замещении молибденита, повеллита и ферримолибдита, а также сульфидов меди, железа и железистых карбонатов. По-видимому, молибден присутствует в лимоните или в виде мельчайших реликтов молибденовых минералов, или в виде изоморфной примеси. Вероятно, имели место такие явления, как адсорбция молибдена гидроокислами железа из поверхностных растворов или совместное их отложение при нейтрализации растворов.

ЧАСТЬ II

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Глава 6

МЕТОДИКА РАБОТЫ С ТАБЛИЦАМИ

Диагностика минерала с помощью таблиц производится по его главнейшим свойствам: твердости, отражательной способности и эффекту поляризации.

Определитель состоит из шести определительных и трех диагностических таблиц. **Определительные таблицы** составлены в системе координат по схеме, предложенной Бауи и Тейлором (1958). На таблицах рудные минералы распределены по значениям их отражательной способности и микротвердости. По оси ординат отложена величина отражательной способности R , по оси абсцисс — среднее число микротвердости H в логарифмическом масштабе. На определительных таблицах показаны и другие свойства рудных минералов: эффект поляризации, внутренние рефлексy, данные диагностического травления и форма минеральных индивидов. По величине H и R рудные минералы подразделяются на шесть групп (таблицы I, II, III, IV, V, VI). Группы минералов по отражательной способности выделены по сравнению с отражательной способностью минерала-эталона; в качестве эталона принят галенит ($R=44\%$).

Таблица I — минералы низкой твердости, $R > 44\%$

Таблица II — минералы низкой твердости, $R < 44\%$

Таблица III — минералы средней твердости, $R > 44\%$

Таблица IV — минералы средней твердости, $R < 44\%$

Таблица V — минералы высокой твердости, $R > 44\%$

Таблица VI — минералы высокой твердости, $R < 44\%$.

На таблицах «точка» минерала наносится по максимальной величине отражательной способности в воздухе.

Диагностика рудного минерала начинается с определения его главнейших констант: отражательной способности R и твердости H . Количественные измерения отражательной способности производятся на специальных приборах, качественное определение R может быть произведено путем приближенной оценки этого свойства при визуальном сравнении R исследуемого минерала с R минерала-эталона (шеелит 10%, сфалерит 18%, галенит 44%, пирит 54,5%). Количественное определение микротвердости H производится на приборе ПМТ-3, а качественное определение — путем царапания иглами полированной поверхности, по рельефу. По этим двум константам каждый минерал попадает в одну из шести определительных таблиц.

По эффекту поляризации минералы подразделяются на четыре

группы: слабо анизотропные, отчетливо анизотропные, сильно анизотропные и изотропные.

По двутражению $R_{\max}-R_{\min}$ (ΔR) минералы подразделяются на три группы: двутражение сильное ($\Delta R=20-5$), двутражение слабое (R_g-R_p), двутражение отсутствует — знака нет.

По внутренним рефлексам минералы подразделяются на три группы: рефлексы сильные, наблюдаемые в воздухе; рефлексы слабые, наблюдаемые в порошке или в иммерсии; рефлексы отсутствуют — знака нет.

Для минералов с отражательной способностью ниже сфалерита ($R=18\%$) внутренние рефлексы, как правило, сильные и представляют собой важный диагностический признак.

На определительных таблицах показана характерная форма минеральных индивидов (идиоморфная, аллотриоморфная, пластинчатая, колломорфная, радиальнолучистая 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 в условных обозначениях.

На определительных таблицах справа от названия минерала показаны один или два характерных химических элемента, на которые в диагностических целях рекомендуется провести качественный микрохимический анализ. При диагностике рудных минералов окисленных руд приходится часто пользоваться реакциями качественного микрохимического анализа.

Следующий этап в работе диагноста — детальное изучение и подтверждение исследуемого минерала с помощью **диагностических таблиц**. Таких таблиц в «Определителе» три.

Диагностическая таблица I — минералы низкой твердости.

Диагностическая таблица II — минералы средней твердости.

Диагностическая таблица III — минералы высокой твердости.

В каждой таблице минералы расположены по убыванию отражательной способности и подразделяются по отражательной способности на пять групп (см. указатель к таблицам).

В каждой группе минералы подразделяются на две подгруппы — изотропную и анизотропную. В подгруппах минералы сгруппированы по химическому составу, например, минералы меди, молибдена, железа, свинца, цинка и т. д. Всего в трех диагностических таблицах 29 подгрупп. Для каждого минерала в таблицах приводятся следующие основные сведения: название, химический состав, сингония, отражательная способность R , двутражение ΔR , эффект поляризации, цвет, внутренние рефлексы, наблюдаемые в воздухе (В) и в иммерсии (МИ); твердость (по Моосу и микротвердость H) и поведение при полировании; результаты диагностического травления, микрохимические реакции и методика их проведения, форма и внутреннее строение выделений, парагенезис, дебаграмма (характерные линии) и отличительные диагностические признаки.

Данные по величине отражательной способности минералов для желтого света приведены по Волинскому (Вл), для «белого» и зеленого света по Бауи (Б), Рамдору (Р), Эльснеру (Э), Синдеевой (С). На основе этих показателей можно точно определить исследуемый минерал.

Примеры определения рудных минералов с помощью таблиц. В примерах 1—7 даны диагностические свойства рудного минерала, наблюдаемые в отраженном свете, и показан ход определения минерала по определительным и диагностическим таблицам.

В примерах 8—12 приведены только диагностические свойства руд-

ного минерала. Требуется определить название минерала. Ответы помещены в конце раздела.

Пример 1. Минерал имеет низкую твердость, $H=50-59$ кг/мм², отражательная способность больше пирита и галенита, $R=84-86\%$, изотропный, цвет яркий желтый, внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: KCN — медленно чернеет, остальные реактивы не действуют. Образует микроскопические выделения неправильной формы в сульфидах и кварце. По H и R минерал попадает в определительную таблицу I.

По наиболее характерным признакам (H , R , эффект поляризации и диагностическое травление) неизвестный минерал определяется как золото самородное, или электрум. Систематическое определение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 1 диагностической таблицы I.

Пример 2. Минерал имеет низкую твердость, $H=16-26$ кг/мм², отражательная способность больше пирита и галенита, $R=68\%$; отчетливо анизотропный; цвет светлый розовато желтый; внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: HNO_3 — медленно вскипает и буреет; HCl — медленно буреет, $FeCl_3$ — буреет, призирует структуру; $HgCl_2$ — медленно буреет. Микрохимическая реакция на Bi положительная; на Te — отрицательная. Форма выделений — неправильные зерна с двойниками, редко игольчатая. По H и R минерал попадает в определительную таблицу I. По наиболее характерным признакам (очень низкая микротвердость, отчетливая анизотропия, форма индивидов) неизвестный минерал определен как висмут самородный. От сходных минералов — теллуровисмута и тетрадимита — он отличается отрицательной реакцией на теллур. Систематическое изучение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 2 диагностической таблицы I.

Пример 3. Минерал имеет низкую твердость, $H=50-93$ кг/мм², отражательная способность больше галенита и меньше пирита, $R=46\%$, очень сильная анизотропия и двуотражение; цвет светло-розовый до светло-серого; внутренние рефлексы отсутствуют. Стандартными реактивами не травится. Микрохимическая реакция на медь и железо положительная. Образует сростание с халькопиритом, кубанитом, пирротином и пентландитом.

По H и R минерал попадает в определительную таблицу I. По характерным признакам (очень сильная анизотропия и двуотражение, положительная реакция на медь и железо) выбираем минерал валлерит. Систематическое изучение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 4 диагностической таблицы I.

Пример 4. Минерал имеет очень низкую твердость, $H=20-30$ кг/мм², отражательная способность меньше галенита и больше сфалерита, $R=35-37\%$, изотропный, цвет серо-белый со слабым голубовато-зеленоватым оттенком; внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: HNO_3 — медленно буреет, HCl — иногда слегка буреет, $FeCl_3$ — буреет, призирует; $HgCl_2$ — буреет, призирует; KCN — буреет до черного. Образует сростание с галенитом и тетраэдритом.

По H и R минерал попадает в определительную таблицу II (слева верхняя часть). По характерным признакам (H , R , эффект поляризации, травление) выбираем минерал аргентит. Систематическое изучение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 5 диагностической таблицы I.

Пример 5. Минерал имеет низкую твердость, $H=65-153$ кг/мм², отражательная способность равна и меньше галенита, $R=44-30\%$ и больше сфалерита; анизотропия и двуотражение сильные; цвет белый и светло-серый (на разных сечениях зерен), внутренние рефлексы отсутствуют; форма индивидов призматическая, игольчатые кристаллы и аллотриоморфные зерна, часто с двойниками и фигурами смятия. Травление: HNO_3 — медленно вскипает и чернеет, KOH — буреет, образуется оранжево-красный осадок (смотреть в косом свете).

По H и R минерал попадает в определительную таблицу II (самая верхняя ее часть). По главнейшим признакам (эффект поляризации, двуотражение, положительное травление HNO_3 и KOH) выбираем минерал антимонит. Для проверки проводим микрохимическую реакцию на сурьму. Рекомендуется сравнить свойства антимонита и джемсонита. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 6а диагностической таблицы I.

Пример 6. Минерал имеет низкую твердость, $H=64-98$ кг/мм², отражательная способность меньше галенита, $R=30\%$, и больше сфалерита; отчетливо анизотропен; цвет светло-серый; внутренние рефлексы сильные красные. Стандартными реактивами не травится. Форма зерен неправильная. Минерал образует сростания с кварцем и антимонитом.

По H и R минерал попадает в определительную таблицу II. По главнейшим признакам (H , R , сильные внутренние рефлексы) выбираем минерал киноварь или пираргирит. Систематическое определение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 6б диагностической таблицы I.

Пример 7. Минерал имеет низкую твердость, по Моосу 2,5—3; отражательная способность равна и меньше шеелита, $R=8-9\%$; изотропный; цвет серый; внутренние рефлексы сильные бесцветные. Травление: HNO_3 — слегка буреет. Форма минерального агрегата колломорфная; в минерале наблюдаются реликты галенита.

По H и R минерал попадает в определительную таблицу II. По наиболее характерным признакам (сильные внутренние рефлексы, травление, форма индивидов) выбираем в этой таблице англезит. Далее систематическое изучение минерала проводим, используя диагностические таблицы. По эффекту анизотропии, H и R исследуемый минерал попадает в подгруппу 9 диагностической таблицы I.

Проводим микрохимическую реакцию на свинец в англезите.

Пример 8. Минерал имеет среднюю твердость, $H=195-225 \text{ кг/мм}^2$, на полированной поверхности часто наблюдается совершенная спайность по (111) и треугольники выкрашивания. Отражательная способность выше, чем у галенита, и немного ниже, чем у пирита, $R=53\%$; изотропный; цвет светло-желтый; внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: HNO_3 — медленно буреет, остальными реактивами не травится. Микрохимическая реакция на никель и железо положительная. Образует сростания с пирротинитом и халькопиритом.

Пример 9. Минерал имеет среднюю твердость, $H=306-397 \text{ кг/мм}^2$, отражательная способность выше, чем у сфалерита, и ниже, чем у галенита, $R=28\%$; изотропный; цвет серовато-белый, с голубовато-зеленоватым оттенком; внутренние рефлексы коричнево-красные, заметные в масле или в порошке. Стандартные реактивы не действуют; KCN — иногда слабо буреет.

Микрохимическая реакция на медь и мышьяк положительная. Встречается в ассоциации с халькопиритом, энаргитом, сфалеритом, борнитом, галенитом и др. Замещает энаргит.

Пример 10. Минерал имеет среднюю твердость, $H=212-329 \text{ кг/мм}^2$, отражательная способность выше, чем у сфалерита, и ниже, чем у галенита, $R=23\%$; сильно анизотропный (цветной эффект — фиолетово-красный до светло-зеленого); двуотражение слабое; цвет светло-розовый и до серо-розового и фиолетового; внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: HNO_3 — иногда слабо тускнеет; HgCl_2 — иногда слабо буреет; KCN — быстро чернеет, выявляется внутреннее строение зерен. Микрохимическая реакция на медь и мышьяк положительная. Встречается в ассоциации с люцитом, халькопиритом и теннантитом. Замещается теннантитом.

Пример 11. Минерал имеет высокую твердость, $H=948-1226 \text{ кг/мм}^2$, отражательная способность выше галенита и близка к пириту, $R=56\%$; изотропный, слабо анизотропный; цвет розовато-белый; внутренние рефлексы отсутствуют. Травление: HNO_3 — иногда медленно слабо тускнеет. Микрохимическая реакция на кобальт положительная. Образует вкрапленность и агрегаты изометрических метакристаллов в скарнах.

Пример 12. Минерал имеет очень высокую твердость, $H=1008-1228 \text{ кг/мм}^2$ полируется плохо, шагрелевая поверхность; отражательная способность больше шеелита, меньше сфалерита; $R=12,5\%$; отчетливо анизотропный; цвет серый; двуотражение слабое; внутренние рефлексы сильные — бурые, желтые. Травление отрицательное. Формы выделений — изометрические кристаллы с двойниковым строением.

О т в е т ы

Пример 8. Пентландит, определительная табл. III, диагностическая подгруппа 13.

Пример 9. Теннантит, определительная табл. IV, диагностическая подгруппа 15.

Пример 10. Энаргит, определительная табл. IV, диагностическая подгруппа 16.

Пример 11. Кобальтин, определительная табл. V, диагностическая подгруппа 23.

Пример 12. Касситерит, определительная табл. VI, диагностическая подгруппа 28.

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Указатель к таблицам

№ диагност. таблиц	Твердость H , кг/мм	Отражательная способность R , %	Эффект анизотропии	Определит. таблиц.	Подгруппы диагностич. табл.
I	Низкая $H < 100$	Больше пирита, $>54,5$	Изотропные анизотропные	I	1 2
		Больше галенита, меньше пирита, $54,5-44$	Изотропные анизотропные	I	3 4
		Больше сфалерита, меньше галенита, $44-18$	Изотропные сильно анизотропные отчетливо анизотропные	II	5 6а 6б
		Больше шеелита, меньше сфалерита, $18-10$	Изотропные анизотропные	II	7 8
		Меньше шеелита, <10	Изотропные анизотропные	II	9 10
II	Средняя $100 \leq H < 500$	Больше пирита, $>54,5$	Изотропные анизотропные	III	11 12
		Больше галенита, меньше пирита, $54,5-44$	Изотропные анизотропные	III	13 14
		Больше сфалерита, меньше галенита, $44-18$	Изотропные сильно анизотропные отчетливо анизотропные	IV	15 16а 16б
		Больше шеелита, меньше сфалерита, $18-10$	Изотропные анизотропные	IV	17 18
		Меньше шеелита, <10	Изотропные анизотропные	IV	19 20
III	Высокая $H > 500$	Больше пирита, $>54,5$	Изотропные анизотропные	V	21 22
		Больше галенита, меньше пирита, $54,5-44$	Изотропные анизотропные	V	23 24
		Больше сфалерита, меньше галенита, $44-18$	Изотропные анизотропные	VI	25 26
		Больше шеелита, меньше сфалерита, $10-18$	Изотропные анизотропные	VI	27 28
		Меньше шеелита, <10	Анизотропные	VI	29



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ ТАБЛИЦАМ

Двухотражение сильное ΔR 62-54 %
Двухотражение слабое $Rq-Rr$




ЭФФЕКТ ПОЛЯРИЗАЦИИ

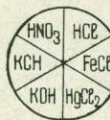
- Слабо анизотропные
- Отчетливо анизотропные
- Сильно анизотропные
Не подчеркнуты минералы изотропные

ВНУТРЕННИЕ РЕФЛЕКСЫ

-  Рефлексы сильные, заметные в воздухе
-  Рефлексы 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

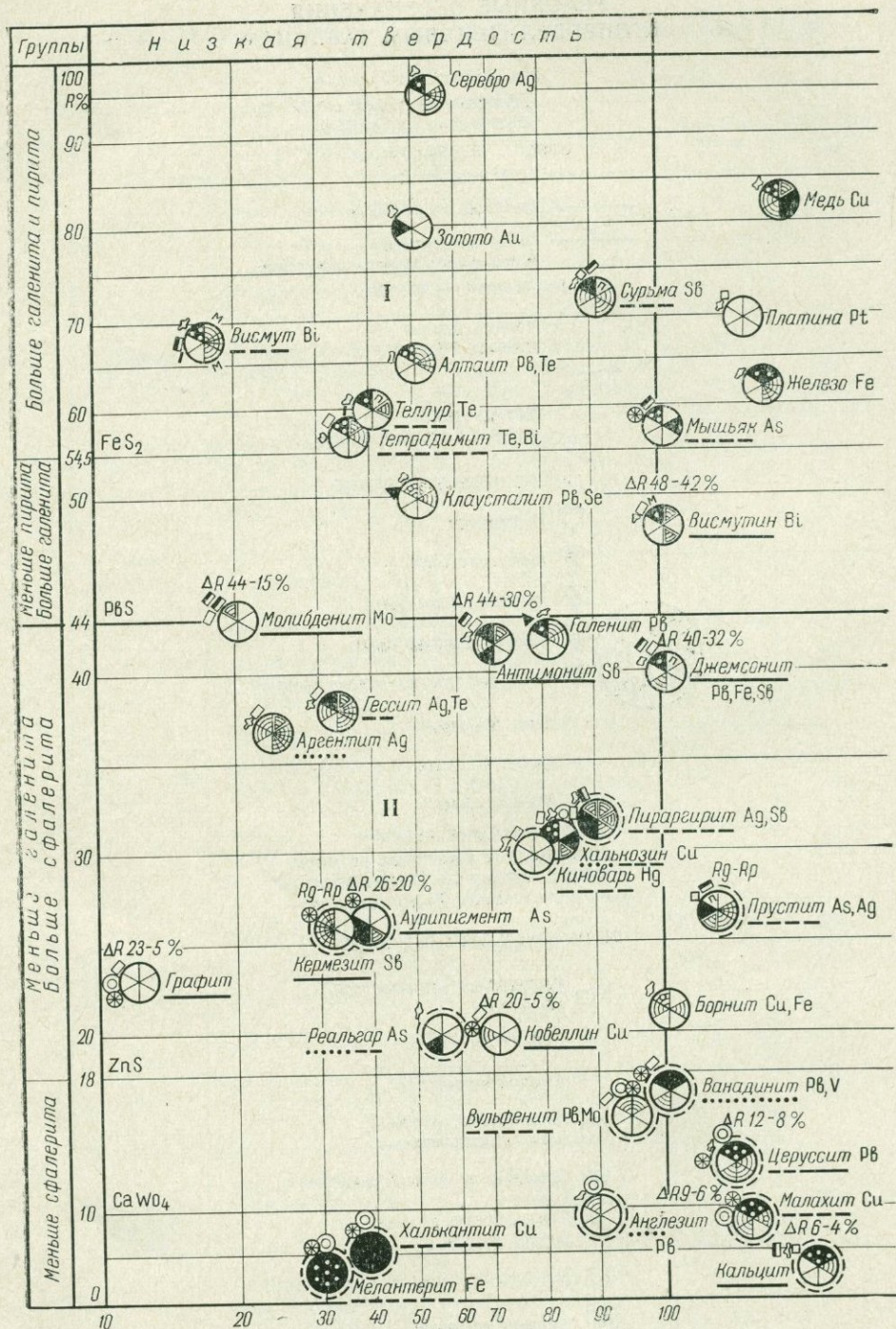
МИКРОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

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

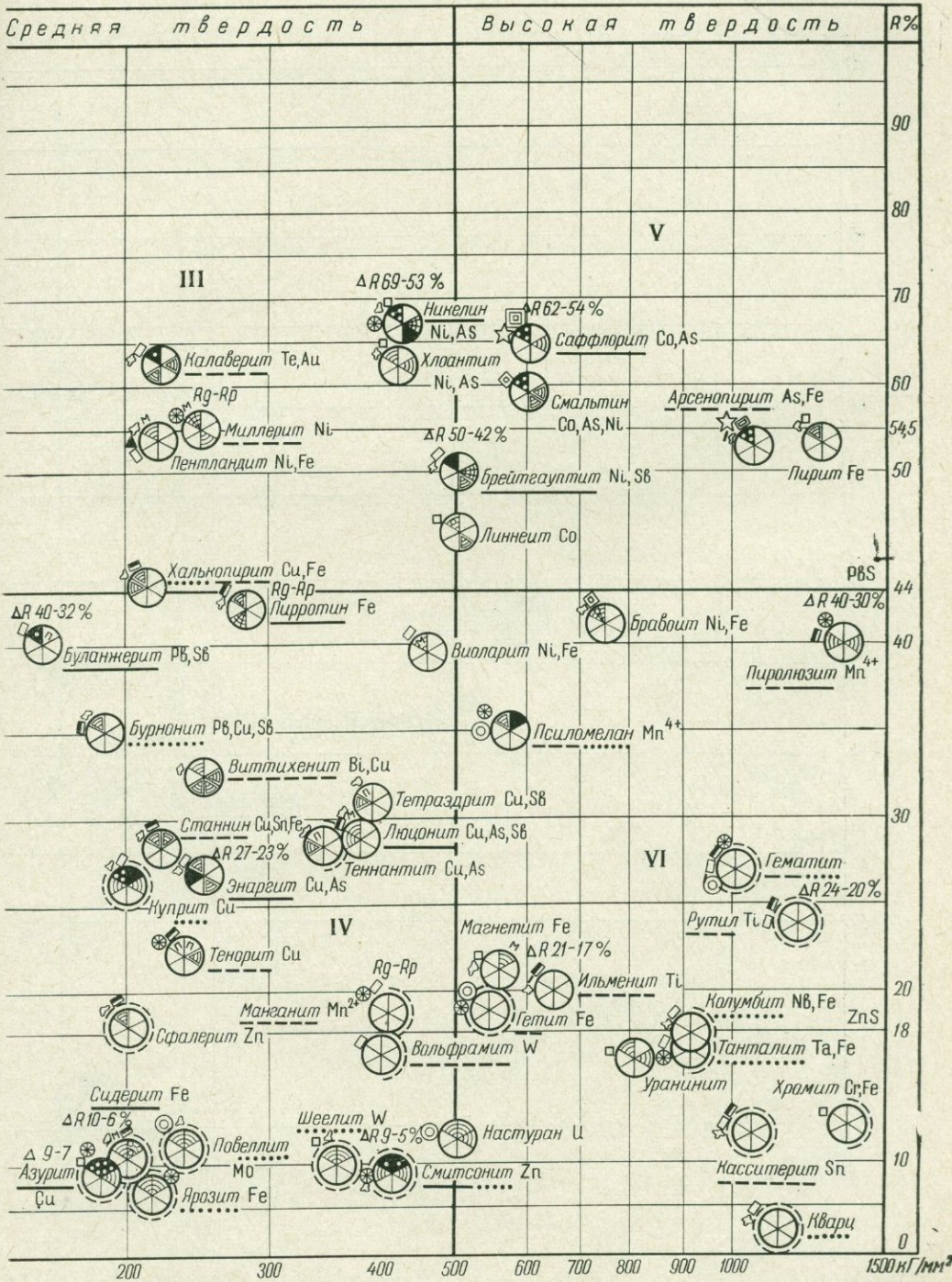
ФОРМА МИНЕРАЛЬНЫХ ИНДИВИДОВ

-  Идиоморфная: изометричная, удлиненная
-  Пластинки, игалки
-  Аллотриоморфная
-  Коллоидная, аморфная, скрытокристаллическая
-  Радиально-лучистая, волнистая
-  Пластинчатые двойники, фигуры смятия
-  Звездочки-тройники
-  Зональное строение

СВОДНАЯ



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ

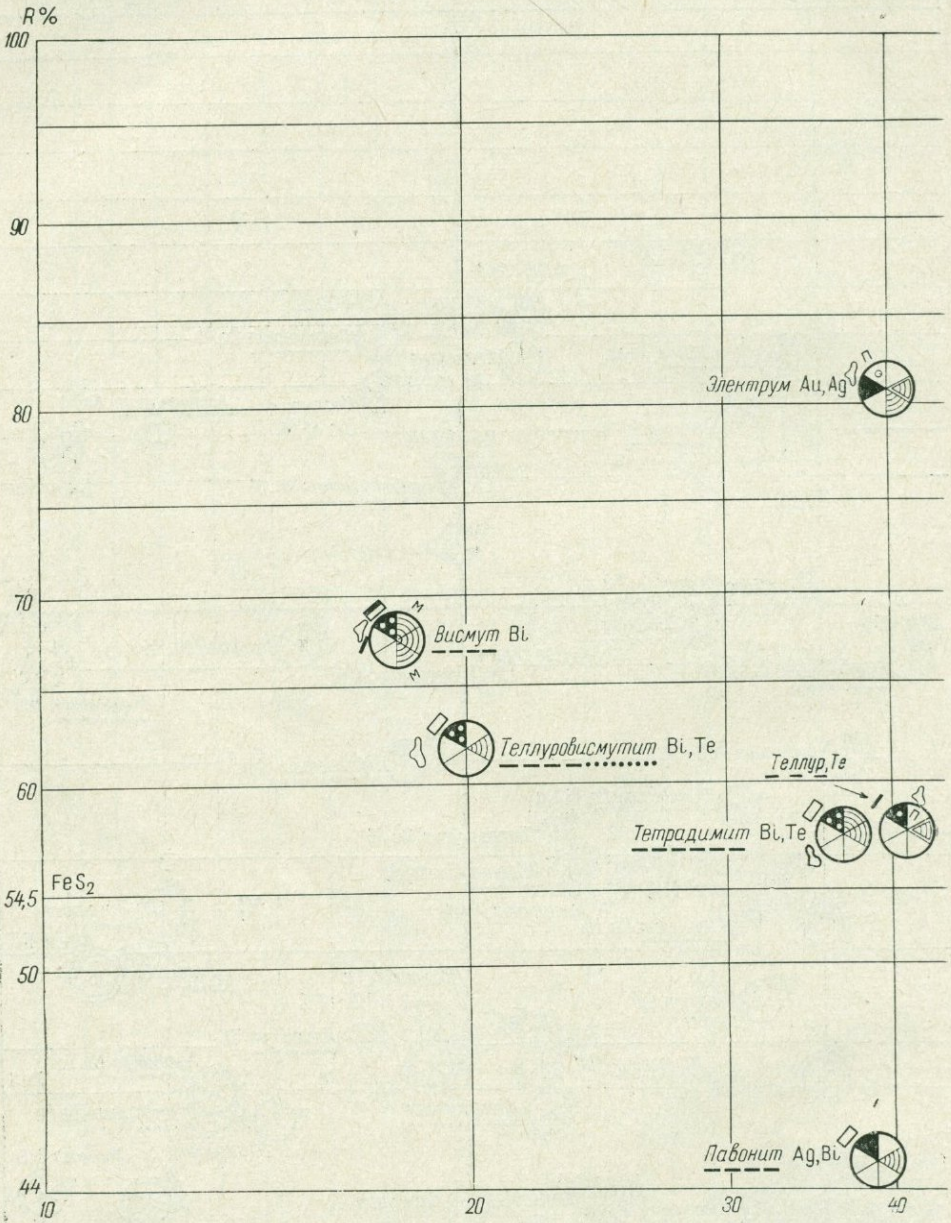
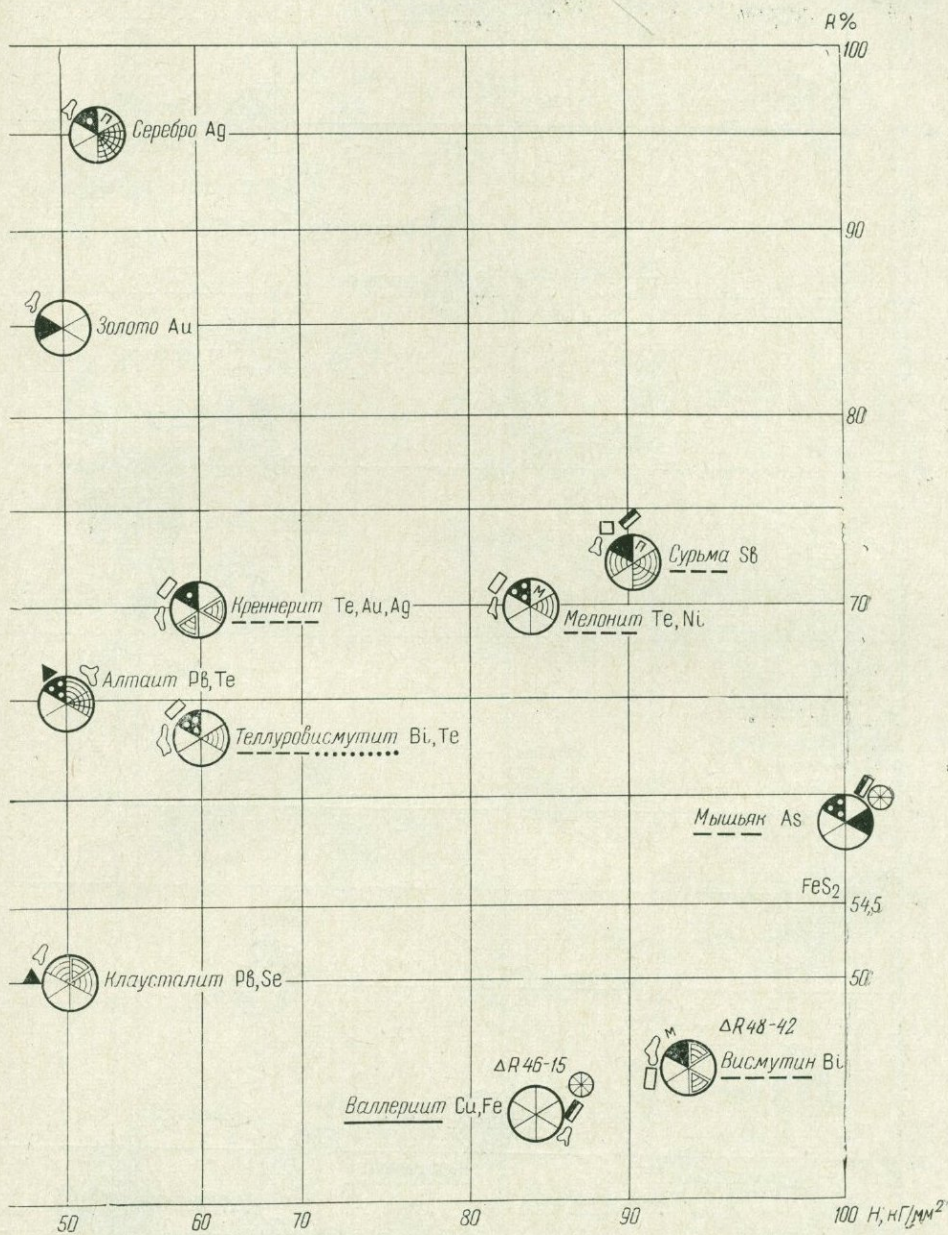


ТАБЛИЦА I



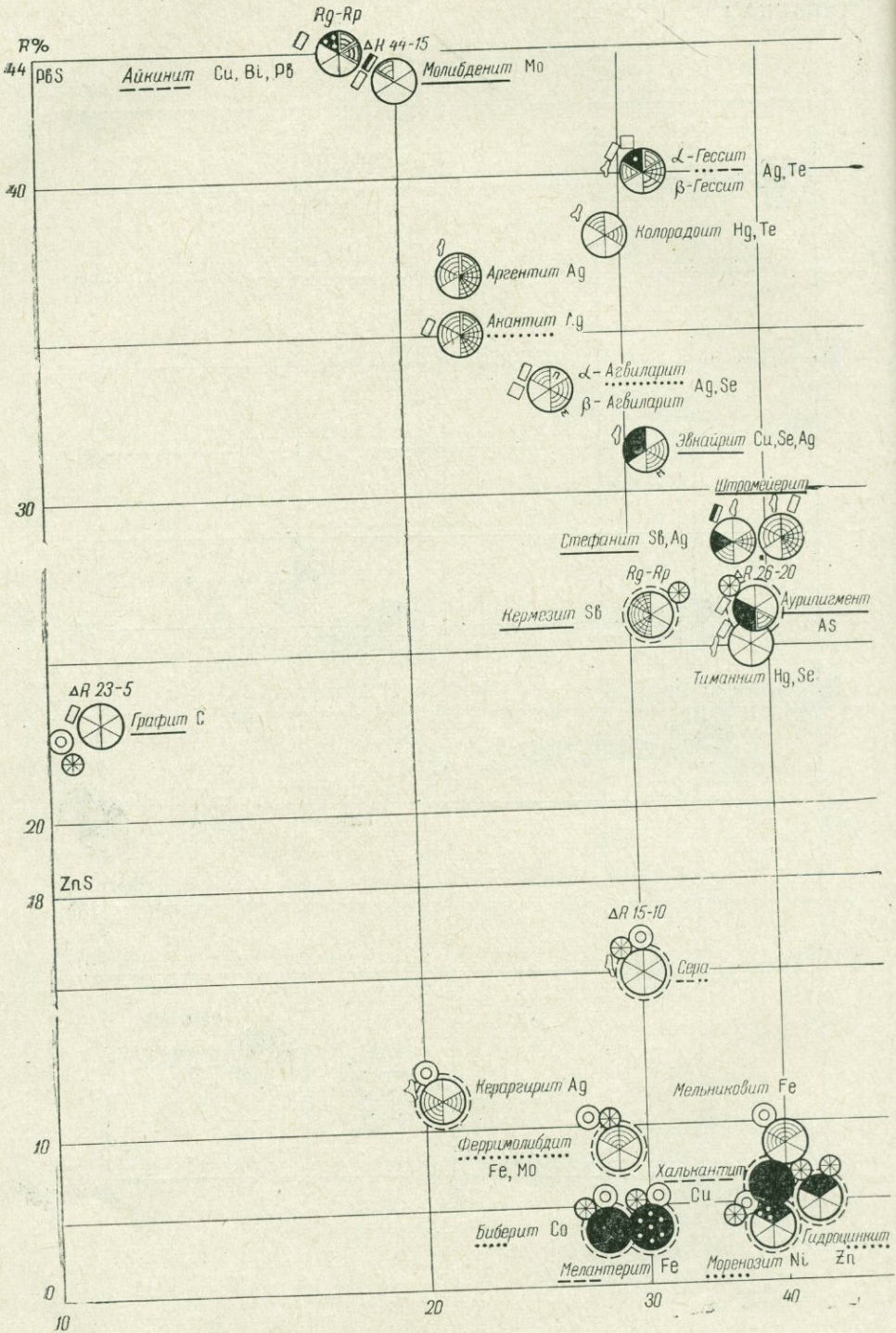
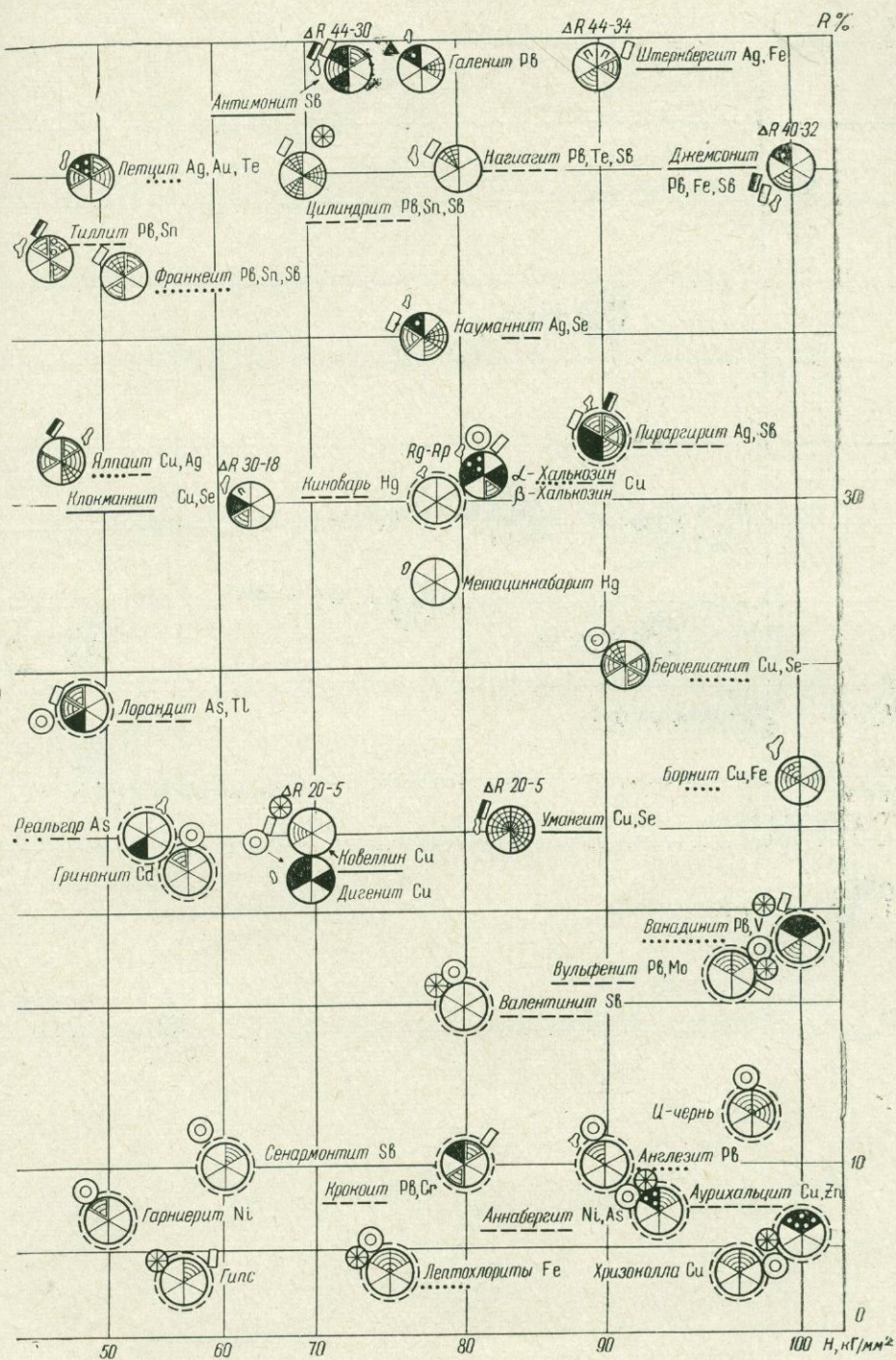


ТАБЛИЦА II



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ

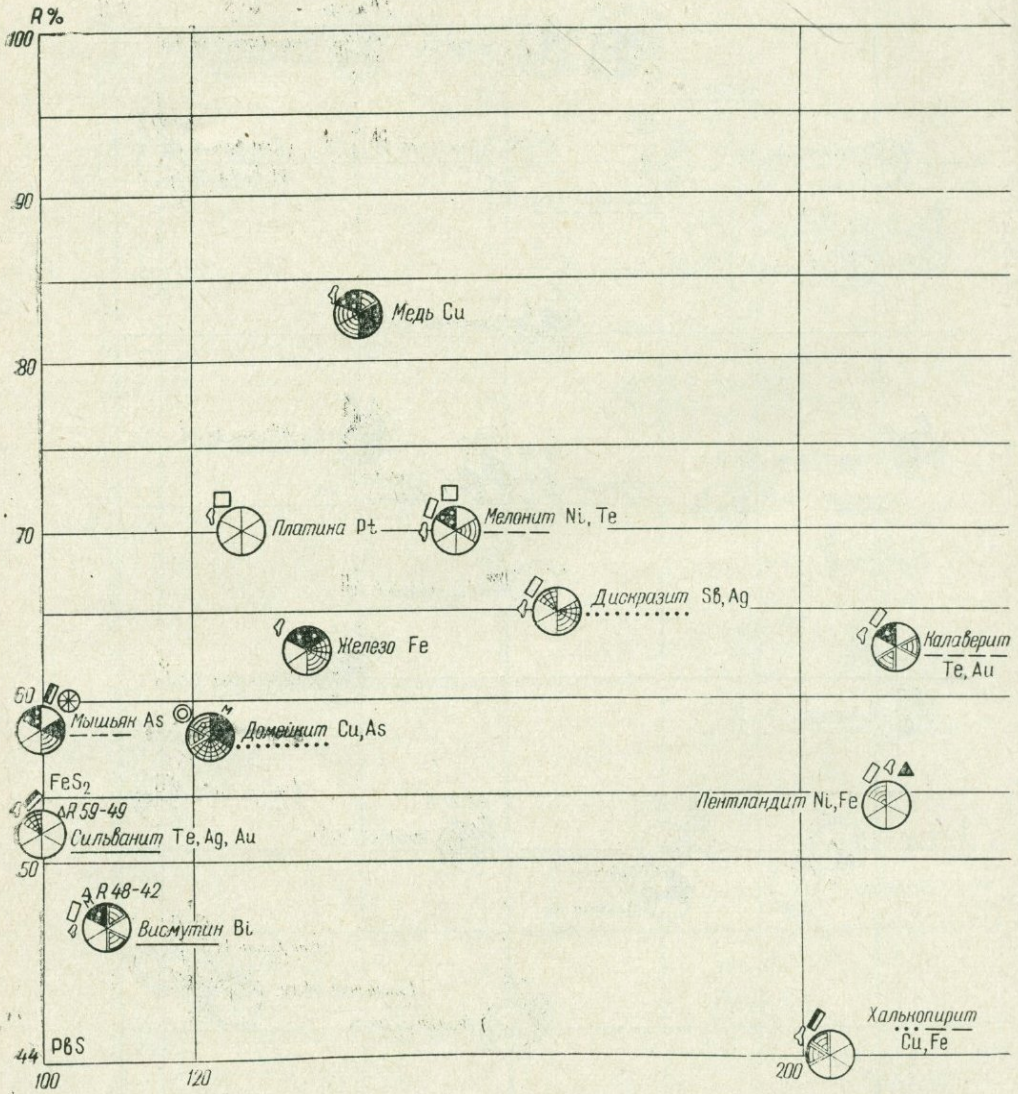
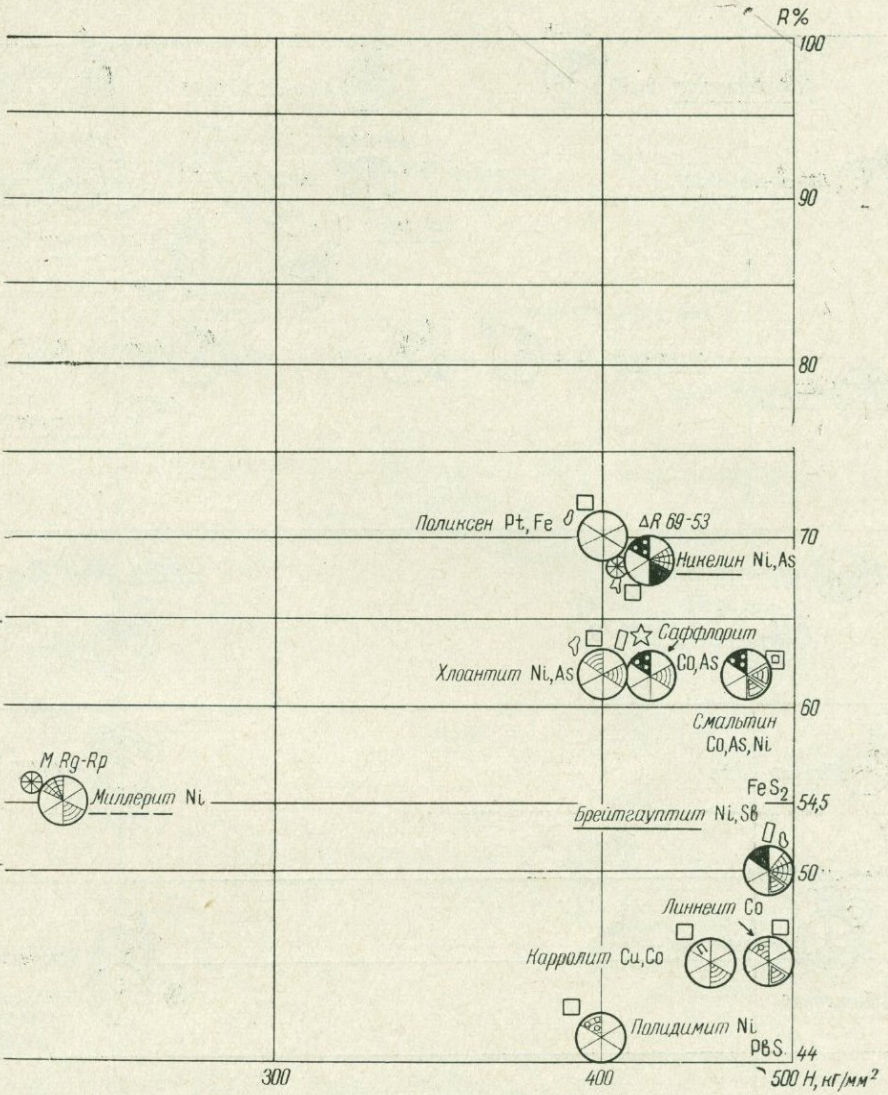


ТАБЛИЦА III



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ

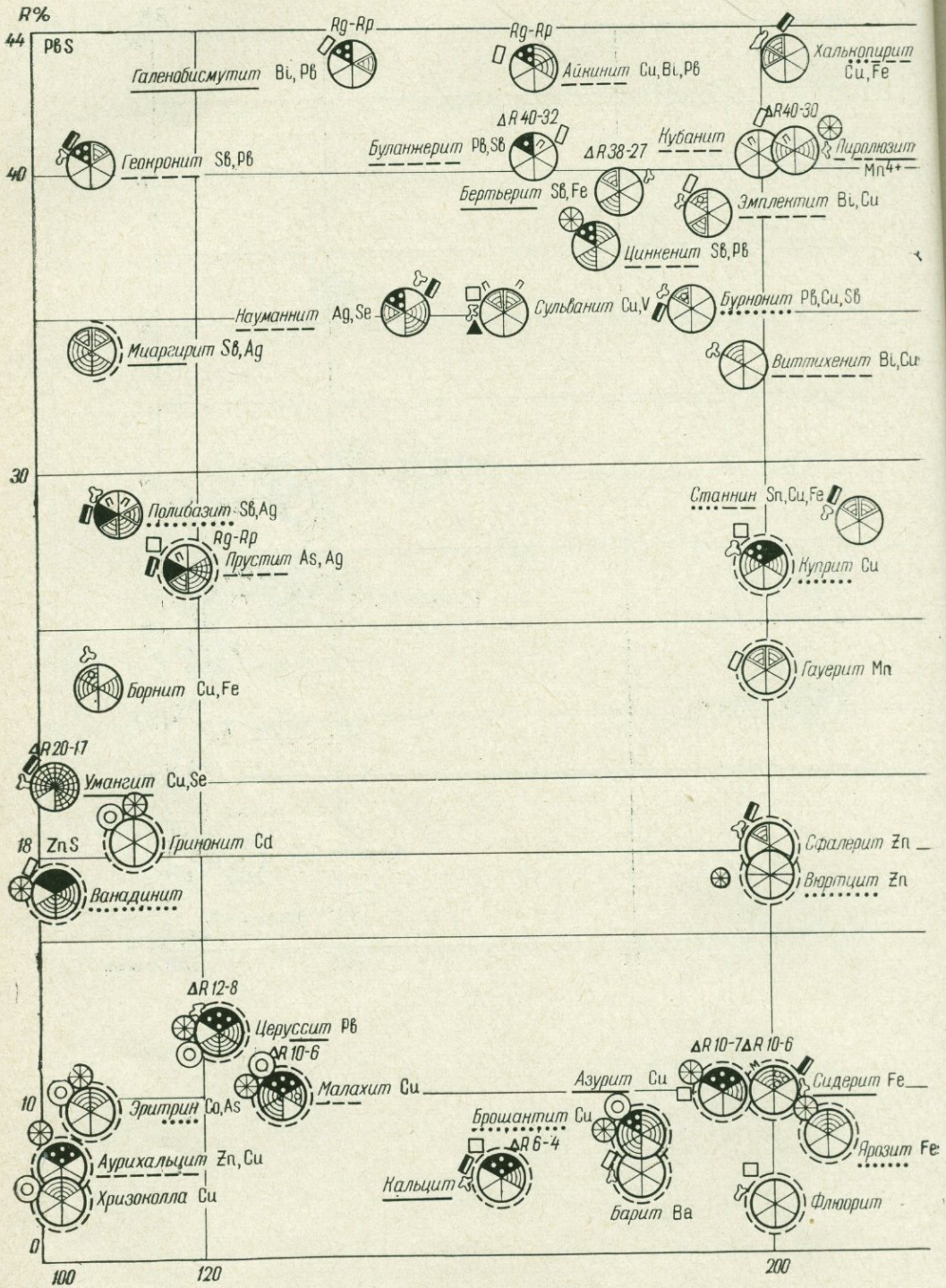
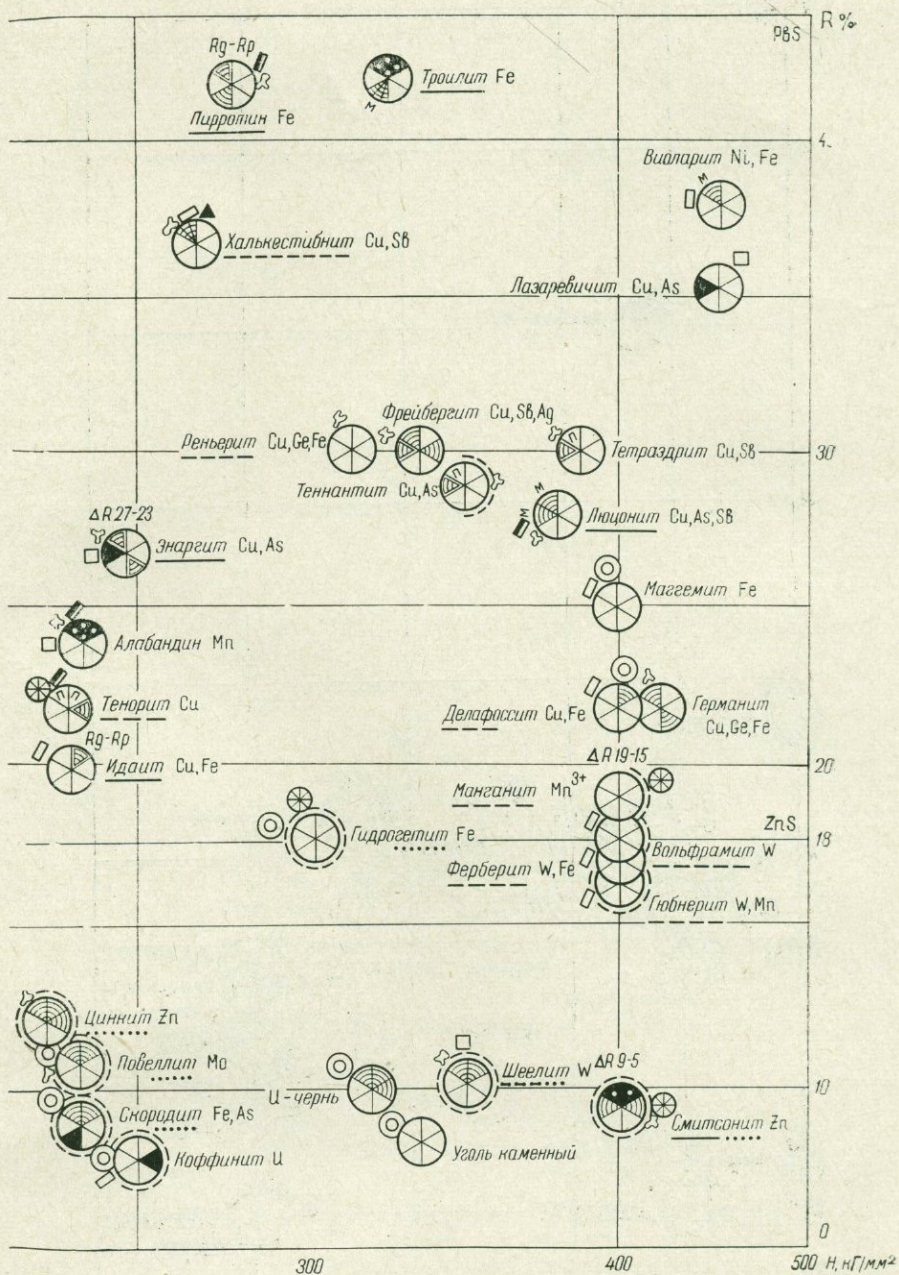


ТАБЛИЦА IV



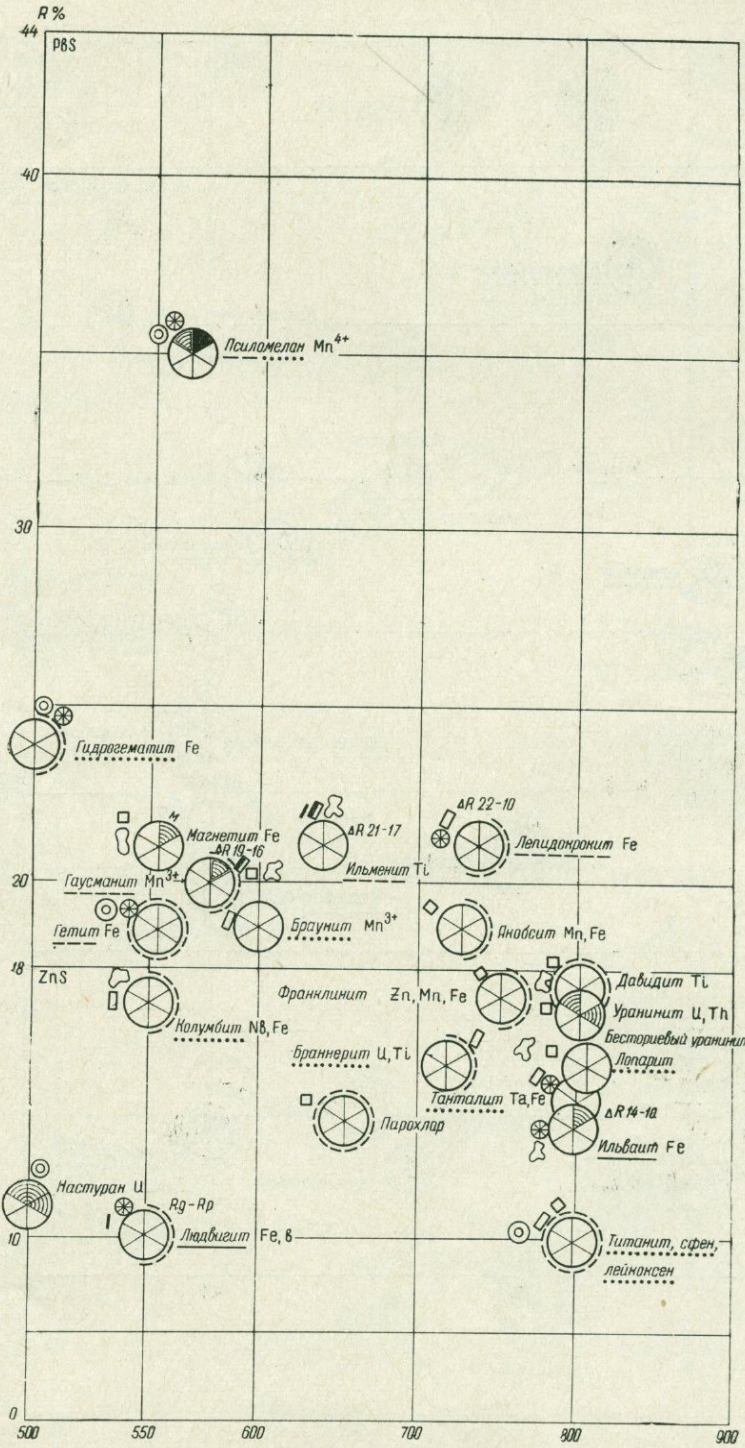
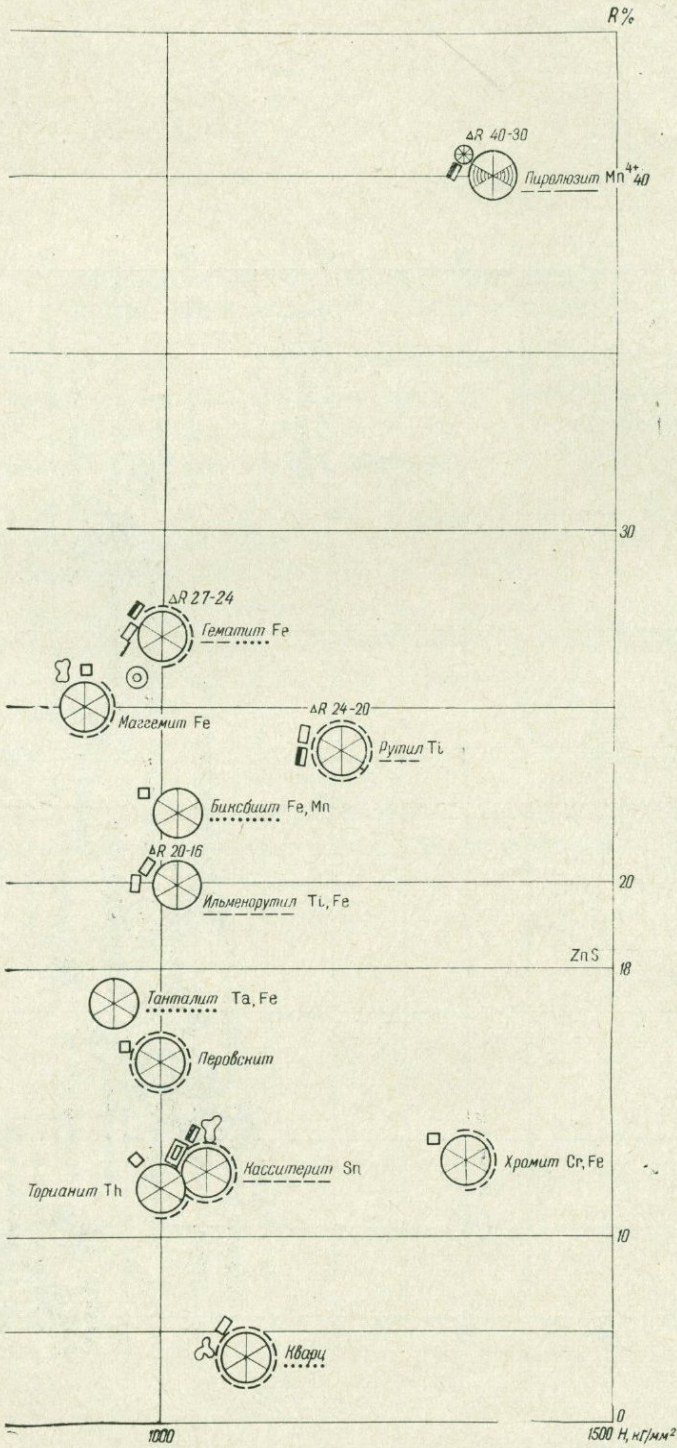
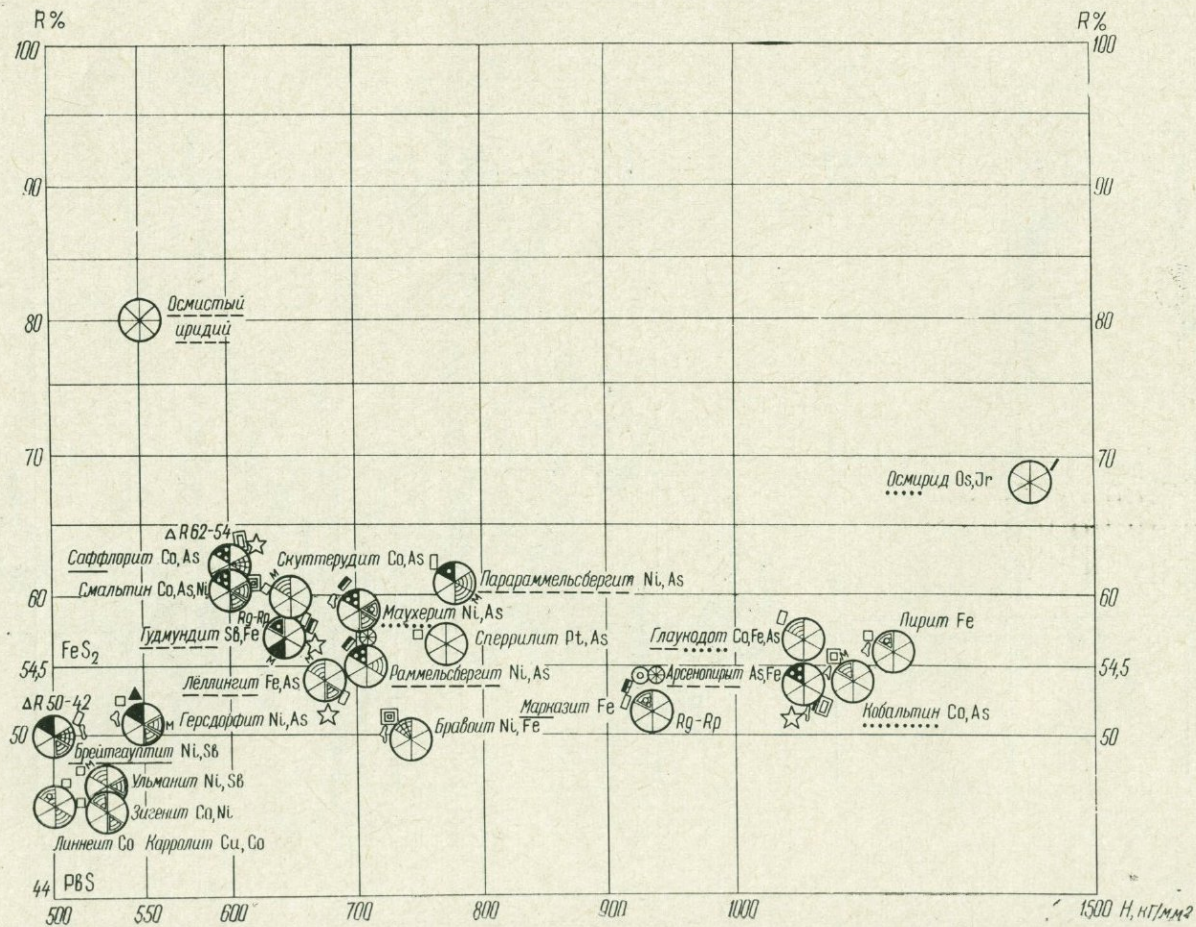


ТАБЛИЦА VI



ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА V



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ,
ПРИНЯТЫЕ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТАБЛИЦАХ**

R — отражательная способность в %. Данные по величине для желтого света приведены по Волинскому (Вл), Вахромееву (В); для белого и зеленого света — по Бауи (Б), Гецевой и Савельевой (Г, С), Пудовкиной и Соболевой (П, С), Рамдору (Р), Синдеевой (С), Эльснеру (Э), Юшко (Ю).

ΔR — двуотражение:

- а) сильное, заметное в воздухе;
- б) слабое, заметное в иммерсии (МИ).

H — микротвердость, $кг/мм^2$. Данные по величине микротвердости приведены по Баун и Тейлору (Б,Т), Лебедевой (Л), Синдеевой (С); Гецевой и Савельевой (Г,С), Пудовкиной и Соболевой (П, С), Янгу и Милману (Я, М).

Внутренние рефлексы:

- а) сильные внутренние рефлексы бесцветные и окрашенные, заметные в воздухе (В) в скрещенных николях или в косом свете;
- б) слабые внутренние рефлексы бесцветные и окрашенные, заметные в порошке в скрещенных николях при увеличении в 210X, 400X, или в иммерсии (МИ).

Диагностическая таблица I.

Минерал; химический состав, %; сингония	Отражательная способность R , % (1); двухотражение ΔR (2); цвет (3)	Эффект поляри- зации (1), внут- ренние рефлексы (2)	Твердость по Моосу; микро- твердость H , $\kappa\Gamma/мм^2$; пове- дение при полировании	Микрохимические реакции
1	2	3	4	5

Подгруппа 1. Твердость низкая.

Самородное сереб- ро Ag кубич.	1) 95,5 (Вл) 95 (Э) 3) ярко-белый с кремовым оттен- ком (на свету бы- стро тускнеет)	1) изотропен 2) нет	2,5-3 41-57; 50 (Л) 48-63; 53 (Б,Т) хорошее	Реакция на Ag на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Остаток реак- тива снять фильтр. бумагой. Проявитель: K_2CrO_4 . Осадок оранжево-красного цвета
Самородное золото Au кубич.	1) 84 (Вл) 80,6 (Б) 83 (Э) 3) ярко-желтый	То же	2,5-3 50-59; 54 (Л) 45-100; (Л) 50-52; 51 (Б,Т) хорошее	Реакция на Au на предмет- ном стекле. Растворитель: царская водка. Эксп. 3 мин. Проявитель: $SnCl_2$. Осадок металлического золота
Электрум Au, Ag Ag 10-15 кубич.	1) 84 (Вл) 81 (Ю) 3) блестящий светло-желтый	»	2-3 68-82; 72 (Л) 80-100 (Л) 34-55; 40 (Б,Т) хорошее	См. золото и серебро
Алтаит PbTe Pb 61, 91 Te 38, 09 кубич.	1) 65 (Э) 73 (Вл) 61 (Р) 3) белый с зелено- ватым оттенком	1) изотропен 2) нет	2-3 46-60; 53 (Л) 48-57; 51 (Б,Т) хорошее	Реакция на Pb. Раствори- тель: HNO_3 (1:1). Эксп. 3 мин. Фильтр. бумага+ +и. р. Проявитель: 1) ам- миак, 2) KJ (5%). Пятно желтого цвета

Подгруппа 2. Твердость низкая.

Самородная сурьма Sb Sb 86-98,00 тригон.	1) 74,5 (Вл) 72,3 (Б) 2) слабое 3) ярко-белый	1) отчетливо ани- зотропен 2) нет	3-3,5 88-135; 97 (Л) 83-99; 89 (Б,Т) очень хорошее	Реакция на Sb на аншлифе. Минерал- HNO_3 конц. (раст- воритель). Эксп. 2 мин. Остаток кислоты снять фильтр. бумагой. Раствори- тель: HCl (1:1) положить на травленое место. Проя- витель: $KJ+CsCl$ (порошки). Осадок красного цвета (смо- треть в косом свете)
Самородный висмут Bi ~100 тригон.	1) 68 (Вл, Р) 68 (Э) 2) слабое 3) белый с розо- вато-кремовым от- тенком или светлый розовато-желтова- тый. На воздухе темнеет	То же	2-2,5 16-26; 21-23 (Л) 16-19; 18 (Б, Т) хорошее, плохое	Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Проя- витель: тиомочевина
Теллуриовисмутит Bi_2Te_3 Bi 52,09 Te 47,91 тригон.	1) 62,5-60,5 (Б) 56,9 (С) 69 (Вл) 2) слабое 3) белый с розо- вым оттенком	1) слабо, отчетливо анизотропен (цвет- ной эффект голу- боватый, желтый) 2) нет	1,5-2 32-93; 60 (Л) 20-21; 21 (Б,Т) хорошее	См. самородный теллур и висмут
Тетрадимит Bi_2Te_2S Bi 59,27 S 4,55 Te 36,18 тригон.	1) 56,9 (С) 55 (Вл) 2) слабое 3) белый с розо- вато-желтоватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен 2) нет	1,5-2 25-76; 36 (Л) хорошее	Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2-3 мин. Проя- витель: тиомочевина

Минералы низкой твердости

Форма и внутреннее строение выделений; методы их выявления	Парагенезис	Дебаграмма 1) по Михееву, 1957 2) по Рамдору, 1962	Отличительные диагностические признаки
6	7	8	9

R > пирита, изотропные

Аллотриоморфнозернистые агрегаты, дендриты, скелетные зерна. Пластинчатые двойники и зональное строение выявляются раствором CrO_3 в HNO_3 конц. в течение 1—3 еек	Галенит, пираргирит, прустит, дискразит, блеклая руда, тетраэдрит	1) 2,37 (9) 1,232 (6) 2,05 (5)	Кремевый оттенок; изотропен; травление; темнеет на воздухе и на свету
Мелкие аллотриоморфнозернистые агрегаты. Пластинки, прожилки, призматки, дендриты, вкрапленность. Стр. травление: раствор CrO_3 в царской водке	Пирит, кварц, арсенопирит, галенит, халькопирит, блеклая руда, антимонит, лимонит	1) 2,35 (10) 2,03 (9) 1,226 (9)	Цвет; высокая отражательная способность; изотропен; почернение от KCN
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, прожилки, дендриты	Золото, кварц, серебро, пираргирит, прустит, висмут, аргентит, штромейерит, галенит и др.	—	Сходен с золотом и серебром; отличается хим. анализом
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, скелетные зерна. Совершенная спайность по (100). Треугольники выкрашивания. Стр. травление: HNO_3 конц. в течение 1 мин	Креннерит, галенит, золото, теллур, петцит, гессит	1) 3,22 (10) 2,28 (8) 1,439 (5)	От галенита отличается высокой отражательной способностью и реакцией на Te ; от теллура—изотропностью

R > пирита, анизотропные

Аллотриоморфнозернистые агрегаты, реже натечные корки, почки, сталактиты с радиальнолучистым строением. Спайность по (001) совершенная. Полисинтетические двойники. Треугольники выкрашивания	Антимонит, бертьерит, смальтин, висмут, серебро, дискразит и др.	1) 2,49 (10) 2,151 (10) 1,366 (10)	От дискразита отличается травлением и отрицательной реакцией на Ag; от мышьяка, висмута и серебра—реакцией на Sb и травлением KOH
Дендриты, скелетные зерна. Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Полисинтетические двойники	Висмутин, сафлорит, пирротин, галенит, золото, смальтин, тетрадимит	1) 3,31 (10) 1,435 (9) 2,245 (9)	Низкая твердость; отчетливо анизотропный; спайность; двойниковое строение; реакция на Bi
Таблитчатая или призматическая форма зерен. Листоватые чешуйчатые агрегаты. Спайность по (0001). Двойники отсутствуют	Тетрадимит, алтаит, висмутин, золото, галенит, мелонит, гессит, теннантит, халькопирит	1) 3,21 (10) 2,37 (8) 2,19 (5)	По сравнению с тетрадимитом—более слабо анизотропный, светлее. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
Аллотриоморфнозернистые агрегаты и пластинчатые кристаллы	Золото, пирит, халькопирит, галенит, гессит, самородный висмут, висмутин, бончевит	1) 3,20 (10) 5,06 (6) 2,16 (8)	Более слабая анизотропия, чем у креннерита и теллура. Реакция на Bi. От теллура-висмутита и висмута отличается хим. анализом и дебаграммой

1	2	3	4	5
Самородный теллур Те тригон.	1) 63,0 (Вл, Р) 56,5 (С) 2) слабое (на границах зерен) 3) белый с кремовым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) нет	2—2,5 29—87; 38 (Л) хорошее	Отпечаток на Те черного цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2—3 мин. Проявитель (свежеприготовленный): CsCl (10%) + KJ (5%) + гипосульфит
Креннерит (Au, Ag) Te ₂ Au 32,99 Te 59,69 Ag 7,22 ромбич.	1) 75,0 (Вл) 60,9 (С) 55 (Э) 2) отчетливое 3) белый с кремовым оттенком	То же	2—2,5 36—88; 62 (Л) 39—79 (С) хорошее	См. самородный теллур и самородное золото
Мелонит NiTe ₂ Ni 18,70 Te 81,30 тригон.	1) 71 (Вл) 60 (С) 2) слабое 3) светло-розовый (розовато-белый)	1) отчетливо анизотропен (цветной эффект), прямое угасание 2) нет	1—1,5 141—220; 161 (Л) 63—166; 85 (Л) посредственное, плохое	Реакция на Ni. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: аммиак + рубеоновая кислота. Пятно фиолетового цвета
Самородный мышьяк As~100 тригон.	1) 58 (Вл) 50,5 (Б) 62 (Э, Р) 2) слабое 3) белый (серобурый в старых шлифах)	1) отчетливо анизотропен 2) нет	3,5 93—137; 123 (Л) 57—69; 63 (Б, Т) отличное	Прямой отпечаток на As желтого цвета. Растворитель: HNO ₃ конц. с небольшим количеством NH ₄ MoO ₄ . Эксп. 2 мин

Подгруппа 3. Твердость низкая

Клаусталит PbSe Pb 72,34 Se 26,66 кубич.	1) 50,4 (С, Р) 49 (Э) 3) белый	1) изотропен 2) нет	2—3 49—63; 55 (Л) хорошее	Отпечаток на Se красного цвета. Растворитель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина
---	--------------------------------------	------------------------	---------------------------------	--

Подгруппа 4. Твердость низкая, R >

Сильванит AgAuTe ₂ Au 24,19 Ag 13,22 Te 62,59 монокл.	1) 54 (Б) 59—49 (Вл) 56 (Э) 2) сильное (кремово-белый до кремово-коричневого) 3) белый со слабым желтоватым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект) 2) нет	1—1,5 91—149; 137 (Л) 60—98; 110 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Те черного цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2—3 мин. Проявитель (свежеприготовленный): раствор CsCl (10%) + KJ (5%) + гипосульфит
Мелонит NiTe ₂ Ni 18,70 Te 81,30 тригон.	1) 71 (Вл) 60 (С) 2) слабое 3) светло-розовый (розовато-белый)	1) отчетливо анизотропен (цветной эффект), прямое угасание 2) нет	1—1,5 63—220; 161 (Л) посредственное, плохое	Реакция на Ni. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: аммиак + рубеоновая кислота. Пятно фиолетового цвета
Висмутин Bi ₂ S ₃ Bi 81,30 S 18,70 ромбич.	1) 48—42 (Вл) 48 (Э) 2) слабое, заметное на границах зерен 3) белый с желтоватым оттенком	1) сильно анизотропен, прямое угасание 2) нет	2 73—188; 153 (Л) 119; 107 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина
Павонит Ag ₂ S·3Bi ₂ S ₃ Ag 21,52 Bi 62,50 S 15,38 монокл.	1) больше галенита 43—45 2) слабое, заметное на границах зерен 3) белый	1) отчетливо анизотропен 2) нет	2—3 отличное	Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина

6	7	8	9
Мелкозернистые или игольчатые агрегаты. Призматические кристаллы	Теллуриды золота и серебра, пирит, халькопирит, золото, галенит	1) 3,220 (10) 2,330 (8) 2,220 (7)	Похож на тетрамит и мышьяк, отличается по твердости и по реакциям
Агрегаты аллотриоморфных и короткопризматических зерен. Спайность по (001) совершенная. Стр. травление: HNO_3 (1 : 1) в течение 4 сек	Золото, сиванит, пирротин, пираргирит, фрейбергит, пирит, галенит, сфалерит, кварц	1) 3,03 (10) 2,11 (8) 2,94 (7)	От калаверита отличается наличием спайности и твердостью, от сиванита — отсутствием двойников
Мелкопластинчатые и овальные зерна	Петцит, гессит, золото, пирит, галенит, алтаит, халькопирит, теллуросмугит, калаверит и др.	1) 2,81 (10) 1,544 (6) 2,05 (5)	Цвет: высокая отражательная способность; слабое двуотражение; реакция на Ni и Te; парагенезис
Агрегаты аллотриоморфнозернистые и концентрически-скорлуповатые. Пластинчатые двойники в зернах и зональное строение. Стр. травление: H_2O_2	Дискразит, сурьма, домейкит, висмут, прустит, лёллингит, галенит, геокронит, блеклые руды, пираргирит	1) 2,74 (10) 1,867 (10) 1,53 (10)	В полированных шлифах быстро чернеет на воздухе. Травится H_2O_2 . Реакция на As
<i>R > галенита, R < пирита, изотропные</i>			
Тонкозернистый агрегат аллотриоморфных зерен. Совершенная спайность по (001). Треугольники выкрашивания	Галенит, алтаит. В рудах «пятиэлементной» формации полиметаллических и колчеданных	1) 3,05 (10) 2,16 (9) 1,840 (5)	Очень похож на галенит и алтаит, отличается от них отражательной способностью, реакцией на Se
<i>галенита, R < пирита, анизотропные</i>			
Скелетные кристаллы. Дендритообразные агрегаты. Полисинтетические двойники в зернах	Золото, калаверит, теллуросмугит, висмутин и др. В золото-серебряных рудах	1) 3,04 (10) 2,14 (5) 2,25 (3)	Сильное двуотражение; сильная анизотропия; твердость и полисинтетическое двойникование
Мелкопластинчатые и овальные зерна	Петцит, гессит, золото, пирит, галенит, алтаит, халькопирит, теллуросмугит, калаверит и др.	1) 2,81 (10) 1,544 (6) 2,05 (5)	Цвет: высокая отражательная способность; слабое двуотражение; реакция на Ni и Te; парагенезис
Призматические и игольчатые кристаллы. Лучистые и аллотриоморфнозернистые агрегаты. Спайность по (010) совершенная	Галенит, висмут, сфалерит, арсенопирит, молибденит, халькопирит и др.	1) 3,50 (10) 3,08 (9) 2,79 (8)	Желтоватый оттенок цвета; спайность по (010); реакция на Bi. Отрицательная реакция травления с KOH отличает от антимонита
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Редко кристаллы	Халькопирит, висмутин	2) 3,60 (6) 3,33 (6) 2,96 (6) 2,84 (10) 2,01 (7)	Реакция на Bi и Ag. Без диаграммы уверенно определить нельзя

1	2	3	4	5
Валлерит $\text{Cu}_3\text{Fe}_4\text{S}_3$ Cu 29,67 Fe 34,98 S 35,15 ромбич.	1) 46—15 (Вл) 47—19 (Р, Э) 2) сильное (крем-ово-розово-белое до серого) 3) кремово-белый (как пирротин) до серого (как сфалерит)	1) сильно анизотропен 2) нет	1—2,5 50—93; 82 (Л) хорошее	Отпечаток на Си серо-зеленого цвета, на железо синего цвета. Растворитель: HCl конц. + HNO_3 конц. + H_2O (1:1:1). Эксп. 3—5 мин. Проявитель на медь: аммиак + рубановая кислота. Проявитель на железо: $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$
Галенит PbS Pb 86,60 S 13,40 кубич.	1) 44 (Э) 41,7 (Б) 44,0 (Вл) 3) белый, эталон	1) изотропен 2) нет	2,5 64—110; 77 (Л) 71—84; 76 (Б,Т) хорошее	Реакция на Рв. Растворитель: HNO_3 конц. на шлифе. Эксп. 1 мин. Избыток кислоты снять фильтр. бумагой. Проявитель: KJ (5%) на травленое место шлифа. Пленка желтого цвета
Петцит Ag_3AuTe_2 Ag 41,71 Au 25,42 Te 32,87 кубич. (ромбич. модификация)	1) 40 (С) 38 (Вл) 45 (Э) 2) нет (очень слабое) 3) серо-белый с сиреневым или коричневым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) нет	2,5—3 46—54; 49 (Л) хорошее	Отпечаток на Те черного цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: CsCl (10%) + KJ (5%) (свежеприготовленный раствор). Реакция на Ag, см. аргентит
Аргентит Ag_2S Ag 87,06 S 12,94 β - аргентит ($>179^\circ\text{C}$) кубич.	1) 37 (Р) 35-(Вл) 3) серо-белый со слабым голубовато-зеленоватым оттенком	1) изотропен 2) нет	2—2,5 20—30 (Л) 20—30; 24 (Б, Т) плохое	Прямой отпечаток на Ag фиолетово-красного цвета. Растворитель: 1 ч. 5% KCN + 1 ч. насыщенного раствора Р-диметиламинобензилден-родамина в ацетоне. Эксп. 3—5 мин. Промыть в воде, подкисленной HNO_3
Акантит α = аргентит ($<179^\circ\text{C}$) монокл. скрытокрист.	1) 35 (Вл) 2) очень слабое на границах зерен 3) серо-белый со слабым голубовато-зеленоватым оттенком	1) слабо анизотропен, изотропен 2) нет		
Науманнит Ag_2Se Ag 73,15 Se 26,85 кубич.	1) 36 (С) 3) серовато-белый с зеленовато-синеватым оттенком	1) изотропен 2) нет	2—2,5 27—56 (Л) посредственное	
Агвиларит α - агвиларит Ag_4SeS ($t < 133^\circ\text{C}$) Ag 79,50 Se 5,91 S 14,59 ромбич. β - агвиларит ($t > 133^\circ\text{C}$) кубич.	1) 36 (Р) 30 (С) 3) белый с синезеленоватым оттенком	1) изотропен, очень слабо анизотропен (α - агвиларит) 3) нет	2—2,5 26—32 (Л) хорошее	Отпечаток на Se красного цвета. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина. Реакция на Ag, см. аргентит
Колора донт HgTe Hg 61,14 Te 38,86 кубич.	1) 37,7 (С) 3) белый с розовато-коричневым оттенком	1) изотропен 2) нет	2 27—35 (Л) хорошее	Отпечаток на Те черного цвета и на Hg оранжевого цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2 мин. Проявитель (свежеприготовленный) на теллур: CsCl (10%) + KJ (5%) + гипосульфит. Проявитель на ртуть: KJ (5%)
Метациннабарит HgS Hg 86,21 S 13,79 кубич.	1) 28 (Р) 27 (Вл) 2) слабое на границах зерен 3) серо-белый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) нет, порошок черный	3 74—86; 79 (Л) хорошее	Реакция на Hg. Раскаленный перл соды и буры проводится в контакт с минералом. Эксп. 1—2 мин. Пленка металлической ртути (смотреть в косом свете)

Подгруппа 5. Твердость низкая, R <

6	7	8	9
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Почки с концентрически-зональным строением. Двойниковое строение зерен. Решетчатые и пластинчатые структуры распада с халькопиритом	Халькопирит, кубанит, пирротин, пентландит	1) 11,56 (10) 5,739 (10) 3,270 (10)	Резко изменяющийся цвет: очень сильное двуотражение и анизотропия. Реакция на Cu
<i>галенита, R > сфалерита, изотропные</i>			
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Весьма совершенная спайность по (100). Треугольники выкрашивания	Сфалерит, пирит, халькопирит, бурнонит, блеклая руда, козалин, галеновисмутит	1) 2,965 (10) 2,093 (10) 1,324 (10)	Треугольники выкрашивания; диагностическое травление. Реакция на Pb
Тонкозернистые агрегаты. Пластинчатые двойники у анизотропных разностей	Гессит, калаверит, сильванит, теллур, халькопирит, сфалерит, пирит	1) 2,77 (10) 2,11 (5) 2,02 (4)	Коричневый оттенок—отличие от галенита. От гессита отличается слабым эффектом анизотропии. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Структуры распада твердого раствора в галените	Галенит, халькопирит, тетраэдрит, сульфосоли серебра, теллуриды серебра, арсениды никеля и кобальта, серебро, прустит, пираргирит	1) 2,58 (10) 2,44 (10) 2,37 (9)	Голубовато-зеленоватый оттенок; очень низкая микротвердость; травление; реакция на Ag; парагенезис
Псевдоморфозы акантита по аргентиту. Пластинчатые двойники в зернах. Землистые аморфные массы	Ковеллин, халькозин		
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Полисинтетические двойники и трещины спайности по (100)	Очень редкий минерал. Клаусталит и другие селениды	β Ag ₂ Se 1) 2,66 (10) 2,56 (10) 2,23 (6)	Сходен с аргентитом. Реакция на Se; спайность по (100); полисинтетические двойники
Скелетные и игольчатые кристаллы. нитеобразные и крупные выделения	Аргентит, самородное серебро, стефанит, клаусталит, тиманнит, умангит, карбонаты	2) 4,09 (5) 2,42 (10) 2,19 (6)	Зеленоватый оттенок; реакция на Ag и Se. Парагенезис. От аргентита отличается хим. анализом и дебаграммой
Аллотриоморфнозернистые агрегаты	Калаверит, петцит, сильванит	1) 3,73 (10) 2,28 (9) 1,943 (7)	От сходного петцита отличается изотропностью и реакцией на Hg
Изометричные зерна и номинеральные агрегаты. Сажистые налеты, корки. Двойники пластинчатые (заметные при скрещенных николях)	Киноварь, антимонит, марказит, ртуть самородная, реальгар, вюрцит, кальцит, барит, халцедон, швацит	1) 3,358 (10) 2,041 (10) 1,746 (8)	Парагенезис; низкая твердость; двойниковые пластинки, как у сфалерита

1	2	3	4	5
Тиманнит HgSe Hg 71,70 Se 28,30 кубич.	1) 25,5 (С) 30 (Э, Р) 24 (Вл) 3) серо-белый с коричневатым оттенком	1) изотропен 2) нет	2,5 32—39; 37 (Л) 38 (С) хорошее	Реакция на Se. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 3—5 мин. Проявитель: тио- мочевина. Окрашивание крас- ного цвета
Халькозин α -Cu ₂ S Cu 79,86 S 20,14 ($< 103^\circ \text{C}$) ромбич. β -Cu ₂ S ($> 103^\circ \text{C}$) гексагон. кубич.	1) 32 (Вл) 25 (Э) 3) серо-белый с голубоватым от- тенком, редко с розоватым	1) изотропен, сла- бо анизотропен (α - халькозин) 2) нет	2,5—3 70—98; 84 (Л) 68—98; 84 (Б, Т) очень хорошее	Реакции на Си. 1. Раствори- тель: NH ₄ OH (25%). Эксп. 1 мин. Проявитель: рубеоно- вая кислота. Пятно темно-зе- леного цвета. 2. Раствори- тель: HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 1 мин. Проявитель: K ₄ Fe (CN) ₆ . Пятно розовато-корич- невого цвета
Берцелианит Cu _{2-x} Se Cu 61,62 Se 38,38 кубич.	1) 25 (Вл) 29 (Э, С) 3) серо-голубова- то-белый; потус- кневший индиго- синий	1) изотропен, редко слабо ани- зотропен 2) нет	2,5—3 79—99, 92 (Л) хорошее	Отпечаток на Си серо-зеле- ного цвета, на Se красного цвета. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 3—5 мин. Про- явитель на медь: 1) аммиак; 2) рубеоновая кислота; на селен тиомочевина
Дигенит Cu ₆ S ₅ Cu 79,8 S 20,2 кубич.	1) 19 (Б) 20—15 (Вл) 3) голубой до синего	1) изотропен 2) нет	2,5—3 70—74 (Я, М) очень хорошее	Капельная реакция на Си. Растворитель: HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 1 мин. Проявитель: аммиак+рубеоновая кислота Пятно зеленого цвета
Борнит Cu ₅ FeS ₄ Cu 63,33 Fe 11,12 S 25,55 кубич.	1) 23 (Р) 24 (Вл) 18,5 (Э) 3) розовый в све- жей полировке; коричнево-фиоле- товый в старых шлифах, эталон	1) изотропен, ино- гда слабо анизо- тропен только в свежем шлифе 2) нет	3 100—124; 122 (Л) 97—105; 103 (Б, Т) отличное	Отпечаток на Си серо-зеле- ного цвета, на железе темно- красного цвета. Растворитель: HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 1 мин. Проявитель: аммиак+рубео- новая кислота; на железо KCNS
Гриноцит CdS Cd 77,81 S 22,19 гексагон.	1) 18,5 (Р) 19 (Вл) 3) серый с голу- боватым оттенком, в иммерсии с зеленоватым	1) изотропен 2) сильные бес- цветные лимонно- желтые, красно- коричневые (В, МИ)	3—3,5 52—91 (Л) хорошее	Реакция на Cd. Раствори- тель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 2 мин. Фильтр, бума- га+и. р.+дифенилкарбазид+ +NH ₄ OH. Пятно сине-фиоле- тового цвета
Антимонит Sb ₂ S ₃ Sb 71,38 S 28,62 ромбич.	1) 44—30 (Э) 45—30 (Вл) 2) сильное 3) белый, светло- серый	1) сильно анизо- тропен (меняет окраску от буро- ватых до серо- синих тонов); пря- мое угасание 2) нет; иногда густо-красные в тонком порошке (МИ)	2—2,5 65—153; 72 (Л) 42—109; 77 (Б, Т) хорошее	Реакция на Sb на шлифе. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2—3 мин. Избыток кислоты снять фильтр, бума- гой. Растворитель: HCl (1 : 1) на травленое место шлифа. Проявитель: KJ+CsCl (по- рошки) Осадок красного цвета
Джемсонит 4PbS·FeS·3Sb ₂ S ₃ Pb 40,16 Fe 2,71 Sb 35,39 S 21,74 монокл.	1) 40—32 (Вл) 39 (Э) 2) сильное, белое до серо-зеленого 3) белый с зелено- ватым оттенком	1) сильно анизо- тропен 2) красные (МИ)	2,5—3 96—121; 99 (Б, Т) 52—147 (Л) отличное	Реакция на Fe. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: K ₄ Fe (CN) ₆ . Пятно синего цвета. Реакция на Pb, см. галенит, на Sb, см. антимонит
Штернбертит AgFe ₂ S ₃ Ag 34,17 Fe 35,37 S 30,46 ромбич.	1) 44—34 (Р) 36 (Вл) 35 (Э) 2) сильное 3) коричнево- розовый (пирро- тиновый)	1) сильно анизо- тропен 2) нет	1—2 хорошее	Прямой отпечаток на Ag фиолетового, красного цвета. Растворитель: 1 ч. 5% KCN+ +1 ч. насыщенного раствора Р-диметиламинобензилиден- радамина в ацетоне. Эксп. 3—5 мин. Промыть в воде, подкисленной HNO ₃

Подкупта ба. Твердость низкая. R<галенита,

6	7	8	9
Мелкозернистые агрегаты, реже кристаллы	Барит, кальцит, умангит, клаусталит	1) 3,50 (10) 2,14 (8) 1,829 (8)	От сходных халькозина и сфалерита отличается травлением, микрохимическими реакциями и дебаграммами
Пластинчатые кристаллы с трещинками спайности. Каемки, прожилки, петельки скрытокристаллического строения	Гипогенный халькозин: блеклые руды, сфалерит, пирит, галенит, борнит. Гипергенный халькозин; ковеллин, борнит, гётит	α - Халькозин 1) 1,966 (10) 2,780 (4) 3,210 (3)	Голубоватый оттенок; изотропность; низкий рельеф; травление; реакция на Cu ; трещинки спайности и пластинчатое строение. Парагенезис
Дендриты, прожилки, корочки на других селенидах	Халькозин, клаусталит, умангит, тиманнит, кальцит	1) 2,02 (10) 3,32 (9) 1,726 (8)	Синий цвет; изотропность; реакция на Se. Парагенезис. Похож на халькозин
Аллотриоморфные зерна с трещинками спайности	В гидротермальных м-ниях и в зоне цементации с халькозином, борнитом, ковеллином	1) 1,950 (4) 2,78 (2) 3,25 (1)	От изотропного халькозина отличается более низкой отражательной способностью и синим оттенком; хим. анализом
Аллотриоморфные выделения, каемки и тонкие прожилки. Образует структуры распада с халькопиритом, халькозином. Стр. травление: KCN и раствор J в KJ	Гипогенный борнит в гидротермальных средне-температурных м-ниях ассоциирует с халькопиритом, халькозином, блеклой рудой. Гипергенный борнит в зоне цементации с халькозином, ковеллином, халькопиритом	1) 1,924 (10) 3,304 (8) 3,165 (8)	Цвет; изотропен; низкая микротвердость; травление KCN
Корки, почки, землястые выделения с коллоидным строением. Структура выявляется в парах царской водки	В зоне цементации замещает сфалерит	1) 3,167 (10) 0,9528 (10) 1,157 (9)	Реакция на Cd; парагенезис

R> сфалерита, сильно анизотропные

Агрегаты призматических, игольчатых кристаллов и аллотриоморфнозернистые. В зернах полисинтетические двойники и фигуры смятия	Кварц, киноварь, ретальгар, флюорит, пирит, кальцит, барит, арсенопирит, иногда бертьерит. Замещается вторичными минералами сурьмы—сенармонитом, валентинитом, кермеситом	1) 1,933 (10) 1,687 (10) 3,566 (9)	Сильное двуотражение и анизотропия; травление с KOH (желтый осадок); пластинчатые двойники; реакция на Sb; парагенезис
Игольчатые кристаллы. Радиальнолучистые и аллотриоморфнозернистые агрегаты. Пластинчатые двойники по (100). Стр. травление: KOH и HNO_3	Антимонит, буланжерит, бурнонит, сфалерит, галенит, пирит, тетраэдрит	1) 3,42 (10) 2,72 (9) 2,05 (9)	Зеленоватый оттенок; сильное двуотражение; сильно анизотропен; травление KOH; реакция на Sb и Fe; пластинчатые двойники; парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
Призматические или таблитчатые кристаллы. Двойники	Пирит, пираргирит, стэфанит, кобальтин, прустит, аргентит	1) 4,25 (10) 3,25 (8) 2,79 (8)	От пирротина и кубанита отличается сильным двуотражением, формой кристаллов. Реакция на Ag; парагенезис

1	2	3	4	5
Молибденит MoS ₂ Mo 59,94 S 40,06 гексагон.	1) 44—15 (Вл) 43—15 (Э) 2) очень сильное 3) белый, серо- белый, серый	1) сильно анизотропен (цветной эффект в желтых и синеватых тонах) 2) нет	1—1,5 16—19; 17 (Б,Т) ⊥ спайности; 21—28; 23 (Б,Т) спайности; хорошее	Реакция на Mo. Растворитель: HNO ₃ (1 : 1) на шлифе. Эксп. 5 мин. И. р. + фильтр. бумага. Проявитель: ксантогенат калия (свежеприготовленный). Пятно фиолетового цвета со временем обесцвечивается
Эвкайрит AgCuSe Cu 25,36 Ag 43,04 Se 31,60 ромбич.	1) 32 (С) 33 (Р) 27 (Вл) 2) очень слабое 3) светло-желтый (как пирит и марказит)	1) сильно анизотропен (цветной эффект в синих, зеленых и красноватых тонах) 2) нет	2—2,5 23—42 (Л) 32 (С) хорошее	Реакция на Cu, см. клокманнит, на Se, см. умангит, на Ag см. стефанит
Клокманнит CuSe Cu 43,58 Se 56,42 гексагон.	1) 30—18 (Вл) 25—10 (Э) 31—18 (С) 2) очень сильное (от оливково-серого до серо-белого) 3) серо-голубовато-белый иногда с зеленоватым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект до светло-коричнево-красного) 2) нет	2—3 57—86; 64 (Л) 69—82 (С) отличное	Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета, на Se красного цвета. Растворитель: HNO ₃ конц. Проявитель на медь: 1) аммиак; 2) рубановая кислота; на селен тиомочевина
Штрмейерит Cu ₂ S·Ag ₂ S Ag 53,05 Cu 31,19 S 15,76 1) низкотемпературный, ромбич. (α < 78°С) 2) высокотемпературный, кубич. (β > 78°С)	1) 27,5 (Э) 2) слабое 3) серо-белый с сиреневым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект сине- и темно-фиолетовые тона) 2) нет	2,5—3 38—44; 41 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Cu (серо-зеленого цвета) и на Se (красного цвета). Растворитель: HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 1 мин. Проявитель на медь: аммиак + рубановая кислота; на селен тиомочевина. Отпечаток на Ag, см. стефанит
Умангит Cu ₂ Se ₂ Cu 54,70 Se 45,30 ромбич.	1) 14 (С) 17—14 (Э) 2) очень сильное (от сиреневого до голубовато-серого) 3) сиреневый до голубовато-серого	1) сильно анизотропен (цветной эффект красный, сиреневый, кремовый) 2) нет	3 77—108; 82 (Л) 77—128 (С) хорошее	
Ковеллин CuS Cu 66,4 S 33,6 гексагон.	1) 20—5 (Вл) 26—19 (Э) 22—7 (Р, Б) 2) очень сильное (от светло-серого до синего) 3) синий, до слабо фиолетового, до сине-белого—эталоны	1) сильно анизотропен (цветной эффект от синего до красного) 2) нет	1,5—2 77—90; 86 (Л) 69—78, 72 (Б, Т) отличное	Реакция на Cu. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 3—5 мин. Проявитель: NH ₄ OH + рубановая кислота. Пятно серо-зеленого цвета
Стефанит Ag ₅ SbS ₄ Ag 68,33 Sb 15,42 S 16,25 ромбич.	1) 28 (Вл) 29 (Э) 2) слабое, заметно на границах зерен 3) серо-белый с розоватым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной пестрый эффект) 2) нет	2—2,5 26—47; 36 (Л) отличное	Отпечаток на Ag фиолетово-красного цвета. Растворитель: 1 ч. 5% KCN + 1 ч. насыщенного раствора Р-диметилламинобензилдиэтиламина в ацетоне. Эксп. 3—5 мин. Отпечаток промыть в воде, подкисленной в HNO ₃
Графит С гексагон.	1) 23—5 (Вл) 22—5 (Э) 2) очень сильное 3) серо-белый с коричневатым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект); очень редко изотропен (аморфный) 2) нет	1—2 12 (Б, Т) 7—12; 14 (Л) плохое; пишет на бумаге	

6	7	8	9
Таблитчатые кристаллы, чешуйчатые агрегаты. Редко скрытокристаллические агрегаты в виде почек. В зернах фигуры смятия и полисинтектические двойники. Спайность	Шеелит, касситерит, кварц, вольфрамит, пирит, халькопирит, арсениопирит, настуран. В зоне окисления замещается повеллитом	1) 2,045 (10) 1,826 (10) 1,534 (10)	Очень сильные двуотражение и анизотропия; отрицательное травление; реакция на Mo. Слабый проводник электричества (по сравнению с графитом). Парагенезис
Аллотриоморфозернистые мелкие агрегаты	Селениды и теллуриды свинца, серебра и меди	α-Эвкайрит 1) 3,07 (10) 2,17 (10) 1,768 (8) β-Эвкайрит 2,12 (10) 2,61 (7) 2,88 (5)	Цвет; травление; цветной эффект анизотропии; реакция на Cu, Ag, Se; парагенезис
Аллотриоморфозернистые мелкие агрегаты, таблички	Умангит, клаусталит, эвкайрит, урановые минералы, берцелианит	1) 2,87 (10) 1,963 (8) 1,815 (6) 3,17 (9)	Голубоватый цвет; сильное двуотражение; сильные цветные эффекты анизотропии; парагенезис
Призматическая форма кристаллов, перистые двойники («листья олеандра»)	Аргентит, халькозин, фрейбергит, тетраэдрит, халькопирит, борнит, галенит и др.	1) 3,10 (10) 2,92 (10) 2,59 (10) 2,96 (10) 2,79 (10) 2,47 (7)	Цвет; цветной эффект анизотропии; реакция на Ag; структура олеандровых листьев
Аллотриоморфные зерна с пластинчатыми двойниками	Клаусталит, тиманнит, берцелианит, халькопирит, кобальтин, кальцит и др.	1) 3,57 (10) 1,819 (9) 1,776 (8)	Сиреневый цвет; сильное двуотражение и сильный цветной эффект анизотропии; реакция на Cu; парагенезис с селенидами
Призматические мелкие кристаллы. Радиальнолучистые сростки, сжатые массы. Тонкие прожилки, камки и колломорфные выделения	Зоны окисления и цементации медных минералов. Часто сростается с халькозином, дигенитом, борнитом и лимонитом. Гипогенный встречается редко	1) 2,81 (10) 1,890 (10) 3,04 (8)	Синий цвет; сильное двуотражение; цветной эффект анизотропии; парагенезис
Столбчатые кристаллы или агрегаты аллотриоморфных зерен. Стр. травление: КОН	Аргентит, сульфосоли серебра, тетраэдрит, сфалерит, галенит	1) 3,03 (10) 2,55 (9) 2,86 (7)	Розоватый оттенок; пластинчатые двойники; хороший проводник электричества; парагенезис
Агрегаты таблитчатых чешуйчатых зерен. Фигуры смятия и спайность в зернах. Почки скрытокристаллического и сферолиты радиальнолучистого строения	В пегматитах. В скарнах, кварцевых жилах, в метаморфизованных породах и углях	1) 3,352 (10) 1,230 (9) 1,154 (9)	Коричневатый оттенок; сильное двуотражение; сильная анизотропия; низкая отражательная способность; парагенезис

1	2	3	4	5
<p>Нагиагит Pb_2Au (Te, Sb)₄ S_5-8 Au 7,51; Pb 56,81; Te 17,72; Sb 7,79; S 10,75 тетрагон.</p>	<p>1) 43 (P, Э) 39,2 (C) 2) очень слабое 3) белый до жел- товатого-белого</p>	<p>1) отчетливо ани- зотропен 2) нет</p>	<p>1,5-3 56-86; 78 (Л) 73-129 (Л) 62-95 (C) посредственное</p>	<p>Реакция на Pb, см. цилин- дрит, на Sb, см. буланжерит, на Te, см. гессит</p>
<p>Гессит Ag_2Te α-гессит $t < 155^\circ C$ Ag 62,86 Te 37,14 монокл. β-гессит $t > 155^\circ C$ кубич.</p>	<p>1) 40 (C) 38 (Вл) 43 (Э) 2) слабое (МИ) 3) серо-белый с розовато-коричне- вым оттенком</p>	<p>1) отчетливо, слабо анизотропен (цветной эффект коричневый до синего) 2) нет</p>	<p>2-3 31-44; 38 (Л) 28-41; 33 (Б, Т) плохое</p>	<p>Отпечаток на Te черного цвета. Растворитель: HCl конц. Эксп. 2 мин. Прояви- тель: $KJ+CsCl$. Растворитель на Ag, см. аргентит</p>
<p>Цилиндрит $Pb_3Sn_4Sb_2S_{14}$ Pb 30,59 Sn 23,36 S 22,09 Sb 23,96 ромбич.</p>	<p>1) 41 (P) 2) слабое 3) белый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен (цветной эффект) 2) нет</p>	<p>2-2,5 66-77; 70 (Л) плохое</p>	<p>Реакция на Pb на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. на шлифе. Эксп. 1 мин. Избы- ток кислоты снять фильтр. бумагой. Проявитель: KJ (5%). Осадок желтого цвета</p>
<p>Айкинит $PbCuBiS_3$ Cu 11,03 Pb 35,98 Bi 36,29 S 16,70 ромбич.</p>	<p>1) 48 (Вл) 44 (Э, P) 2) слабое, отчет- ливое 3) белый со слабо- желтоватым оттен- ком</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) нет</p>	<p>2-2,5 165-204 (Л) плохое</p>	<p>Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Прояви- тель: тиомочевина. Реакцию на Sn, см. цилиндрит, на Pb, см. ялпаит</p>
<p>Тиллит $PbSnS_2$ Pb 53,05 Sn 30,51 S 16,44 ромбич.</p>	<p>1) 38,5 (P) 2) слабое, замет- ное на границах зерен 3) белый с кремо- вым оттенком</p>	<p>1) отчетливо ани- зотропен (цветной эффект от синевато- серого до темно- коричнево-фио- летового) 2) нет</p>	<p>2 31-83 (Mill- tap, 1964) хорошее</p>	<p>Реакция на Sn на шлифе. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 5 мин. И. р. перено- сят на фильтр. бумагу. Про- явитель: $AuCl_3+NH_4OH$. Пят- но красного цвета. Реакция на Pb, см. цилиндрит</p>
<p>Франкеит $Pb_3Sn_3Sb_2S_{14}$ Pb 49,78 Sn 17,10 Sb 11,65 S 21,47 монокл.</p>	<p>1) 37,5 (P) 2) очень слабое 3) серовато-белый</p>	<p>1) слабо анизотро- пен (заметно на границах зерен) 2) нет</p>	<p>1-2 23-52 (Л) плохое</p>	<p>Реакция на Pb, см. цилин- дрит, на Sb, см. буланжерит</p>
<p>Ялпаит $Cu_2S \cdot 3 Ag_2S$ Ag 71,73 Cu 14,06 S 14,21 псевдокубич.</p>	<p>1) 32 (Вл) 2) слабое 3) серо-белый</p>	<p>1) слабо анизо- тропен, изотропен 2) нет</p>	<p>2,5-3 23-55 (Я, М) очень хорошее</p>	<p>Отпечаток на Sn серо-зеле- ного цвета. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1-2 мин. Проявитель: 1) аммиак, 2) рубановая кислота. Реакция на Ag, см. пираргирит</p>
<p>Пираргирит Ag_3SbS_3 Ag 59,76 Sb 22,48 S 17,76 тригон.</p>	<p>1) 32,5 (Э, P) 30 (Вл) 2) отчетливое 3) серо-белый с голубоватым оттен- ком</p>	<p>1) отчетливо ани- зотропен (мешают красные внутр. рефлексы) 2) красные (В)</p>	<p>2-2,5 72-109; 87 (Л) очень хорошее</p>	<p>Реакция на Ag. Крупинку минерала на предметном стек- ле покрывают насыщенным раствором $K_2Cr_2O_7$ в HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Появля- ются оранжево-красные кри- сталлы $Ag_2Cr_3O_7$. Реакция на Sb, см. буланжерит</p>
<p>Киноварь HgS Hg 86,21 S 13,79 тригон.</p>	<p>1) 30 (Э) 28 (Вл) 2) слабое 3) серо-белый с голубоватым оттен- ком</p>	<p>1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) сильные крас- ные (В), поро- шок красный</p>	<p>2-2,5 64-98; 78 (Л) хорошее</p>	<p>Реакция на Hg. Раскален- ный перл соды или буры приводится в контакт с поли- рованной поверхностью мине- рала. Эксп. 1-2 мин. Пленка металлической ртути (смор- треть в косом свете)</p>

Подгруппа 6б. Твердость низкая, $R \ll$ галенита.

6	7	8	9
Аллотриоморфозернистые мелкозернистые агрегаты. Редко таблитчатые короткопризматические кристаллы, чешуйки. Мозаичные двойники	Золото, электрум, алтаит, сильванит и др.	1) 3,02 (10) 2,82 (9) 2,08 (6)	Белый цвет; слабое двуотражение; таблитчатые кристаллы, как у молибденита; спайность по (010)
Тонкозернистые, аллотриоморфозернистые мелкие агрегаты. Редко кристаллы. Полисинтетические двойники в анизотропном гессите	Золото, серебро, аргентит, алтаит, пирит, сильванит, петцит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, сфалерит и др.	1) 2,30 (10) 2,86 (8) 2,24 (7)	От аргентита отличается коричневатым оттенком цвета и цветным эффектом анизотропии; от петцита эффектом анизотропии. Необходима проверка по дебаеграмме
Форма кристаллов цилиндрическая. Концентрически-скорлуповатые и радиальнолучистые агрегаты	Геокронит, касситерит, буланжерит, галенит, марказит, станнин, пирит, франкеит, джемсонит	1) 2,89 (4) 2,01 (1) 1,81 (1)	Белый; отчетливо анизотропный; травление; форма выделений
Вкрапленники и агрегаты призматических и тонкоиглочатых кристаллов	Пирит, тетраэдрит, кварц, халькопирит, галенит, сфалерит, золото, эмлектит, висмутин	1) 3,67 (10) 3,18 (9) 2,87 (8)	От сходных сульфидов отличается травлением, двуотражением и реакцией на Си
Аллотриоморфная форма зерен. Двойниковое строение	Франкеит, пирит, сфалерит, вюрцит, станнин, галенит, цилиндрит	$a_0=4,05$ $b_0=4,29$ $c_0=11,35$	Цветной эффект анизотропии; слабое двуотражение; двойники; парагенезис. Сходен с франкеитом, отличается по дебаеграмме и хим. анализу
Пластинчатые и таблитчатые кристаллы в агрегатах	Тиллит, пирит, буланжерит, джемсонит, геокронит, галенит, касситерит, станнин, цилиндрит	1) 2,88 (5) 3,43 (3) 2,06 (2)	От тиллита отличается слабым двуотражением, слабой анизотропией, травлением, реакцией на Sb, дебаеграммой
Аллотриоморфные зерна. Пластинчатые двойники	Аргентит, штрмейерит, золото, серебро		Серо-белый цвет; парагенезис; реакция на Си и Ag
Столбчатые и пластинчатые кристаллы в агрегатах. Зональное и двойниковое строение зерен	Серебро, галенит, аргентит, сульфоарсенаты и сульфиды свинца, серебра, меди и др.	1) 2,79 (10) 2,55 (10) 3,20 (9)	Голубоватый оттенок; коричнево-красные внутренние рефлексы; травление; реакция на Sb и Ag; парагенезис
Кристаллы, аллотриоморфозернистые агрегаты. Строение зерен однородное, редко двойники. В зернах включения антимонита	Антимонит, реальгар, аурипигмент, пирит, марказит, арсенопирит, кварц, флюорит, кальцит	1) 3,372 (10) 2,869 (10) 2,074 (8)	Сильные красные рефлексы; не травится реактивами; реакция на Hg; парагенезис

1	2	3	4	5
Кермезит Sb_2S_2O Sb_2S_2 70,0 Sb_2O_3 30,0 трикл.	1) 27 (Вл) 21 2) отчетливое 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) сильно анизотропен в кристаллич. разностях (цветной эффект от фиолетового до сине-зеленого); слабо анизотропен в землистых агрег. 2) вишнево-красные с фиолетовым оттенком (В)	1—1,5 36—90 (Я, М) хорошее	Спектр. анализ на Sb
Аурипигмент As_2S_3 As 60,91 S 39,09 монокл.	1) 26—20 (Вл) 32—26 (Р) 2) очень сильное 3) серо-белый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) лимонно-желтые (В)	1,5—2 26—33; 38 (Б, Т) 23—52; 29 (Л) хорошее (много царапин)	Реакция на As. Минерал + HNO_3 конц. на шлифе. Эксп. 5 мин. + $(NH_4)_2 MoO_4$, порошок в избытке. Окрашивание лимонного цвета
Лорандит $TlAsS_2$ Tl 59,46 As 21,87 S 18,67 монокл.	1) 23 (Р) 24 (Вл) 2) слабое, сильное 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) красные (более редкие, чем у реальгара) (В)	2—2,5 40—57; 47 (Л) хорошее	Отпечаток на Tl темно-коричневого цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 3 мин. Проявитель: $AuCl_3$ (5%). Реакция на As, см. аурипигмент
Реальгар AsS As 79,08 S 20,92 монокл.	1) 26,5—20,5 (Р) 21—19 (Вл) 2) слабое 3) серо-белый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 3) желто-красновато-оранжевые (В)	1,5—2 50—57; 54 (Л) 53—60 (Б, Т) плохое, редко хорошее	Отпечаток на As шоколадно-коричневого цвета. Растворитель: 10 ч. NH_4OH конц. + 1 ч. H_2O_2 (30%). Эксп. 30—60 сек. Проявитель: $AgNO_3$

Подгруппа 7. Твердость низкая, $R <$

Кераргирит (хлораргирит) $AgCl$ Ag 75,3 Cl 24,7 кубич.	1) 12 (Вл) 3) серый	1) изотропен 2) бесцветные, желтые (В)	1—2 плохое	Реакция на Ag на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: K_2CrO_4 . Осадок коричнево-красного цвета
Урановая чернь (остаточная) UO_2 U 7,7—34 аморфный	1) 11—14 ниже карбонатов и выше кварца 3) серый до темно-серого с буроватым оттенком	1) изотропен 2) буровато-желтые, зеленовато-бурые (МИ)	1—4 98 плохое	Отпечаток на U коричневого цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 1 мин. Проявитель: $K_4Fe(CN)_6$

Подгруппа 8. Твердость низкая, $R <$

Ванадинит $Pb_5[Cl(VO_4)_3]$ V_2O_5 19,4 PbO 78,7 Cl 2,5 гексагон.	1) 16—17 меньше сфалерита 2) слабое 3) серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) голубовато-желтые, бурожелтые до красных (В)	2,5—3 хорошее	Отпечаток на V синего цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: уксусноокислый бензидин. Реакция на Pb, см. англезит
Вульфенит $PbMoO_4$ PbO 61,4 MoO_3 38,6	1) 16—17 2) слабое 3) серый с голубоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) желтые, оранжевые, бесцветные (В)	2,5—3 хорошее	Отпечаток на Mo коричневого цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 30 сек. Проявитель: $K_4Fe(CN)_6$. Реакция на Pb, см. англезит
Валентинит Sb_2O_3 Sb 83,3 O 16,7 ромбич.	1) 16—14 (Вл, В) 2) слабое 3) серый	1) отчетливо анизотропен 2) бесцветные, желтые (В)	2,5—3 хорошее	Спектр. анализ на Sb

6	7	8	9
Налеты, корочки аморфного строения по трещинкам в антимоните. Радиальнолучистые сростки. Псевдоморфозы по антимониту	Антимонит, валенти-нит, стибиконит, сенармонтит, самородная сурьма	1) 3,14 (10) 2,92 (9) 2,70 (8)	Вишнево-красные внутренние рефлексы; сильная анизотропия; травление; парагенезис. Продукт окисления антимонита
Призматические зерна в агрегатах и радиальнолучистые выделения. Землистые массы аморфного и скрытокристаллического строения	Мышьяк, сурьма, ртуть, реальгар, антимонит, киноварь, марказит, золото	1) 4,77 (10) 2,83 (8) 2,71 (8)	Сильные лимонно-желтые внутренние рефлексы; реакция на As; парагенезис
Агрегаты мелких таблитчатых и призматических кристаллов или аморфные массы. Спайность	Реальгар, антимонит, аурипигмент, марказит, пирит, барит, флюорит	1) 3,65 (10) 3,50 (10) 2,85 (8) 2) 1,882 (4) 1,824 (10) 1,542 (8) 1,493 (8) 1,443 (6)	От реальгара отличается слабыми рефлексами, хорошей полировкой и реакцией с КОН. От пиритрита резко отличается по микротвердости
Пластинчатые и призматические зерна, аморфные массы	Аурипигмент, киноварь, антимонит, лорандит, золото, сидерит	1) 3,166 (10) 2,931 (7) 2,717 (7) 2,122 (7)	Красновато-оранжевые внутренние рефлексы; плохая полировка; реакция на As

сфалерита, R>шелита, изотропные

Агрегаты аморфного строения. Стр. травление: NH_4OH	Серебро, аргентит, церуссит, англезит и др.	1) 2,80 (10) 1,97 (10) 1,245 (8)	Реакция на Ag; парагенезис
Корки, землистые массы. прожилки аморфного строения	Настуран, сульфиды, битумы	5,438—5,44 (Гецева и др., 1956)	Натечные выделения черного цвета; реакция на U

сфалерита, R>шелита, анизотропные

Пластинчатые или шестоватые кристаллы. Радиальнолучистые сростки	Пироморфит, церуссит, вульфенит, галенит и сфалерит в виде реликтов	1) 2,958 (10) 3,37 (8) 3,04 (8)	Травление; реакция на Pb и Mo; парагенезис
Таблитчатые, шестоватые зерна, радиальнолучистые сростки, метакристаллы	Церуссит, англезит, смитсонит, гидроокислы железа и марганца	1) 3,17 (10) 2,00 (8) 1,77 (8)	Реакция на Pb и Mo; парагенезис
Агрегаты аморфного, призматического и радиальнолучистого строения. Псевдоморфозы по антимониту, тетраэдриту и другим сурьмяным минералам	Антимонит, тетраэдрит, и др. сурьмяные минералы; стибиконит, сервантит	1) 3,08 (10) 10,85 (8) 1,792 (8)	Отрицательное травление; псевдоморфозы по антимониту; реакция на Sb; парагенезис; дебаэграмма

1	2	3	4	5
Самородная сера α -S ($<95,6^\circ\text{C}$) ромбич. β -S ($>95,6^\circ\text{C}$) монокл.	1) 15—10 (Вл) 2) сильное 3) серый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) желтые (В)	1—2 хорошее. плохое	Прямой отпечаток на S оранжевого цвета. Растворитель: $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{HCl}$ конц. + H_2O . Эксп. 1—5 мин
Сенармонит Sb_2O_3 Sb 83,3 O 16,7 кубич.	1) 12,4 (Вл) 3) серый	1) изотропен 2) бесцветные (В)	2—2,5 хорошее	Спектр. анализ на Sb
Англезит Pb [SO_4] PbO 73,6 Pb 68,3 SO_3 26,4 ромбич.	1) 8—9 (Вл) 3) серый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) сильные бесцветные, иногда слабо окрашенные в бурый цвет (В)	2,5—3 хорошее	Реакция на Pb на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1—2 мин. Проявитель: KJ (5%). Осадок желтого цвета
Мельниковит FeS_2 Fe 46,6 S 53,4 кубич. скрытокрист.	1) 10 8 3) светло-желтый до коричневого	1) изотропен 2) нет	2—3 плохое	Реакция на Fe. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 1 мин. Проявитель: $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$. Пятно на фильтр. бумаге синего цвета
Ферримолибдит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{MoO}_3 \times 8 \text{H}_2\text{O}$ MoO 61,6 Fe_2O_3 21,3 H_2O 17,2	1) 11,9 (Вл) 7,9 3) серый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) желтые, бурые (В)	1—2 плохое	Реакция на Mo. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: ксантогенат калия (свежеприготовленный). Пятно фиолетово-красного цвета на фильтр. бумаге. Окраска неустойчива
Гарниерит $\text{Ni}_8[\text{Si}_6\text{O}_{10}]$ [OH] $_8 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ SiO_2 35,45—51,94 NiO 2,32—45,15 MgO 2,47—37,38 R_2O_3 0,11—3,00 H_2O 5,27—23,17 аморфный, монокл.	1) 5—6 3) темно-серый	1) изотропен 2) бесцветные, зеленые (В)	1—3 хорошее	Реакция на Ni. Растворитель: ц. в. Эксп. 1—5 мин. Проявитель: 1) аммиак—2) диметилглиоксим. Пятно розового или малинового цвета на фильтр. бумаге
Хризоколла $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ CuO 45,2 SiO_2 34,3 H_2O 20,5 криптокристаллический	1) 4—5 3) темно-серый	1) изотропен 2) светло-зеленые, голубые (В)	2—4, 93—100 хорошее	Реакция на Cu. Растворитель: HCl (1:1) на шлифе. Эксп. 5 мин. Проявитель: аммиак+рубеновая кислота. Пятно на фильтр. бумаге серо-зеленого цвета
Лептохлориты железа (торингит, шамозит) $n \cdot \text{FeO} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3$ $p \cdot \text{SiO}_2 \cdot h\text{H}_2\text{O}$ FeO 19,8—42,3 монокл.	1) 5—6 3) темно-серый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) коричневые, зеленые, бесцветные (В)	2—2,5 плохое	Отпечаток на Fe синего цвета. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 5 мин. Проявитель: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ монокл.	1) 3—4 3) темно-серый	1) изотропен 2) бесцветные (В)	2 41—75; 58 (Л) плохое	Спектр. анализ на Ca

Подгруппа 10. Твердость низкая, $R <$

Крокоит Pb [CrO_4] Pb 68,9 CrO_3 31,1 монокл.	1) 10 20,5 (Вл) 15,7 2) слабое 3) серый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) красновато-оранжевые (В)	2,5—3 хорошее	Реакция на Pb. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1—2 мин. Проявитель: 1) NH_4OH , 2) KJ. Осадок желтого цвета. Спектр. анализ на хром
---	---	--	------------------	--

6	7	8	9
Крупно-тонкозернистые, аллотриоморфнозернистые агрегаты	Осадочные м-ния: гипс, кальцит, арагонит, зона окисления сульфидных м-ний: лимонит и реликты сульфидов	1) 3,74 (10) 3,15 (9) 3,94 (7)	Растворяется в сероуглероде; парагенезис

шеелита, изотропные

Корки аморфного строения, псевдоморфозы по антимониту	Зона окисления м-ний с сурьмяными минералами, Валентинит, кермезит, сурьмяные охры	1) 1,673 (10) 3,212 (9) 1,962 (9)	Парагенезис; псевдоморфозы по антимониту; дебаграмма
Агрегаты аморфного и призматического строения, каемки вокруг галенита	Церуссит, галенит	1) 3,00 (10) 2,06 (10) 3,21 (8)	Изотропен; травление; реакция на Pb; парагенезис. В отличие от церуссита травится КJ (5% р-р), в течение 1 мин образуется голубая иризирующая пленка
Колломорфные агрегаты с концентрически-зональным строением. Трещинки усыхания	Низкотемпературные гидротермальные и осадочные м-ния	—	Коллоидные выделения; реакция на Fe
Агрегаты волокнистого и радиальнолучистого строения. Под бинокляром	Зона окисления сульфидных м-ний с молибденитом. Замещается гётитом	9,56 (10) 8,16 (10) (Исаенко, 1966)	Парагенезис, реакция на Mo
Корки, прожилки аморфного и скрытокристаллического строения. Под бинокляром	Нонтронит, опал, магнетит	1) 9,8 (10) 1,552 (8) 2,40 (6) 2,65 (6)	Зеленые внутренние рефлексы; реакция на Ni. Необходимо хим. анализ и дебаграмма
Корки, землистые выделения, прожилки аморфного и скрытокристаллического строения. Под бинокляром	Малахит, азурит, опал, лимонит	1) 3,35 (10) 1,810 (8) 1,373 (8)	Голубоватые внутренние рефлексы; реакция на Cu; парагенезис
Оолиты, землистые массы аморфного концентрически-зонального и радиальнолучистого строения, чешуйчатые агрегаты. Под бинокляром	Сидерит, гётит, гидрогётит, гидрогематит	тюрингит 1) 6,8 (10) 3,48 (10) 1,552 (10) шамозит 1) 6,93 (10) 3,59 (9) 4,63 (7)	Реакция на Fe, дебаграмма. Необходимо детальное изучение под микроскопом в проходящем свете
Тонкозернистый, волокнистый, пластинчатый. Прожилки, гнезда, пласти	Малахит, кальцит, ангидрит	1) 4,29 (10) 2,87 (7) 3,06 (6)	Необходимо изучение в прозрачных шлифах

шеелита, анизотропные

Призматические кристаллы, аллотриоморфнозернистые агрегаты. Под бинокляром	Зона окисления полиметаллических м-ний, расположенных близ ультраосновных пород	1) 3,258 (10) 1,965 (9) 1,846 (9)	Красновато-оранжевые внутренние рефлексы; травление; реакция на Pb и Cr; парагенезис
--	---	---	--

1	2	3	4	5
<p>Аннабергит $Ni_3[AsO_4]_2 \cdot 8 H_2O$ NiO 37,5 As_2O_5 38,5 H_2O 24,0 монокл.</p>	<p>1) 6,5—7,5 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) зеленые, бесцветные (В)</p>	<p>2,5—3 хорошее</p>	<p>Отпечаток на Ni малинового цвета. Растворитель: аммиак. Эксп. 1—2 мин. Проявитель: диметилглиоксим. Реакция на As, см. эритрин</p>
<p>Халькантит $Cu [SO_4] \cdot 5 H_2O$ CuO 31,8 SO_3 32,1 трикл.</p>	<p>1) 4—6 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) голубые, зеленые, бесцветные (В)</p>	<p>2,5 хорошее</p>	<p>Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета. Растворитель: вода + NH_4OH (несколько капель). Эксп. 5 мин. Проявитель: рубановая кислота</p>
<p>Аурихальцит $(ZnCu)_5$ $[(OH)_3 \cdot CO_3]_2$ CO_2 16,1 ZnO 53,2 CuO 28,8 H_2O 9,9 ромбич.</p>	<p>1) 6—7 (Вл) 2) очень слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) бесцветные, голубые (В)</p>	<p>2—3,5 плохое</p>	<p>Отпечаток на Zn и Cu. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 5 мин. Проявитель: $HgCl_2 + KCNS$ (раствор). Пятно фиолетово-синего цвета</p>
<p>Гидроцинкит $Zn_3[(OH)_3CO_3]_2$ ZnO 74,12 CO_2 16,03 H_2O 9,85 монокл. скрытокристаллический</p>	<p>1) 5—7 (Вл) 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) слабо анизотропен, изотропен 2) бесцветные, буроватые (В)</p>	<p>2—2,5 хорошее</p>	<p>Реакция на Zn. Растворитель: HNO_3 (1:1) + Cu (NO_3)₂. Эксп. 1 мин. Проявитель: $HgCl_2 + KCNS$ (раствор). Пятно фиолетово-синего цвета</p>
<p>Мелантерит $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ FeO 25,9 SO_3 28,8 монокл.</p>	<p>1) 4 2) нет 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) бесцветные, светло-зеленые (В)</p>	<p>2—3,5 хорошее</p>	<p>Реакция на Fe. Растворитель: вода. Эксп. 5 мин. Проявитель: $K_3Fe(CN)_6$. На фильтр. бумаге пятно синего цвета</p>
<p>Пизанит $(Fe, Cu)_2SO_4$ SO_2 29,9 FeO 10,98 CuO 15,56 H_2O 43,56 монокл.</p>	<p>1) 4 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) светло-зеленые (В)</p>	<p>2</p>	<p>Реакция на Cu серо-зеленого цвета. Растворитель: аммиак. Эксп. 1 мин. Проявитель: рубановая кислота. Пятно серо-зеленого цвета. Отпечаток на Fe, см. кировит</p>
<p>Кировит $(Fe, Mg)_2$ $SO_4 \cdot 7 H_2O$ монокл.</p>	<p>1) 4 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) отчетливо анизотропен 2) бледно-голубые (В)</p>	<p>2</p>	<p>Отпечаток на Fe синего цвета. Растворитель: вода. Эксп. 5 мин. Проявитель: $K_3Fe(CN)_6$</p>
<p>Моренозит $NiSO_4 \cdot 7 H_2O$ NiO 26,6 SO_3 28,5 H_2O 44,9 ромбич.</p>	<p>1) 4 2) нет 3) темно-серый</p>	<p>1) слабо анизотропен, изотропен 2) бесцветные, зеленоватые (В)</p>	<p>2—2,5</p>	<p>Отпечаток на Ni малинового цвета. Растворитель: аммиак. Эксп. 1 мин. Проявитель: диметилглиоксим</p>
<p>Эритрин $Co_3 [AsO_4]_2 \cdot 8 H_2O$ As_2O_5 38,4 CoO 37,5 H_2O 24,1 монокл.</p>	<p>1) 6—10 2) слабое 3) темно-серый</p>	<p>1) изотропен, слабо анизотропен 2) розовые (В)</p>	<p>1,5—2,5 хорошее</p>	
<p>Биберит $CoSO_4 \cdot 7 H_2O$ CoO 26,6 SO_3 28,5 H_2O 44,9 монокл. скрытокристаллический</p>	<p>1) 4 3) темно-серый</p>	<p>1) слабо анизотропен, изотропен 2) розово-красные, розовые, розоватобелые (В)</p>	<p>2</p>	<p>Прямой отпечаток на Co розового цвета. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1—2 мин. Реакция на As на шпифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: NH_4MoO_4 порошок в избытке. Осадок лимонного цвета</p>

6	7	8	9
Агрегаты аморфного и волокнистого строения. Замещает никелин, хлоантит. Под бинокулярном	Зона окисления в м-ниях с арсенидами никеля	1) 3,19 (10) 2,998 (9) 1,557 (9)	Зеленые внутренние рефлексы; травление; реакция на Ni и As; парагенезис
Корки, сталактиты аморфного, волокнистого и радиальнолучистого строения. Под бинокулярном	Мелантерит, брошантит, гипс и др.	1) 5,40 (10) 4,67 (10) 3,96 (10) 3,69 (10)	Голубые внутренние рефлексы; травление; реакция на Si; парагенезис
Корки, землистые массы, редко сталактиты скрытокристаллического и волокнистого строения. Стр. травление: HNO_3 (1 : 40) в течение 15—30 сек. Под бинокулярном	Смитсонит, кальцит, церуссит, аурихальцит	$a_0=13,48$ $b_0=6,32$ $c_0=5,37$	Травление; реакция на Zn
Корки, почки, сталактиты аморфного и волокнистого строения. Под бинокулярном	Халькантит, гипс, реликты марказита, пирита и других сульфидов	1) 4,90 (10) 3,78 (7) 3,23 (4)	Светло-зеленые внутренние рефлексы; травление; реакция на Fe; парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
	Мелантерит, халькантит, гипс, реликты марказита, пирита и других сульфидов	1) 4,90 (10) 3,78 (7) 3,23 (4)	Светло-зеленые внутренние рефлексы; травление; отпечаток на Fe и Si; парагенезис. Необходим хим. анализ
		1) 4,90 (10) 3,78 (7) 3,23 (4)	Бледно-голубые внутренние рефлексы; травление; отпечаток на железо; реакция на Mg; парагенезис. Необходим хим. анализ
Корки, сталактиты волокнистого и радиальнолучистого строения. Под бинокулярном	Зона окисления сульфидов никеля	1) 4,20 (10) 5,3 (6) 2,85 (4)	Зеленоватые внутренние рефлексы; отпечаток на никель; парагенезис
Агрегаты аморфного волокнистого и радиальнолучистого строения. Под бинокулярном	Зона окисления в м-ниях с кобальтином и смальтином	1) 3,010 (10) 3,23 (9) 2,729 (8)	Розовые внутренние рефлексы; парагенезис
Корки, сталактиты, землистые массы аморфного и радиальнолучистого строения. Под бинокулярном	Зона окисления сульфидов кобальта	$a_0=14,13$ $b_0=6,55$ $c_0=11,00$	Розово-красные внутренние рефлексы; травление; отпечаток на кобальт; парагенезис

Диагностическая таблица II.

Минерал; химический со- став, %; сингония	Отражательная способность R , % (1); двуотражение ΔR (2); цвет (3)	Эффект поляри- зации (1); внут- ренние рефлексы (2)	Твердость по Моосу; микротвердость H , кг/мм ² ; поведение при полировании	Микрохимические реакции
<i>Подгруппа 11. Твердость средняя,</i>				
Самородная медь Cu 97,20—98,3 кубич.	1) 83 (Вл, Р) 85 (Э) 93 (Б) 3) яркий розовый	1) изотропен 2) нет	3 111—143; 126 (Л) 120—143; 134 (Б, Т) хорошее	Реакция на Cu. I. Раствори- тель: NH ₄ OH. Эксп. 2 мин. Проявитель: рубановая кис- лота. Пятно серо-зеленого цвета. II. Растворитель: HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ . Пятно розово-коричневого цвета
Домейкит Cu ₃ As Cu 71,79 As 28,21 α - домейкит кубич. β - домейкит тригон.	1) 56 (Вл) 55,7 (Мозес) 3) светло-белый с желтым оттенком (кремово-белый)	α - домейкит изотропен; β - домейкит слабо анизотропен 2) нет	3—3,5 хорошее, ца- рапины	Реакция на As. Минерал+ +HNO ₃ конц. Эксп. 5 мин.+ +(NH ₄) ₂ MoO ₄ порошок в из- бытке. Осадок лимонно-жел- того цвета
Платина Pt примесь Pd 3—21 кубич. Поликсен (Pt, Fe) кубич.	1) 71 (Вл) 73 (Р) 3) яркий белый эталон	1) изотропен 2) нет	4—4,5 114—146; 130 (Л) 125—127; 126 (Б, Т) 382—460; 410 (Разин, 1966) хорошее	Хим. анализ на Pt
Самородное железо Fe 99,0 кубич.	1) 63 (Вл) 3) белый с кре- мовым оттенком	1) изотропен 2) нет	4 132—141 (Л) хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: на шлифе HNO ₃ (1 : 1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K ₃ Fe(CN) ₆ . Пятно синего цвета
Хлоантит (Ni, Co) As ₂ -x Co примесь Ni 28,13 As 71,87 кубич.	1) 62 (Вл) 60 (Э) 57,5 (Р) 3) белый	То же	5—5,5 268—402 (Л) отличное	Реакция на Ni и Co. Раст- воритель: HNO ₃ конц. Эксп. 1—2 мин. Проявитель на Ni: рубановая кислота+NH ₄ OH; окрашивание фиолетового цве- та. Проявитель на Co: α -ни- трозо- β -нафтол+NH ₄ OH. Ок- рашивание коричнево-розо- вого цвета
Саффорит CoAs ₂ Co 28,23 As 71,77 примесь Fe до 18% ромбич. (монокл.)	1) 65—54 (Вл) 58 (Р) 2) слабое 3) белый с голу- боватым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) нет	4,5—5 430—751; 590 (Л) отличное	Реакция на As. Минерал+ +HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 2 мин.+ (NH ₄) ₂ MoO ₄ порошок в избытке. Осадок лимонно-желтого цвета
<i>Подгруппа 12. Твердость средняя,</i>				
Никелин NiAs Ni 43,9 As 56,1 гексагон.	1) 69—53 (Вл) 48 (Э, Р) 2) сильное, слабое 3) кремово-розо- вый (желтовато- розовый)	1) сильно анизо- тропен (с цветным эффектом от розо- вато-желтого до зеленоватого); прямое угасание 2) нет	5—5,5 412—489; 450 (Л) 328—455; 336 (Б, Т) отличное	Отпечаток на Ni с диметил- глиоксимом розово-красного цвета, с рубановой кисло- той—фиолетового цвета. Ра- створитель: HNO ₃ конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: диметил- глиоксим+NH ₄ OH. Прояви- тель: рубановая кислота+ +NH ₄ OH. Реакция на As, см. саффорит
Мелонит NiTe ₂ Ni 18,70 Te 81,30 тригон.	1) 60 (С) 71 (Вл) 2) слабое 3) светло-розовый (розово-белый)	1) отчетливо ани- зотропен (цветной эффект); прямое угасание 2) нет	1—1,5—4 141—220; 161 (Л) посредственное, хрупкий	Реакция на Te. Раствори- тель: H ₂ SO ₄ конц. с подогре- ванием. Эксп. 3—5 мин. Ра- створ окрашивается в фиоле- товый цвет. Реакция на Ni, см. никелин

Минералы средней твердости

Форма и внутреннее строение выделений; методы их выявления	Парагенезис	Дебаеграмма 1) по Михееву, 1957 2) по Рамдору, 1962	Отличительные диагностические признаки
<i>R > пирита, изотропные</i>			
Агрегаты аллотриоморфных зерен; часто зерна в виде скелетных форм. Полисинтетические двойники по (111). Стр. травление: $\text{NH}_4(\text{OH}) + \text{H}_2\text{O}_2$ (30%). Эксп. 30 сек	В гидротермальных м-ниях: цеолиты, пренит, хлорит. В зоне окисления: гипс, халькозин, борнит, куприт, малахит, азурит, лимонит и др.	1) 1,276 (10) 2,085 (9) 1,806 (8)	Высокая отражательная способность; цвет; травление; реакция на Cu; парагенезис
Почковидные или гроздевидные агрегаты скрытокристаллического или гранобластического строения	С альгодонитом и виттинитом образует графические структуры; арсениды никеля и кобальта, медь, серебро, цеолиты	1) $\beta = 2,050$ (10) 2,002 (10) 1,174 (10) 1) $\alpha = 2,046$ (10) 1,219 (10) 3,035 (8)	Парагенезис. Необходима дебаеграмма
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, реже радиальнолучистые. Иногда мелкие кристаллы кубического облика. Двойники	Хромшпинелиды, магнетит, ильменит, пирротин, пенландит, халькопирит и др.	1) 1,180 (10) 2,27 (10) 1,956 (9)	От серебра отличается твердостью и травлением, от железа — травлением. Поликсен магнетит
Аллотриоморфнозернистые агрегаты, проволокообразные выделения и вкрапленность мелких зерен. Пластинчатые двойники в зернах	Графит, пирротин, магнетит, хромит	$\alpha = \text{железо}$ 1) 1,168 (4) 2,02 (9) 1,430 (7)	От серебра, висмута и сурьмы, домейкита и дискразита отличается магнитностью и реакцией на Fe, от поликсена — травлением. Сильно магнитен
Изометричные зерна часто зонального строения, реже — агрегаты аллотриоморфных зерен	Смальтин, скуттерудит, раммельсбергит, сафлорит, никелин и др.	2,61 (10) 1,845 (10) 1,616 (10) (Бадалов, Приходько, 1956)	Зональное строение зерен; реакция на Ni. В отраженном свете не отличим от смальтина. Необходим хим. анализ
Скрытокристаллические агрегаты — корки	Хлоантит, раммельсбергит, смальтин, никелин, серебро	1) 2,578 (10) 1,859 (10) 1,639 (10)	От сходных бесцветных сульфанимидов отличается более низкой твердостью и реакцией на Co
<i>R > пирита, анизотропные</i>			
Аллотриоморфнозернистые, реже почковидные радиальнолучистые агрегаты, часто зерна с зональным строением	Хлоантит, раммельсбергит, иногда висмут, серебро, брейтгаулит, маухерит, сафлорит	1) 2,627 (10) 1,937 (9) 1,788 (8)	Розовый цвет; сильное двуотражение: сильная анизотропия; травление; реакция на Ni и As
Пластинчатые и аллотриоморфные мелкие зерна	Петцит, гессит, пирит, галенит, алтаит и другие теллуриды	1) 2,81 (10) 1,544 (6) 2,05 (5)	Цвет; высокая отражательная способность; слабое двуотражение; реакция на Ni и Te; парагенезис

1	2	3	4	5
Дискразит Ag_3Sb Ag 72,66 Sb 27,34 ромбич. псевдогекс. кубич.	1) 66 (Вл, Э, Р) 2) слабое 3) белый (желто-розовато-белый), появляется побежалость через несколько дней	1) слабо анизотропен 2) нет	3,5—4 хорошее, хрупкий, царапины	Реакция на Ag на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Остаток реактива снять фильтр. бумагой. Проявитель: K_2CrO_4 . Осадок оранжево-красного цвета. Реакция на Sb, см. тетраэдрит
Калаверит $AuTe_2$ Au 43,59 Te 56,41 примесь Ag монокл., псевдоромбич.	1) 63 (Вл) 56 (Э, Р) 2) слабое 3) светло-белый с желтоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) нет	2,5—3 213—237; 223 (Л) хорошее	Реакция на Te, см. мелонит
Сафлорит $CoAs_2$ Co 28,23 As 71,77 примесь Fe до 18% ромбич.	1) 62—54 (Вл) 58 (Р) 2) слабое 3) белый с голубоватым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект) 2) нет	4,5—5 430—751 (Л) отличное	Отпечаток на Co. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: α -нитрозо- β -нафтол+ NH_4OH . Окрашивание коричнево-розового цвета. Проявитель: $K_3Fe(CN)_6$. Окрашивание коричнево-бурого цвета
Самородный мышьяк As $AsAs_2$ As 84—98 Sb 1,7—9,2 тригон.	1) 58 (Вл) 50,5 (Б) 62 (Э, Р) 2) слабое 3) белый (серобурый в старых шлифах)	1) отчетливо анизотропен 2) нет	3,5 93—137; 123 (Л) 57—69; 63 (Б, Т) отличное	Прямой отпечаток на As желтого цвета. Растворитель: HNO_3 конц. с небольшим количеством $(NH_4)_2MoO_4$. Эксп. 2 мин

Подгруппа 13. Твердость средняя.

Пентландит (Fe, Ni) $_3S_8$ Fe 32,55 Ni 34,22 S 33,23 кубич.	1) 53 (Вл) 51 (Э, Р) 3) светло-желтый	1) изотропен 2) нет	3,5—4 195—223; 209 (Л) 202—230; 215 (Б, Т) отличное	Реакция на Ni. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 3 мин. Проявитель: $(NH_4)OH$ +рубеновая кислота. Окрашивание фиолетового цвета
Поллимит Ni_3S_4 Ni 57,86 S 42,14 кубич.	1) 46 (Вл) 3) розовато-желтый	То же	4,5—5,5 362—449; 408 (Л) хорошее	
Карролит Co_2CuS_4 Co 38,00 Cu 20,52 S 41,48 кубич.	1) 46 (Вл) 3) кремово-белый	«	5,5 351—566; 463 (Б, Т) хорошее	Реакция на Co и Cu. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2—5 мин. Проявитель на Co: α -нитрозо- β -нафтол+ NH_4OH . Окрашивание красновато-коричневого цвета. Проявитель на Cu: рубеновая кислота+ NH_4OH . Окрашивание серозеленого цвета

Подгруппа 14. Твердость средняя.

Миллерит NiS Ni 64,67 S 35,33 тригон.	1) 54 (Вл) 53 (Э, Р) 2) очень слабое 3) светло-желтый	1) отчетливо анизотропен 2) нет	3—3,5 225—256; 236 (Б, Т) (изотропное сечение) хорошее, выкрашивается	Реакция на Ni. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 3 мин. Проявитель: NH_4OH +рубеновая кислота. Окрашивание от фиолетового до синего цвета
Сильванит (Au, Ag) Te_4 Au 24,19 Ag 13,22 Te 62,59 монокл.	1) 54 (Бо) 59—49 (Вл) 56 (Э) 2) сильное (кремово-белое до кремово-коричневого) 3) белый со слабым желтым оттенком	1) сильно анизотропен (цветной эффект) 2) нет	2 91—149; 137 (Л) 102—125; 110 (Б, Т) хорошее	Реакция на Te на стеклянной пластинке. Растворитель: крупинки минерала в H_2SO_4 с подогреванием. Эксп. 3—5 мин. Раствор окрашивается в фиолетовый цвет

6	7	8	9
Аллотриоморфозернистые мелкие агрегаты, веретенообразные пластинки в серебрино-сурьмяных минералах	Сурьма, самородное серебро и его сульфосоли, антимонит и др.	1) 2,28 (10) 2,585 (6) 2,40 (6)	От серебра отличается анизотропностью; от висмута— большей твердостью и однородным строением зерен; от сурьмы—побежалостью
Сплошные агрегаты аллотриоморфных и мелких призматических кристаллов. Стр. травление; HNO_3 (1 : 1) выявляет очень тонкую спайность	Сильванит и другие теллуриды золота, серебра и висмута; гессит, алтаит, золото	1) 3,01 (10) 2,09 (8) 2,19 (4)	От сильванита отличается более высокой твердостью и более слабой анизотропией, от креннерита—твердостью и отсутствием спайности. Необходимы хим. анализ и дебаеграмма
Идиоморфные кристаллы с двойниковым и зональным строением. Радиальнолучистые и скрытокристаллические агрегаты, корки	Хлоантит, раммельсбергит, смальтин, никелин, а также серебро, висмут и др. Замещает смальтин	1) 2,578 (10) 1,859 (10) 1,639 (10)	От сходных бесцветных сульфохалькогенидов отличается более низкой твердостью и реакцией на Со. Характерны звездочки-тройники
Аллотриоморфозернистые, концентрически-скорлуповатые агрегаты, пластинчатые двойники в зернах и зональное строение. Стр. травление; H_2O_2	Сульфиды никеля, кобальта и висмута	1) 2,74 (8) 1,867 (6) 1,53 (5)	В полированных шлифах быстро тускнеет, чернеет на воздухе; травится H_2O_2 ; реакция на As

$R >$ галенита, $R <$ пирита, изотропные

Аллотриоморфные выделения. Продукт распада в пирротине в виде пластинок и пламенивидных выделений. Спайность по (111) совершенная. Треугольниками выкрашивания	Пирротин, халькопирит, кубанит, валлерит, пирит, магнетит и др. Замещается виоларитом, бравоитом и марказитом	1) 1,778 (10) 3,03 (9) 1,95 (9)	Парагенезис. От пирротина отличается более высокой отражательной способностью, цветом, изотропностью, спайностью, треугольниками выкрашивания
Аллотриоморфные выделения, реже встречается в виде октаэдрических кристаллов и натечных образований. Стр. травление HNO_3 выявляет спайность	Линнеит, миллерит, виоларит, халькопирит, пирротин и др.	1) 1,673 (9) 2,85 (8) 2,365 (8)	Розовый оттенок. Замещает миллерит и пентландит. От зигенита отличается более низкой микротвердостью
Мелкозернистые агрегаты изометричных зерен	Линнеит, зигенит, сидерит, пирит, халькопирит	1) 1,676 (10) 2,875 (9) 1,827 (9)	Реакция на Си и Со; парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаеграмма

$R >$ галенита, $R <$ пирита, анизотропные

Агрегаты радиальнолучистых и игольчатых кристаллов. Часто в виде пластинок в линнеите. Спайность по (1011) и (0112)—совершенная	Пентландит, маухерит, хлоантит, сафлорит, смальтин, раммельсбергит и др.	1) 1,876 (10) 1,117 (10) 2,792 (9)	Цвет; игольчатое строение; анизотропность; реакция на Ni
Скелетные кристаллы, дендритобразные агрегаты, полисинтетические двойники в зернах	Золото, калаверит, теллуридовисмутит, висмутин и др. в золотосеребряных рудах	1) 3,04 (10) 2,14 (5) 2,25 (3)	От других теллуридов золота отличается сильной анизотропией, двуотражением, микротвердостью, полисинтетическим двойникованием

1	2	3	4	5
Висмутин Bi_2S_3 Bi 81,3 S 18,7 ромбич. (ромбо-дипира- мид.)	1) 48—42 (Вл) 48 (Э) 2) ясное на грани- цах зерен 3) белый с жел- товатым оттенком	1) сильно анизо- тропен, прямое угасание 2) нет	2 118—172; 153 (Л) 92—119; 107 (Б, Т) хорошее	Реакция на Bi. Раствори- тель: HCl (1 : 1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомоче- вина. Отпечаток желтого цвета
<i>Подгруппа 15. Твердость средняя,</i>				
Виоларит FeNi_3S_4 Fe 18,52 Ni 38,94 S 42,54 кубич.	1) 38 (P) равна и выше пирротина 42,1 (Кэмерон) 3) серовато-белый с фиолетовым от- тенком (лучше на- блюдается в им- мерсии)	1) изотропен, ино- гда слабо анизо- тропен 2) нет	4—5 458 (Л) хорошее	Реакция на Ni. Раствори- тель: HNO_3 конц. Эксп. 3 мин. Проявитель: $\text{NH}_4\text{OH} +$ $+$ диметилглиоксим. Пятно малинового цвета
Швартцит (Cu, Hg) $_3\text{SbS}_3$ Hg-содержащий тетраэдрит кубич.	1) 30 (Вл) 28 (Э) 3) серо-белый с кремовым оттенком	1) изотропен 2) нет	3—4 хорошее	Спектр. или хим. анализ на Hg. Реакция на Cu, см. тен- нантит
Тетраэдрит Cu_3SbS_3 Cu 45,77 Sb 29,22 S 25,01 кубич.	1) 30 (Вл) 28 (Э) 29,4 (Б) 3) серо-белый с оливково-коричне- ватым оттенком	1) изотропен 2) иногда корич- нево-красные реф- лексы (МИ)	3—4 328—367; 351 (Б, Т) хорошее, хруп- кий, выкраши- вается	Реакция на Sb на шлифе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Избыток кис- лоты снять. Растворитель: HCl (1 : 1) на травленое ме- сто. Проявитель: $\text{KJ} + \text{CsCl}$ (порошок). Осадок красного цвета. Реакция на Cu, см. теннантит
Фрейбергит (Cu, Ag) $_3\text{SbS}_3$ Cu 45,77 Ag до 17 Sb 29,22 S 25,01 кубич.	1) 30 (Вл), не- много светлее тетраэдрита 3) серо-белый с зеленовато-желто- коричневым оттен- ком	То же	3—4 317—375; 345 (Б, Т) хорошее, хруп- кий, выкраши- вается	Реакция на Ag, проверяется спектр. анализом
Теннантит Cu_3AsS_3 Cu 51,57 As 20,26 S 28,17 кубич.	1) 28 (Вл, Э) 3) серовато-белый с голубовато-зеле- новатым оттен- ком	1) изотропен 2) коричнево- красные (МИ)	3,5—4,5 308—397; 339 (Л) 320—361; 338 (Б, Т) хорошее, хрупкий, вы- крашивается	Отпечаток на Cu серо-зеле- ного цвета. Растворитель: па- ры п. в. до потускнения. Эксп. 3—5 мин. Растворитель на фотобумаге: NH_4OH . Эксп. 3—5 мин. Проявитель: рубеновая кислота. Реакция на As с $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ на шли- фе. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Осадок лимон- ного цвета
Сильванит Cu_3VS_4 Cu 51,5 V 13,8 S 34,7 кубич.	1) 35 (Вл) 28 (P) 3) серо-белый с розовато-желтова- тым оттенком, желтовато-белый	1) изотропен 2) нет	3,5 157—161; 159 (Л) отличное	Отпечаток на Cu серо-зеле- ного цвета, на V—синего ца- та. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: на Cu—рубеновая кислота + $+$ NH_4OH ; на V—уксусно- кислый бензидин
Лазаревичит Cu_3AsS_4 Cu ~ 50 Fe ~ 0,5 As ~ 11 S ~ 36 кубич.	1) 36,0 (Вяльсов) 2) нет 3) желтовато- серый со слабым коричневатым оттенком	То же	3,5 412—488 хорошее	См. сильванит, энаргит
Борнит Cu_5FeS_4 Cu 63,3 Fe 11,2 S 25,5 кубич.	1) 23 (P) 24 (Вл) 18,5 (Э) 3) розовый, в све- жей полировке: коричнево-фио- летовый в старых шлифах, эталон	1) изотропен, иногда слабо ани- зотропен в свежем шлифе 2) нет	3 100—124; 112 (Л) 97—105; 103 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Cu серо-зеле- ного цвета. Растворитель: NH_4OH (25%) Эксп. 1 мин. Проявитель: рубеновая кис- лота. Реакция на Fe. Рас- творитель: HNO_3 (1 : 1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K_2Fe (CN) $_6$. Пятно синего цвета

6	7	8	9
Удлиненные листоватые кристаллы, аллотриоморфные выделения. Трещинки спайности по (010)	Касситерит, вольфрамит, арсениопирит, пирротин, молибденит, халькопирит и др.	1) 3,50 (10) 3,08 (9) 2,79 (8)	Кремовый оттенок цвета; спайность по (010); положительная реакция на Bi. Отрицательная реакция с КОН отличает от антимонита
<i>R > сфалерита, R < галенита, изотропные</i>			
Тонкие прожилки и каемки, псевдоморфозы по пентландиту. В сростании с бравоитом образует сажистые массы	Пентландит, миллерит, бравоит, халькопирит	1) 2,86 (10) 1,678 (10) 2,37 (8)	От пирротина и бравоита отличается фиолетовым оттенком цвета и микротвердостью
Аллотриоморфнозернистые агрегаты	Галенит, киноварь, сидерит, доломит	1) 2,96 (10) 1,813 (10) 1,547 (8)	Похож на тетраэдрит, отличается примесью ртути
Агрегаты аллотриоморфных зерен, редко изометричные кристаллы	Халькопирит, сфалерит, галенит, арсениопирит, теннантит и др.	1) 3,00 (10) 1,839 (10) 1,568 (8)	Изотропен; коричневатый оттенок цвета; очень слабые внутренние рефлексы; реакция на Sb
Аллотриоморфные или изометричные зерна	Образует мелкие включения в галените, борните и полибазите. Ассоциирует с теннантитом, тетраэдритом, арсентитом, серебром	1) 3,00 (10) 1,839 (10) 1,568 (8)	От тетраэдрита отличается травлением и примесью серебра. Необходимы хим. или спектр. анализ
Агрегаты аллотриоморфнозернистой структуры; реже изометричные кристаллы	Халькопирит, энаргит, другие блеклые руды, сфалерит, борнит, галенит. Легко окисляется с образованием ковеллина, малахита, азурита, скородита и др.	1) 2,94 (10) 1,803 (10) 1,537 (8)	От станнина и бурнонита отличается изотропностью; от тетраэдрита — голубовато-зеленоватым оттенком, более яркими рефлексами красного цвета. Часто замещает энаргит
Кубические кристаллы, реже сплошные агрегаты, напоминающие выделения галенита. Спайность по (110) совершенная. Характерны треугольники выкрашивания, как у галенита	Пирит, гематит, халькопирит, борнит, галенит, тетраэдрит, шеселит, пирротин, висмутин и др.	1) 1,910 (10) 3,39 (8) 3,11 (8)	Треугольники выкрашивания и спайность по трем направлениям; реакция на Cu и V
Изометричные треугольные, реже призматические зерна. Спайность отсутствует	Энаргит, теннантит, борнит, пирит, сфалерит		Цвет; парагенезис. От сульванита и арсеносульванита отличается отсутствием ванадия и спайности
Сплошные агрегаты, прожилки, каемки. Форма зерен аллотриоморфная. Пластинчатые, решетчатые структуры распада халькопирита в борните	Гипогенный борнит: халькопирит, халькозин, реньерит, блеклая руда, энаргит; гипергенный: халькозин, ковеллин, гетит	1) 1,924 (10) 3,304 (8) 3,165 (8)	Цвет; изотропен; низкая микротвердость; травление; реакция на Cu и Fe

1	2	3	4	5
Германит $\text{Cu}_3(\text{FeGe})\text{S}_4$ Fe 4,56—8,59 Ge 8,70—10,96 Cu 39,44—45,40 S 31,44 кубич.	1) 22 (P) 3) розовый, серовато-розовый с фиолетовым оттенком, кремово-розовый	1) изотропен 2) нет	3—4 412—458; 427 (Л) очень хорошее	Отпечаток на Cu и Fe, см. борнит. Германий определяется спектр. анализом
Алабандин MnS Mn 63,2 S 36,8 кубич.	1) 24 (Вл) 26 (Э) 3) серовато-белый	1) изотропен 2) темно-зеленые, желтоватые (МИ)	3,5—4 240—266; 251 (Б, Т) хорошее	Реакция на Mn. Растворитель: HNO_3 . Эксп. 2 мин. И. р. + фильтр. бумага. Проявитель: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$. Пятно грязно-коричневого цвета. Промыть в воде
Гауерит MnS_2 Mn 46,2 S 53,8 лubic.	1) 23 (Вл) 3) серо-белый со слабо-коричневым оттенком	1) изотропен 2) густо-красно-красные (МИ)	4 хорошее	Прямой отпечаток на S на бромосеребряной бумаге темно-коричнево-бурого цвета. Растворитель: HCl (1:1) + эл. ток. Эксп. 20 сек. Реакция на Mn, см. алабандин
Маггемит Fe_2O_3 Fe 69,94 O 30,06 кубич.	1) 18 (P) 22 (Вл) 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) изредка темно-коричнево-красные (МИ)	5 357—387; 378 (Л) 894—988; 946 (Б, Т) хорошее	Реакция на Fe. Растворитель: HCl конц. Эксп. 5 мин. И. р. + фильтр. бумага. Проявитель: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$. Пятно синего цвета
Гриннокит CdS Cd 77,81 S 22,19 гексагон.	1) 18,5 (P) 19 (Вл) 3) серовато-белый с голубоватым оттенком. В иммерсии с зеленоватым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) бесцветные, лимонно-желтые (красно-коричневые) (В)	3,5 52—91 (Л) хорошее	Реакция на Cd. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 3 мин. Снять избыток кислоты. Растворитель: уксусная кислота. Фильтр. бумага + и. р. Проявитель: дифенилкарбазид. Пятно сине-фиолетового цвета
Пирротин Fe_7S_8 Fe 36,4 S 63,6 гексагон.	1) 37 (Э, Вл) 45,2—38,0 (Б) 2) отчетливое, слабое 3) кремовый с розовато-коричневым оттенком (желтовато-коричневый с розовым оттенком)	1) сильно анизотропен (цветной эффект пирротинный желтовато-серый до серого с красновато-коричневым оттенком) 2) нет	4 214—343; 250 (Л) 230—318; 303 (Б, Т) хорошее	Реакция на Fe. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$. Пятно синего цвета
Троилит FeS Fe 63,53 S 36,47 гексагон.	1) 42 (Б) 2) отчетливое 3) кремовый; желтовато-коричневый с розовым оттенком	1) сильно анизотропен 2) нет	4—4,5 192—277; 256 (Л) хорошее	
Пирролюзит MnO_2 Mn 63,2 O 36,8 тетрагон.	1) 40—30 (Вл) 35 (Э) 50—55 (P) 41,5—30,0 (Б) 2) отчетливое 3) белый, серо-белый с коричнево-кремовым оттенком (в кристаллических разностях), темно-серый в аморф. разн.	1) сильно анизотропные кристаллические агрегаты (цветные эффекты желто-оранжевые), аморфные разности слабо анизотропны 2) нет, бурые рефлексии от примесей гётита (МИ)	1—6,5 посредственное	Реакция на Mn. Прямой отпечаток синего цвета с уксуснокислым бензидином
Галеновисмутит $\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ Pb 27,50 Bi 55,48 S 17,02 ромбо-дипирамид.	1) 43 (P) 2) сильное с цветным эффектом 3) белый с желтоватым оттенком	1) сильно анизотропен 2) нет	2,5—3,5 88—113 хорошее	Реакция на Bi. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина. Пятно желтого цвета. Реакция на Pb, см. джемсонит

Подгруппа 16а. Твердость средняя, R>сфалерита,

6	7	8	9
Мелкие зерна образуют тесные сростания с теннантитом, энаргитом, борнитом. Стр. травление: HNO_3 (1:2) с небольшим количеством $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и HCl к/нц.	Теннантит, реньерит, борнит, халькопирит, энаргит, люцонит, галенит, сфалерит и др.	1) 1,081 (10) 1,861 (9) 3,028 (7)	Более светло-розовый и твердый по сравнению с борнитом. Изотропен по сравнению с люцонитом. Реньерит более оранжевый
Сплошные выделения и отдельные изометричные и аллотриоморфные зерна. Спайность совершенная по (100). Пластинчатые двойники, как у сфалерита при полировке	Родохрозит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, халькопирит	1) 2,603 (10) 1,843 (10) 1,165 (7)	Желтые, иногда темно-зеленые внутренние рефлексы; травление в кислотах со вскрытием; реакция на Мп
Отдельные изометричные зерна, редко сплошные агрегаты. Совершенная спайность по (100), треугольные фигуры выкрашивания. Легко травится ц. в.	Марказит, барит, пирит, гипс, кальцит	1) 3,035 (10) 2,715 (7) 2,49 (7)	Редкий минерал. Реакция на S; парагенезис. В месторождениях сульфидных руд отсутствует
Оолиты, корки, каемки, тонкие прожилки. Замещает магнетит	Магнетит, лепидокрокит, гётит и гематит. Продукт гипо- и гипергенного окисления гематитовых руд	1) 2,51 (10) 1,605 (9) 1,480 (9)	Точно диагностируется только по дебаеграмме. От магнетита отличается голубоватым оттенком и внутренними рефлексами. Магнитный. Гематит—светлее, анизотропен, немагнитен
Зернистые агрегаты. Порошковатые налеты, корочки скрытокристаллического и радиальнолучистого строения	В сульфидных и полукислых рудах сростается со сфалеритом и вурцитом	1) 3,167 (10) 0,9528 (10) 1,157 (9) 2,071 (8) 1,900 (8) 1,764 (8)	Отличается от сфалерита голубоватым оттенком цвета, по рельефу и микротвердостью. Реакция на Cd; парагенезис
<i>R < галенита, сильно анизотропные</i>			
Аллотриоморфозернистые агрегаты; часто полисинтетические двойники. Иногда содержит пентландит. Образуется совместно с халькопиритом эмульсионную вкрапленность в сфалерите	Халькопирит, пентландит, сфалерит, пирит, магнетит, арсенипирит и др. Замещается марказитом, пиритом	1) 2,062 (10) 2,63 (8) 1,045 (8)	Розовато-коричневый цвет; сильная анизотропия; магнитный; парагенезис
Округлые каплевидные выделения и тонкие пластинки в метеоритном железе	Ассоциирует с минералами метеоритов, главным образом с самородным железом	1) 2,085 (10) 1,720 (9) 1,328 (8)	Парагенезис
Сплошные кристаллические или скрытокристаллические часто сажистые массы; псевдоморфозы по псиломелану. Корки, оолиты, конкреции. Кристаллы имеют игольчатый или шестоватый облик	Гаусманит, манганит, браунит, псиломелан и др., нередко образует по ним псевдоморфозы	1) 3,118 (10) 1,622 (10) 2,404 (9)	Высокая отражательная способность; коричневато-кремовый оттенок цвета; парагенезис
Игольчатые и тонкопластинчатые кристаллы или тонкозернистые и волокнистые агрегаты. Видна спайность	Галенит, висмутин, висмут	1) 3,47 (10) 3,03 (7) 2,47 (7)	Реакция на Pb и Bi. Трудно отличим от висмутина, бончевита, айкинита. Необходима дебаеграмма или хим. анализ

1	2	3	4	5
Бертьерит $\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ Fe 13,06 Sb 56,95 S 29,99 ромбич.	1) 38—27 (Вл) 35—26 (Э) 40,0—30,0 (Б) 2) сильное с цветным эффектом 3) белый с розовато-коричневым оттенком	1) сильно анизотропен с цветным эффектом 2) нет	2—3 155—185; 171 (Б, Т) 168—204 (Л) хорошее	Реакция на Sb. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 3 мин. Снять избыток кислоты. Растворитель: HCl (1:1) на травленое место. Проявитель: $\text{CsCl} + \text{KJ}$ (порошок). Осадок кирпично-красного цвета. Реакция на Fe, см. пирротин
Энаргит Cu_3AsS_4 Cu 48,42 As 19,02 S 32,56 ромбич.	1) 23 (Э) 27—23 (Вл) 28,1—25,0 (Б) 2) слабое, видно на границах зерен 3) светло-розовый до серо-розового и фиолетового (светло-розово-коричневый); светло-серый с розовым оттенком	1) сильно, отчетливо анизотропен (цветной эффект фиолетово-красный до светло-зеленого); прямое угасание 2) нет	3—3,5 212—329; 223 (Л) 245—346; 272 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета. Предварительно минерал травится в парах царской водки. Эксп. 5 мин. Растворитель: NH_4OH на фотобумаге. Эксп. 5 мин. Проявитель: рубановая кислота. Реакция на As с $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ (порошок). Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Осадок лимонного цвета
Люционит Cu_3AsS_4 Cu 48,42 As 19,02 S 34,56 тетрагон.	1) 28 (Мозес) 27—22 (Вл) 2) сильное (от светло-оранжевого до розового) 3) коричнево-желтый с розовым оттенком, желтовато-серый	1) сильно анизотропен; косое угасание (цветной эффект в оранжево-красных и серовато-фиолетовых тонах) 2) нет	3—4 257—412; 388 (Л) хорошее	Реакция на Sb. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Избыток кислоты снять. Растворитель: HCl (1:1) на травленое место. Проявитель: $\text{KJ} + \text{CsCl}$ (порошок). Осадок красного цвета. Реакция на Cu, см. энаргит
Стибиолюционит (фаматинит) Cu_3SbS_4 Cu 43,27 Sb 27,63 S 29,10 тетрагон.	1) 29—26 (Вл) 27 (Э) 2) сильное, слабое 3) светло-оранжевый до светло-фиолетового; розовый с фиолетовым оттенком, желтовато-серый	1) сильно анизотропен; косое угасание 2) нет	3—4 315—329 (Л) 333—397 (Б, Т) хорошее	
Идаит Cu_3FeS_4 Cu 56,16 Fe 9,86 S 33,98 гексагон.	1) 20 (Р) 2) очень сильное 3) красновато-оранжевый (без борнитовой побегалости)	1) сильно анизотропен (желто-зеленый цветной эффект) 2) нет	2,5 216—260; 240 (Л) хорошее	Реакция на Fe, см. пирротин. Реакция на Cu, см. энаргит
Умангит Cu_3Se_2 Cu 54,70 Se 45,30 ромбо-тетраэдрический	1) 20—17 (С) 17—14 (Э) 2) очень сильное 3) сиреневый до голубовато-серого	1) сильно анизотропен (красный, сиреневый, кремевый цветной эффект) 2) нет	3 77—108; 82 (Л) 77—128 (С) хорошее	Отпечаток на Cu (серо-зеленого цвета) и на Se (красного цвета). Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 1 мин. Проявитель на медь: $\text{NH}_4(\text{OH}) +$ рубановая кислота; на селен тиомочевина
Халькопирит CuFeS_2 Cu 34,57 Fe 30,53 S 34,9 тетрагон., редко кубич.	1) 44 (Б) 47 (Вл) 42 (Э) 2) очень слабое 3) желтый эталон	1) слабо анизотропен, иногда отчетливо анизотропен, изотропен (кубич. модификация) 2) нет	3,5—4 184—223; 202 (Л) 186—219; 194 (Б, Т) 270 (куб. модификация) хорошее	Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета. Растворитель: травится в парах царской водки на шлифе до потускнения. Эксп. 3—5 мин. Растворитель на фотобумаге: NH_4OH . Эксп. 3—5 мин. Проявитель: рубановая кислота
Кубанит CuFe_2S_3 Cu 22,24 Fe 40,42 S 34,35 ромбич.	1) 40 (Вл) 41 (Э) 2) слабое 3) розово-желтый	1) отчетливо анизотропен, сильно анизотропен 2) нет	3,5 199—228; 213 (Б, Т) хорошее	Реакция на Cu, см. халькопирит, на Fe, см. пирротин

Подрупа 166. Твердость средняя, R>сфалерита.

6	7	8	9
Волокнистые выделения, реже зернистые агрегаты, а также вкрапленность в антимоните	Антимонит, сульфосоли серебра, джемсонит	1) 2,60 (10) 3,62 (9) 3,15 (9)	Розовато-коричневый оттенок цвета; травление с KOH; реакция на Fe
Агрегаты столбчатых таблитчато-призматических кристаллов, сплошные аллотриоморфнозернистые массы и вкрапленники	Теннантит, фаматинит, люционит, халькопирит, галенит, пирит, сфалерит, барит и др. Часто замещается теннантитом	1) 3,21 (3) 3,08 (6) 2,85 (8)	От станнина отличается светло-розовым цветом, сильной анизотропией, травлением KCN, реакцией на As: от люционита, фаматинита—однородным внутренним строением индивидов и меньшей твердостью
Включения в энаргите, в борните или агрегаты мелких зерен. Двойники	Энарцит, фаматинит, борнит, халькопирит, пирит, сфалерит, халькозин, тетраэдрит, теннантит, кварц, энарцит. Замещается энарцитом	2) 3,01—3,08 (10) 1,861—1,886 (10) 1,591—1,606 (9)	Отличается от энаргита пластинчатым двойникованием, оранжевым оттенком цвета
Мелкие зерна в энаргите, борните, теннантите, мелкие аллотриоморфнозернистые агрегаты. Двойники	Люционит, борнит, энарцит, теннантит, германит	$a_0=5,38$ $c_0=10,76$ $a_0:c_0=1:2,00$; $z=2$ (Минералы, т. 1, 1960)	От борнита и германита отличается анизотропностью; от люционита, энаргита, реньерита—реакцией на Sb
Мельчайшие таблички—продукт распада борнита	Борнит и халькопирит	$a_0=3,90$ $c_0=16,95$ $a_0:c_0=1:4,346$; $z=1$ (Минералы, т. 1, 1960)	Тончайшие пластинки в борните по трещинам спайности в ассоциации с веретенцами халькопирита, с новообразованиями гётита, ковеллина. Отличается от борнита сильной анизотропией
Зернистые агрегаты. Пластинчатые двойники в зернах наблюдаются в отраженном поляризованном свете	Эвкарцит, тиманит, борнит, кальцит, халькопирит, берцеллацит, кобальтин, пирит	1) 3,57 (10) 1,819 (9) 1,776 (8)	Сиреневый цвет; сильное двуотражение и сильный цветной эффект анизотропии; реакция на Cu и Se

R <галенита, слабо и отчетливо анизотропные

Агрегаты аллотриоморфных зерен, редко кристаллы. Полисинтетические двойники в зернах. Эмульсия распада халькопирита в сфалерите	Пентландит, кубанит, пирротин, борнит, пирит, сфалерит, галенит, энарцит, блеклые руды	1) 3,03 (10) 1,855 (10) 1,586 (10)	Желтый цвет; травление в парах царской водки; полисинтетические двойники; реакция на Cu
Преимущественно в халькопирите в виде параллельных пластинок	Халькопирит, пирротин, пентландит	1) 3,23 (10) 1,875 (9) 1,75 (8)	Пластинчатые зерна в халькопирите; иногда магнитен; парагенезис. От халькопирита отличается более сильной анизотропией и розовым оттенком

1	2	3	4	5
Пирролизит MnO_2 Mn 63,2 O 36,8 тетрагон.	1) 40—30 (Вл) 35 (Э) 50—55 (Р) 2) отчетливое 3) белый, серо-белый с коричнево-кремовым оттенком (в кристаллических разностях), темно-серый в аморф. разн.	1) сильно анизотропны кристаллические агрегаты (цветной эффект желто-оранжевый), слабо анизотропны аморфные разности 2) нет, бурые рефлексы от примесей гетита (МИ)	1—6,5 посредственное	Реакция на Mn Прямой отпечаток синего цвета с уксуснокислым бензидином
Геокронит $5PbS \cdot (As, Sb)_2S_3$ Pb 69,62 Sb 8,07 As 5,05 S 17,26 монокл.	1) 40,5 (Вл) 40,9 (Б) 2) слабее 3) белый со слабым кремово-зеленоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) нет	2,5 95—140 (Л) хорошее	Реакция окрашивания на Pb. Растворитель: HNO_3 конц. на шлифе. Эксп. 1 мин. Снять остаток кислоты. Проявитель: KJ (5%). Пленка лимонно-желтого цвета
Айкинит $PbCuBiS_3$ Cu 11,03 Pb 35,98 Bi 36,29 S 16,70 ромбич.	1) 48 (Вл) 44 (Э, Р) 2) ясно выраженное 3) белый со слабо-желтоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) нет	2—2,5 165—204 (Л) плохое	Отпечаток на Bi желтого цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: тиомочевина. Реакция на Cu, см. халькопирит, на Pb, см. геокронит
Буланжерит $Pb_5Sb_4S_{11}$ Pb 55,4 Sb 25,7 S 18,9 монокл.	1) 40—32 (Вл) 38 (Р) 44,1—37,0 (Б) 2) слабое 3) белый с голубовато-зеленоватым оттенком	1) отчетливо или сильно анизотропен 2) красные	2,5—3 157—183; 166 (Б, Т) отличное	Реакция на Sb. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Избыток кислоты снять фильтр. бумагой. Растворитель: HCl (1:1) на травленое место шлифа. Проявитель: KJ+CsCl (порошок) Осадок красного цвета. Реакция окрашивания на Pb. Растворитель: HNO_3 на шлифе. Эксп. 1 мин. Остаток кислоты снять фильтр. бумагой. Проявитель: KJ (5%). Пленка лимонно-желтого цвета
Цинкениит $Pb_2S \cdot Sb_2S_3$ Pb 35,79 Sb 42,06 S 22,15 гексагон.	1) 37,5 (Р) 34 (Вл) 32,3 (Б) 2) очень слабое 3) белый	1) слабо или отчетливо анизотропен; прямое угасание 2) темно-красные (иногда заметные в масле)	3 162—207; 178 (Б, Т) 159—208 (Л) хорошее	Реакция окрашивания на Pb. Растворитель: HNO_3 на шлифе. Эксп. 1 мин. Остаток кислоты снять фильтр. бумагой. Проявитель: KJ (5%). Пленка лимонно-желтого цвета
Бурнонит $PbCuSbS_3$ Cu 13,04 Pb 42,54 Sb 24,65 S 19,77 ромбич.	2) 35 (Вл) 33 (Э) 38,2—36,0 (Б) 2) слабое 3) белый до голубовато-зеленого	1) слабо анизотропен 2) красные (иногда заметные в масле)	2,5—3 166—187; 178 (Л) 185—199; 192 (Б, Т) отличное	Реакция на Cu. Минерал травится в парах царской водки до потускнения. Эксп. 3—5 мин. Растворитель: NH_4OH . Эксп. 3—5 мин. Проявитель: рубановая кислота. Отпечаток серо-зеленого цвета. Реакция на Pb, см. цинкениит
Халькостибнит $Cu_2S \cdot Sb_2S_3$ Cu 25,64 Sb 48,45 S 25,91 ромбич.	1) 36 (Вл) 42 (Р) 43,0—37,1 (Б) 2) слабое 3) белый со слабым розовым оттенком	1) отчетливо анизотропен (цветные эффекты) 2) нет	3—4 хорошее	
Эмплектит $CuBiS_2$ Cu 18,88 Bi 62,08 S 19,04 ромбич.	1) 37,5 (Р) 38 (Вл) 41,0—36,0 (Б) 2) слабое на границе зерен 3) белый с желтоватым оттенком	1) отчетливо, сильно анизотропен 2) нет	2 158—238; 180 (Л) 168—213; 191 (Б, Т) хорошее	Реакция на Cu, см. бурнонит. Реакция на Bi. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: тиомочевина. Пятно желтого цвета
Виттихенит Cu_3BiS_4 Cu 38,46 Bi 42,15 S 19,39 ромбич.	1) 35 (Р) 34 (Вл) 30 (Э) 2) неясное, очень слабое 3) серо-белый с коричневым оттенком	1) отчетливо, слабо анизотропен 2) нет	2—3 170—206 (Я, М) 156—206 (Л) хорошее	
Ренберит $Cu_3(Fe, Ge)_4S_4$ Cu ~41,63 Fe ~13,73 Ge 7,75 S ~31,51 псевдокубич.	1) 30 (Вл) 32,5 (Р) 2) слабое от оранжевого до коричневого 3) оранжево-коричнево-розовый	1) отчетливо анизотропен (от желто-коричневого до коричневого) 2) нет	4,5 318—367; 340 (Л) отличное	Спектр. анализ на Ge. Реакция на Cu, см. халькопирит

6	7	8	9
Сплошные кристаллические или скрытокристаллические сажистые массы, псевдоморфозы по псиломелану. Корки, оолиты, конкреции. Кристаллы имеют игольчатый или шестоватый облик	Гаусманит, манганит, браунит, псиломелан и др., нередко образует по ним псевдоморфозы	1) 3,118 (10) 1,622 (10) 2,404 (9)	От других минералов марганца отличается высокой отражательной способностью и коричневато-кремовым оттенком цвета
Таблитчатые кристаллы, агрегаты аллотриоморфных зерен. В поляризованном свете часто наблюдаются пластинчатые двойники	Галенит, сульфоантимониды свинца, пирит, тетраэдрит, барит, кварц, флюорит и карбонаты	1) 2,23 (10) 1,830 (9) 2,115 (8)	Более слабое двуетражение и анизотропность по сравнению с буланжеритом и джемсонитом. Характерны двойники в зернах. Необходим хим. анализ
Вкрапленники и агрегаты призматических и тонкоигольчатых кристаллов	Пирит, тетраэдрит, кварц, халькопирит, галенит, сфалерит, золото, эмплектит, висмутин	1) 3,67 (10) 3,18 (9) 2,87 (8)	От сходных сульфидов отличается травлением, двуетражением и реакцией на Cu
Призматические, игольчатые, стебельчатые, листоватые зерна, часто волокнистые агрегаты. Спайность слабая, двойников нет	Сульфосоли свинца, антимонит, галенит, сфалерит и др.	1) 3,71 (10) 2,815 (8) 1,861 (7)	От антимонита отличается анизотропией, травлением KOH ; от джемсонита—слабым эффектом двуетражения, анизотропией
Таблитчатые и радиальнолучистые агрегаты	Антимонит, джемсонит, буланжерит, бурнонит и другие сульфосоли, сфалерит, галенит, пирит	1) 3,445 (10) 1,975 (10) 1,825 (10)	От других сульфосолей свинца отличается по данным дебаграммы и хим. анализа. Характерно травление KOH ; после 20—40 мин появляется структура «пальмовых палочек»
Агрегаты зерен. Характерны полисинтетические двойники по (100), развивающиеся в двух направлениях	Галенит, тетраэдрит, сфалерит, буланжерит и др.	1) 2,73 (10) 3,86 (8) 2,96 (8)	Слабо анизотропен; полисинтетические двойники; отрицательное травление с HNO_3 ; реакция на Cu и Pb
Агрегаты кристаллов и отдельные таблитчатые кристаллы. Спайность по (010) совершенная, иногда видны треугольники выквашивания	Борнит, халькопирит, бурнонит, джемсонит, блеклая руда	1) 3,10 (10) 2,98 (10) 1,751 (10)	От бурнонита отличается оттенком цвета, наличием спайности и реакцией на Pb ; парагенезис
Идиоморфные удлиненные зерна с пластинчатыми двойниками, параллельными удлинению. Спайность по (001) совершенная	Висмутовые блеклые руды, халькопирит, виттихенит, висмутин, висмут	1) 3,20 (10) 3,02 (10) 2,34 (9)	Идиоморфные удлиненные кристаллы с двойниками. По сравнению с виттихенитом и блеклой рудой—светлее. Парагенезис. Дебаграмма отличается от виттихенита
Агрегаты изометричных зерен	Висмут, сульфосоли висмута, эмплектит, халькопирит	1) 3,12 (10) 1,78 (7) 2,32 (6)	Изометричные зерна; темнее висмутин и эмплектита. По сравнению с блеклой рудой анизотропен; парагенезис
Мелкие округлые зерна и ламельки. Наблюдаются полисинтетические двойники. От HNO_3 (1:2) + KClO_3 + HCl конц. выявляется структура	Борнит, энаргит, теннантит, халькопирит, сфалерит, галенит, люционит	1) 3,06 (10) 2,65 (3) 1,87 (8) (Минералы т. 1, 1960)	От германита и борнита отличается анизотропией, наличием двойников; от люционита и стибнолюционита — реакцией на Ge . Магнитен; парагенезис

1	2	3	4	5
Станнин Cu_2FeSnS_4 Cu 29,58 Fe 12,99 Sn 27,61 S 29,82 тетрагон.	1) 28 (Вл, Б) 23 (Э, Р) 2) слабое 3) серо-белый с коричнево-зеле- новатым оттенком (буровато-зелено- вато-белый)	1) отчетливо ани- зотропен в масле, слабо анизотропен (цветные эффекты), изотропен 2) нет	3,5—4 206—307; 257 (Л) 197—221; 210 (Б, Т) посредственное и хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HNO_3 конц. Эксп. 1— 3 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Пятно синего цвета
Куприт Cu_2O Cu 88,8 O 11,2 кубич.	1) 29 (Вл) 27,1 (Б) 3) серо-белый с голубоватым от- тенком	1) изотропен, сла- бо анизотропен (го границам зерен) 2) красные (В)	3—4 205—207; 206 (Л) 192—218; 199 (Б, Т) хорошее	Реакция на Cu. Раствори- тель: HNO_3 конц. Эксп. 1— 2 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Пятно розовато-ко- ричневого цвета
Тенорит CuO Cu 79,9 O 20,1 монокл.	1) 22 (Р) 24,2—20 (Вл) 26,9—20,0 (Б) 2) отчетливое (от белого до серовато- белого) 3) серо-белый с желтовато-корич- невым оттенком (рядом с купритом коричневый)	1) отчетливо анизотропен (цветные эффекты синие и белые); косое угасание 2) нет	3,5 209—254; 236 (Б, Т) посредственное	Реакция на Cu серо-зелено- го цвета. Растворитель: NH_4 OH (25%). Эксп. 2 мин. Проявитель: рубановая кис- лота
Делафоссит $CuFeO_2$ Cu 41,99 Fe 36,88 O 21,13 тригон.	1) 23 (Вл) 22,2 (Б) 2) слабое, по гра- ницам зерен; ино- гда сильное 3) серо-белый с розовато-коричне- вым оттенком	1) отчетливо, силь- но анизотропен (светло-синевато- серые цветные эффекты); прямое угасание 2) нет	5,5 очень хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HCl конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Пят- но синего цвета. Реакция на Cu, см. тенорит
Манганит $MnO \cdot OH$ O 27,3 Mn 62,4 H_2O 10,3 монокл.	1) 19—15 (Вл) 17 (Э) 31,4—19,0 (Б) 2) слабое 3) серый (светло- серый с коричне- вым оттенком)	1) отчетливо ани- зотропен; прямое угасание 2) желтовато-крас- новато-коричне- вые (В, МИ)	4 367—459; 410 (Б, Т) хорошее, по- средственное	Прямой отпечаток на Мп синего цвета. Растворитель: уксуснокислый бензидин. Эксп. 1 мин
Миаргирит $AgSbS_2$ Ag 36,72 Sb 41,45 S 21,83 монокл. призматич.	1) 34 (Б) 33 (р) 30 (Вл) 2) заметное 3) серо-белый с голубоватым от- тенком	1) отчетливо, сильно анизотро- пен (мешают внутр. рефлексы) 2) вишнево-крас- ные (В, МИ)	2,5 104—127 (Л) 104—123; 110 (Б, Т) хорошее	Реакция на Sb. Раствори- тель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Каплю кислоты снять филь- льтр. бумагой. Растворитель: HCl (1:1) на травленое место шлифа. Проявитель: кристал- лики KJ и CsCl. Осадок красного цвета. Реакция на Ag, см. науманнит
α -науманнит Ag_2Se ($t < 133^\circ C$) ромбич. β -науманнит ($t > 133^\circ C$) Ag 73,15 Se 26,85 кубич.	1) 36 (С) 28 (Э) 32 (Вл) 2) очень слабое 3) серовато-белый с зеленовато-сине- ватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен, изотро- пен 2) нет	2—2,5 115—185; 148 (Б, Т) 27—56 (Л) посредственное	Отпечаток на Ag фиолетово- красного цвета. Растворитель: 1 ч. 5% KCN+1 ч. Р-ди- метиламинобензилдиенродами- на в ацетоне. Эксп. 3—5 мин. Отпечаток промывать в воде, подкисленной в HNO_3
Пелибазит ($Ag-Cu$) $_{11}$ Sb $_2$ S $_{11}$ Ag 69,47 Cu 4,10 Sb 10,82 S 15,61 монокл.	1) 29,5 (Р) 32 (Э) 32 (Вл) 2) слабое по гра- ницам зерен 3) серо-белый с зе- леноватым оттенком	1) слабо анизо- тропен 2) темно-красные (МИ), наблюда- ются не всегда	2—3 108—114; 112 (Л) плохое	Реакция на Sb. Раствори- тель: 1 ч. HCl конц.+1 ч. HNO_3 конц.+2 ч. H_2O . Эксп. 2 мин. Проявитель: метил- триоксифлюорин. Цвет пятна розово-коричневый. Реакция на Cu, см. халькопирит
Прустит Ag_3AsS_3 Ag 65,42 As 15,14 S 19,44 тригон.	1) 28 (Э, Р) 27,7—25,0 (Б) 2) ясное 3) серо-белый с голубоватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) кирпично-крас- ные с оранжевым оттенком (В)	2—2,5 109—135; 123 (Б, Т) 101—137 (Л) хорошее	Реакция на As. Раствори- тель: HNO_3 конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: $(NH_4)_2$ MoO $_4$. Осадок лимонно-жел- того цвета. Реакция на Ag, см. науманнит

6	7	8	9
Мелкие аллотриоморфно-зернистые агрегаты и включения в других минералах. Образует эмульсионные или пластинчатые выделения в сфалерите и халькопирите. Пластинчатые и полисинтетические двойники в зернах	Касситерит, халькопирит, сфалерит, арсениопирит, вольфрамит, галенит, пирротин, блеклые руды	1) 3,12 (10) 1,911 (10) 1,634 (10)	От энаргита и люционита отличается зеленым оттенком цвета; от блеклых руд—анизотропией и микротвердостью. Реакция на Sn и Fe; парагенезис
Сплошные зернистые и скрытокристаллические выделения, идиоморфные кристаллы, петельчатые и кольчатые текстуры замещения, Стр. травление: HNO ₃ (1:1)	Халькозин, гётит, малахит, медь, азурит и хризоколла, тенорит	1) 2,46 (10) 1,280 (10) 1,505 (9)	Красные внутренние рефлексы; реакция на Cu; травление; парагенезис
Почки, прожилки, землестые массы, скрытокристаллического и радиальнолучистого строения. Полисинтетические двойники в зернах	Куприт, малахит, гётит, хризоколла, делафоссит, лампадит	1) 3,513 (10) 2,307 (9) 1,852 (7)	Сильно анизотропен; реакция на Cu; колломорфные агрегаты с радиальнолучистой структурой; парагенезис
Гроздьевидные корочки. Друзы таблитчатых кристаллов	Куприт, тенорит, медь, магнетит, гематит, малахит, лимонит	1) 2,51 (10) 2,85 (8) 2,230 (8)	От тенорита отличается прямым угасанием и реакцией на Fe
Натечные скрытокристаллические и радиальнолучистые агрегаты	Барит, кальцит, сидерит, гаусманит, пиролюзит, гётит, псиломелан	1) 2,70 (10) 1,66 (8) 1,419 (7)	Реакция на Mn; радиальнолучистое сноповидное строение агрегатов; парагенезис
Шестоватые, таблитчатые зерна, характерна спайность в двух направлениях	Галенит, сфалерит, стефанит, пол арзидит	1) 3,42 (9) 2,88 (10) 2,74 (8)	Голубоватый оттенок цвета; сильно анизотропен, красные внутренние рефлексы; травление; парагенезис
Аллотриоморфнозернистые агрегаты. Полисинтетические двойники и трещины спайности по (100)	Очень редкий минерал. Клаусталит и другие селениды	$\beta = \text{Ag}_2\text{Se}$ 1) 2,66 (10) 2,56 (10) 2,23 (6)	Сходен с аргентитом, отличается реакцией на Se, спайностью по (100) и полисинтетическими двойниками
Таблитчатые зерна и призматические выделения	Сульфосоли серебра, сульфосоли свинца, а также сульфиды и арсениды никеля и кобальта	1) 2,99 (10) 3,18 (9) 2,87 (8)	От пираргирита и стефанита отличается зеленоватым оттенком и микротвердостью; от аргентита и пирсента—по данным хим. анализа и дебаграмме
Агрегаты таблитчатых зерен. Отдельные зерна с зональным или пластинчатодвойниковым строением	Галенит, серебро, а также сульфоарсениды, сульфоантимониды свинца, серебра, и меди	1) 3,20 (10) 2,53 (9) 2,75 (7)	От пираргирита отличается реакцией на As; от киновари, куприта—травлением. Парагенезис—отличает от кермезита, куприта

1	2	3	4	5
Сфалерит ZnS Zn 67,1 S 32,9 Примеси: Fe до 26%, Mn, Cd, Ga, Ge, Jn и др. кубич.	1) 17—18 (Вл) 19 (Э) 3) серый, иногда со слабым голубоватым, фиолетовым, зеленоватым оттенком	1) изотропен 2) бесцветные, желтые, реже бурые, красноватые (В, МИ)	3,5—4 153—270 (Л) 186—209; 198 (Б, Т) (изменяется в зависимости от содержания Fe) хорошее	Реакция на Zn. Растворитель: 5 ч. HNO ₃ (1:1) + 1 ч. Cu(NO ₃) ₂ (1%). Эксп. 3—5 мин. Проявитель: HgCl ₂ + KCNS. Пятно фиолетового цвета, промыть в воде

Подеруппа 17. Твердость средняя,

Урановая чернь (остаточная) UO ₂ U 7,7—34 аморфный	1) 11—16 3) серый до темно-серого с буроватым оттенком	1) изотропен 2) буровато-желтые зеленовато-бурые (МИ)	1—4 <400 плохое	Отпечаток на U коричневого цвета. Растворитель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 1 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆
---	---	--	--------------------	---

Подеруппа 18, твердость средняя, R<сфалерита,

Гидрогётит FeO·OH·H ₂ O Fe ₂ O ₃ 88—86 H ₂ O 12—14 ромбич.	1) 17 (P) 12 (Вл) 3) серый с голубоватым оттенком	1) слабо анизотропен, изотропен 2) желтовато-бурые (В, МИ)	1—4—5 300—340 посредственное	Реакция на Fe. Растворитель: HCl конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ ; пятно синего цвета. Проявитель KCNS; пятно красного цвета
---	---	---	---------------------------------	--

Вольфрамит (Fe, Mn)WO ₄ Mn 5,9—17,6 Fe 18,9—7,4 WO ₃ 75,0 монокл.	1) 18 (Вл) 17 (P) 2) слабое (по границам зерен) 3) серый	1) отчетливо анизотропен; косое угасание 2) слабые коричневатокрасные (В, МИ)	5—5,5 398—593 (Л) 357—394; 373 (Б, Т) 232—626 (изменяется в зависимости от содержания Fe и Mn) хорошее	Реакция на W. В тигле порошок минерала кипятят в HCl с металлическим оловом. Пленка голубого цвета
--	---	--	---	--

Ферберит FeWO ₄ FeO 25 WO ₃ 75 монокл.	1) 17 (Вл) 17—14 (P) 2) слабое (по границам зерен) 3) серый	1) отчетливо анизотропен 2) нет, иногда коричневатокрасные (МИ)	5—5,5 322—412; 379 (Л) хорошее	Реакция на W, см. вольфрамит. Реакция на Fe с KCNS, см. гидрогётит
---	--	--	-----------------------------------	--

Гюбнерит MnPO ₄ MnO 25 (Mn 23,4) WO ₃ 75 монокл.	1) 16 (Вл) 14 (P) 2) слабое (по границам зерен) 3) серый	1) отчетливо анизотропен 2) сильные, коричневатокрасные (В, МИ)	5—5,5 хорошее	Реакция на Mn. Порошок минерала сплавляют с бурой, фосфорной солью или щелочами. Перл растворяют в HCl + фильтр. бумага. Проявитель: K ₃ Fe(CN) ₆ . Пятно кирпично-красного цвета.
---	---	--	---------------	--

Вюртцит ZnS Zn 67,1 S 32,9 гексагон.	1) 17 (Вл) 18,3 (Мозес) 19 (Э) 3) серый	1) слабо анизотропен, изотропен (аморфный) 2) желтые до темно-коричневого (В)	3,5—4 159—274 (Я, М) хорошее	Реакция на Zn. Растворитель: 5 ч. HNO ₃ (1:1) + 1 ч. Cu(NO ₃) ₂ (1%). Эксп. 3—5 мин. Проявитель: HgCl ₂ + KCNS. Пятно фиолетового цвета. Промыть в воде
---	--	--	---------------------------------	--

Цинкит ZnO Zn 80,3 O 19,7 гексагон.	1) 12 (Вл) 11 (P) 2) слабое (мешают внутренние рефлексы) 3) серый с желтоватым оттенком (светло-розовато-коричневый)	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) желтые, красные, карминово-красные (В)	4—4,5 150—318 (Б, Т) хорошее	Отпечаток на Zn сине-фиолетового цвета. Растворитель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: Cu(NO ₃) ₂ + ртутно-родановая соль
--	---	--	---------------------------------	--

Повеллит CaMoO ₄ CaO 28 MoO ₃ 72 тетрагон, дипирамидальный	1) 11 (Вл) 2) очень слабое 3) серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы); изотропен в скрыто-кристаллич. агрегатах 2) бесцветные, желтые (В)	3—4 200—300 хорошее	Отпечаток на Mo коричневого цвета с K ₄ Fe(CN) ₆ и фиолетово-красного цвета с ксантогенатом калия. Растворитель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ (мешают Fe и Cu). Проявитель: ксантогенат калия свежеприготовленный
---	---	--	------------------------	--

6	7	8	9
<i>R<сфалерита, R>шеелита, изотропные</i>			
Зернистые агрегаты. Иногда скорлуповатые и почковидные, скрытокристаллические выделения. Двойниковое и зональное строение зерен выявляется при травлении в парах царской водки в течение 30 сек	Халькопирит, галенит, пирротин, блеклые руды, борнит, пирит, станнин. Замещается ковеллином, халькозином, гриноцитом. Наблюдаются в нем эмульсии распада халькопирита, кубанита, пирротина, станнина	1) 3,116 (10) 1,908 (9) 1,630 (8)	Сильные внутренние рефлексы; травление в парах царской водки; полисинтетические двойники; реакция на Zn
Корки, почки, землистые массы аморфного и концентрически-зонального строения	Настуран, сульфиды, битумы	5,438—5,44 (Гецева и др.)	Парагенезис; натечные выделения черного цвета; отпечаток на U
<i>R>шеелита, анизотропные</i>			
Корки, каемки, псевдоморфозы по пириту, халькопириту, ярозиту, повеллиту и др. Агрегаты скрытокристаллические и радиальнолучистые	Распространен в железной шляпе. Замещает пирит, халькопирит, сидерит	1) 4,178 (10) 2,450 (10) 2,690 (8)	Желтовато-бурые, бурые внутренние рефлексы; коллоидные и радиальнолучистые агрегаты; парагенезис
Вкрапленность, гнезда и прожилки призматических кристаллов, метакристаллов и метазерен. Спайность по (010) совершенная. Крупнозернистый	Касситерит, молибденит, шеелит, висуит, пирит, берилл и др.	1) 2,917 (4) 2,46 (2) 2,18 (2)	Призматические кристаллы; красно-бурые внутренние рефлексы; реакция на W. Парагенезис отличает от манганита
		1) 2,933 (10) 1,711 (10) 2,188 (8)	От вольфрамита и гюбнерита отличается отсутствием внутренних рефлексов. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
		1) 2,989 (9) 1,783 (8) 2,497 (7)	Сильные коричнево-красные внутренние рефлексы; призматические кристаллы; реакция на W и Mn. Необходим хим. анализ
Коллоидные, концентрически-зональные выделения с волокнистым и радиальнолучистым строением. Двойников нет	Сфалерит, марказит, галенит, карбонаты; в конкрециях с сидеритом, марказитом, пиритом	1) 3,107 (10) 1,902 (10) 1,625 (9)	Сильные внутренние рефлексы от желтого до коричневого цвета; реакция на Zn; коллоидные агрегаты с радиальнолучистым строением. Двойников нет
Корки, вкрапленность зернистого строения, редко кристаллы	Сфалерит, франклинит, виллемит. Замещается смитсоном	1) 2,459 (10) 1,623 (10) 1,491 (10)	Сильные кармино-красные внутренние рефлексы; реакция на Zn; парагенезис
Прожилки, каемки, псевдоморфозы по молибдениту. Скрытокристаллический, зернистый. Зональное строение зерен выявляется при травлении в HNO ₃ конц. в течение 5 мин	Замещает молибденит и сам замещается гётитом	1) 1,249 (10) 3,11 (9) 1,922 (8)	Сильные желтоватые внутренние рефлексы; реакция на Mo; люминесцирует желтым или зеленовато-желтым; парагенезис; реликты молибденита в псевдоморфозах повеллита

1	2	3	4	5
Ванадинит $Pb_3[Cl(VO_4)_3]$ PbO 78,3 V_2O_5 19,3 Cl 2,4 гексагон.	1) 16—17 (Вл) 2) слабое 3) серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) буро-желтые, голубовато-желтые до красных (В)	3 хорошее	Отпечаток на V синего цвета. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: уксуснокислый бензидин. Реакция на Pb, см. церуссит
Церуссит $PbCO_3$ PbO 83,5 (Pb 77,5) CO_2 16,5 ромбич.	1) 12—8 (Вл) 2) сильное 3) серый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы), изотропен в скрытокристаллич. разностях 2) бесцветные, желтовато-бурые, зеленоватые (В)	3—3,5 200 хорошее	Реакция окрашивания на Pb. Растворитель: HNO_3 конц. на шпифе. Снять избыток кислоты фильтр. бумагой. Эксп. 1 мин. Проявитель: KJ (5%). Пленка ярко-желтого цвета

Подгруппа 19, твердость средняя,

Кюфвинит $U[SiO_3]_n-x$ (OH) $_{4x}$ U до 61 тетрагон.	1) 5 3) серый	1) изотропен 2) иногда коричневые (МИ)	5—6 236—333 (Б, Т) хорошее	Реакция на U коричневого цвета. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: $K_4Fe(CN)_6$
Барит $BaSO_4$ BaO 65,7 SO_3 34,3 ромбич.	1) 6 (Вл) 3) темно-серый	1) изотропен 2) бесцветные (В)	3—3,5 127—232 (Л) хорошее	Спектр. анализ на Ba
Хризоколла $CuSiO_3 \cdot nH_2O$ CuO 45,2 SiO_2 34,3 H_2O 20,5 «ристокристаллическая»	1) 4 (Вл) 3) темно-серый	1) изотропен 2) светло-зеленые, голубые (В)	2—4 82—119; 95 (Л) хорошее	Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 5 мин. Проявитель: рубеоновая кислота
Флюорит CaF_2 Ca 51,2 F 48,8 кубич.	1) 3 (Вл) 3) темно-серый	1) изотропен 2) бесцветные, фиолетовые, буро-фиолетовые, зеленые (В, МИ)	4 170—200; 194 (Л) хорошее	Спектр. анализ на Ca и F.

Подгруппа 20, твердость средняя,

Шеелит $CaWO_4$ Ca 19,4 WO_3 80,6 тетрагон.	1) 10 (Вл, Р) 2) нет 3) серый эталон	1) отчетливо, слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) бесцветные, желтоватые (В)	4,5—5 392—412 (Л) 285—420; 348 (Б, Т) хорошее	Реакция окрашивания на W. Минерал+HCl конц. Эксп. 5—10 мин. Проявитель: Sn Cl_2 . Пленка синего цвета
Смитсонит $ZnCO_3$ ZnO 64,8 (Zn 52) CO_2 35,2 тригон.	1) 9—6 (Вл) 2) отчетливое на границах зерен 3) серый, темно-серый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы); косое угасание 2) бесцветные, буроватые, зеленоватые (В)	4,5—5,5 409—420 (Л) хорошее	Реакция на Zn. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: Cu $(NO_3)_2$ + ртутно-родановая соль. Пятно фиолетового цвета
Малахит $Cu_2[(OH)_2CO_3]$ 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 розоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) зеленые (В)	3,5—4 124—156 (Л) хорошее	Отпечаток на Cu серо-зеленого цвета. Растворитель: NH_4OH (10—25%). Эксп. 1 мин. Проявитель: рубеоновая кислота

6	7	8	9
Вкрапленность, параллельные и радиальнолучистые сростки призматических кристаллов	Пироморфит, миметезит, деклуазит, вульфенит, церуссит и англезит	1) 2,958 (10) 3,37 (8) 3,04 (8)	Травление; реакция на Pb и V; парагенезис
Корки, сталактиты, плотные и землистые выделения. Каемки скрытокристаллического и зернистого строения, по галениту кристаллы таблитчатого и призматического облика. Полисинтетические двойники	Малахит, смитсонит, пироморфит, фосгенит, кальцит, англезит	1) 3,574 (10) 3,480 (9) 2,487 (9)	Двуотражение; травление со вскипанием в кислотах; реакция окрашивания на Pb; иногда люминесцирует желтым. Замещает галенит

R < шеелита, изотропные

Тонкозернистый или аморфный цемент в раздробленном кварце. Редко мельчайшие призматические или бочонковидные кристаллы	Уранинит, черные ванадиевые минералы, органическое вещество, настуран, мельниковит, опал	4,66 (10) 3,47 (10) 2,64 (5) 1,801 (5) рентгено-аморфный	Радиоактивность; реакция на U. Минерал изучен слабо
Аллотриоморфнозернистые и скрытокристаллические агрегаты, часто таблитчатые и призматические кристаллы. Спайность по (001) совершенная. Характерны треугольники выкрашивания	Кварц, галенит, сфалерит, кальцит, антимонит, киноварь и др.	1) 2,106 (10) 3,058 (7) 3,456 (6)	Не травится реактивами; характерна спайность. Люминесцирует белым или розовым
Корки, землистые выделения, прожилки аморфного и скрытокристаллического строения под бинокляром	Зона окисления медных сульфидных месторождений	Рентгено-аморфный	Голубоватые внутренние рефлексы; отпечаток на Cu
Зернистые и коллоидные агрегаты, изометричные, идиоморфные кристаллы	Кварц, антимонит, касситерит, шеелит, вольфрамит и др.	1) 1,93 (10) 1,117 (10) 1,65 (9)	Самый темный минерал в полированном шлифе. Спайность по (111). Люминесцирует голубовато-фиолетовым и голубым

R < шеелита, анизотропные

Вкрапленники, прожилки. Октаэдрические таблитчатые кристаллы	Гранаты, пироксены, молибденит, вольфрамит, касситерит, кварц. Замещает вольфрамит	1) 3,15 (10) 1,925 (9) 1,590 (9)	Реакция окрашивания на W; сильно люминесцирует голубым в ультрафиолетовых лучах
Корки, почки, сталактиты, землистые массы аморфного, скрытокристаллического и зернистого строения. Внутреннее строение индивидов зональное. Выявляется травлением в кислотах (HNO ₃ или HCl)	Церуссит, малахит, азурит, англезит, пироморфит, миметезит, аурихальцит, гидроцинкит, гидрогётит, каламин, кальцит, гипс и др.	1) 2,748 (10) 1,707 (10) 1,076 (9)	Сильные внутренние рефлексы; травление в кислотах; реакция на Zn; парагенезис
Корки, почки, сталактиты скрытокристаллического, радиальнолучистого строения. Спайность совершенная (001)	Азурит, куприт, тенорит, гётит, лампадит, хризоколла и др.	1) 2,82 (10) 1,509 (9) 3,63 (8)	Зеленые внутренние рефлексы; травление; сильное двуотражение; реакция на Cu; натечные агрегаты; парагенезис

1	2	3	4	5
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.	2) 9 (Э) 10—7 (Р, Вл) 2) слабое 3) серый с розоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) синие (В)	3,5—4 185 хорошее	Отпечаток на Си серо-зеленого цвета. Растворитель: NH ₄ OH (10—25%). Эксп. 1 мин. Проявитель: рубеоновая кислота
Брошантит $\text{Cu}_4[\text{SO}_4 \cdot (\text{OH})_6]$ CuO 69,04—70,36 SO ₃ 17,07—18,32 H ₂ O 11,03—13,81 монокл.	1) 8 (Вл) 3) темно-серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) изумрудно-зеленые (В)	3,5—4 хорошее	Реакция на Си. Минерал+HNO ₃ (1:20)+K ₄ Fe(CN) ₆ . Пленка розово-коричневого цвета
Аурихальцит $[\text{Zn} \cdot \text{Cu}]_3$ $[(\text{OH})_2 \cdot \text{CO}_3]_2$ CuO 19,92—28,40 O 45,67—53,12 CO ₂ 12,55—16,48 H ₂ O 8,50—11,14 ромбич.	1) 6—7 (Вл) 2) очень слабое 3) темно-серый	1) отчетливо анизотропен 2) бесцветные, голубые (В)	2—3,5 плохое	Реакция на Zn и Cu. Растворитель: HNO ₃ (1:1) Эксп. 1 мин. Проявитель: ртутно-родановая соль. Пятно фиолетового цвета
Сидерит FeCO ₃ FeO 62,1 Fe 48,3 CO ₂ 37,9 тригон.	1) 10—6 (Вл) 10 (Э) 2) сильное (мешают внутр. рефлексы) 3) серый	1) сильно анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) бесцветные, буро-желтые (В)	3,5—4 397 хорошее	Реакция на Fe. Растворитель: HCl (1:10). Эксп. 10—12 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ . Темно-синяя пленка
Ярозит KFe ₃ [(OH) ₆ (SO ₄) ₂] K ₂ O 9,4; Fe ₂ O ₃ 47,9 SO ₃ 31,9; H ₂ O 10,8 тригон.	1) 8 (Вл) 4) темно-серый	1) слабо анизотропен: аморфные разности изотропны 2) желтые, бурые, бесцветные (В)	2,5—4,5 110—210 хорошее	Реакция на Fe. Растворитель: HCl (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ . Пленка синего цвета
Скородит Fe[AsO ₄]·2 H ₂ O Fe ₂ O ₃ 34,6 As ₂ O ₅ 49,8 H ₂ O 15,6 ромбич.	1) 8 (Вл) 3) темно-серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) зеленоватые, буроватые, бесцветные (В)	3,5—4 247—322 хорошее	Реакция на As на шлифе. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2—5 мин. Проявитель: (NH ₄) ₂ MoO ₄ (порошок). Лимонно-желтый цвет осадка. Реакция на Fe, см. ярозит
Кальцит CaCO ₃ CaO 56 CO ₂ 44 тригон.	1) 7—4 (Вл) 10—5 (Э) 2) сильное 3) серый	1) сильно анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) бесцветные (В)	3 120—202 (Б, Т) хорошее	Реакция окрашивания. Реактив: HCl (1:20)+химические чернила. Эксп. 1 мин. Пленка фиолетового цвета

Диагностическая таблица III.

Минерал; химический состав, %; сингония	Отражательная способность R, % (1); двуотражение ΔR (2); цвет (3)	Эффект поляризации (1), внутренние рефлексы (2)	Твердость по Моосу; микротвердость H, кг/мм ² ; поведение при полировании	Микрохимические реакции
---	---	---	--	-------------------------

Подгруппа 21. Твердость высокая.

Осмирид (JrOs) Jr 68—100 Os 0—32 кубич.	1) 68 (Вл) 3) белый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) нет	6—7 хорошее	Хим. анализ на Os и Jr
--	------------------------	---	----------------	------------------------

6	7	8	9
Корки, почки, земляные массы скрытокристаллического и радиальнолучистого строения. Агрегаты таблитчатых зерен	Малахит, гётит, лампадит, куприт, тенорит, кальцит, халькозин, хризокола и др.	1) 5,20 (10) 3,67 (10) 3,53 (10)	Синие внутренние рефлексы; травление в кислотах; реакция на Cu; парагенезис
Корки с волокнистым и радиальнолучистым строением. Призматические кристаллы. Под бинокуляром	Малахит, азурит, тенорит, куприт, церуссит, атакамит, гётит	1) 2,49 (10) 3,83 (9) 6,20 (7)	Изумрудно-зеленые внутренние рефлексы; травление; реакция на Cu. От малахита отличается хим. анализом и дебаграммой
Корки, сталактиты, прожилки аморфного, игольчатого и радиальнолучистого строения	Малахит, азурит, куприт, смитсонит, гидродинкит, гётит и др.	$a_0=27,84$ (?) $b_0=6,41$ (?) $c_0=5,25$	Травление; реакция на Cu и Zn
Полоски, оолиты, плотные и земляные массы. Идиоморфный, скрытокристаллический. Полсинтетические двойники. Спайность $\{110\}$ совершенная	Распространенный минерал в послемагматических, осадочных м-ниях. Замещается гётитом	1) 2,791 (10) 1,733 (9) 2,135 (7)	Сильное двуотражение и внутренние рефлексы; медленное травление в кислотах; реакция на Fe, парагенезис
Плотные и земляные массы скрытокристаллического и зернистого строения, редко друзы мелких кристаллов. Под бинокуляром	Распространен в железной шляпе. Замещается гётитом, гидрогётитом, гидрогематитом	1) 3,06 (10) 2,27 (8) 1,96 (8)	Сильные внутренние рефлексы; реакция на Fe; парагенезис
Корки, земляные массы и плотные выделения аморфного и тонкозернистого строения. Мелкие призматические кристаллы	Гётит, бедантит, виванит, фармакосидерит. Замещает арсенипитрит	1) 5,56 (10) 4,44 (10) 3,16 (10)	Сильные внутренние рефлексы; травление с KOH (бурый осадок); реакция на Fe и As; парагенезис
Аллотриоморфозернистые агрегаты, редко кристаллы. Характерны тонкопластинчатые двойники в зернах и спайность	Широко распространенный минерал в месторождениях различного генезиса	1) 3,029 (10) 1,0444 (10) 1,869 (9)	Сильное двуотражение; сильные внутренние рефлексы; бурное травление в кислотах; реакция окрашивания; полсинтетические двойники

Минералы высокой твердости

Форма и внутреннее строение выделений, методы их выявления	Парагенезис	Дебаграмма 1) по Михееву, 1957 2) по Рамдору, 1962	Отличительные диагностические признаки
--	-------------	--	--

R>пирита, изотропные

Мелкие зерна кубического облика, спайность	Очень редкий минерал в гипербазитах, в россыпях уральской платины	1) 2,124 (10) 1,217 (10) 0,844 (9)	От самородной платины и поликсена отличается высокой твердостью
--	---	--	---

1	2	3	4	5
Сперрилит PtAs ₂ Pt 56,58 As 43,42 кубич.	1) 55 (Вл) 56,5 (P) 3) белый	1) изотропен 2) нет	6—7 645—783; 719 (Разин, 1966) хорошее	Хим. анализ на Pt и As
Смальтин (Co, Ni)As _{3-x} Co 28,23 Ni от следов до 28 As от 67 до 74 Fe от долей до 16 кубич.	1) 62 (Вл) 60 (P) 3) белый с кре- мовым оттенком	То же	5,5—6 616—729 (Л) 748—920 (Тубо) отличное	Отпечаток на Со красовато- коричневого цвета. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 1— 3 мин. Проявитель: α-нитро- β-нафтол+NH ₄ OH. Реак- ция на As. Минерал+HNO ₃ конц. Эксп. 5 мин.+(NH ₄) ₂ MoO ₄ порошок в избытке. Осадок лимонного цвета
Скutterудит CoAs ₃ Co 20,77 As 79,23 кубич.	1) 60 (Вл) 3) белый, со сла- бым кремовым оттенком	То же	5,5—6 589—724; 653 (Б, Т) отличное	
Саффорит CoAs ₂ Co 28—23 As 71—77 примесь Fe до 18 ромбич.	1) 65—54 (Вл) 58 (P) 2) слабое 3) белый, с голу- боватым оттенком	1) изотропен, сла- бо анизотропен 2) нет	4,5—5 430—751 (Л) отличное	
<i>Подгруппа 22. Твердость высокая.</i>				
Осмистый иридий (псевьяскит) (IrOs) Твердый раствор Os, Ir гексагон.	1) 68 (Вл) 80 (Levy, Picot, 1961) 3) белый	1) слабо анизотро- пен (цветной эф- фект от светлого голубого до серого) 2) нет	6—7 542—616; 566 (Л) хорошее	Хим. анализ на Ir и Os
Саффорит CoAs ₂ Co 28,23 As 71,77 примесь Fe до 18 ромбич.	1) 62—54 (Вл) 58 (P) 2) слабое 3) белый с голу- боватым оттенком	1) сильно отчет- ливо анизотропен (цветной эффект) 2) нет	4,5—5 430—751 (Л) отличное	Отпечаток на кобальт с α- нитроβ-нафтолом коричне- вато-розового цвета и с K ₃ Fe (CN) ₆ коричневатого - бурого цвета. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Прояви- тель: NH ₄ OH+α-нитроβ- нафтол. Проявитель: K ₃ Fe (CN) ₆
Глаукокодот (Co, Fe)AsS Fe 22,72 Co 11,99 As 45,72 S 19,57 ромбич.	1) 57 (Вл) >арсенопирита (Э) 52,5 (Б) 3) белый с розо- ватым оттенком	1) слабо анизотро- пен (цветной эф- фект) 2) нет	5,5—6 841—978; 911 (Л) 1071—1166; 1124 (Б, Т) хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 3 мин. Проявитель: K ₄ Fe (CN) ₆ . Пятно красного цвета
Раммельсбергит NiAs ₂ Ni 28,15 As 71,85 ромбич.	1) 60 (P) 55 (Э, Вл) 58,0—60,0 (Б) 2) слабое 3) белый	1) отчетливо ани- зотропен (цветной эффект от бледно- желтого до сине- го), иногда слабо анизотропен 2) нет	5,5—6 556—629; 606 (Л) 687—778; 712 (Б, Т) отличное	Реакция на Ni. Раствори- тель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: NH ₄ OH+ диметилглиоксим. Пятно малинового цвета. Реакция на As, см. парараммельсбер- гит
Парараммельсбер- гит NiAs ₂ Ni 28,15 As 71,85 ромбич.	1) 60 (Э) 2) слабое, замет- ное на границах зерен 3) белый	1) отчетливо ани- зотропен (цветной эффект бурый, розовый) 2) нет	5,5—6 762—803; 772 (Б, Т) отличное	Реакция на As. Раствори- тель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 3—5 мин. Проявитель: (NH ₄) ₂ MoO ₄ порошок в из- бытке. Осадок лимонно-жел- того цвета
Маухерит Ni ₁₁ As ₈ Ni 54,02 As 45,98 тетрагон.	1) 59 (Вл) 60 (P) 3) светло-розовый	1) слабо анизо- тропен 2) нет	5—5,5 685—724; 704 (Б, Т) отличное	Реакция на Ni. Минерал+ HNO ₃ конц. Эксп. 5 мин. 1)+NH ₄ OH; 2)+рубеновая кислота. Пятно фиолетового до синего цвета

6	7	8	9
Мелкие кристаллы кубического облика	Пирротин, халькопирит, пентландит, кубанит, куперит, брегит, стибнопалладинит, лаурит, палладистая платина и др.	1) 1,788 (10) 1,144 (10) 0,835 (10)	Парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаграмма
Аллотриоморфные зерна, редко изометричные кристаллы с зональным строением. Внутреннее строение зерен выявляется при травлении в HNO ₃ конц. в течение 1 мин	Смальтин, хлоантит, саффорит, никелин, сидерит, халькопирит	1) 2,593 (10) 1,837 (8) 1,609 (8)	Травление HNO ₃ ; зональное строение зерен; реакция на Со. От хлоантита отличается более высокой микротвердостью
Кристаллы кубического облика, иногда с зональным строением (при травлении в HNO ₃ конц.)	Глаукоdot, кобальтин, арсенопирит, саффорит, раммельсбергит, серебро, висмут, аргентит, маухерит, никелин	1) 2,585 (10) 1,607 (10) 1,078 (10)	От смальтина и хлоантита отличается травлением, более высокой твердостью, формой и внутренним строением зерен. Необходима дебаграмма
Скрытокристаллические агрегаты—корки	Хлоантит, раммельсбергит, смальтин, никелин, серебро и др.	1) 2,578 (10) 1,859 (10) 1,639 (10)	От сходных бесцветных сульфоарсенидов и сульфоантимонидов отличается более низкой твердостью
<i>R>пирита, анизотропные</i>			
Пластинчатые и шестигранные зерна. Спайность	Встречается в коренных и россыпных месторождениях самородной платины	—	Не травится в царской водке. От самородной платины отличается высокой твердостью, анизотропией
Идиоморфные кристаллы с двойниковым и зональным строением. Радиальнолучистые и зональные агрегаты, звездчатые тройники	Хлоантит, раммельсбергит, смальтин, никелин, серебро и др. Замещает смальтин	1) 2,578 (10) 1,859 (10) 1,639 (10)	От сходных бесцветных сульфоарсенидов и сульфоантимонидов отличается более низкой твердостью и реакцией на Со. (Характерны звездчатые тройники)
Идиоморфные удлиненные кристаллы, иногда с зональным строением	Кобальтин, арсенопирит, халькопирит. Замещается эритрином	1) 2,45 (10) 2,72 (9) 1,82 (9)	От арсенопирита отличается розовым оттенком, слабым травлением HNO ₃ и слабыми эффектами анизотропии; от кобальтина—травлением, положительной реакцией на Fe
Гипидиоморфнозернистые и радиальнолучистые агрегаты; полисинтетические двойники	Смальтин, хлоантит, саффорит, никелин, серебро, висмут и др.	1) 2,53 (10) 2,46 (10) 2,81 (8)	От парараммельсбергита отличается наличием двойников и характером дебаграммы; от саффорита—реакцией на Ni и формой сростков
Агрегаты таблитчатых зерен	Смальтин-хлоантит, раммельсбергит никелин, серебро, леллингит	1) 2,55 (10) 2,86 (8) 2,37 (7)	От раммельсбергита отличается отсутствием двойников, слабым цветным эффектом анизотропии, характером дебаграммы
Агрегаты волокнистого и радиальнолучистого строения. Полисинтетические двойники. Стр. травление: в HNO ₃ конц.	Никелин, герсдорфит, саффорит, смальтин, хлоантит, пентландит, пирротин, халькопирит и др. Замещает никелин	1) 2,70 (10) 2,02 (10) 1,717 (10)	От никелина и брейтгауптита отличается бледностью розовой окраски и слабой анизотропностью; от раммельсбергита—розовым оттенком цвета. Характерны радиальнолучистые сростки

1	2	3	4	5
Гудмундит FeSbS Fe 26,6 Sb 58,1 S 15,3 моноклин.	1) 57,1 (P) 59 (Э) 2) сильное 3) белый с розо- ватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен (цветной эффект красный, оранжевый) 2) нет	5—5,5 588—683; 644 (Л) хорошее, лучше арсено- пирита	Реакция на Sb на шлифе. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Снять избыток реактива. Растворитель: HCl (1:1). Проявитель: CsCl+ +KJ (порошок). Осадок кир- пично-красного цвета. Реак- ция на Fe с K ₄ Fe(CN) ₆ . Пят- но синего цвета
<i>Подгруппа 23. Твердость высокая.</i>				
Пирит FeS ₂ Fe 46,6 S 53,4 кубич.	1) 54,5 (Б) 53 (Э) 57 (Вл) 3) светло-желтый эталон	1) изотропен 2) нет	6—6,5 1144—1374; 1295 (Л) 1027—1240; 1165 (Б, Т) посредственное (шагреновая поверхность), хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HNO ₃ (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K ₄ Fe (CN) ₆ . Пятно синего цвета
Кобальтин CoAsS Co 35,4 As 45,26 S 19,33 кубич.	1) 52 (Э, P) 56 (Вл) 3) розовато-белый	1) изотропен, слабо анизотропен 2) нет	5,5 943—1079; 1020 (Л) 1176—1226; 1200 (Б, Т) плохое, реже хорошее	Реакция на Co. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 3 мин. Проявитель: 1) α- нитрозо-β-нафтол + NH ₄ OH. Пятно кирпично-красного цве- та; 2) K ₄ Fe(CN) ₆ ; пятно бу- рого цвета
Линнеит Co ₂ S ₄ Co 57,96 S 42,04 кубич.	1) 46,5 (P) 40 (Вл) 47 (Э) 3) кремово-белый до розоватого	1) изотропен 2) нет	5—5,5 508—554 хорошее	
Зигенит (Co, Ni) ₂ S ₄ Co 29,02 Ni 28,89 S 48,09 кубич.	1) 46,5 (P) 40 (Вл) 3) кремово-белый	То же	5,5 503—553; 524 (Б, Т) хорошее	Реакция на Ni. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: NH ₄ OH+ +диметилглиоксим. Цвет пят- на малиновый. Реакция на Co, см. кобальтин
Карролит CuCo ₂ S ₄ Co 38,00 Cu 20,52 S 41,48 кубич.	1) 46 (Вл) 3) кремово-белый	1) изотропен 2) нет	5,5 351—566; 463 (Б, Т) хорошее	Реакция на Cu. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: NH ₄ OH+рубеновая кислота. Ок- рашивание серо-зеленое. Ре- акция на Co, см. линнеит
Бравонит или никельпирит (Ni, Fe, Co) ₂ S ₂ Ni до 30 Co до 10 Fe 38,02 S 50,77 кубич.	1) 50 (Вл) 41 (Э) 45,5 (Кэмерон) 3) белый с фиоле- товым и коричне- ватым оттенком (изменчив)	То же	3,5—6 668—861; 740 (Л) хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HNO ₃ конц. Эксп. 2 мин. Проявитель: KCNS. Пятно красного цвета Реакция на Ni; см. зигенит; на Co см. кобальтин
Герсдорфит NiAsS Ni 35,4 As 45,3 S 19,3 кубич.	1) 49,5 (Б, Вл, P, Э) 3) белый	То же	5—5,5 520—588; 554 (Л) 665—743; 698 (Б, Т) хорошее, поср- едственное (шагреновая)	Реакция на As. Раствори- тель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 2 мин. Проявитель: (NH ₄) ₂ MoO ₄ в порошок. Окра- шивание лимонно-желтое. Реакция на Ni, см. зигенит
Ульманит NiSbS Ni 27,62 Sb 57,30 S 15,08 кубич.	1) 47,5 (Б, P) 49—47 (Вл) 3) белый с очень слабым кремовым оттенком	То же	5—5,5 498—542; 525 (Б, Т) хорошее	Реакция на Sb. Раствори- тель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 2 мин. Снять избыток кислоты. Растворитель: HCl (1:1). Проявитель: KJ+CsCl (порошок). Осадок красного цвета. Реакция на Ni, см. герсдорфит

6	7	8	9
Призматические зерна, как у арсенопирита, и звездчатые сростки. Изредка зональное и двойниковое строение зерен	Блеклые руды, арсенопирит, сульфиды Sb, Pb и др.	$a_0=10,06$ $b_0=5,94$ $c_0=6,69$	От арсенопирита отличается реакцией на Sb, более сильным двуотражением и более низкой твердостью
<i>R > галенита, R < пирита, изотропные</i>			
Зернистые агрегаты, кристаллы различного облика (кубы, пентагондодекаэдр, реже октаэдр). Зональное строение выявляется HNO_3 конц. + CaF_2 в течение 5 мин	Марказит, халькопирит, сфалерит и др. сульфиды	1) 1,629 (10) 1,040 (9) 2,696 (8)	Светло-желтый цвет; кубический облик кристаллов; высокий рельеф; высокая отражательная способность; изотропен; реакция на Fe
Агрегаты и вкрапленность изометричных и скелетных кристаллов в виде кубов, октаэдров и пентагондодекаэдров. Зональное строение выявляется $KMnO_4 + H_2SO_4$	Магнетит, арсенопирит, глаукоцит и другие кобальтовые, никелевые сульфиды и арсениды	1) 2,495 (10) 2,278 (10) 1,074 (10)	Розово-белый цвет; высокая микротвердость; плохо полируется; зональное строение индивидов. От линнеита отличается аномальной анизотропностью и очень высокой твердостью
Аллотриоморфно- и идиоморфнозернистые агрегаты, вкрапленность кристаллов октаэдрического облика. Спайность	Кобальтин, халькопирит, пирит, минералы никеля и кобальта	1) 1,68 (10) 2,82 (9) 1,82 (8)	От кобальтина отличается более низкой микротвердостью, лучшей полировкой и полной изотропностью; от полидимита, пирротина — реакцией на Co. Необходима дебаеграмма
Кристаллы октаэдрического облика	Пирит, линнеит, халькопирит, миллерит и др.	1) 2,85 (10) 1,67 (10) 2,36 (7)	От сходного линнеита отличается химическим составом; от полидимита — более высокой микротвердостью
Мелкозернистые агрегаты изометричных зерен	Линнеит, зигенит, сидерит, пирит, халькопирит	1) 1,676 (10) 2,875 (9) 1,827 (9)	Реакция на Si и Co; парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаеграмма
Изометричные кристаллы и зернистые агрегаты. Псевдоморфозы по пентландиту. Очень характерна зональность зерен. Структура выявляется HNO_3 конц.	Гипогенный бравонт ассоциирует с галенитом, пирротинитом, сфалеритом, халькопиритом, баритом; гипогенный — образуется за счет пентландита и ассоциирует с марказитом, мельниквитом, пиритом и вторичными сульфидами меди	Дебаеграмма аналогична пириту $a_0=5,50$ $-5,58 \text{ \AA}$	Зональное строение зерен; реакция на Ni; парагенезис
Агрегаты кристаллов октаэдрического и кубического облика. Тонкие трещинки спайности по (100), треугольники выкрашивания, как у галенита. Часто зональное строение зерен	Никелин, ульманит, хлоантит, карбонаты и др.	1) 2,557 (8) 1,725 (8) 1,582 (8)	Сходен с бравонтом, скуттерудитом и хлоантитом; отличается зональным строением зерен, спайностью и треугольниками выкрашивания, травлением
Агрегаты изометричных кристаллов с зональным строением. Тонкие совершенная по (100). Треугольники выкрашивания	Никелин, герсдорфит, халькопирит, галенит и карбонаты	1) 2,64 (10) 2,41 (8) 1,78 (8)	От герсдорфита отличается реакцией на Sb и по дебаеграмме. Реакция на Ni и S отличает от других сульфидов кобальта

1	2	3	4	5
<i>Подгруппа 24, твердость высокая, R>галенита,</i>				
Марказит FeS ₂ Fe 46,6 S 53,4 ромбич. скрытокрист.	1) 52 (Э) 53 (Вл) 2) слабое, отчетливое с цветным эффектом 3) светло-желтый до зеленоватого в пирите	1) сильно анизотропен (цветной эффект от зеленого до красно-фиолетового), скрытокристаллический изотропен 2) нет	6—6,5 824—1119; 930 (Л) 941—1288; 1113 (Б, Т) хорошее, плохое	Реакция на Fe. Растворитель: HNO ₃ конц. Эксп. 1 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ . Пятно синего цвета
Арсенопирит FeAsS Fe 34,3 As 46,0 S 19,7 монокл.	1) 54 (Вл) 50 (Э) 2) слабое 3) белый (со слабым желтовато-розоватым оттенком)	1) отчетливо анизотропен (цветной эффект в розоватых, голубоватых и зеленоватых тонах) 2) нет	5,5—6 898—1127; 1035 (Л) 1048—1127; 1094 (Б, Т) хорошее до посредственного	Реакция на As. Растворитель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 5 мин. Проявитель: (NH ₄) ₂ MoO ₄ (порошок). Осадок лимонного цвета. Реакция на Fe, см. марказит
Лёллингит FeAs ₂ Fe 27,2 As 72,8 ромбич.	1) 54 (Э) 54—57 (Вл) 2) слабое 3) белый	1) отчетливо анизотропен (сильный цветной эффект в желто-синих тонах) 2) нет	5—5,5 635—741; 688 (Л) хорошее	Реакция на As, см. арсенопирит, на Fe, см. марказит
Брейтгауптит NiSb Ni 32,52 Sb 67,49 гексагон.	1) 50,2 (Р) 50—40 (Вл) 45 (Э) 2) сильное (плеохроизм желтовато-красный; красно-красный; фиолетовый) 3) розовый до фиолетового	1) сильно анизотропен (цветные эффекты: светло-зеленый, желтовато-зеленый, синевато-зеленый) 2) нет	5—5,5 412—449; 430 (Л) 542—584, 563 (Б, Т) отличное	Реакция на Ni. Растворитель: HNO ₃ конц. на шлифе. Эксп. 1 мин. Проявитель: NH ₄ OH + диметилглиоксим. Пятно малинового цвета. Реакция на Sb, см. ульманит
<i>Подгруппа 25. Твердость высокая,</i>				
Псиломелан (Ba, H ₂ O) ₂ Mn ₂ O ₁₀ Mn 35—60 скрытокристалл.; монокл.	1) 35; 30 (Вл) 24 (Э) 2) заметное 3) серовато-белый до синевато-синего	1) изотропен (скрытокристалл.), отчетливо анизотропен (кристалл.) 2) бурые (МИ) от примесей гётита	1—6 503—627; 572 (Б, Т) плохое (пористый)	Прямой отпечаток на Mn. Растворитель и проявитель—уксуснокислый бензидин. Эксп. 2 мин. Окрашивание синего цвета
Якобит MnFe ₂ O ₄ MnO 13,94—30,76 Fe ₂ O ₃ 73,96—69,24 кубич.	1) 19,5 (Р) 3) серый с зеленоватым оттенком	1) изотропен 2) темно-красные (иногда видны в иммерсии)	6 724—745; 734 (Б, Т) хорошее	
Франклинит (Zn, Fe, Mn)Ox xFe ₂ O ₃ ZnO 17,25 MnO 15,04 Fe ₂ O ₃ 67,71 кубич.	1) 16,5 (Р) 3) серый с буроватым оттенком	1) изотропен (иногда слабая аномальная анизотропия от розовато-серого до серовато-черного) 2) темно-красные (МИ)	5,5—6,5 753—794 (Л) 720—752; 760—824 (Я, М) хорошее	Реакция на Zn. Растворитель: HCl конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: Cu(NO ₃) ₂ + ртутно-родановая соль. Промыть в воде. Пятно синевато-фиолетового цвета. Реакция на Mn, см. псиломелан, на Fe, см. маггемит
Маггемит γFe ₂ O ₃ Fe 69,94 O 30,06 кубич	1) 18 (Р) 22 (Вл) 3) серый с голубоватым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) темно-коричнево-красные (МИ)	5 357—387; 378 (Л) 894—988; 946 (Б, Т) хорошее, часто трещины	Реакция на Fe. Растворитель: HCl конц. Эксп. 5 мин. Проявитель: K ₄ Fe(CN) ₆ . Окрашивание синего цвета
Гидрогематит β=FeO[OH] Fe 70 O 30 тонкодисперсный	1) 24—20 (Ю) 3) серовато-белый с голубоватым оттенком	1) изотропен, слабо анизотропен 2) красные (В, МИ)	4—5 посредственное	

6	7	8	9
<i>R</i> < пирита, анизотропные			
Кристаллы удлиненной перистой и таблитчатой формы, пластинчатые двойники, колломорфные агрегаты с концентрически-зональной и радиальнолучистой структурами, иногда сажистый	Пирит, халькопирит, пирротин, вюрцит, сфалерит, галенит и др. Замещает пирротин и пирит	1) 2,690 (10) 1,754 (10) 2,412 (8)	Цветная анизотропия; форма выделений
Кристаллы ромбической и призматической формы, звездчатые сростки, шестоватые и зернистые агрегаты. Зональное строение зерен выявляется травлением HNO_3 (1:1) в течение 1 мин	Касситерит, пирит, кварц, золото, халькопирит, теннантит и другие сульфиды	1) 2,662 (10) 1,817 (10) 2,443 (9)	От сходного лёллингита отличается более высокой микротвердостью, рельефом, травлением
Идиоморфные удлиненные кристаллы. Встречаются двойники и тройники. Зональное строение зерен	Арсенопирит, сульфиды Fe, Cu, арсениды Co, Ni, касситерит, золото, минералы серебра	1) 2,589 (10) 1,846 (10) 1,628 (10)	От арсенопирита и глаукодота отличается микротвердостью, более сильным и цветным эффектом анизотропии; от сафлорита, раммельсбергита—хим. составом и дебаеграммой
Аллотриоморфнозернистые агрегаты	Пирротин, никелин, кобальтин, серебро, ульманит и др.	1) 2,840 (10) 2,052 (9) 1,959 (9)	Розовый цвет; сильное двуотражение и анизотропия; реакция на Ni и Sb
<i>R</i> > сфалерита, <i>R</i> < галенита, изотропные			
Сферические, колломорфные и землистые агрегаты скрытокристаллического и радиальнолучистого строения	Пирролизит, гаусманит, браунит, родонит, родохрозит, гидрокислы железа и марганца	1) 2,191 (10) 3,462 (6) 2,877 (6)	Форма выделений; парагенезис; реакция на Mn^{+4} . Необходимы хим. анализ и дебаеграмма
Изометричные кристаллы кубического облика (кубы, октаэдры); реже мелкозернистые агрегаты	Гаусманит, браунит, пирролизит, псиломелан и др.	1) 1,507 (10) 1,109 (9) 2,57 (8)	Магнитный; рефлексы; форма выделений; реакция на Mn и Fe; парагенезис
Изометричные кристаллы октаэдрического габитуса	Цинкит, виллемит, кальцит, магнетит, якобит. Иногда образует псевдоморфозы по сфалериту	1) 2,510 (10) 1,610 (10) 1,480 (10)	От магнетита отличается внутренними рефлексами, микротвердостью, травлением и реакциями на Zn и Mn. Слабомагнитен
Оолиты, корки, каемки, тонкие прожилки, замещает магнетит	Магнетит, лепидокрокит, гётит и гематит. Продукт гипо- и гипергенного 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. Гематит—светлее, анизотропен, немагнитен
Натечные агрегаты (почки, корки концентрически-зонального и радиальнолучистого строения). Трещины гидратации	В месторождениях ветривания и осадочных. Замещает сидерит, пирит, магнетит, ярозит и др.	1) 3,305 (10) 2,537 (10) 1,634 (10)	Красные внутренние рефлексы; натечные выделения; парагенезис

1	2	3	4	5
Магнетит Fe_3O_4 Кулсонит (Fe, V) $_3O_4$ FeO 31 Fe_2O_3 69 Fe 72,4 кубич.	1) 21 (Э) 23 (Вл) 3) серовато-белый с коричневато- розовым оттенком (буроватым оттенком)	1) изотропен 2) нет	5—6,5 530—599; 560 (Б, Т) 535—695; 610 (Л) хорошее	Реакцию по Fe см. маг- гемит.

Подгруппа 26. Твердость высокая, R>

Пиролюзит MnO_2 Mn 63,2 O 36,8 тетрагон.	1) 40—30 (Вл) 35 (Э) 50—55 (Р) 2) отчетливое 3) серо-белый, белый с коричне- вато-кремовым от- тенком (в кристал- лических различиях белый, в аморф- ных—темно-серый)	1) сильно анизо- тропен (цветные эффекты желтова- то-оранжевые), аморфные различия изотропны 2) нет, бурые рефлексы от при- месей гётита (МИ)	1—6,5 хорошее, по- средственное, плохое	Прямой отпечаток на Mn. Растворитель и проявитель— уксуснокислый бензидин— Эксп. 2 мин. Окрашивание синего цвета
Псиломелан (Ba, H_2O) $_2Mn_2O_{10}$ Mn 35—60 скрытокристалл.; монокл.	1) 35; 30 (Вл) 25 (Э) 2) заметное 3) серовато-белый до синеватого	1) отчетливо ани- зотропен (кристал- лические различия разности), изотропен (скрытокристал- лические) 2) бурые (МИ) от примесей гётита	1—6 503—627; 572 (Б, Т) плохое (по- ристый)	То же
Биксбит (Mn, Fe) $_2O_5$ Mn_2O_3 46,04 Fe_2O_3 49,85 кубич.	1) 22 (Р, Вл) 3) серовато-белый	1) слабо анизотро- пен, изотропен 2) нет	6—6,5 1003—1033; 1018 (Б, Т) хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HCl конц. Эксп. 3— 5 мин. Проявитель: K_4Fe (CN) $_6$. Окрашивание синее. Реакция на Mn, см. гаусманит
Гаусманит Mn_2O_4 MnO 62,0 MnO_2 38,0 Mn 72,0 тригон.	1) 20 (Р, Э) 19—16 (Вл) 2) отчетливое, слабое 3) серовато-белый с голубоватым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) красные, бу- рые (МИ)	5—5,5 541—613; 587 (Б, Т) хорошее	Реакция на Mn. Раствори- тель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Отпечаток красно-бу- рого цвета
Браунит Mn_2O_3 MnO 44,8 MnO_2 55,2 Mn 69,0 SiO_2 до 8 тетрагон.	1) 19 (Вл) 18,5 (Р, Э) 2) слабое по гра- ницам зерен 3) серый с корич- неватым оттенком	1) слабо анизо- тропен 2) редко темно- бурые (МИ)	6—6,5 584—605; 595 (Б, Т) хорошее	Реакция на Mn. Раствори- тель: HNO_3 (1:1). Эксп. 2 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Мешает железо. От- печаток красно-бурого цвета
Гематит Fe_2O_3 Fe 70,0 O 30,0 тригон.	1) 28—21 (Б) 26 (Э) 27—24 (Вл) 2) слабое, от- четливое 3) серовато-белый с голубоватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен (пестрые цветные эффекты в блеклых тонах) 2) густые темно- красные (В, МИ) красный порошок	6 920—1062; 1009 (Б, Т) плохое	Реакция на Fe. Раствори- тель: HCl конц. Эксп. 3— 5 мин. Проявитель: K_4Fe (CN) $_6$. Отпечаток синего цвета
Лепидокрокит $\gamma-FeO \cdot OH$ Fe_2O_3 89,9 H_2O 10,1 ромбич.	1) 22—10 (Б) 20—10 (Э) 19—10 (Вл) 2) сильное, цвет- ной эффект 3) серовато-белый	1) отчетливо анизотропен 2) желтоватые; коричневато-крас- ные, бурые (МИ)	4—5 690—803; 724 (Б, Т) хорошее	
Гётит $\alpha-FeO \cdot OH$ Fe_2O_3 89,9 H_2O 10,1 ромбич.	1) 17,5 (Э, Вл, Р) 2) слабое, сильное 3) серовато-белый с голубоватым оттенком	1) отчетливо ани- зотропен (мешают внутр. рефлексы). изотропен—скрыто- кристаллические разности 2) желтовато-бу- рые, буровато- красные (В)	5—5,5 микроромбич. 525—620; 554 (Б, Т) крупнокри- сталл. 772—824; 703 (Б, Т) средственное, хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HCl конц. Эксп. 3— 5 мин. Проявитель: K_3Fe (CN) $_6$. Отпечаток синего цвета

6	7	8	9
Агрегаты изометричных, октаэдрических и кубических кристаллов. Образует структуры распада с ильменитом. Замещается гематитом	Ильменит, гематит, апатит, сульфиды Fe, Cu	1) 2,541 (10) 1,612 (9) 1,479 (9)	Коричневатый оттенок цвета; сильно магнитный; реакция на Fe
<i>сфалерита, R-галенита, анизотропные</i>			
Сплошные кристаллические или скрытокристаллические, часто порошковатые массы: псевдоморфозы по почковидным агрегатам псиломелана. Корки, оолиты, конкреции. Кристаллы имеют игольчатый или листоватый облик	Гаусманит, манганит, браунит, псиломелан и др.	1) 3,118 (10) 1,622 (10) 2,404 (9)	От других минералов марганца отличается высокой отражательной способностью, коричневатого-кремовым оттенком цвета
Сферические, колломорфные и землистые агрегаты гелевого, скрытокристаллического и радиальнолучистого строения	Пирролюзит, гаусманит, браунит, родонит, родохрит, гидроокислы Mn, Fe	1) 2,191 (10) 3,462 (6) 2,877 (6)	Форма выделений; парагенезис; реакция на Mn^{+4} . Необходимы хим. анализ и дебаграмма
Агрегаты изометричных зерен; полисинтетические двойники и зональное строение в зернах	Гематит, браунит	1) 2,705 (10) 1,655 (10) 1,409 (7)	Высокая микротвердость и отпечаток на железе отличаются от браунита; от якосита—отсутствие внутренних рефлексов и зеленоватый оттенок цвета
Агрегаты призматических зерен с полисинтетическими двойниками	Браунит, магнетит, гематит, псиломелан, пирролюзит, родонит	1) 2,73 (10) 2,45 (10) 1,53 (9)	От магнетита отличается внутренними рефлексами, анизотропией; от браунита—более сильной анизотропией и наличием полисинтетических двойников. Парагенезис
Агрегаты изометричных и пирамидальных зерен; редко двойниковое и зональное строение	Псиломелан, манганит, пирролюзит, гаусманит, якосит и др.	1) 2,75 (10) 1,66 (10) 1,415 (8)	От гаусманита отличается слабой анизотропией, от магнетита—реакцией на Mn. Парагенезис
Пластинчатые или игольчатые кристаллы, аллотриоморфнозернистые агрегаты, корки, оолиты, конкреции. Характерны пластинчатые двойники в зернах	Магнетит, ильменит, лепидокрокит	1) 2,696 (10) 2,518 (10) 1,834 (10)	По сравнению с магнетитом и ильменитом значительно светлее, внутренние рефлексы темно-красные
Таблитчатые кристаллы, радиальнолучистые агрегаты	Продукт перекристаллизации гётита. Замещает пирит и арсенипирит	1) 3,292 (10) 2,471 (10) 1,973 (10)	От гётита отличается формой выделений, двуотражением. По сравнению с гематитом рефлексы слабее, а двуотражение сильнее
Каемки, петельчатые агрегаты, псевдоморфозы, почки, корки гелевого, скрытокристаллического, волокнистого и радиальнолучистого строения. Трещинки усыхания в коллоидных агрегатах	В зоне окисления при замещении пирита, халькопирита, сидерита, магнетита и др. В осадочных м-ниях ассоциирует с гематитом, лепидокрокитом, пирролюзитом, псиломеланом, манганитом, кальцитом, кварцем	1) 4,18 (10) 2,45 (9) 2,69 (8)	Сильные желтовато-бурые внутренние рефлексы; колломорфные выделения; радиальнолучистые агрегаты. Замещает пирит, халькопирит, сидерит

1	2	3	4	5
Рутил TiO_2 Ti 60 O 40 тетрагон.	1) 25—21 (Р) 24—20 (Вл) 2) слабое, заметное по границам зерен и двойников, отчетливое 3) серовато-белый	1) отчетливо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) сильные, бесцветные, желтые, редко коричневые, красно-бурые, зеленоватые (В)	6—6,5 1074—1210; 1139 (Б, Т) посредственное	Спектр. анализ на Ti
Ильменит $FeTiO_3$ Fe 36,8 Ti 31,6 O 31,6 тригон.	1) 21—17 (Вл) 18 (Э, Р) 2) слабое, отчетливое 3) серый с коричневым оттенком	1) отчетливо анизотропен 2) темно-бурые, довольно редкие (МИ)	5—6 593—734; 640 (Л) 519—553; 536 (Б, Т) хорошее	Реакция на Ti. Растворитель: 5 ч. H_2SO_4 конц. + 1 ч. H_3PO_4 сироп + 1 ч. H_2O_2 (30%) + 3 ч. H_2O + эл. ток 16 в. Эксп. 0,5—3 мин. Отпечаток желтого цвета
Ильменорутил $Ti[(Nb, Ta)Fe^{2+}]O_2$ TiO ₂ 87,28 Nb ₂ O ₅ 7,49 FeO 5,02 Ta ₂ O ₅ не обнаружен (Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) тетрагон.	1) 20—16 (Вл) 2) слабое 3) серый с розоватым, буроватым оттенком	1) сильно, слабо анизотропен 2) темные, бурые (МИ)	6—7 800—1100 (Л) хорошее	Хим. анализ
Давидит $FeTiO_3(UO_2, Sr, O_3)$ TiO ₂ 54,3 тригон.	1) 17,2 (Б) 3) серый	1) изотропен 2) темно-коричневые (МИ)	774—841; 805 (Л) 707—803; 745 (Б, Т) хорошее	Хим. анализ. Спектр. анализ на Fe, Ti, U
Уранинит (U, Th)O ₂ UO ₂ 86,86 ThO ₂ 3,10 U 50—65 кубич.	1) 17 (Вл) 12,5—17,5 (Г, С) 13—21 (П, С) 14 (Э) 3) серый, иногда с буроватым оттенком	1) изотропен 2) нет	6—7 602 (Г, С); 600—1000 (П, С) 782—839; 808 (Л) 673—839 (Б, Т) посредственное	Реакция на U. Растворитель: HNO_3 конц. Эксп. 3—5 мин. Проявитель: $K_4Fe(CN)_6$. Отпечаток шоколадно-коричневого цвета. Мешают Ca, Fe, Mo
Бесториевый уранинит UO_2 U 86,86 кубич.	1) 17 (Вл) 14 (Э) 12,5—14,4 (Г, С) 3) серый, иногда с буроватым оттенком	То же	6—7 410—594 (Г, С) 800 посредственное	Промыть отпечаток в реактиве КJ (5%) + гипосульфит (5%)
Настуран, или урановая смолка UO_2 U 86,86 кубич. (скрытокристаллич.)	1) 11,6—16,8 (П, С) 3) серый, иногда с буроватым оттенком	1) изотропен 2) нет; иногда по трещинам бурые, зеленые (МИ)	4—6 471—724 (Г, С) 464—727 (П, С) посредственное	Отпечаток на U. Растворитель: HNO_3 (1:1). Эксп. 3 мин. Проявитель: $K_4Fe(CN)_6$. Отпечаток шоколадно-коричневого цвета
Торианит, ураноторианит (Th, U)O ₂ Th 87,88 UO ₂ 4,73 кубич.	1) 11—10 16 (Б) 3) серый	1) изотропен 2) коричнево-красные, коричнево-желтые (МИ)	6,5—7,5 988—1115 (Б, Т) хорошее	Спектр. анализ на Th, U

Подгруппа 27, твердость высокая, $R < \text{сфалерита}$.

6	7	8	9
Призматические кристаллы, пучки волосовидных кристаллов. Простые колечатые двойники в зернах	Магнетит, ильменит, циркон, брукит, анатаз, пирит и др.	1) 1,689 (10) 3,242 (9) 2,488 (8)	Сильные внутренние рефлексы: высокая твердость; спектр. анализ на Ti
Агрегаты изометричных табличатых зерен. Решетчатые, пластинчатые структуры распада ильменита в магнетите. В зернах пластинчатые двойники. Замещается лейкоксенном	Магнетит, ильменит, рутил, гематит, шпинель, корунд, халькопирит, борнит	1) 2,74 (10) 2,53 (9) 1,720 (8)	От рутила отличается более слабыми внутренними рефлексами, от магнетита—эффектом анизотропии, двойниковым строением
Призматические кристаллы с двойниками. Решетчатые, графические структуры распада твердого раствора ильменорутил+колумбит	Ильменит, сфен, рутил, колумбит, гематит	1) 1,695 (10) 3,269 (8) 2,497 (6)	Парагенезис; сростания колумбита и рутила или тапиолита и рутила. Необходимы хим. анализ и дебаграмма

R>шеллита, изотропные

Округлые или толстые пластинки крупных размеров	Ильменит, рутил, магнетит, гематит	3,45 (10) 2,87 (10) 2,47 (9) 2,25 (7) 1,81 (8) 1,60 (8)	Диагностика в отраженном свете трудная, необходимы хим. анализ и дебаграмма. Слабо радиоактивен
Вкрапленность кристаллов кубического облика	Касситерит, кварц, турмалин, циркон, слюда, полевой шпат, пирит, халькопирит, арсенипирит, галенит, карбонаты, кобальтовые, никелевые, висмутовые и мышьяковые минералы	3,14 (10) 2,71 (8) 1,64 (8) (Г. С) 1) 1,917 (8) 1,634 (8) 3,112 (6)	От настурана отличается кубической формой кристаллов (кубы, октаэдры). Реакция на U; сильно радиоактивен
Корковые, почковидные, колломорфные агрегаты с радиальными и концентрическими трещинами усыхания	Пирит, халькопирит, галенит, карбонаты, барит, флюорит, висмут, серебро, аргентит, прустит, пираргирит, смальтин, хлоантит, никелин, молибденит и др.	1) 1,903 (10) 1,629 (10) 3,121 (9) бывает рентгеноаморфный	Натечная форма; реакция на U; сильно радиоактивен
Мелкие кристаллики кубического облика	Циркон, ильменит, торит и др.	1) 3,216 (10) 1,964 (10) 1,675 (10)	Сильная радиоактивность. Необходимы хим. анализ и дебаграмма

1	2	3	4	5
Лопарит (Ce, Na, Ca) (Nb, Ti) ₂ O ₆ Nb ₂ O ₅ до 11 монокл.	1) 15 (Э) 3) серый	1) изотропен, сла- бо анизотропен 2) красновато- бурые (В)	5,5—6 733—893; 811 (Л) отличное	Хим. анализ на редкие земли
Перовскит CaTiO ₃ СаО 41,1 TiO ₂ 58,9 монокл. псевдоку- бич. до кубич.	1) 15 (Р) 3) серый до сине- го в иммерсии	1) изотропен 2) бесцветные, редко коричневые, бурые, желтые (В)	5,5 925—1050; 988 (Л) отличное	Спектр. анализ на Ti
Пироклор (Na, Ca) ₂ (Nb, Ta, Ti) ₂ O ₆ (OH, F) кубич.	1) 13 17 (Вл) 3) серый	1) изотропен 2) бесцветные, оранжевые, жел- тые, редко корич- невые (В)	5—5,5 514—764 (Л) 655 (Б, Т) отличное	Хим. и спектр. анализы
Хромит FeO·Cr ₂ O ₃ Cr ₂ O ₃ 68 кубич.	1) 12; 14 (Вл, Э, Б) 3) серый	1) изотропен 2) темно-красно- коричневые (МИ)	6—7,5 1036—1566; 1375 (Л) 1195—1210; 1206 (Б, Т) хорошее	Реакция на Fe. Раствори- тель: HCl конц. Эксп. 3— 5 мин. Проявитель: K ₂ Fe (CN) ₆ . Отпечаток синего цве- та. Реакция на Сг. И. р. + +AgNO ₃ . Пятно коричнево- красного цвета
<i>Подгруппа 28. Твердость высокая, R < сфалерита.</i>				
Браннерит (U, Ca, Th, Y) [(Ti, Fe) ₂ O ₆] ThO ₂ 4,1 UO ₂ 10,3 UO ₃ 33,5 ромбич. или монокл.	1) 15—16 (П, С) равна вольфрамиту 3) серый, как у вольфрамита	1) слабо анизо- тропен 2) бесцветные, редко буровато- красные (МИ)	4,5—6,5 710—730; 720 (Б, Т) хорошее	Спектр. анализ на Ti и U
Танталит (Fe, Mn) (Ta, Nb) ₂ O ₆ Ta > Nb ромбич.	1) 17 (Р) 18 (Вл) 2) слабое, замет- ное на границах зерен 3) серый с корич- неватым оттенком	1) слабо анизо- тропен; прямое угасание 2) красновато-ко- ричневые (МИ)	6—6,5 724—882; 803 (Б, Т) 700—1070 (Л) хорошее	Хим. анализ
Колумбит (Fe, Mn) (Ta, Nb) ₂ O ₆ Nb > Ta ромбич.	1) 17 (Р) 18 (Вл) 2) слабое, заметно на границах 3) серый с корич- неватым оттенком	1) слабо анизо- тропен; прямое угасание 2) редкие светло- красные и желто- коричневые (МИ)	6—6,5 240—640 (Л); 420—900 (Л) 727—882; 809 (Б, Т) хорошее	Хим. анализ
Касситерит SnO ₂ Sn 78,8 O 21,2 тетрагон.	1) 12, 5 (Вл) 11 (Р) 2) слабое 3) серый	1) отчетливо анизо- тропен (мешают внутр. рефлекс) 2) бесцветные, желтые, бурые, красноватые (В)	6,5—7 1008—1228; 1106 (Л) 731—1520 (Мак- симок); 1027—1075; 1053 (Б, Т) плохое, шагр- невая поверх- ность	Реакция на касситерит. Растворитель: HCl (1:1) на шлифе. Эксп. 1 мин. В кап- лю вводится порошок метал- лического цинка. Пленка метал- лического олова
Ильваит ромбич.	1) 14—10 (Вл) 2) сильное, пле- охронизм 3) серый с розо- ватым оттенком	1) сильно анизо- тропен, цветной эффект 2) красновато- коричневые (МИ)	5,5—6 614—1050; 820 (Л) отличное	Спектр. анализ на Fe, Ca

6	7*	8	9
Кристаллы кубического облика и аллотриоморфнозернистые агрегаты. Двойниковое строение зерен	Меланократовые сиениты и их пегматиты	1) 2,749 (10) 1,583 (10) 1,226 (10)	От торанинита отличается слабой радиоактивностью; от перовскита и пирохлора — двойниковым строением
Единичные мелкие кристаллы (кубы, октаэдры) и идиоморфнозернистые агрегаты. Замещается лейкоксином	В щелочных пироксенитах спутники—перовскит-апатит, нефелин, хромит, магнетит. В щелочных пегматитах—титаномагнетит. В контактово-метасоматических месторождениях —магнетит	1) 2,69 (10) 1,903 (9) 1,552 (8)	От магнетита отличается более синеватым оттенком цвета и внутренним рефлексом: от хромита—более светлыми рефлексами. Немагнитен
Идиоморфные кристаллы кубического облика и идиоморфнозернистые агрегаты. Зональное строение	Апатит, магнетит, ильменит, сфен, циркон, кальцит	1) 1,830 (10) 1,558 (10) 0,8740 (10) 3,030 (8)	Минераграфическое определение очень трудное; парагенезис. Необходимы хим. анализ и дебаэграмма
Идиоморфные, изометричные зерна и идиоморфнозернистые агрегаты	Оливин, платина и платиноиды, ильменит, магнетит, серпентин	1) 2,42 (10) 1,42 (10) 2,84 (9)	От магнетита отличается высокой микротвердостью, низкой отражательной способностью, внутренними рефлексами, травлением. Немагнитен
<i>шеелита, анизотропные</i>			
Вкрапленники призматических кристаллов	Кварц, вольфрамит, берилл, шеелит, молибденит	3,44 (10) 1,765 (10) 2,278 (8) (по Гецевой и др., 1956)	Вкрапленники призматических кристаллов; реакция на Ti; радиоактивен. Для точной диагностики необходим хим. анализ
Таблитчатые кристаллы при скрепленных николях. Часто выявляется мозаичная структура	Касситерит, уранинит, и редкоземельные минералы	1) 2,97 (10) 1,72 (9) 1,458 (9)	От магнетита и уранинита отличается анизотропностью, отрицательным травлением и микрохимией; от касситерита и вольфрамита—слабой анизотропией и слабыми внутренними рефлексами
Таблитчатые кристаллы. Продукт распада твердого раствора в касситерите; полисинтетические двойники	Встречается в гранитных пегматитах, высокотемпер. гидротермальных жилах	1) 2,909 (10) 1,685 (9) 1,433 (9)	От вольфрамита отличается слабым эффектом анизотропии и двуотражения; от танталита—меньшей микротвердостью
Изометричные кристаллы дипирамидального и призматического облика, зернистые агрегаты, скрытокристаллические и метаклоидные почковидные выделения. Двойниковое и зональное строение зерен	Типы ассоциаций: 1) кварц, танталит, колумбит; 2) кварц, вольфрамит, молибденит, арсениопирит, турмалин, топаз; 3) кварц, сульфиды Cu, Pb, Fe, Bi; 4) деревянистое олово в зоне окисления	1) 1,758 (8) 1,079 (7) 1,213 (6)	Сильные внутренние рефлексы; низкая отражательная способность; высокая твердость; реакция на Sn. Плохо полируется. От рутила отличается зональным строением зерен
Столбчатые кристаллы, лучистые агрегаты, изометричные зерна со спайностью, Замещается по краям и по спайности лимонитом; иногда двойникование и зональное строение	Редкий минерал контактово-метасоматических железорудных месторождений и метаморфических пород	$a_0=8,84$ $b_0=5,87$ $c_0=13,10$	От людовигита отличается формой выделения, сильным двуотражением и сильной анизотропией

1	2	3	4	5
Людвигит $MgFeBO_4$ ромбич.	1) 10 (Р) 2) сильное 3) серый с розоватым и синеватым оттенком на разных сечениях	1) сильно анизотропен (темно-красные и темно-синевато-красные цветные эффекты) 2) красноватые (МИ)	5 537—588; 567 (Л) посредственное	Спектр. анализ на Mg, Fe, B
Сфен $CaTiO[SiO_4]$ CaO 28,6 TiO ₂ 40,8 SiO ₂ 30,6 Лейкоксен TiO ₂ ·nH ₂ O монокл.	1) 10 (Э) 12—9 (Вл) 2) слабое 3) серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) белые, бурые, коричневые, реже зеленоватые, желтые (В)	5—5,5 752—853 (Я, М) хорошее	Спектр. анализ на Ti
Кварц SiO ₂ тригон.	1) 4,5 (Вл, Э) 3) темно-серый	1) слабо анизотропен (мешают внутр. рефлексы) 2) бесцветные, радужные (В)	7 1023—1236; 1135 (Л) 1097—1168; 1135 (В, Т) хорошее	Хим. анализ на Si

Подгруппа 29. Твердость высокая.

6	7	8	9
<i>R < шеелита, анизотропные</i>			
<p>Радиальнолучистые, сноповидные и пучкообразные агрегаты игольчатых зерен. Замещается лимонитом</p>	<p>Магнетит, доломит</p>	<p>2) 5,146 (9) 2,569 (10) 2,175 (3)</p>	<p>От ильваита отличается игольчатыми агрегатами</p>
<p>Для сфена характерны идиоморфные клиновидные, призматические, таблитчатые, ромбовидные и конвертообразные кристаллы, для лейкоксена — псевдоморфозы по ильмениту, брукиту, перовскиту, сфену и неправильные мелкие скопления скрытокристаллического строения</p>	<p>Сфен — в нефелин-апатитовых рудах в сиенитах; в метаморфизованных основных породах Лейкоксен — продукт преобразования ильменита</p>	<p>Сфен 1) 3,20 (10) 2,59 (10) 2,98 (9)</p>	<p>Сфен; сильное двуотражение, внутренние рефлексы, клиновидные кристаллы, похож на шеелит. Псевдоморфозы лейкоксена по ильмениту</p>
<p>Аллотриоморфнозернистые агрегаты, идиоморфные кристаллы призматического габитуса, шестигранники в сечениях</p>	<p>В кислых горных породах и рудах гидротермальных м-ний</p>	<p>α-Кварц 1) 3,34 (10) 1,81? (9) 1,539 (9)</p>	<p>Сильные рефлексы, высокая твердость. Очень низкая отражательная способность. Шестигранные сечения идиоморфных кристаллов</p>

ЛИТЕРАТУРА

- Алимарин И. П. Полевые методы и оценка качества полезных ископаемых. «Советская геология», сб. 21, 1947.
- Алимарин И. П. Полевая химическая лаборатория для исследования железных и марганцевых руд. «Советская геология», сб. 21, 1947.
- Алимарин И. П. Микрохимическая диагностика карбонатных минералов в порошках и шлифах получением из них цветных окрашенных продуктов. Тр. Моск. ин-та хим. технологии им. Ломоносова, вып. 2, 1948.
- Барабанов В. Ф. Лекция по генетической минералогии, т. 1. Изд-во ЛГУ, 1969.
- Безсмертная М. С., Логинова Л. А., Соболева Л. Н. Определение теллуридов под микроскопом. М., изд-во «Наука», 1969.
- Беренс Г. И., Клей Д. П. Микрохимический анализ. Перевод, под ред. А. Н. Реформатского, НХТН, 1928.
- Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадлун Т. Н. Структурно-текстурные особенности эндогенных руд. М., изд-во «Недра», 1964.
- Баун С. Х. У., Тейлор К. Определитель рудных минералов. В кн. «Труды второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии», т. 8, вып. 2, М., Атомиздат, 1959.
- Боришанская С. С. О применении таблицы диагностических признаков минералов в полированных шлифах. Тр. Минерал. музея АН СССР, вып. 9, 1959.
- Вахромеев С. А. Отражательная способность рудных минералов с помощью отечественной аппаратуры. Тр. ГГИ УФАИ, вып. 14, 1948.
- Вахромеев С. А. Руководство по минераграфии. Иркутское книжное изд-во, 1956.
- Велчев В. Н. Руководство по минераграфии. София, 1959.
- Винчелл А. Н. Оптическая минералогия. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1949.
- Вольфсон Ф. И. Развитие учения о рудных месторождениях в СССР. М., изд-во, «Наука», 1969.
- Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. М., Госгеолиздат. Том I и II, 1947, т. III, 1949.
- Волынский И. С. О взаимозависимости оптических свойств рудных минералов. В сб. «Исследование минерального сырья». М., Госгеолиздат, 1955.
- Волынский И. С. Измерение оптических постоянных рудных минералов с помощью фотометрического окуляра ОКФ-1. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Волынский И. С., Безсмертная М. С. Об эталонах рудных минералов и некоторых новых методах исследования микровключений. Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М., Изд-во АН СССР, 1965.
- Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом, т. 1, методическое руководство. М., изд-во «Недра», 1966.
- Вяльсов Л. Н. Определение осности и оптического знака рудных минералов по измерениям отражательной способности. «Геология рудных месторождений», 1969, № 1.
- Генкин А. Д., Королев Н. В. К методике определения небольших зерен в руде. «Геология рудных месторождений», 1961, № 5.
- Гецева Р. В., Савельева К. Т. Руководство по определению урановых минералов. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Исследование рудных минералов методом магнитной порошкографии. «Геология рудных месторождений», 1963, № 1.
- Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Изд-во Львовского ун-та, 1961.
- Дубинко Т. С., Ветошкин Н. Д. Техника изготовления магнитной суспензии. «Геология рудных месторождений», 1965, № 6.
- Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Пэлач Г., Бэрман Г., Фрондель К. Система минералогии. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1950, 1951, 1954.
- Жерденко О. Н. О возможности применения метода магнитных порошков при исследовании пирротиновых руд. Изв. АН СССР, серия геол., 1960, № 5.

- Захаров Е. Е. Месторождения полезных ископаемых (генетическая часть). Изд. МГРИ, 1968.
- Ильинский Г. А. Определенне микротвердости минералов методом вдавливания. Изд-во ЛГУ, 1963.
- Исаенко М. П. О книге П. Рамдора «Рудные минералы и их срastание». «Советская геология», 1963, № 11.
- Исаенко М. П. Определитель главнейших текстур и структур руд. М., изд-во «Недра», 1964.
- Исаенко М. П. Минералы молибдена в рудах медно-молибденовых месторождений Малоого Кавказа. Изв. вузов. «Геология и разведка», 1966, № 2.
- Исаенко М. П., Керсик Кирстен. О книге Эльснера «Атлас важнейших минеральных парагенезисов в микрофотографиях». Изв. вузов. «Геология и разведка», 1967, № 9.
- Исаков Н. И. Качественный анализ руд и минералов методом растирания порошков. М., Госгеолиздат, 1953.
- Коренман И. М. Микрористаллоскопия. М., Госхимиздат, 1955.
- Королев Н. В., Агроскин Л. С. Установка для определения отражательной способности минералов. «Геология рудных месторождений», 1959, № 4.
- Кульберг Л. М., Альтерзон Г. С., Вельтман Р. Л. Капельный анализ. М., Госхимиздат, 1951.
- Кэмерон Ю. Н. Рудная микроскопия. М., изд-во «Мир», 1966.
- Лазаренко Е. К. Основы генетической минералогии. Изд-во Львовск. гос. ун-та, 1963.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Минералы, т. I, II. Справочник. М., Изд-во АН СССР, 1960, 1967.
- Новиков В. А. Пленочные реакции для диагностики минералов свинца, висмута, молибдена и ванадия. «Советская геология», 1945, № 8.
- Орсель Ж. Измерение отражательной способности рудных минералов при помощи фотозлемента. В сб. «Методические работы по микроскопическому исследованию руд в отраженном свете». Изд-во ОНТИ, 1936.
- Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных вылов. Киев, изд-во «Наукова думка», 1966.
- Петровская Н. В. О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация». «Геология рудных месторождений», 1967, № 2.
- Пудовкина И. А. Точные методы определения отражательной способности и твердости рудных минералов. В сб. «Современные методы исследования горных пород и минералов». М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Пудовкина И. Л., Соболева М. В. Минералы урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Пудовкина И. А., Якубович А. Л., Ширяевцев А. А. Прибор для определения микротвердости и коэффициента отражения минералов (ПМТКО-1). «Минеральное сырье», 1961, вып. 3.
- Ракчеев А. Д. Новая спектрофотометрическая установка для исследования микрористаллов. Докл. АН СССР, т. 130, № 4, 1960.
- Ракчеев А. Д. Измерение дисперсий отражательной способности рудных минералов. «Геология рудных месторождений», 1960, № 3.
- Ракчеев А. Д. К методике получения эталонных значений отражательной способности рудных минералов. «Геология рудных месторождений», 1964, № 1.
- Рамдор П. Рудные минералы и их срastания. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1962.
- Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Синяков В. И. Микротвердость магнетита из месторождений различного генезиса. Докл. АН СССР, т. 169, № 4, 5, 6, 1966.
- Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., изд-во «Недра», 1969.
- Современные методы минералогического исследования, часть I, II. Коллектив авторов. М., изд-во «Недра», 1969.
- Станкеев Е. А. Ассоциации минералов в эндогенных образованиях. Изд. МГРИ, 1966.
- Станкеев Е. А. Ассоциации минералов в экзогенных и метаморфических образованиях. Изд. МГРИ, 1967.
- Славская А. Д., Драчев В. В., Сობельман Е. И. Измерение дисперсии отражательной способности некоторых минералов. Методические материалы для лабораторий геологических управлений и экспедиций. Материалы семинара по методам минералогических исследований, вып. № 2, 1963.
- Строна П. А. Отражательная способность некоторых рудных минералов в полированных шлифах. Зап. Всес. минер. об-ва, ч. 93, вып. 2, 1964.
- Строна П. А. Таблицы для определения рудных минералов в отраженном свете. Изд. ЛГИ, 1969.
- Тананаев Н. А. Капельный метод. М., Госхимиздат, 1954.

Фекличев В. Г. Способ измерения оптических постоянных непрозрачных кристаллов по методу Друде на микроучастках в полированных шлифах. «Геология рудных месторождений», 1962, № 4.

Файгель Ф. Капельный анализ. ОНТИ, 1937.

Хрущов М. М., Беркович Е. С. Микротвердость, определяемая методом вдавливания. М., Изд-во АН СССР, 1943.

Хрущов М. М., Беркович Е. С. Приборы ПМТ-2 и ПМТ-3 для испытания на микротвердость. М., Изд-во АН СССР, 1943.

Хрущов М. М. О выборе основного метода определения твердости материалов. «Заводская лаборатория», 1947, № 9.

Шадлун Т. Н. О деятельности Международной комиссии по рудной микроскопии при Международной минералогической ассоциации. «Геология рудных месторождений», 1966, № 1.

Шорт М. Н. Микроскопическое определение рудных минералов. Перев. с англ. А. И. Яковлева, под ред. И. Ф. Григорьева. ОНТИ, 1934.

Штрунц Х. Минералогические таблицы. М. Госгортехиздат, 1962.

Юшко С. А. Новые методы минералогического исследования окисленных руд. М., Госгеолгиздат, 1953, 1955.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., изд-во «Недра», 1966.

Юшко С. А., Юшко-Захарова О. Е., Лебедева С. И., Максимюк И. Е. Диагностические свойства рудных минералов. М., изд-во «Недра», 1969.

Яковлев К. П. Математическая обработка результатов измерений. М., Госгеолтехиздат, 1963.

Oelsner O. Atlas der wichtigsten mineralparagenesen im mikroskopischen bild. Bergakademie Freiberg. Ternstudium, 1961.

АЛФАВИТНЫЙ СПИСОК МИНЕРАЛОВ

Минерал	Номер определительной таблицы	Координаты минерала		Номера подгрупп диагностических таблиц
		R, %	H, кг/мм ²	
Агвиларит	II	36	26	5
Азурит	IV	10	190	20
Айкинит	II, IV	44; 44	18; 170	4, 161
Акантит	II	35	24	5
Алабандин	IV	24	251	15
Алтаит	I	65	53	1
Англезит	II	9	90	9
Аннабергит	II	7	93	10
Антимонит	II	44	72	6a
Аргентит	II	37	24	5
Арсенопирит	V	54	1094	24
Аурипигмент	II	26	38	66
Аурихальцит	II, IV	7; 6	100; 100	10, 20
Барит	IV	6	180	19
Бертьерит	IV	38	171	16a
Берцелианит	II	25	92	5
Бесториевый уранинит	VI	16	800	27
Биберит	II	4	28	10
Биксбит	VI	22	1018	26
Борнит	II, IV	23; 23	100; 112	5; 15
Бравойт	V	50	740	23
Браннерит	VI	16	720	28
Браунит	VI	19	600	26
Брейтгауптит	III, V	50	500	24
Брошантит	IV	8	180	20
Буланжерит	IV	40	166	166
Бурнонит	IV	35	192	166
Валентинит	II	15	80	8
Валлериит	I	46	84	4
Ванадинит	II, IV	17; 17	100; 100	8, 18
Виоларит	IV	38	458	15
Висмут самородный	I	68	18	2
Висмутин	I, III	48; 48	93; 110	4, 14
Виттихенит	IV	34	198	166
Вольфрамит	IV	18	400	18
Вульфенит	II	16	97	8
Вюртцит	IV	17	200	18
Галенит	II	44	77	5
Галеновисмутит	IV	43	150	16a
Гарниерит	II	6	50	9
Гауерит	IV	23	200	15
Гаусманит	VI	20	587	26
Гематит	VI	27	1000	26
Геокронит	IV	41	110	166
Германит	IV	22	427	15
Герсдорфит	V	51	554	23
Гессит	II	40	33	66

Минерал	Номер определительной таблицы	Координаты минерала		Номера под групп диагностических таблиц
		R, %	H, кг/мм ²	
Гётит	VI	19	554	26
Гидрогематит	VI	24	500	25
Гидрогётит	IV	18	305	18
Гидроцинкит	II	5	42	10
Гипс	II	3	57	9
Глаукоdot	V	57	1100	22
Гринокит	II, IV	19; 18,5	57; 110	5, 15
Графит	II	23	12	6a
Гудмундит	V	57	644	22
Гюбнерит	IV	16	400	18
Давидит	VI	17	800	27
Делафоссит	IV	23	400	16б
Джемсонит	II	40	100	6a
Дигенит	II	19	70	5
Дискразит	III	66	170	12
Домейкит	III	56	125	11
Железо самородное	III	63	132	11
Зигенит	V	46	524	23
Золото самородное	I	85	50	1
Идаит	IV	20	240	16a
Ильванит	VI	13	800	28
Ильменит	VI	21	640	26
Ильменорутил	VI	20	1000	26
Калаверит	III	63	220	12
Кальцит	IV	5	160	20
Карролит	III, V	46; 46	460; 570	13, 23
Касситерит	VI	12	1100	28
Кварц	VI	4,5	1135	29
Кераргирит	II	12	22	7
Кермезит	II	27	32	6б
Кировит	II			10
Киноварь	II	30	78	6б
Клаусталит	I	50	50	3
Клокманнит	II	30	64	6a
Кобальтин	V	56	1200	23
Ковеллин	II	20	70	6a
Колорадоит	II	38	29	5
Колумбит	VI	17	550	28
Коффинит	IV	5	260	19
Креннерит	I	70	60	2
Крокоит	II	10	80	10
Кубанит	IV	40	200	16б
Кулсонит				25
Куприт	IV	27	200	16б
Лазаревичит	IV	36	470	15
Лейкоксен	VI	10	800	29
Лёллингит	V	54	688	24
Лепидокрокит	VI	22	724	26
Лептохлориты	II	5	75	9
Линнеит	III, V	46	500	23
Лопарит	VI	15	811	27
Лорандит	II	23	47	6б
Людвигит	VI	10	567	29
Люционит	IV	28	388	16a
Маггемит	IV, VI	25; 25	400; 946	16, 25
Магнетит	VI	21	560	25
Малахит	IV	10	130	20
Манганит	IV	19	400	16б
Марказит	V	52	930	24
Маухерит	V	59	704	22
Медь самородная	III	83	134	11
Мелантерит	II	4	38	10
Мелонит	I, III	70; 70	85; 150	2, 12

Минерал	Номер определительной таблицы	Координаты минерала		Номера под-групп диагностических таблиц
		R, %	H, кг/мм ²	
Мельниковит	II	8	40	9
Метациннабарит	II	27	78	5
Миаргирит	IV	34	110	166
Миллерит	III	54	250	14
Молибденит	II	44	20	6а
Моренозит	II	4	38	10
Мышьяк самородный	I, III	58; 58	100; 100	2, 12
Нагиагит	II	40	80	66
Настуран	VI	11	500	27
Науманнит	II, IV	35; 35	78; 148	133; 166
Никелин	III	68	420	12
Осмирид	V	68	1400	21
Осмистый иридий	V	80	550	22
Павонит	I	45	38	4
Парараммельсбергит	V	61	772	22
Пентландит	III	53	220	13
Перовскит	VI	15	1000	27
Петцит	II	40	49	5
Пизанит				10
Пираргирит	II	32	90	66
Пирит	V	54,5	1165	23
Пиролозит	IV, VI	40; 42	210; 1300	16а, 166, 26
Пирохлор	VI	13	650	27
Пирротин	IV	42	280	16а
Платина самородная	III	71	126	11
Поликсен	III	70	400	11
Повеллит	IV	11	250	18
Полибазит	IV	29,5	112	166
Полидимит	III	45	400	13
Прустит	IV	27	123	166
Псиломелан	VI	35	572	25, 26
Раммельсбергит	V	55	710	22
Реальгар	II	20	54	66
Реньерит	IV	30	320	166
Рутил	VI	24	1200	26
Саффорит	III, V	62; 62	430; 600	12, 22
Сенармонтит	II	10	60	9
Сера самородная	II	15	30	8
Серебро самородное	I	95	53	1
Сидерит	IV	10	200	20
Сильванит	III	54	100	4, 14
Скородит	IV	8	247	20
Скуттерудит	V	60	653	21
Смальтин	III, V	62; 61	470; 600	21
Смитсонит	IV	9, 6	400	20
Сперрилит	V	55	780	21
Станнин	IV	28	220	166
Стефанит	II	28	38	6а
Стибнолюцит				16а
Сурьма самородная	I	74	91	2
Сульванит	IV	35	159	15
Сфалерит	IV	18	200	17
Сфен	VI	10	800	29
Танталит	VI	14	803	28
Тенорит	IV	22	236	166
Теллур самородный	I	56	42	2
Теллурувисмутит	I	63	20; 60	2
Теннантит	IV	28	340	15
Тетрадимит	I	56	36	2
Тетраэдрит	IV	30	350	15
Тиллит	II	38	47	66
Тиманнит	II	25	38	5
Титанит	VI	10	800	29

Минерал	Номер определительной таблицы	Координаты минерала		Номера под-групп диагностических таблиц
		R, %	H, кг/мм ²	
Торианит	VI	11	1000	27
Троилит	IV	42	256	16a
Уголь каменный	IV	7,5	340	
Ульманит	V	47,5	525	23
Умангит	II, IV	20; 20	82; 100	6a, 16a
Уранинит	VI	17	800	27
Урановая смолка (настуран)	VI	11	500	183
Урановая чернь	II, IV	11; 11	98; 310	7, 17
Фаматинит				160
Ферберит	IV	17	400	18
Ферримолибдит	II	8	28	9
Флюорит	IV	3	200	19
Франкеит	II	37	52	6b
Франклинит	VI	16,5	760	25
Фрейбергит	IV	30	345	15
Халькантит	II	6	38	10
Халькозин	II	32	82	5
Халькопирит	III, IV	44; 44	205; 205	16b
Халькостибнит	IV	36	270	16b
Хлоантит	III	62	400	11
Хризоколла	II, IV	4; 4	97; 100	9, 19
Хромит	VI	12	1200	27
Церуссит	IV	12	120	18
Цилиндрит	II	40	70	6b
Цинкениит	IV	37,5	170	16b
Цинкит	IV	12	230	18
Шватцит				15
Шеелит	IV	10	350	20
Штернбергит	II	44	90	6a
Штроемейерит	II	27	41	6a
Эвкайрит	II	32	32	6a
Электрум	I	82	40	1
Эмплектит	IV	37,5	194	16b
Энаргит	IV	27	250	16a
Эритрин	IV	9	105	10
Якобсит	VI	19,5	734	25
Ялпаит	II	32	47	6b
Ярозит	IV	8	210	20

Список оборудования и материалов для организации лаборатории по рудной микроскопии

№ п/п	Название и фабричная марка	Назначение
1	Рудные микроскопы поляризационные МИН-6, МИН-8, МИН-9, МИН-10	Для изучения рудных минералов в отраженном свете
2	Сравнительный микроскоп МС-51, камера Иностранцева	Для сравнительного изучения R и цвета рудных минералов в отраженном свете
3	Микротвердомер, ПМТ-3	Для измерения микротвердости рудных минералов
4	Микрофотометры «Яшма-1», ФМЭ-1, 2, ПООС-1, «Пиор» и других систем	Для измерения R , ΔR , цвета,ности рудных минералов
5	Бинокляр МБС-1; МБС-2	Для изучения формы индивидов и внутренних рефлексов рудных минералов
6	Микрофотонасадка	Для микрофотографирования шлифов
7	Лабораторный шлифовальный станок	Для чистки полированных шлифов
8	Демонстрационные окуляры, АД-14	Для проведения консультаций по рудной микроскопии
9	Ручной пресс для отпечатков	Для проведения микрохимического анализа методом отпечатка
10	Прибор для производства электрографических отпечатков	Для проведения микрохимического анализа методом отпечатка с электрическим током
11	Шкаф № 1	Для хранения микроскопов, бинокляров и другого оборудования
12	Шкаф № 2	Для хранения коллекций полированных шлифов и образцов руд
13	Шкаф № 3	Для хранения графических материалов и фотографий формы и внутреннего строения индивидов
14	Стальные иглы в оправе	Для определения средней и высокой твердости минералов
15	Медные иглы в оправе	Для определения низкой твердости минералов
16	Пластилин	Для монтировки полированных шлифов
17	Стеклянные или металлические пластинки	Для монтировки полированных шлифов
18	Светофильтры (синий, оранжевый, зеленый, желтый)	Для изучения рудных минералов в монохроматическом свете
19	Лоскутья замши, сукна, фетра, шелка	Для чистки аншлифов
20	Абразивы (окись хрома, окись железа, окись алюминия)	Для полирования аншлифов
21	Магнитные стрелки	Для определения магнитности рудных минералов
22	Электромагнитный порошок	Для определения магнитных свойств рудных минералов методом магнитной порошковой графии
23	Флаконы с иммерсионным маслом	Для рудной микроскопии
24	Капельницы емкостью 10—20 см ³	Для микрохимического анализа
25	Часовые и предметные стекла	Для микрохимического анализа

№ п/п	Название и фабричная марка	Назначение
26	Фильтровальная и фотобумага, целофан	Для травления и микрохимического анализа. Глянцевую фотобумагу обрабатывают раствором гипосульфита (20%-ный водный раствор) в течение 20—40 мин, затем фотобумагу промывают водой и высушивают
27	Полевая лаборатория (ЛОР, Исакова, ЛРЭ и др.)	Для микрохимического анализа
28	Эталонная коллекция аншлифов с минералами: пирит, галенит, сфалерит, шеелит, халькопирит	Эталоны для рудной микроскопии
29	Учебная ¹ коллекция аншлифов № 1 (антимонит, арсенопирит, борнит, блеклая руда, вольфрамит, галенит, золото, касситерит, киноварь, кварц, ковеллин, кобальтин, куприт, магнетит, малахит, медь, молибденит, пирит, пирротин, сфалерит, халькозин, халькопирит)	Для изучения в отраженном свете оптических и физических свойств рудных минералов
30	Учебная коллекция аншлифов № 2 (антимонит, арсенопирит, вольфрамит, галенит, гематит, кобальтин, людовигит, молибденит, магнетит, пентландит, пирит, пирротин, смальтин, сфалерит, халькозин, халькопирит)	Для изучения в отраженном свете кристалломорфных свойств рудных минералов
31	Учебная коллекция аншлифов № 3 (антимонит, арсенопирит, галенит, пирит, пиролюзит, сфалерит, халькопирит)	Для диагностического травления рудных минералов
32	Учебная ² коллекция аншлифов № 4. Минералы железа: мелантерит, карбонаты железа, пирит, пирротин, магнетит, гематит, гётит, шамозит, тюрингит. Минералы марганца: псиломелан, пиролюзит, алабандин, родохрозит, родонит. Минералы меди: халькантит, малахит, куприт, хризоколла, халькозин, борнит, халькопирит, блеклая руда. Минералы цинка: госларит, смитсонит, сфалерит. Минералы свинца: англезит, церуссит, вульфенит, галенит. Минералы молибдена: повеллит, молибденит. Минералы никеля: аннабергит, никелин, ульманит, пентландит, миллерит, гарниерит. Минералы кобальта: эритрин, кобальтин, смальтин. Минералы урана: шрёкингерит, настуран, уранинит	Для фазового микрохимического анализа рудных минералов и руд
33	Учебная ³ коллекция аншлифов № 5 (алабандин, алтаит, аргентит, аурипигмент, бертьерит, браунит, буланжерит, висмутин, висмут, гаусманит, графит, дигенит, ильменит, клаусталит, колумбит, танталит, тетраэдрит, умангит, хромит, шеелит, энаргит, церуссит, ярозит и др.)	Для самостоятельной работы студентов по диагностике рудных минералов
34	Учебная, справочная и периодическая литература (Вахромеев, Волюнский, Исаенко, Рамдор, Юлко и др.)	Для лабораторных занятий студентов
35	Наковальня и минералогический молоточек	Для микрохимического анализа
36	Палочки, пипетки и капилляры стеклянные	То же
37	Небольшая агатовая или фарфоровая ступка	» »
38	Платиновая проволочка	» »

№ п/п	Название и фабричная марка	Назначение
39	Песочные часы 1; 2; 3; 5 мин	Для микрохимического анализа
40	Электроплитка или спиртовка	То же
41	Деревянные стойки с гнездами, или пластмассовые коробки	» »
	1) подставка на 6 капельниц для стандартных реактивов	
	2) подставка на 33 капельницы для реактивов микрохимического анализа	
	3) подставка на 10 баночек для су- хих реактивов	

¹ Учебная коллекция готовится для каждого студента в отдельности.

² Для фазового анализа подбираются минералы по табл. 6—14.

³ Для каждого студента составляется набор аншлифов, в котором должно быть 16 различных рудных минералов.

Список реактивов, применяемых при изучении химических свойств рудных минералов

Название реактива	Способ приготовления реактива	Назначение реактива
Азотная кислота HNO_3	Концентрированная, уд. вес 1,3; водные растворы 1:1; 1:20; 1:40. Хранить в склянках из желтого стекла	Растворитель ¹ , стандартный реактив
Азотнокислое серебро AgNO_3	Водные растворы 5%, 20%-ные	Проявитель ² на мышьяк, хром
Азотнокислый кобальт $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	Водный раствор 0,1%-ный, насыщенный, в сухом виде	Проявитель на цинк, ртуть; окрашивание арагонита
Азотнокислая медь $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Водный раствор 0,1%, 20%-ный	Проявитель на цинк. Окрашивание кальцита
Азотнокислый цинк $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	Водный раствор 1%, 5%-ный	Проявитель на кобальт
α -нитрозо- β -нафтол	Уксуснокислый раствор. 50 мл ³ α -нитрозо- β -нафтола растворяют в 100 мл ³ 50%-ной уксусной кислоты	Проявитель на кобальт
Аммиак NH_4OH	Водный раствор 25%, 10%-ный	Растворитель, проявитель }
Бензидин уксуснокислый $\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4$ — $\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$ органич. соединение	а) 0,5 г солянокислого бензидина растворяют в 10 мл 50%-ной уксусной кислоты и разбавляют до 100 мл б) 0,5 г солянокислого бензидина всыпают в 500 см ³ воды и взбалтывают. Ставят на 2—3 ч, затем отфильтровывают от избытка бензидина. Полученный раствор разбавляют вдвое водой. Перед окрашиванием готовят свежий реактив	Растворитель. Проявитель на Mn^{4+} , ванадий, хром
Барий хлористый BaCl_2	Водный раствор 5%-ный	Окрашивание монтмориллонита
Гипосульфит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	Водный раствор 5%-ный	Проявитель на серу
Диметилглиоксим $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$ органич. соединение	1 г соли растворяют в 100 мл 95%-ного спирта	В микрохимическом анализе
Дифенилкарбазид	Приготовление реактива см. на стр. 45; 0,01% спиртовой раствор	Проявитель на никель
Йодистый калий KI	В сухом виде (порошок), 5%-ный водный раствор, свежеприготовленный	Окрашивание магнезита, проявитель на кадмий
Калий едкий KOH	Водный раствор 50%, 20%, 40%-ный, насыщенный	Проявитель на свинец, сурьму, висмут, теллур
Калий ферроцианид (желтая кровяная соль) $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Водный раствор 5%-ный	Стандартный реактив ³ . Окрашивание антимонита, скородита
		Проявитель на Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mo^{6+} , U^{4+}

Название реактива	Способ приготовления реактива	Назначение реактива
Калий феррицианид (красная кровяная соль) $K_3Fe(CN)_6$	Водный раствор 5%-ный	Проявитель на Fe^{2+} , Mn^{2+} , Co . Окрашивание карбонатов железа
Калий роданистый $KCNS$	Водный раствор 5%-ный, в сухом виде	Определение железа
Кристалл-фиолет, или фиолетовые чернила Ксантагенат калия	Чернильный порошок 0,001%-ный водный раствор	Окрашивание кальцита
Метилен-блау (синие чернила)	Водный свежеприготовленный раствор, в сухом виде	Проявитель на Mo^{4+}
Молибденовокислый аммоний $(NH_4)_2MoO_4$	Водный раствор 0,001%-ный (10 мг реактива на 1 л воды)	Окрашивание каолинита
Р-диметиламинобензелиденроданин	В сухом виде (порошок), насыщенный раствор в HNO_3 конц. и в воде	Проявитель на мышьяк, фосфор, олово
Перекись водорода H_2O_2	Спиртовой раствор. 1 г соли растворяют в 100 мл спирта	Проявитель на серебро
Перекись натрия Na_2O_2	Водные растворы 30%, 10%, 3%-ный	Растворитель, проявитель на ванадий и титан
Родамин-В	В сухом виде	Микрохимический анализ
Рубеановая кислота $CN \cdot CS_2 \cdot NH_2$	Спиртовой раствор 0,1%-ный	Окрашивание серицита
Ртутно-родановая соль $HgCl_2 + KCNS$	Спиртовой раствор. 1 г соли растворяют в 100 мг 95%-ного спирта	Проявитель на медь, никель, кобальт
Серная кислота H_2SO_4	Водный раствор. 8 г сулемы и 10 г роданистого аммония или роданистого калия растворяют в 100 мл воды. Применяют реактив, спустя несколько дней после приготовления	Проявитель на цинк, кобальт
Соляная кислота HCl	Концентрированная. Уд. вес 1,84, водные растворы 1:1; 1:4; 1:20	Растворитель, проявитель на теллур
Сулема $HgCl_2$	Концентрированная, уд. вес 1,19, водные растворы 1:1; 1:20	Растворитель, стандартный реактив
Тиомочевина	Водный раствор 5%, 20%-ный	Диагностическое травление
Хлористый цезий $CsCl$	Водный раствор 10%-ный	Проявитель на висмут, селен
Хлорное железо $FeCl_3$	В сухом виде (порошок); водный раствор 10%-ный, свежеприготовленный	Проявитель на сурьму, висмут, теллур
Хлористый калий	Водный раствор 20%-ный	Стандартный реактив
Хлористое олово $SnCl_2$	Насыщенный раствор в дистиллированной воде	Окрашивание каолинита
Хромотроповая кислота	В HCl конц., уд. вес 1,19, растворяет металлическое олово до насыщения	Проявитель на вольфрам в шелите
Хромовокислый калий K_2CrO_4	В сухом виде	Проявитель на титан
Царская водка	Водный раствор 20%-ный	Проявитель на серебро и свинец
Цианистый калий KCN	1 ч. HNO_3 конц. + 2 ч. HCl конц.	Растворитель, структурное травление
Цинковая пыль или цинковая пластинка	Водный раствор 20%-ный	Стандартный реактив
	В сухом виде	Окрашивание касситерита

¹ Растворителем называется реактив, применяемый для растворения минерала.

² Проявителем называется реактив, применяемый для открытия химического элемента качественным микрохимическим анализом.

³ Стандартные реактивы применяются в диагностическом травлении.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

ЧАСТЬ I

ГЛАВНЕЙШИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Глава 1. Оптические свойства рудных минералов и методы их изучения	5
Цвет	5
Отражательная способность	8
Двуотражение	10
Эффект поляризации	11
Внутренние рефлексy	13
Глава 2. Физические свойства рудных минералов и методы их изучения	14
Твердость	14
Магнитность	19
Кристалломорфные особенности рудных минералов	20
Глава 3. Химические свойства рудных минералов и методы их изучения в полированных шлифах	29
Диагностическое и структурное травление	30
Качественный микрохимический анализ	33
Кристаллоскопический метод	33
Капельный метод	34
Метод отпечатков	35
Фазовый микрохимический анализ	37
Метод окрашивания, или пленочный	43
Глава 4. Типоморфные минеральные ассоциации руд и их значение при диаг- ностике рудообразующих минералов	47
Глава 5. Описание рудных минералов по результатам макроскопического и микроскопического изучения	52

ЧАСТЬ II

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Глава 6. Методика работы с таблицами	58
Глава 7. Определительные и диагностические таблицы	62
Сводная определительная таблица	64
Определительная таблица I	66
Определительная таблица II	68
Определительная таблица III	70
Определительная таблица IV	72
Определительная таблица VI	74
Определительная таблица V	76
Диагностическая таблица I	78
Диагностическая таблица II	96
Диагностическая таблица III	114
Литература	130
Приложения	133
Алфавитный список минералов	133
Список оборудования и материалов для организации лаборатории по руд- ной микроскопии	137
Список реактивов, применяемых при изучении химических свойств рудных минералов	140

Исаенко Мария Прокофьевна,
Боришанская Серафима Самойловна,
Афанасьева Евгения Лукьяновна

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ ГЛАВНЕЙШИХ МИНЕРАЛОВ
РУД В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Редактор издательства *З. Д. Соломатина*
Техн. редактор *З. А. Болдырева*
Корректор *Л. В. Сметанина*

Сдано в набор 20/VIII 1971 г.
Подписано в печать 13/IV 1972 г.
Т-07601 Формат 70×108^{1/16} Печ. л. 9,0+0,5 цв. вкл.
Усл. печ. л. 13,30 Уч.-изд. л. 13,82 Бумага № 1
Индекс 1-4-1 Заказ 462/4030-4 Тираж 3500 экз.
Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Недра»,
Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.
Московская типография № 6 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый пр., 17.

Уважаемый товарищ!

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ**

**КАЗАКЕВИЧ Ю. П. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ
СЛОЖНЫХ ПОГРЕБЕННЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА** 20 л. 2 р. 15 к.

В работе рассмотрены условия формирования и сохранения сложных погребенных россыпей золота, на которых базируется в настоящее время промышленность ряда крупнейших золотоносных районов.

Особенно детально описаны главные и второстепенные россыпеобразующие формации, роль кор химического выветривания в образовании россыпей. Дана классификация россыпей, а также их систематика и общие сведения о погребенных россыпях.

На примере наиболее изученной Байкало-Енисейской золотоносной провинции, а также открытых в последнее время россыпей Баргузинского и Средне-Витимского районов изучены условия сохранения и образования россыпей, условия их залегания в элементах современного рельефа и полнота погребения.

Работа рассчитана на геологов, занимающихся прогнозированием, поисками и разведкой золотоносных россыпей, а также горячков, ведущих их разработку.

**МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ
ФАКТОРОВ В РУДНЫХ РАЙОНАХ** 30 л. 3 р. 40 к.

Книга содержит изложение научных основ и методов средне- и крупномасштабных металлогенических исследований, известных под наименованием металлогенического анализа рудоконтролирующих факторов.

Излагается систематика рудных районов на основе рудноформационных и других признаков, причем преобладающая роль тех или иных рудоконтролирующих факторов оценивается в зависимости от типа рудного района. Каждый рудоконтролирующий фактор рассматривается с позиций связи с ним минерализации в генетическом, временном и пространственном аспектах с учетом последних данных и с использованием новых методов исследований (изотопных, радиологических и др.).

На основе предлагаемых методов металлогенического районирования и оконтуривания рудоносных территорий и их прогнозной оценки рассмотрены вопросы составления и содержания средне- и крупномасштабных металлогенических карт.

Книга рассчитана на геологов широкого профиля.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу или заказать через отдел «книга — почтой» магазинов:

№ 17 — 199178. Ленинград, В. О. Средний проспект, 61

№ 59 — 127412. Москва, И—412, Коровинское шоссе, 20.

Издательство «Недра»

и.т. Велл
13