

**ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА  
РУДНЫХ  
МИНЕРАЛОВ**

---

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА  
РУДНЫХ  
МИНЕРАЛОВ

---

549.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»  
Москва, 1975

**Диагностические свойства рудных минералов.** М., «Недра», 1975, 285 с.  
Авт.: С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева, И. Е. Максимюк.

В работе приводится описание основных методов исследования и свойств минералов в полированных шлифах. Она состоит из трех частей. Первая часть посвящена методам, с помощью которых была уточнена диагностика целого ряда известных рудных минералов, а также способствующим открытию новых минеральных видов. В ней освещены основные методы и описана аппаратура, применяемая для количественных измерений отражательной способности и микротвердости, методы определения кристаллохимической структуры минералов (рентгеноструктурный анализ), методы микрозондирования (электронный рентгеновский и микроспектральный анализы), а также такие методы, как магнитная порошковая графия и фазовый микрохимический анализ, которые успешно могут быть использованы при диагностике некоторых минералов марганца, железа, никеля, кобальта, свинца, селена и др. Во второй части работы приводятся диагностические таблицы для минералов группы платины, тантало-ниобатов, сульфосолей Sb, As, Bi, минералов кобальта, никеля, селена, теллура, а также окислов и гидроокислов различных металлов. В таблицах для каждого минерала сведены основные количественные и качественные структурные и физико-химические свойства, обеспечивающие их диагностику. Третья часть представляет собой определительные таблицы, позволяющие использовать вторую часть для диагностики отдельных минералов. В целом книга является справочным методическим пособием, дополняющим существующие учебные пособия по методике исследования руд.

Табл. 18, ил. 17, список лит. — 363 назв.

Авторы: С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева, И. Е. Максимюк.

## ВВЕДЕНИЕ

За последнее время издано большое количество методических пособий по изучению минералов в отраженном свете, а также справочников, в которых приводятся с разной детальностью сведения о рудных минералах. Однако до сих пор не существует специальных диагностических таблиц и определителей для большинства редких минералов, встречающихся в виде микровключений.

В настоящее время достигнуты большие успехи в области диагностики минералов с применением количественных методов исследования. В связи с совершенствованием оптической аппаратуры с высокой разрешающей способностью, позволяющей обнаруживать мельчайшие включения минералов, ранее пропускаемых при изучении руд, встал вопрос о рациональном применении количественных методов и разработке специальных методов для диагностики микровключений. С помощью метода микрозондирования, основанного на рентгеноспектральном анализе, может быть определен химический состав минерала в точке. Для точной диагностики минерала необходимо знать его химический состав и кристаллохимическую структуру. При изучении минералов в отраженном свете можно количественно оценить целый ряд других свойств и косвенно использовать их при диагностике. Такими свойствами являются отражательная способность минералов, цвет, двуотражение, анизотропия, микротвердость и др.

В первой части работы приведено краткое описание методов и аппаратуры количественного определения основных свойств минералов, с помощью которых может быть уточнена диагностика целого ряда редких и труднодиагностируемых минералов, таких как платиноиды, теллуриды, селениды, сульфосоли и др., а также способствующих открытию новых минеральных видов, встречающихся в виде микровывделений среди рудных и нерудных минералов.

Основной частью работы являются таблицы диагностических свойств минералов группы платины, золота, серебра, теллура, селена, германия, таллия, галлия, индия и кадмия, тантала, ниобия и сульфосолей сурь-

мы, мышьяка, висмута, олова и др. Для каждой из этих групп минералов приведены количественные и качественные характеристики, которые могут быть положены в основу их диагностики.

В заключение дан определитель минералов, описанных в диагностических таблицах. Определитель может быть использован в качестве ключа к диагностическим таблицам. В целом работа представляет собой справочное методическое пособие, дополняющее существующие руководства и учебные пособия по микроскопическому изучению руд.

По сравнению с первым во втором издании описаны методы электронной микроскопии, определения термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) и удельного электрического сопротивления минералов. Отдельные методики переработаны в соответствии с достижениями рудной микроскопии. Диагностические таблицы дополнены сведениями о содержащих микровключения минералах и характерных для них парагенезисах. Таблицы переработаны, а количество минералов увеличено до 400.

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

В этом разделе описаны все основные количественные методы диагностики рудных минералов и их микровключений при изучении в отраженном свете.

В соответствии с расположением диагностических свойств минералов в таблицах методы рассматриваются в следующей последовательности: методы определения химического состава минералов с помощью микрорентгеноспектрального и микроспектрального анализов; метод рентгенометрического анализа; методы количественного определения оптических свойств минералов (отражательная способность, двуотражение, анизотропия, цвет и др.); количественный метод определения микротвердости минералов и, наконец, фазовый микрохимический анализ и метод магнитной порошкографии.

### МИКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Развитие электронной оптики и методов регистрации рентгеновского излучения привело к созданию приборов, позволяющих определять химический состав в точке размером 1 мкм без разрушения объекта изучения. Идею создания таких приборов выдвинули И. Б. Боровский (СССР) и Р. Костен (Франция).

В настоящее время промышленностью серийно выпускаются несколько установок для микрорентгеноспектрального анализа, которые могут использоваться при определении состава минералов непосредственно в полированных шлифах: РСШ-2, Мар-1 (СССР); MS-46, САМЕСА (Франция); МА-4, JXA-3A (Япония); SEM-2 (Англия). Несмотря на существенные конструктивные отличия, все эти приборы имеют сходные электронно-оптические схемы.

Микроанализатор JXA-3A состоит из четырех основных секций (рис. 1):

1 — электронно-оптическая система и два рентгеновских спектрометра; с ними вместе смонтированы оптический световой микроскоп отраженного света для наблюдения и камера для помещения исследуемого образца;

2 — развертывающее устройство для наблюдения одновременно четырех изображений: двух — рентгеновских, одного — в отраженных электронах и одного — в поглощенных электронах;

3 — регистрирующее устройство для количественного определения элементов;

4 — автоматический спектрограф для спектрограмм (качественной характеристики исследуемых объектов).

Принцип метода состоит в том, что на исследуемый участок образца направляется пучок электронов — электронный зонд, диаметр которого может изменяться в широких пределах (1—1000 мкм); глубина проникновения его 1—3 мкм.

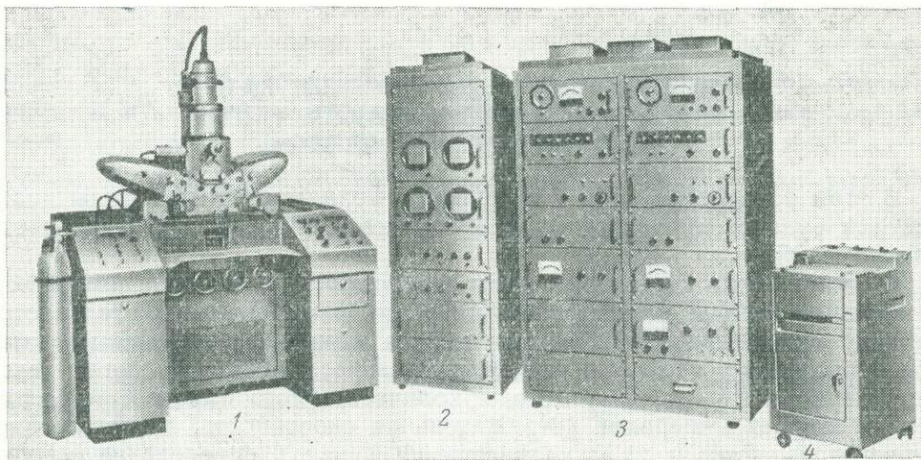


Рис. 1. Электронный рентгеновский микроанализатор JXA-3A

В участке падения электронов возбуждается характеристическое рентгеновское излучение элементов, содержащихся в облучаемом участке. Разлагая это излучение в спектр с помощью кристаллов-анализаторов, имеющихся в приборе, получают рентгеновские спектрограммы, по которым судят о качественном составе изучаемой пробы.

В каждом спектрометре имеется три кристалла-анализатора: слюда (M), кварц (Q) и фтористый литий (LiF). Положению кристалла соответствует определенное значение угла отражения, диапазон углов для данного прибора ограничен интервалом 22—80°; в связи с этим для каждого химического элемента приходится выбирать по таблицам один анализирующий его излучение кристалл, а во время настройки прибора нужно находить то положение кристалла, при котором интенсивность измеряемого излучения наибольшая.

Меняя положение анализирующего кристалла, можно с помощью регистрирующего устройства записать на диаграмме рентгеновский спектр излучения химических элементов, содержащихся в анализируемом участке. Число и положение линий каждого химического элемента в таких рентгеновских спектрограммах строго определено и обусловлено законами Мозли и Вульфа — Брэгга. Индицируя полученные спектрограммы по таблицам, прилагаемым к прибору, можно провести качественный химический анализ микрообъема образца.

На ЖХА-3А, как и на всех других установках микрорентгеноспектрального анализа, можно определять элементы с порядковыми номерами от 11 до 92.

Количественный анализ проводится методом сравнения интенсивностей характеристических рентгеновских излучений определяемых элементов из эталонов и из исследуемого образца. Эталонами служат чистые химические элементы или их соединения точно известного состава (при этом эталоны и образцы должны иметь одинаково полированную плоскую поверхность).

Интенсивность рентгеновского излучения элемента пропорциональна его массовому содержанию, поэтому, подсчитывая последовательно число импульсов данного излучения, даваемых эталоном и образцом, при фиксированном положении кристалла-анализатора, и введя некоторые поправки, можно найти массовое содержание элемента в образце:

$$W_A = K \frac{I_A}{I_{100A}},$$

где  $W_A$  — массовое содержание элемента  $A$  в образце;  $I_A$  — интенсивность характеристического рентгеновского излучения элемента  $A$  из образца;  $I_{100A}$  — интенсивность характеристического рентгеновского излучения элемента  $A$  из эталона элемента  $A$ ;  $K$  — поправочный множитель.  $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$ .

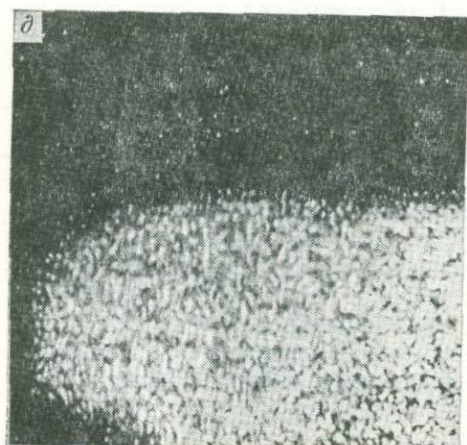
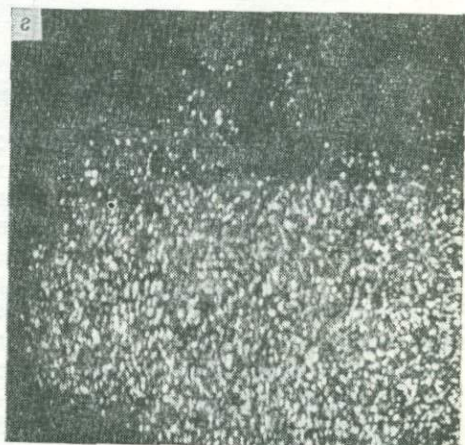
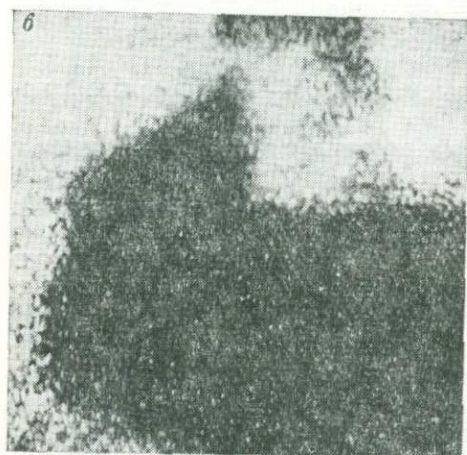
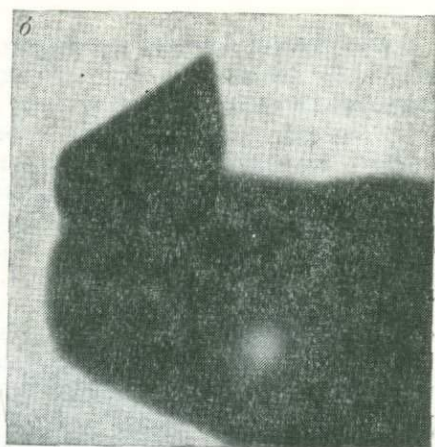
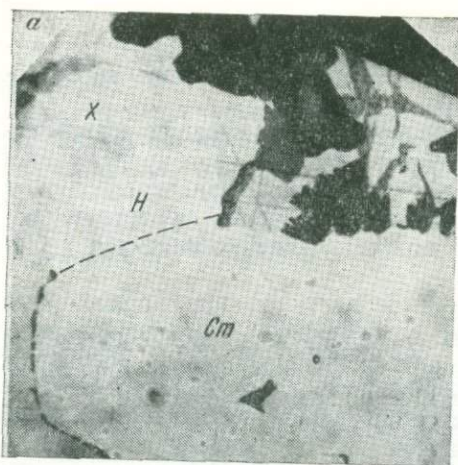
$K_1$  — поправка на «поглощение». Она связана с тем, что различные химические элементы в неодинаковой степени ослабляют рентгеновское излучение одного элемента, и поэтому степень поглощения характеристического рентгеновского излучения элемента  $A$  в образце и в эталоне различна. Особенно сильно поглощается излучение легких элементов (натрий, магний, алюминий); в проанализированных минералах сильно поглощалось излучение теллура и олова. Поглощают излучение других элементов наиболее тяжелые элементы (платина, свинец, висмут). Поправка на поглощение наиболее существенна из всех четырех, ее величина может быть в пределах 0,9—3,0, в то время как величины каждой из трех остальных поправок колеблются в пределах 0,8—1,2.

$K_2$  — поправка на атомный номер. Она учитывает небольшие отклонения функции возбуждения в зависимости от атомного номера определяемого элемента. Ее величина 0,95—1,05.

$K_3$  — поправка на флюоресценцию. Она учитывает то, что возбуждение характеристического рентгеновского излучения данного элемента может происходить не только пучком электронов, но и характеристическим рентгеновским излучением другого элемента. Эта поправка существенна при анализе сталей, сплавов и минералов, содержащих большие количества элементов группы железа, а также титан, хром, ванадий. Ее величина может колебаться в пределах 0,8—1,0.

Названные поправки вычисляются с помощью методов и таблиц, приведенных в книге Л. С. Биркса (1966). В настоящее время наиболее широко используется метод В. И. Рыдника и И. Б. Боровского (1967).

Четвертая поправка  $K_4$  — учитывает различную степень отражения и торможения электронов пучка атомами образца и эталона. Точно вычислить эту поправку чрезвычайно трудно. Существует ряд методов расчета ее приближенного значения (Castaing, 1961; Philiber, 1964; Pool, Thomas, 1962).



Для вычисления поправки  $K_4$  обычно используют упрощенный метод Кастена, дающий значение  $K_4$  с определенной степенью вероятности. Величина  $K_4$  может колебаться в пределах 0,8—1,2.

Выбор анализируемого участка образца осуществляется с помощью оптического микроскопа с 400-кратным увеличением. Во время анализа образец находится в поле зрения микроскопа, после анализа на поверхности образца в месте падения пучка электронов образуется темное пятно: тонкий слой углерода, возникший за счет разложения паров масла из диффузионных насосов. По размеру этого пятна можно судить о диаметре электронного пучка, а появление пятна в месте анализа служит доказательством того, что именно выбранный участок проанализирован.

Помимо количественного определения содержания элемента в точке, с помощью микроанализатора можно получить качественные данные о распределении элемента на определенной площади. Достигается это тем, что электронный пучок за определенное время обегает заданную площадь. Это так называемый метод сканирования.

В приборе JXA-3A имеется электронный сканирующий аппарат, позволяющий наблюдать одновременно четыре изображения поверхности образца, каждое из которых может быть сфотографировано в поглощенных электронах, в отраженных электронах и два изображения в рентгеновских лучах. Для наблюдения этих изображений на телеэкране электронный пучок минимального диаметра заставляют равномерно двигаться по поверхности образца, используя возникающий при этом ток через образец для модулирования яркости свечения соответствующей телевизионной трубки. Изображение в поглощенных электронах позволяет судить о качественном составе образца: области повышенной концентрации легких элементов будут видны на экране в виде более ярких пятен, чем участки с преобладанием тяжелых элементов. Контрастность изображения зависит от разницы атомных весов элементов, присутствующих в образце, и от условий эксперимента.

Изображение в отраженных электронах дает сведения главным образом о рельефе поверхности образца и в меньшей степени о качественном составе, поскольку доля отраженных электронов меньше доли поглощенных электронов.

Для получения рентгеновского изображения спектрометр настраивается на характеристическое излучение анализируемого элемента, как при количественном анализе, но импульсы рентгеновского излучения не подсчитываются, а наблюдаются на экране в виде точечных вспышек. Полученное изображение позволяет судить о распределении химического элемента по поверхности образца. Поскольку в приборе JXA-3A имеется два спектрометра, можно изучать одновременно распределение двух элементов (рис. 2).

---

Рис. 2. Изображение участка поверхности полированного шлифа с нигглиитом (Н), станнопалладиитом (Ст), и халькопиритом (Х) оптическое и при сканировании. Граница между нигглиитом и станнопалладиитом показана пунктиром, темное — нерудный минерал, увел. 1000:

а — оптическое изображение; б — в лучах поглощенных электронов; в — в характеристическом излучении Fe; г — в характеристическом излучении Sn; д — в характеристическом излучении Pd; е — в характеристическом излучении Pt

Максимальный размер сканируемого участка поверхности, видимого на экране,  $330 \times 330$  мкм (увеличение 300); минимальный —  $70 \times 70$  мкм (увеличение 1200).

Размеры образцов, подготовленные для микрорентгеноспектрального анализа, не должны превышать  $0,8 \times 0,8$  см, для того чтобы их можно было укрепить в кювете держателя прибора. Хотя в приборе имеются кюветы большого размера, удобней пользоваться кюветой с диаметром  $0,8$  см, так как с ней монтируется большое количество эталонов. Рабочая поверхность образца должна быть тщательно отполирована и по возможности не иметь царапин и грубого рельефа между минералами. В некоторых случаях выступы рельефа и борозды могут экранировать рентгеновское излучение. Все это искажает количественные результаты анализа.

В случае, если анализируемый минерал является непроводящим электричество или, наоборот, проводящий минерал заключен в непроводящей массе (жильной или запрессован в пластмассу), отполированную поверхность образца необходимо покрывать проводящей пленкой, которая наносится путем напыления углерода, алюминия, магния и т. д. Пленка должна быть настолько тонкой, чтобы через нее просвечивала структура образца.

Абсолютная локальная чувствительность JXA-3A, по данным фирмы, составляет  $10^{-13}$  г при определении меди в железе. Относительная чувствительность анализа зависит от состава образца, порядкового номера определяемого элемента и от условий эксперимента. Определение легких элементов по сравнению с тяжелыми затруднено, особенно в образцах с высокой концентрацией последних. Некоторые элементы, например медь и железо, хотя и являются довольно легкими, определяются очень легко, даже находясь в малых количествах. В общем относительная чувствительность прибора лежит в пределах  $0,1-1\%$ .

Инструментальная точность микроанализаторов может быть доведена до  $1\%$ . Но практически ошибки количественного определения элементов составляют  $\pm 3-5\%$  от измеряемой величины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Биркс Л. С. Рентгеновский микроанализ с помощью электронного зонда. М., «Металлургия», 1966, 193 с.
- Рыдник В. И., Боровский И. Б. К методике количественного локального рентгеноспектрального анализа. «Завод. лаб.», 1967, № 8, с. 955—961.
- Черняев Л. А., Юшко-Захарова О. Е. Применение рентгеновского микроанализатора JXA-3A для исследований микровключений минералов группы платины.— В кн.: Физические свойства редкометальных минералов и методы исследования. М., 1968, с. 80—101.
- Castaing R. The fundamentals of quantitative electronprobe microanalysis.— Adv. X-ray Analysis, 1961, v. 4, p. 351.
- Hawley J. E., Berry L. G. Michenerite and froodite palladium Bismuthide minerals.— The Canadian Mineralogist, 1958, v. 6, part 2, p. 200—209.
- Philiber Y. Analyse quantitative en microanalyse par sonde electronique.— Metaux, 1964, 39, p. 156—178, 216—241, 325—343.
- Pool D. M., Thomas P. M. Quantitative electron-probe microanalysis. J. Inst. Metals, 1962, v. 90 (6), p. 228—233.

## МИКРОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Микроспектральный анализ применяется для выявления химического состава минералов и сплавов в полированных шлифах. С его помощью можно определять состав включений размером до 0,05—0,1 мм. Впервые метод предложен Н. В. Королевым и им же собрана специальная установка с искровым генератором (Королев, 1949). В дальнейшем аналогичные установки созданы в целом ряде научно-исследовательских институтов и разработаны методические приемы применительно к различным минералам и элементам (Свердлов, Фе-

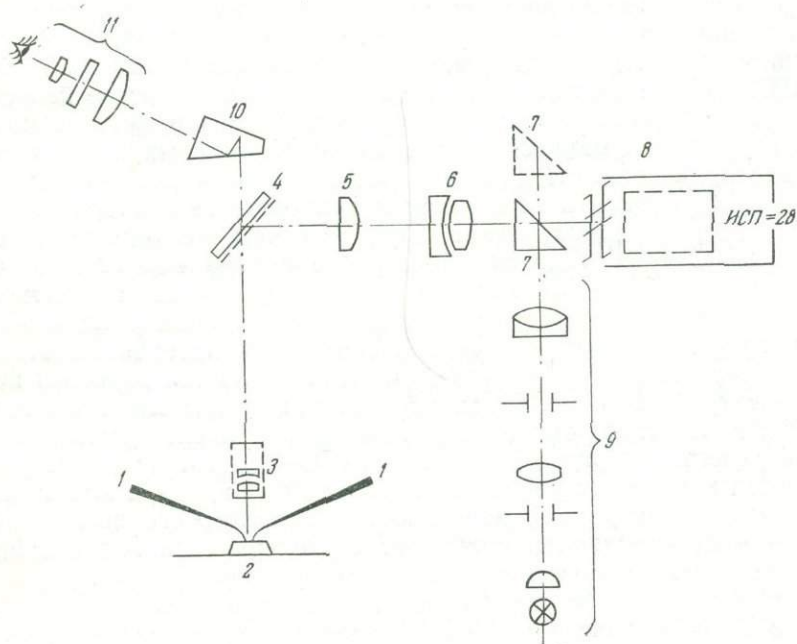


Рис. 3. Оптическая схема микроспектральной установки:

1 — электроды; 2 — полированный шлиф; 3 — кварц-флюоритовый объектив; 4 — наклонная полую алюминированная пластинка; 5 — кварцевая линза; 6 — ахроматический объектив; 7 — откидная призма; 8 — щель кварцевого спектрографа; 9 — осветитель; 10 — призма; 11 — окуляр микроскопа

дорова, 1958; Королев, 1959; Генкин, Королев 1961; Арнаутов, Никитина, 1965; Кореннова, 1964; 1969).

В настоящее время существует два метода локального эмиссионного микроспектрального анализа — с искровым источником возбуждения и с использованием лазера в различных комбинациях.

Прибор для микроспектрального анализа представляет собой установку, состоящую из обычного минераграфического микроскопа, смонтированного со спектрографом (рис. 3). Оптическая часть прибора состоит из микроскопа МИН-8 с макро- и микромеханизмами фокусировки объекта, опак-иллюминатора ОИ-12 (основное освещение) и осветителя ОИ-19 (боковое освещение), длиннофокусного кварц-флюоритового объектива и микроманипулятора МИ-1, с помощью которого произво-

дится грубая и тонкая установка микроэлектродов. Последние изготовляются из меди, платины или вольфрама. Эмиссионный спектральный анализ осуществляется с помощью спектрографа ИСП-28, для которого в качестве источника возбуждения спектра используется генератор микроискры ИГ-3. Электрическая схема его усовершенствована Н. В. Королевым (Генкин, Королев, 1961).

Н. В. Арнаутов (Арнаутов, Никитина, 1965) предложил эту установку дополнить газовой камерой из оргстекла. По его мнению, сжигание в атмосфере инертного газа (аргона, гелия) имеет определенные преимущества: температура разряда значительно возрастает, что способствует возбуждению элементов, которые в обычных условиях спектрального анализа плохо возбуждаются (сера, углерод, фтор, хлор).

Принцип работы на установке следующий (Королев, 1956; Волынский, 1966). Исследуемый минерал сжигается в микроискре непосредственно при микроскопическом наблюдении. Анализируемое зерно наводят на крест нитей микроскопа и с помощью микроманипулятора приводят в соприкосновение с двумя остро заточенными электродами. К электродам подключаются клеммы искрового генератора, в результате чего возникает микроискра. Свет от искры, проходя через кварц-флюоритовый объектив микроскопа, попадает на полуалюминированную пластинку Бекке, отражается ею и двумя линзами спектрографа проектируется на его щель. В случае неэлектропроводных минералов оба электрода приводятся в соприкосновение с поверхностью включения. В случае если анализируемый минерал является хорошим проводником электрического тока, для образования искры электрод, подключенный к положительному полюсу генератора, должен быть приподнят над поверхностью образца примерно на 0,05—0,2 мм. Искровые разряды образуются как между концами микроэлектродов, так и между концом приподнятого электрода и поверхностью исследуемого выделения. Заточение микроэлектродов подбирается экспериментально в зависимости от материала самого электрода и от жесткости искры.

Ниже излагаются методические приемы, разработанные А. Д. Генкиным и Н. В. Королевым (1961) применительно к анализу минералов в полированных шлифах и в извлеченных из них микропробах на установке с искровым генератором.

Для выявления качественного состава микровключений рекомендуется проводить анализ в ослабленной импульсной искре. При этом остро заточенные концы микроэлектродов (для медных электродов оптимальный диаметр 0,8 мм) подводят к исследуемому зерну на возможно близкое расстояние друг от друга. Локальность анализа при этом обычно не менее 0,06 мм. В ослабленной импульсной искре анализы хорошо удаются на легковозбудимых или достаточно электропроводных минералах на все легковозбудимые элементы. При анализах тугоплавких минералов, плохо или совсем не проводящих электрический ток, лучше применять «прямую» импульсную искру. В искре с прямыми импульсными разрядами нет необходимости затачивать микроэлектроды очень остро, так как они сразу же оплавляются. В такой искре хорошо возбуждаются линии почти всех элементов периодической системы, в том числе и трудновозбудимых элементов — С, S, As, F, Cl, I и др. Однако локальность анализа здесь значительно снижена и составляет не менее 0,2 мм в поперечнике.

Анализ в ослабленной искре выполняется с ахроматическим кварц-флюоритовым микрообъективом  $10\times 0,2$ ; для анализа в «прямой» импульсной искре более подходит другой кварц-флюоритовый микрообъектив  $5\times 0,08$  с большим рабочим расстоянием.

При количественном анализе микровыделение извлекается из шлифа и в виде крупинки или порошка наносится на поверхность медной или алюминиевой пластинки: крупинка или порошок минерала зачеканиваются в поверхностном слое пластинки, который и является объектом для анализа. Порошок минерала в виде шарика из резинового клея после рентгенометрического исследования может быть перенесен на поверхность металлической пластинки и подвергнут микроспектральному анализу. Для этого пластинку с шариком подогревают на спиртовке до расплавления на ней резинового клея. После этого проводят выжигание микропробы.

Для суждения о количественном содержании элементов в исследуемом материале на такую же пластинку наносят капли эталонного раствора, содержащего заданные количества определяемых элементов, раствор выпаривают, а остаток сжигают. Количественные соотношения элементов определяют путем фотометрирования при условии использования для каждого элемента как в минералах, так и в эталонных растворах одних и тех же линий. Количество эталонного раствора, который наносится на пластинку,  $\sim 0,01$ — $0,03$  мм на площади размером  $\sim 10$  мм<sup>2</sup>.

Отрицательный полюс генератора подключают к пластинке с веществом (минерала или осадка от эталонного раствора), а положительный — к микроэлектроду. Анализы могут выполняться как в «прямой», так и в «ослабленной» искре. Для полного сжигания вещества на пластинке рекомендуется в момент горения искры несколько перемещать пластинку, чтобы обработать искровыми разрядами всю площадку с минералом или с осадком.

Поскольку при фотографическом методе трудно оценить абсолютную интенсивность линий, рекомендуется сравнивать интенсивности линий с интенсивностью сплошного фона. Такое сравнение возможно, если плотность почернения фона и линии на фотопластинке находится в области нормального почернения.

Фотометрирование определенных линий элементов на спектрограммах исследуемого минерала и эталонных растворов (титрованные растворы) при использовании соответствующих формул (Генкин, Королев, 1961) позволяет определять количественное содержание элементов, находящихся в микровключении размером сотые — десятые доли миллиметра.

Основная проблема локального эмиссионного спектрального анализа для микровключений минералов состоит в получении надежных количественных данных о составе, что прежде всего связано с выбором эталонов. Н. Г. Кореннова в ряде работ (1964, 1969, 1972; Кореннова, Исакович, 1972) показала, что наиболее точные результаты получают, если в качестве эталонов используют искусственные или природные минералы известного состава. Ею разработаны методики количественного анализа самородного золота, хромшпинелидов и других минералов в зернах и микровыделениях размером  $0,3$ — $0,08$  мм с ошибкой  $5$ — $15\%$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арнаутов Н. В., Никитина Е. И. Применение микроспектрального анализа при изучении акцессорных минералов.— В кн.: Минеральные микровключения. М., 1965, с. 36—41.
- Вольский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. Т. 1, 2-е изд. М., «Недра», 1966, 349 с.
- Генкин А. Д., Королев Н. В. К методике определения небольших зерен минералов в рудах.— «Геология рудных месторождений», № 5, 1961, с. 64—79.
- Кореннова Н. Г. Применение микроспектрального метода для количественного определения свинца с целью диагностики свинцовых минералов.— «Труды ЦНИГРИ», 1964, вып. 62, с. 135—146.
- Кореннова Н. Г. Микроспектральный метод определения пробности мелких золотин.— «Труды ЦНИГРИ», 1969, вып. 86, ч. II, с. 58—61.
- Кореннова Н. Г. Применение методов локального эмиссионного спектрального анализа для диагностики и изучения особенностей состава рудных минералов.— Автореф. канд. диссер. М., ЦНИГРИ, 1972, 28 с.
- Кореннова Н. Г., Исакович И. З. Изучение состава галенитов некоторых полиметаллических месторождений Алтая методом лазерного спектрального микроанализа.— «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 7, с. 52—59.
- Королев Н. В. Способ спектрального анализа металлографических и минералогических шлифов.— Авт. свид. № 89519 с приоритетом от 20 августа 1949.
- Королев Н. В. Установка для эмиссионного спектрального анализа.— «Завод. лаб.», 1959, № 8, с. 890—893.
- Свердлов З. М., Федорова Л. Г. Новый спектральный метод исследования минералов.— В кн.: Материалы X Всесоюз. совещ. по спектроскопии. Львов, 1958, с. 381—387.

### МИКРОРЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Получение дебаеграмм с малых количеств минерала путем монтировки его в виде шариков из резинового клея впервые описано Хиестра (Hiemstra, 1956). Порошок минералов, согласно его методике, получается путем прочерчивания или высверливания зерна в полированных шлифах под микроскопом с помощью обыкновенной тонко заостренной иглы. Затем порошок закатывают в каплю резинового клея, которая исследуется в рентгеновской камере (Михеев, 1957). А. Д. Генкин и Н. В. Королев (1961) унифицировали методику и получили возможность исследовать шарик порошка минерала не только рентгенометрически, но и спектрально. Эта методика успешно применяется во многих минералогических лабораториях: ИГЕМ, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, САИГИМС и т. д.

В литературе описаны различные способы извлечения микропробы из аншлифа, которые можно рекомендовать для использования в широкой практике.

1. Обыкновенной тонкой иглой под микроскопом вручную высверливают (или прочерчивают) порошок минерала. Затем на это место (наблюдая в микроскоп) острием иглы помещают небольшую каплю резинового клея, после чего либо пальцем, либо иглой закатывают этот порошок с клеем в виде шарика; последний переносят в рентгеновскую камеру для снятия дебаеграммы (Hiemstra, 1956; Безсмертная, Соболева, 1963).

2. Извлеченный при помощи обычной иглы из полированного шлифа порошок минерала помещают на чистое предметное стекло. Затем на другое предметное стекло наносится небольшая капля резинового клея. Путем круговых движений минерал скатывается в мельчайшие шарики,

объединяемые затем в один размером 0,2—0,5 мм (Генкин, Королев, 1961).

3. Т. С. Тимофеевой (Ташкент, САИГИМС) разработана насадка на объектив рудного микроскопа со стальной иглой, вмонтированной в специальный паз. Игла центрирована таким образом, что при опускании тубуса микроскопа до упора в поверхность аншлифа кончик иглы вдавливается в исследуемое микровыделение. При повороте столика микроскопа в месте упора иглы образуется порошок минерала, который собирается в резиновый шарик одним из описанных выше способов.

4. Порошок минерала из полированного шлифа может быть получен на микротвердометре либо с помощью специально оборудованного на нем микробура (Беркович, Курицына, 1949), либо с помощью алмазной пирамиды без дополнительных приспособлений (Лебедева и др., 1965). Установку шлифа с микровыделением под индентор микротвердометра производят так же, как при исследовании микротвердости (Лебедева, 1963). При этом обязательно столик закрепляют в этом положении стопорным винтом 3 (рис. 4). Нагрузку на индентор выбирают несколько меньшую, чем при исследовании микротвердости (табл. 1).

После опускания нагруженно-го индентора на минерал делают первое микропрочерчивание минерала алмазной пирамидой (не снимая нагрузки!). Координатный винт 4, находящийся в этот момент слева, быстро поворачивают вправо и влево на 1—3 деления (деления на координатном винте отсчитываются по риску) в зависимости от размера микровыделения. При самых минимальных размерах ( $\sim 0,007$ — $0,01$  мм) рекомендуется поворачивать винт вправо и влево только на одно деление. После первого прочерчивания отводя рукоятку 12 от себя до упора, поднимают нагруженную алмазную пирамиду и подводят рукояткой 2 столик твердометра (при этом — ослабить стопорный винт 3!) со шлифом под микроскопическое устройство для контроля правильности расположения первой черты (бороздки) в пределах микровыделения. Координатными винтами 4 и 5 можно подправить расположение минерала в шлифе, несколько переместив крест нитей относительно первой черты, но с тем, чтобы следующая черта не вышла

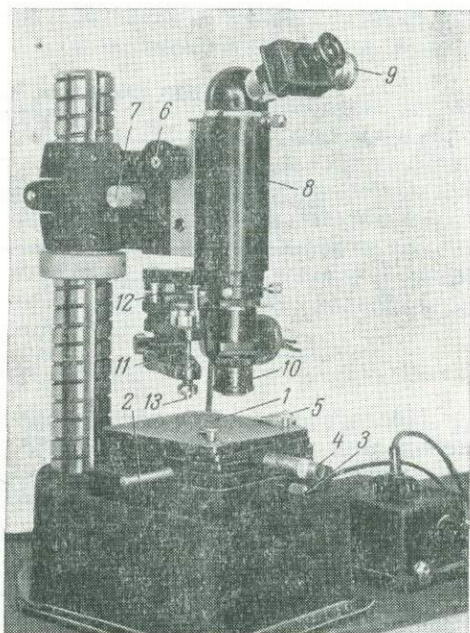


Рис. 4. Микротвердометр ПМТ-3.

1 — предметный; 2 — рукоятка предметного столика; 3 — стопорный винт; 4 и 5 — координатные винты; 6 — макроподача; 7 — микроподача; 8 — тубус микроскопа; 9 — окулярный микрометр; 10 — объектив; 11 — механизм нагружения (индентор); 12 — рукоятка индентора; 13 — алмазная пирамида

за границы микровыделения. Затем снова поворотом рукоятки 2 подводят шлиф под нагруженный индентор, закрепляют столик стопорным винтом 3, опять опускают индентор на минерал, быстро вращают винт 4 вправо и влево, после чего индентор снова поднимают. Далее опять контролируют черты под микроскопом. Таким способом операции прочерчивания и последующего оптического контроля продолжают до тех пор, пока все микровыделение не будет «распахано» и исследователь убедится, что имеющегося порошка минерала, находящегося в основном по краям «борозд», достаточно для получения с него рентенограммы.

Таблица 1

Выбор нагрузки при взятии микропробы минерала с помощью микротвердометра

| Группа твердости по Лебедевой (1963) | Характеристика минералов | Пределы микротвердости Н, кгс/мм <sup>2</sup> | Рекомендуемая нагрузка Р, гс |
|--------------------------------------|--------------------------|---|------------------------------|
| 1                                    | Очень мягкие             | 1—60  | 2                            |
| 2                                    | Мягкие                   | 60—120  | 2—5                          |
| 3                                    | Средней твердости        | 120—150                                       | 10—20                        |

После этого шлиф рассматривают в обычный рудный микроскоп с небольшим увеличением ( $\sim 50\times$ ). Далее на расчерченное микровыделение осторожно наносят тонкой иглой (не касаясь поверхности шлифа) каплю резинового клея, разбавленного бензином до определенной концентрации (на 4 объемных части клея можно взять 1 часть бензина). Через несколько секунд ( $\sim 10$ — $15$ ) пальцем, протертым спиртом, или стеклянным шпателем каплю скатывают непосредственно на шлифе до образования затвердевшего шарика. Эту «микропробу» в виде шарика кончиком иглы переносят на предметное стекло, а последнее — под бинокулярную лупу (МБС), где покрывают вторым стеклом, и шарик растирают между ними для получения более тонкого порошка минерала. Затем круговыми движениями его скатывают в шарик и помещают в рентгеновскую камеру для получения дебаграммы. Шлиф с минералом, из которого взята микропроба, для контроля снова наблюдают под микроскопическим устройством ПМТ-3. На шлифе отчетливо видны чистые (без порошка) «борозды» от прочерчивания алмазной пирамидой.

Эта методика позволяет инструментально извлекать порошок минерала из микровыделений с минимальными размерами  $\sim 0,07$ — $0,02$  мм, т.е. на целый порядок ниже, чем при способах взятия микропробы иглой вручную. Кроме того, она гарантирует чистоту извлекаемого материала, так как точность прочерчивания все время контролируется с помощью микроскопической части микротвердометра при сравнительно большом увеличении (в ПМТ-3 увеличение 487).

А. Д. Генкин и Н. В. Королев (1961) отмечают, что для изготовления шариков пригоден не всякий резиновый клей. На практике оказалось, что некоторые сорта клея не рентгеноаморфны, а дают на дебаграммах линии в области малых углов отражения, которые могут быть приняты за линии минерала. Поэтому перед приготовлением шариков

с минералом необходимо произвести рентгеновскую съемку шарика из чистого клея без минерала. Лучше использовать резиновый клей, изготовленный из природного каучука. Для введения поправок по эталонному снимку с NaCl эти авторы рекомендуют шарик после первой съемки покрыть тонко растертым NaCl.

А. Д. Генкин экспериментально проверил (на галените) пределы минимальных размеров зерен, необходимых для получения вполне удовлетворительных дебаграмм со всеми линиями, присущими данному минералу. Минимальные размеры, полученные для кубика галенита, — 0,035 мм, т.е. количество вещества для рентгенометрической съемки составило при этом всего 0,0003 мг.

Количество минерального порошка в микропробах, которые можно получить по способу Лебедевой, Мейтува и Александровой из микровыделений с минимальными размерами 0,007—0,01 мм, оказалось недостаточным для получения дебаграммы с полным набором четких линий. Однако получаемые при этом три-четыре даже не вполне четкие (но, очевидно, самые интенсивные) линии часто могут оказать помощь при диагностике минералов. После рентгеновской съемки шарик с минералом может быть исследован при помощи микроспектрального анализа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беркович Е. С., Курицына А. Д. Прибор для отбора проб металлов для микрохимического анализа.—«Завод. лаб.», 1949, № 7, с. 685—687.

Безсмертная М. С., Соболева Л. Н. Новый теллурид висмута и серебра, установленный новейшими микрометодами.—«Тр. ИМГРЭ», вып. 18, 1963, с. 70—84.

Генкин А. Д., Королев Н. В. К методике определения небольших зерен минералов в рудах.—«Геология рудных месторождений», 1961, № 5, с. 64—80.

Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., изд. АН СССР, 1963, 123 с.

Лебедева С. И., Мейтув Г. М., Александрова Р. А. Способ извлечения микропробы минерала из аншлифа.—В кн.: Минеральные микровключения. М., 1965, с. 58—65.

Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., изд. АН СССР, 1957, 868 с.

Niemstra S. A. An easy method to obtain x-ray diffraction patterns of small amounts of mineral.—Amer. Miner., v. 41, N 5/6, 1956, p. 519—521.

#### ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными оптическими свойствами минералов, изучаемых под микроскопом в отраженном свете, являются отражательная способность, дисперсия отражательной способности (цвет минерала в отраженном свете), двуотражение и отношение минералов к поляризованному свету (оптическая анизотропия и изотропность).

В последнее десятилетие при диагностике минералов все больше используются приборы, позволяющие количественно измерять оптические свойства минералов. Наиболее перспективными методами диагностики рудных минералов в отраженном свете являются количественное измерение отражательной способности, дисперсий отражательной способности, двуотражения и констант, получаемых путем изучения поляризационных фигур и вращательных свойств минералов в сходящемся свете.



В настоящее время в периодической литературе и в справочных руководствах приведены результаты измерения отражательной способности для подавляющего количества рудных минералов, полученные с помощью различных фотометрических и электрофотометрических приставок к обычным рудным микроскопам, а также специально сконструированными для этой цели приборами. Измерения проводились как в белом, так и в монохроматическом свете в основном по методу сравнения. В качестве эталонов сравнения применяются либо природные минералы (галенит, пирит, сфалерит и др.), либо специально изготовленные для этого искусственные эталоны.

Отсутствие стабильности условий измерений привело к значительным колебаниям величин отражательной способности большинства рудных минералов, приводимых различными исследователями в соответствующих справочных руководствах. Причинами таких расхождений могут быть: неодинаковая чувствительность измерительных устройств в разных областях спектра; измерение отражательной способности в белом свете с непостоянной хроматической устойчивостью; недооценка влияния на полученные результаты измерений различной ориентировки направлений колебаний падающего поляризованного света (если измерения проводились с использованием поляризованного света), а также интенсивности последнего; недооценка влияния состава и изоморфных примесей, условий образования измеряемых минералов и качества их полировки. Однако отсутствие стандартных эталонов несомненно является главной причиной отсутствия стабильных данных об отражательной способности.

Комиссией по рудной микроскопии при Международной минералогической ассоциации было принято решение рекомендовать в качестве основных эталонов для слабоотражающих минералов — алмаз и кристаллы синтетического корунда; для минералов со средними значениями отражательной способности — металлический кремний; для минералов высокоотражающих — металлический галлий и платину.

В данном руководстве мы ограничимся краткой характеристикой аппаратуры и методов количественного определения отражательной способности, дисперсии отражательной способности и двуотражения.

Начало развитию количественной оценки отражательной способности положено в 1930 г. Ж. Орселем (J. Orsel, 1930), который приспособил к микроскопу селеновый фотоэлемент. Он же показал, что с помощью фотоэлемента можно количественно измерять не только отражательную способность минерала, но определить его осность, оптический знак для одноосных кристаллов, двуотражение для анизотропных минералов, а также по данным измерений вычислять показатели преломления минералов.

В настоящее время существует целый ряд методов измерения отражательной способности минералов. Р. Е. Фолинсби (Folinsbee, 1949) измерял отражательную способность с помощью стандартного фотометрического экспонетра, укрепленного на тубусе микроскопа. Ж. М. Грей и А. П. Милман (Gray, Millman, 1962) предлагают использовать сульфидно-кадмиевый фотоэлемент для измерения дисперсии отражательной способности. На основе фотоэлектронного умножителя Н. В. Королев и Л. С. Агроскин (1959) смонтировали очень чувстви-

тельный прибор для измерения отражательной способности в видимой и ультрафиолетовой областях спектра по методу светового зонда в зернах размером до 0,01 мм.

Целая серия установок для измерения отражательной способности минералов создана коллективом сотрудников ВИМС под руководством И. А. Пудовкиной (Пудовкина и др., 1966). Так, в 1952 г. сконструирован прибор ПМТОС (Пудовкина, 1957), а в 1960 г. — прибор ПМТКО-1. Последний представляет собой сочетание микротвердомера ПМТ-3 с фотоэлектрической насадкой (Пудовкина и др., 1961). Наиболее совершенным прибором из этой серии является «Яшма» (1964). Он также применяется для измерения отражательной способности и прозрачности минералов в видимой и инфракрасной областях спектра. Прибор типа «Яшма» разработан на базе фотоэлектронных умножителей. Он включает в себя рудный микроскоп МИН-6, блок усилительно-регистрирующего и питающего устройства и две фотометрические насадки, размещенные над микроскопом и под ним. Каждая из насадок состоит из ФЭУ с делителем напряжения.

Этот прибор позволяет на одном участке микрообъекта получать кривые дисперсии отражательной способности ( $R$ ) и степени пропускания ( $T$ ) в видимой и коротковолновой ИК-области спектра. Минимальный размер участка для количественного измерения составляет 0,01—0,05 мм. Он совпадает с минимальным участком для измерения  $T$ , занимаемая примерно десятую его часть. Точность измерения  $R$  и  $T$  на приборе «Яшма» составляет  $\pm 2\%$  относительных.

В 1963 г. оптической промышленностью СССР выпущена малой серией микрофотометрическая насадка ФМЭ-1, которую можно монтировать на любой поляризационный микроскоп, имеющий гнездо для насадки окулярных тубусов (МИН-8, МИН-9, МИН-10). Она предназначена для количественного измерения отражательной и поглощательной способности минералов в отраженном свете. Отражательная способность на этом приборе измеряется в белом и в монохроматическом свете в видимой части спектра с длиной волны от 430 до 700 нм. Относительная погрешность измерения коэффициентов отражения и пропускания, по данным инструкции, не превышает 2%. Наименьший размер измеряемых зерен 0,02 мм. Однако ФМЭ-1 заводского выпуска, как правило, не позволяет получать стабильные данные, поэтому без специального усовершенствования этот прибор не может быть применен в лабораторных условиях.

Конструкторским бюро ВСЕГЕИ разработана и внедрена установка ПООС-1 (1966). Она предназначена для определения отражательной способности микрокомпонентов различных минералогических и других объектов в монохроматическом свете, в иммерсионной или в воздушной среде и состоит из спектрофотометрической насадки, гальванометра и измерительного пульта. П-образный металлический корпус насадки монтируется на тубусе поляризационного микроскопа типа МИН или МП (рис. 5). Наименьший размер зерен 0,002 мм. Дисперсия отраженного и проходящего света измеряется в диапазоне длин волн 400—700 нм. В отличие от ФМЭ-1, установка ПООС-1 позволяет исследовать меньшую площадь объекта, более стабильна и удобна в работе. Монохроматизация света в ПООС-1 производится с помощью дифракционной решетки.

Более простые и удобные в работе установки для определения отражательной способности рудных минералов, размер зерен которых не превышает сотых долей миллиметра, смонтированы А. Д. Ракчеевым (1960; 1964; 1965; 1966; Ракчеев, Румянцев, 1967). Преимущество их заключается в прямом определении отражательной способности показателя поглощения и показателя преломления.

С помощью всех вышеописанных фотометрических и электрофотометрических приборов количественное определение отражательной способности и дисперсии отражательной способности может осуществляться либо непосредственным сравнением исследуемого минерала с соответствующими эталонными минералами (установки Р. Е. Фолинсби,

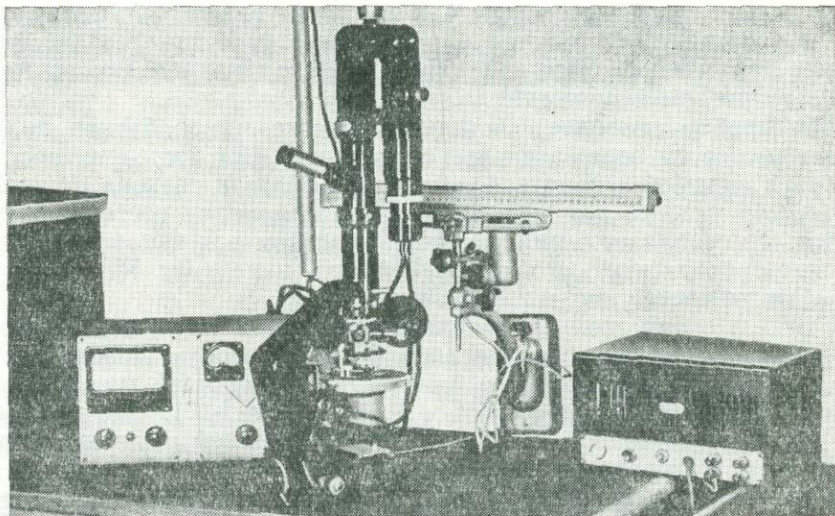


Рис. 5. Общий вид прибора ПООС-1

Ж. М. Грея и А. П. Милмана), либо измерением фототока, вызванного светом, отраженным от поверхности исследуемого минерала. Отношение фототоков, вызванных светом, отраженным от исследуемого и эталонного объектов, характеризует отражательную способность исследуемого минерала.

Измерение отражательной способности может быть проведено как в воздушной, так и в иммерсионной среде. Отражательная способность микровключений измеряется как правило, в иммерсии. Характеристика отражательной способности эталона в иммерсионной жидкости (кедровое масло) приводится в паспорте эталона.

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

Для изотропных минералов не имеет значения, на каком из его сечений измерялась отражательная способность и ее дисперсия, так как для них любое сечение является характеристическим. Отражательная способность и дисперсия отражательной способности анизотропных минералов находятся в прямой зависимости от сечения минерала, на котором произведено измерение. Для того чтобы избежать ошибки, отражательная способность анизотропных минералов устанавливается путем большого количества измерений. При группировке и статистической обработке результатов измерений могут быть выявлены данные, характеризующие минимальную и максимальную отражательную способность. Степень отражения, характерная для различных сечений минерала в шлифе, называется двуотражением. Это свойство у большинства минералов проявляется слабо. Тем не менее даже слабо выраженное двуотражение анизотропных минералов сказывается при количественном измерении их отражательной способности. Единичные замеры, которые могут быть получены при изучении микровключений, часто не являются характеристическими. Однако если микровключения встречаются в виде хорошо образованных кристаллов, особенно обладающих явно выраженным эффектом двуотражения, то количественные значения их отражательной способности и дисперсии отражательной способности в большинстве случаев могут быть отнесены к числу надежных диагностических свойств минерала.

Для характеристики отражательной способности, ее дисперсии (цвета и оттенка) и эффекта двуотражения микровключений рекомендуется максимально использовать монохроматические условия света в процессе измерения.

Полученные в результате измерения отражательной способности значения  $R$  для различных условий монохроматического освещения требуют соответствующей обработки и систематизации. Одним из наиболее распространенных способов систематизации данных является графическая обработка результатов — построение кривых дисперсии (Ogcei, 1930; Волинский, 1966 и др.). Значения длин волн света ( $\lambda$ , нм) откладываются по оси абсцисс (1 см на каждые 10 нм длины волны 400—700), а значения отражательной способности ( $R$ , %) — по оси ординат (1 см на 1%). Серии полученных точек объединяются на графике в виде кривых. Такие кривые представляют графическое выражение дисперсии отражательной способности. Характер кривых дисперсии отражательной способности по составу и по условиям образования изотропных минералов одинаков для всех сечений, поэтому представлен в виде одной кривой (рис. 6). Для минералов анизотропных и особенно обладающих ясно выраженным двуотражением получено несколько кривых (рис. 7). Кривые дисперсии отражательной способности минералов могут быть использованы для количественной колориметрической характеристики минералов в белом свете (цвет и оттенок минерала в отраженном свете) (Piller, 1966).

В 1967 г. Л. Н. Вяльсовым (1970) предложен однолучевой регистрирующий микроспектрофотометр «ПИОР», позволяющий определять абсолютные значения отражения минералов в диапазоне 420—800 нм, без использования эталонов. Минимальная площадь участков для прямых измерений отражательной способности может быть 10 мк<sup>2</sup>. Этот прибор обладает следующими преимуществами: 1) введение в opak-

иллюминатор микроскопа внутреннего стандарта (алюминированное зеркало, кремний, карборунд, стекло и т.д.), с неизвестным в общем случае коэффициентом отражения. Градуировка внутреннего стандарта производится по эталону с известными значениями отражательной способности только в начале работы на приборе, что очень сокращает время измерения всего спектра; 2) при измерении отражательной способности минералов участок исследуемого шлифа остается неподвижным, так как сравнение минерала с внутренним стандартом, смонтиро-

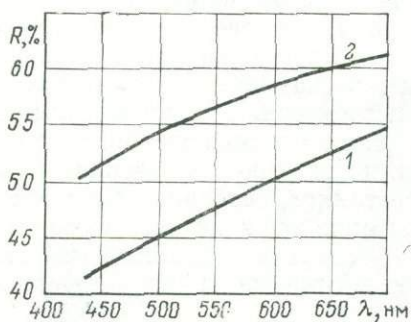


Рис. 6. Дисперсия отражательной способности  $Pd_4Pb_3$  (1) и  $Pd_3Pb_3Bi$  (2)

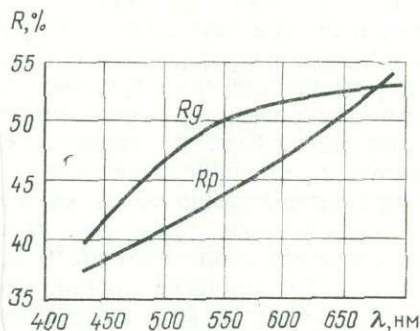


Рис. 7. Дисперсия отражательной способности станопалладинита.

ванным в opak-иллюминатор, осуществляется только поворотом шторки на  $90^\circ$ ; 3) применение автоматической регистрации (самописца) позволяет получать более объективные показатели отражения и повышает общую производительность.

Л. Н. Вьяльсов (1973), исследовав на приборе «ПИОР» большое количество ( $\sim 300$ ) минералов, выделил 12 наиболее типичных форм кривых дисперсии (рис. 8). Подавляющее большинство кривых можно охарактеризовать предложенным Л. Н. Вьяльсовым коэффициентом дисперсии  $F$ , который численно выражается разницей между крайними по спектру величинами отражательной способности  $R$ . Параметр  $F$  отражает крутизну в выбранном диапазоне длин волн.

Л. Н. Вьяльсов дает количественное выражение параметра  $F$  только для минералов первых девяти видов дисперсии по формуле

$$F_{abc} = R_{680} - R_{480}$$

Длины волн 680 и 480 нм являются, по-видимому, оптимальными, так как для наиболее крайних участков абсолютные значения могут быть занижены. Параметр  $F$  указывает, кроме того, на оттенок минерала: при  $F > 0$  минералы обладают розовым и кремовым оттенками, при  $F < 0$  — голубыми и зеленоватыми, при  $F = 0$  минералы бесцветны.

К 10-му типу Л. Н. Вьяльсов относит минералы (сульванит, молибденит), имеющие по несколько максимумов в видимой части спектра. К 11-му — сильно анизотропные минералы, меняющие оптический знак

и имеющие точку пересечения спектров отражения. К 12-му — анизотропные минералы, меняющие оптический знак, но не имеющие точки пересечения. Обычно диагностика минералов, имеющих дисперсионные кривые 10, 11 и 12-го типов, не вызывает сомнения.

Сильно анизотропные и двуотражающие минералы характеризует еще один параметр — дисперсия двуотражения  $G$ , которая численно равна разнице  $G = F_g - F_p$ .

Если кристаллические формы измеряемых минералов в шлифе хорошо выражены, то могут быть косвенно определены даже для микровключений такие константы минерала, как знак и угол оптических осей. Констан-

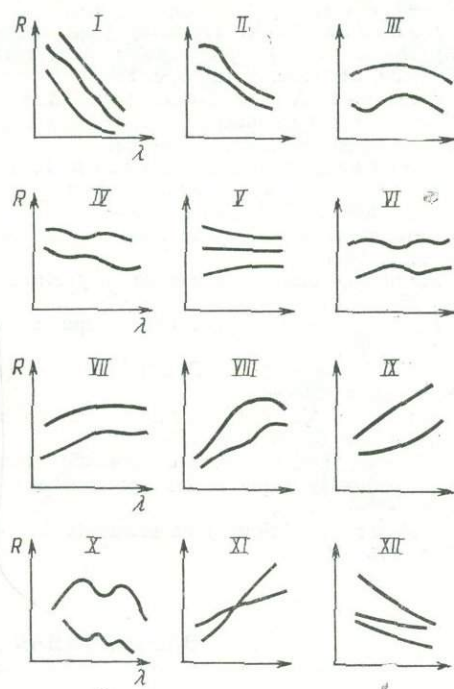


Рис. 8. Наиболее характерные типы спектров отражения рудных минералов. I—IV — значения  $F$  отрицательны; V —  $F=0$ ; VI—IX — значения  $F$  положительны; X — максимумы резко выражены; XI — оптический знак меняется (характерен для анизотропных минералов); XII — сильная дисперсия двуотражения (характерен для анизотропных минералов)

ты, получаемые при измерении вращательных свойств минералов в отраженном свете, в настоящее время не могут быть использованы для диагностики микровключений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волинский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. Т. 1—3, М.—Л., Гостеолиздат, 1947—1949; т. 1, М., «Недра», 1966, 349 с.
- Вяльсов Л. Н. Опыт систематики рудных минералов на основе измерений коэффициентов отражения в видимой области спектра.— «Геология рудных месторождений», 1973, № 1, с. 88—97.
- Вяльсов Л. Н. Методы и приборы для измерения отражательной способности рудных минералов.— Автореф. канд. дис., М., 1970.
- Королев Н. В., Агроскин Л. С. Установка для определения отражательной способности минералов.— «Геология рудных месторождений», 1959, № 4, с. 137—140.
- Пудовкина И. А. Точные методы определения отражательной способности и твердости рудных минералов.— В кн.: Современные методы исследования горных пород и минералов. М., 1957, с. 139—183.
- Пудовкина И. А., Якубович А. Л., Ширявцев А. А. Прибор для определения микротвердости и коэффициента отражения минералов (ПМТКО-1).— «Минеральное сырье», 1961, вып. 3, с. 129—134.
- Пудовкина И. А., Рябева Е. Г., Аксенова Е. К. Количественные методы изучения свойств рудных минералов и их применение.— «Минеральное сырье», 1966, вып. 12, с. 5—52.

Ракчеев А. Д. Измерение дисперсии отражательной способности рудных минералов.— «Геология рудных месторождений», 1960, № 3, с. 118—120.

Ракчеев А. Д. К методике получения эталонных значений отражательной способности рудных минералов.— «Геология рудных месторождений», 1964, № 1, с. 88—92.

Ракчеев А. Д. Главный угол падения и азимут восстановленной линейной поляризации как диагностические константы рудных минералов.— «Бюлл. МОИП», 1965, т. 30, отд. геол., вып. 3, с. 126.

Ракчеев А. Д. Номограммы для определения показателей преломления и коэффициентов поглощения аксессуарных и рудных минералов.— «Бюлл. МОИП», 1966, т. 72, отд. геол., вып. 2, с. 131—132.

Ракчеев А. Д., Румянцев Г. С. О зависимости оптических свойств минералов от их состава в изоморфном ряду магнетит — яковсит.— «Геология рудных месторождений», 1967, IX, № 4, с. 56—67.

Установка для определения отражательной способности ПООС-1. М., «Недра», 1966, 25 с.

Установка для определения отражательной способности «Яшма». М., «Недра», 1964, 25 с.

Установка для определения отражательной способности ФМЭ-1. ЛОМП. М., «Недра», 25 с.

Folinsbee R. E. Determination of reflectivity of the ore minerals.— *Econ. Geol.*, 1949, v. 44, p. 425—436.

Gray I. M., Millman A. P. Reflection characteristics of ore minerals.— *Econ. Geol.*, 1962, v. 57, N 3, p. 325—349.

Orcel I. La mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques à l'aide de la cellule photo-électrique et ses applications.— *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1930, t. 53, N 3, p. 301—349.

Piller H. Colour measurements in ore-microscopy.— *Mineralium Deposita*, 1966, v. 1, p. 175—192.

## ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

К оптическим методам исследования относится изучение рудных минералов в электронных микроскопах. Поскольку электронная оптика обеспечивает тысячекратные увеличения в сочетании с высокой разрешающей способностью, то ее целесообразно использовать в тех случаях, когда детали внутренних структур минералов или микровключения имеют величину порядка десятых долей микрона или нескольких микронов.

В практике минералогических исследований наиболее широко используются электронные микроскопы просвечивающего типа, и только в самое последнее время начали применяться и растровые электронные микроскопы.

Имеется много общего в схеме формирования изображения в электронных и световых микроскопах. Разница в том, что в первых изображение формируется электронным лучом (пучком электронов), проходящим через объект и преломляющимся с помощью магнитных и электромагнитных линз, а во вторых — световым лучом, проходящим через систему стеклянных линз.

В верхней части колонны микроскопа находится источник «освещения» — электронная пушка. Пушка состоит из катода — вольфрамовой нити, фокусирующего электрода и анода. Высокая разность потенциалов (40, 60, 80, 100 кВ) между катодом и анодом заставляет поток электронов, срывающихся с раскаленной нити, двигаться в вакууме прямолинейно с большой скоростью. На пути электронного луча устанавли-

ливается исследуемый объект, пройдя через который (рис. 9) луч попадает в электромагнитные поля сначала объективной, а затем проекционных линз. Линзы неоднократно преломляют электронный луч. В конце пути луч достигает флуоресцирующего экрана и вызывает его свечение. Невидимое увеличенное изображение экрана, сформированное электронами, прошедшими через объект, становится видимым. Под экраном помещается либо фотопленка, либо фотопластинки. Экран с помощью откидного устройства можно поднять и пропустить электронный луч на фотопленку для получения микрофотографии наблюдаемого участка.

При изучении массивных, «непрозрачных» для электронного луча образцов рудных минералов в электронных микроскопах просвечивающего типа наиболее удобен метод реплик. Этот метод является методом исследования косвенным потому, что непосредственному наблюдению в микроскопе подлежит не сам объект, а тонкая (толщиной в несколько сотен ангстрем) пленка-реплика, копирующая рельеф поверхности объекта. Такие реплики дают представление о микроструктуре образца, характере микрорельефа, о форме и размерах зерен и микроблоков, о степени однородности минералов и т. д.

Самыми точными, «высоко-разрешающими» считаются реплики угольные. Техника их приготовления несложна. Они обладают и другими преимуществами: повышенной прочностью, бесструктурностью, химической инертностью. Тонкие угольные пленки-реплики получают в специальных приборах, распыляя в вакууме путем термического испарения прессованные угольные стержни. Их оттеняют каким-либо металлом, чаще всего хромом, золотом или платиной, чтобы реплики были более контрастными. Для этого вызывают испарение металла в условиях вакуума и последующее оседание частиц на поверхности образцов. От поверхности минералов реплики отделяют механическим или химическим способом. Механическое отделение производят с помощью капель желатин, наносимых на поверхность образца. При высыхании слой желатин легко отделяется от поверхности образца вместе с репликой. Затем желатин растворяют в подогретой воде, а угольную пленку-реплику вылавливают на специальные поддерживающие сеточки. Сеточки монтируют в объектодержатель, а затем помещают в микроскоп для просмотра. Химическое отделение реплики

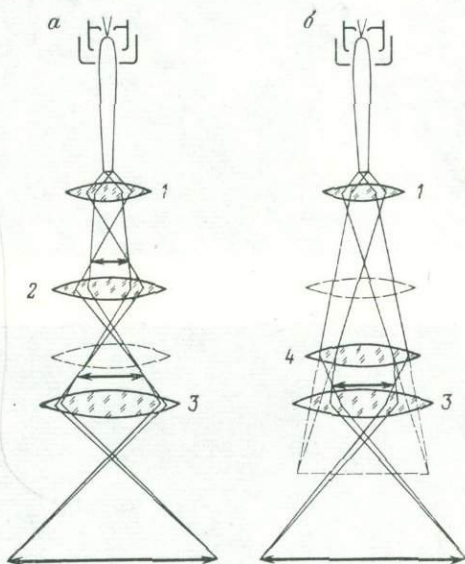


Рис. 9. Ход лучей в электронном микроскопе Тесла ВС-242 при малых (а) и при больших (б) увеличениях.

1 — объектив; 2 — уменьшающая линза проектора; 3 — основной проектор; 4 — вспомогательный проектор. Пунктиром обозначены выключенные линзы

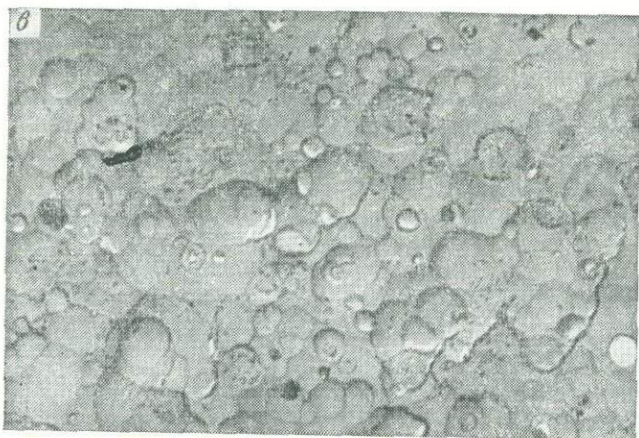
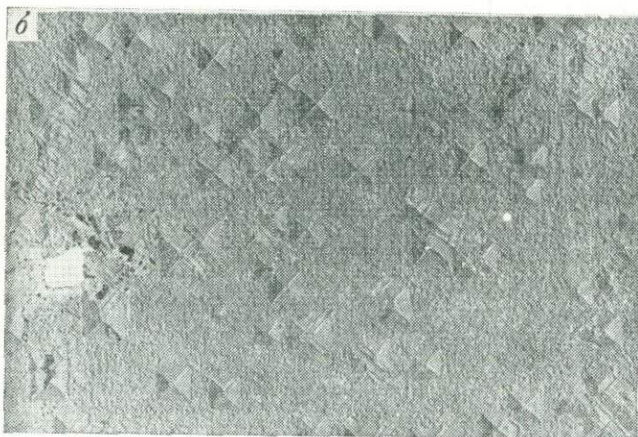
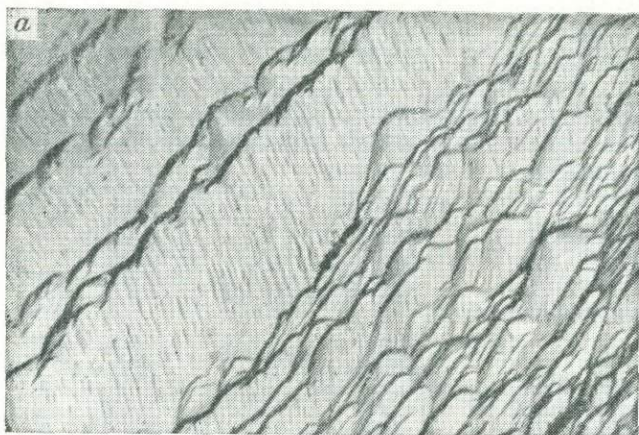


Рис. 10. Морфология изломов различных минералов. Увел. 7500.

*a* — торцовая структура на поверхности спайного скола вольфрамита; *б* — фигуры травления на спайной поверхности скола галенита; *в* — глобулярная структура самарскита



Рис. 11. Микровключения в рудных минералах.

*a* — однозначно ориентированные микровключения висмутового минерала в буланжерите, увел. 6600; *б* — однозначно ориентированные микровключения тапюлита в касситерите, увел. 715000

сводится к растворению всего образца в соответствующем реагенте и вылавливанию нерастворимой угольной реплики на сеточку.

Изучение рудных минералов с помощью электронномикроскопического метода ведется сравнительно недавно. Наиболее полные сведения о полученных результатах имеются в монографии Г. С. Грицаенко и других исследователей (1969). Отдельные минералы, такие, как касситерит, сфалерит и титаномагнетит, этими авторами изучены с особой тщательностью. Очень интересны результаты тематических исследований. Среди них работы Н. В. Петровской и К. Е. Фроловой (1969); М. К. Сатпаевой (1965, 1970); И. Е. Максимюк и С. И. Лебедевой (1968); И. Д. Беяевой (1971).

Электронномикроскопический метод чрезвычайно трудоемок, поэтому накопление данных идет довольно медленно. Но уже сейчас можно с

уверенностью говорить о том, что электронная оптика значительно расширяет и углубит наши представления о внутреннем строении рудных минералов.

Для иллюстрации сказанного приведем несколько электронномикроскопических снимков рудных минералов. На микрофотографии угольной реплики, снятой с поверхности свежего скола образца вольфрамита, хорошо видна торцовая структура, характерная для изломов вольфрамита и выявляющаяся только при больших увеличениях (рис. 10, а). Интересные фигуры травления в виде четырехгранных пирамидок с квадратным основанием наблюдались в одном из образцов галенита (рис. 10, б) на поверхности спайности, которая при обычных оптических увеличениях казалась совершенно гладкой, бесструктурной. В метамиктном стекловатом самарските после травления излома плавиковой кислотой четко выявилась глобулярная структура (рис. 10, в).

Особенно велико значение электронной оптики при контроле чистоты и однородности минерального вещества, а также при установлении форм нахождения отдельных элементов в минералах. Так, в одном из образцов оптически однородного буланжерита были обнаружены слегка удлинённые и однозначно ориентированные микровключения неизвестного, судя по анализу, висмутсодержащего минерала (рис. 11, а). В образце касситерита были зафиксированы очень мелкие (сотые доли микрона) включения тапиолита (рис. 11, б), что было подтверждено рядом других методов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляева И. Д. Электронномикроскопическое исследование метамиктных минералов. М., «Наука», 1971, 81 с.

Максимюк И. Е., Лебедева С. И. Изучение физических свойств касситеритов с целью выяснения форм нахождения в них тантала и ниобия.— В кн.: Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 31—43.

Методы электронной микроскопии. М., «Наука», 1969, 311 с. Авт.: Г. С. Грицаенко, Б. Б. Звягин, Р. В. Боярская, А. И. Горшков, Н. Д. Самотин, К. Е. Фролова.

Новые данные о физических свойствах и составе минералов группы колумбита — танталита и ксиолита из пегматитов Алтая.— В кн.: Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 11—30. Авт.: С. И. Лебедева, И. Д. Беляева, Г. В. Любимилова, Л. Е. Новороссова, Л. А. Черняев.

Петровская Н. В., Фролова К. Е. Опыт сравнительного исследования морфологии тонкодисперсного золота и микрорельефа поверхности золотых выделений (по данным электронной микроскопии).— В кн.: Типоморфизм минералов. М., 1969, с. 104—127.

Сатпаева М. К. Электронномикроскопические исследования рениевого минерала из Джезказгана.— «Вестн. АН КазССР», 1965, № 8, с. 36—44.

Сатпаева М. К. Структурно-морфологические особенности рудообразующих минералов богатых рениеносных руд Джезказгана.— В кн.: Новое в исследованиях руд Джезказгана. Алма-Ата, 1970, с. 87—123.

#### КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПО МИКРОВДАВЛИВАНИЮ

В настоящее время твердость рудных минералов в полированных шлифах может быть охарактеризована не только качественно (сравнение относительного рельефа соприкасающихся минералов, царапание стальной и медной иглами и др.), но и количественно — инструменталь-

ными методами микровдавливания алмазного наконечника (индентора) под определенными, «малыми», нагрузками ( $\sim$  до 200 гс). Наиболее общепринятым в международной практике является статический метод вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями  $136^\circ$ . Метод основан на определении силы давления, приходящейся на единицу боковой поверхности отпечатка, полученного от статического вдавливания в исследуемый материал алмазной пирамиды. Поскольку измерения твердости проводятся с помощью специальных приборов или насадок к микроскопам в микроскопически малых объемах вещества, в практике металловедов, а затем и минералогов появился термин «микротвердость». Более правильно полученную этим методом твердость классифицировать как «твердость вдавливания» или «микровдавливания». Однако термин «микротвердость», как наиболее краткий, настолько прочно вошел в минералогическую литературу, что воспринимается как синоним твердости вдавливания, определенной в микрообъеме вещества. Размерность величины твердости вдавливания (микротвердости)  $H$  выражается отношением нагрузки  $P$  к площади боковой поверхности отпечатка  $F$

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

В последние годы вышел ряд специальных руководств по определению микротвердости минералов (Bowie, Taylor, 1958; Лебедева, 1963; Ильинский, 1963; Pärnataa, 1963; Young, Millman, 1964). Мы ограничимся кратким изложением уточненных и принципиальных вопросов методики измерения, методов математической обработки результатов, перечнем известных серийных приборов, выпускаемых у нас и за рубежом, а также описанием важного раздела анизотропии твердости минералов. Понятие об анизотропии и ее количественном выражении — коэффициенте анизотропии имеет существенное значение при определении твердости методом микровдавливания.

К настоящему времени намечается несколько основных областей применения метода микровдавливания: при диагностике минералов, особенно микровключений (Дмитриев, 1949; Nakhla, 1956; Пудовкина, 1957; Bowie, Taylor, 1958; Лебедева, 1961, 1963; Pärnataa, 1963; Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, 1966, 1,2; Пудовкина и др., 1966), для подтверждения различных генераций минералов, а также для выявления генетических особенностей одного и того же минерала из различных типов месторождений, т. е. использование данных по микротвердости в качестве типоморфного признака (Синяков, 1965; Пудовкина и др., 1966; Лебедева, 1967). Кроме того, с помощью метода микротвердости можно исследовать, например, такие тонкие детали строения монокристаллов, как микрозональность, микронеоднородность, анизотропия, а также некоторые другие особенности строения микрокристаллов (Цинзерлинг, 1948; Икорникова, 1948, 1951; Дмитриев, 1949, 1951; Боярская, 1959; Bloss и др., 1959; Лебедева, 1961, 1963; Лебедева, Минцер, 1968; Теремецкая и др., 1962; Вальковская, Боярская, 1967).

Систематическое изучение микротвердости минералов в зависимости от состава (Пудовкина, 1957; Бочарова, 1960; Лебедева, Разенкова,

1961) позволило разработать методику приближенного определения состава минералов в раздробленных фракциях (Лебедева, 1963, 1965). В результате как для изоморфных рядов минералов, так и для некоторых минералов-концентраторов, содержащих элементы-примеси, построены диаграммы состав — твердость (рис. 12, 13, 14, 15).

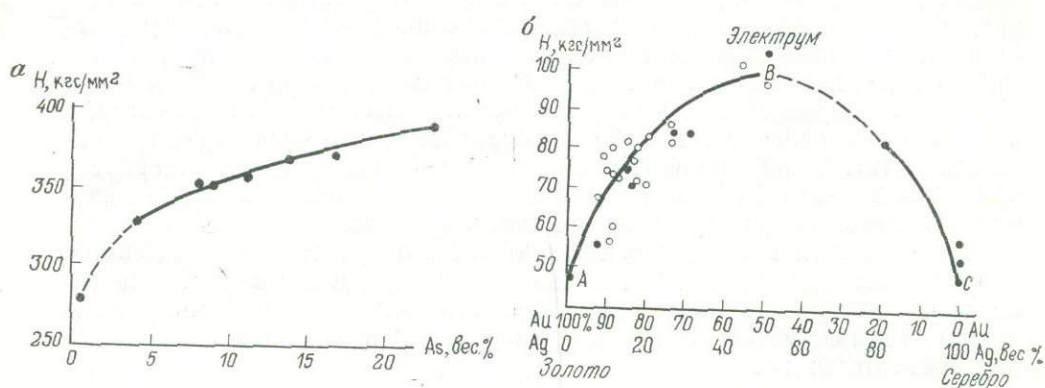


Рис. 12. Зависимость микротвердости от состава в изоморфных рядах минералов: а — тетраэдрит—теннантит; б — золото—серебро

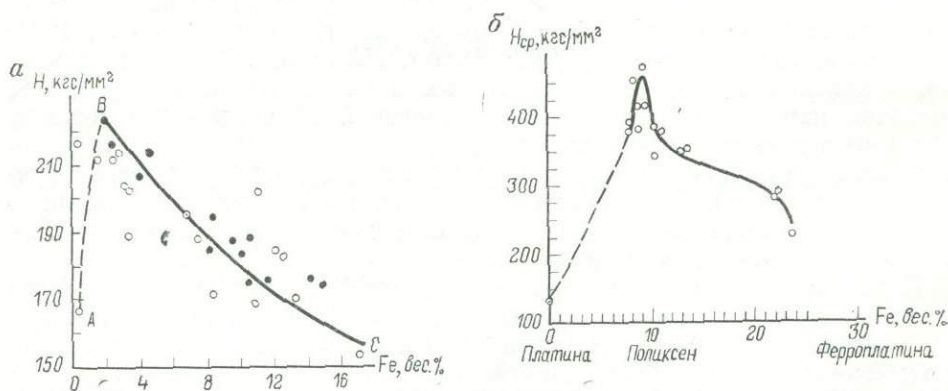


Рис. 13. Зависимость микротвердости от содержания железа в минералах. а — клейофан—марматит; б — платина—поликсен—ферроплатина

Такие диаграммы можно использовать для суждения о составе минералов и об особенностях поведения отдельных минеральных индивидов в изоморфных рядах. Исходя из основ физико-химического анализа, все полученные диаграммы состав — твердость были систематизированы по типам (Лебедева, 1972). К первому типу отнесены диаграммы с плавным ходом кривых АВ или с пологим перегибом в точке В. Подобные диаграммы указывают на непрерывность изоморфного ряда или твердого раствора. В качестве примера этого типа приводим диаграммы состав — твердость для теннантита — тетраэдрита и золота — серебра (см. рис. 12).

Второй тип диаграмм имеет сингулярные точки, в которых кривые образуют резкие перегибы в виде переломов. Это указывает на то, что в данной изоморфной серии в месте резкого перегиба должно находиться соединение с упорядоченной структурой или иной модификацией. К этому типу относим диаграммы состав—твердость, полученные для рядов платина—поликсен—ферроплатина и клейофан—марматит (см. рис. 13). Новые соединения в точке *B* для этих рядов пока не найдены. Однако в искусственной системе Pt—Fe отмечался разрыв смесимости в интервале ~7—9% Fe.

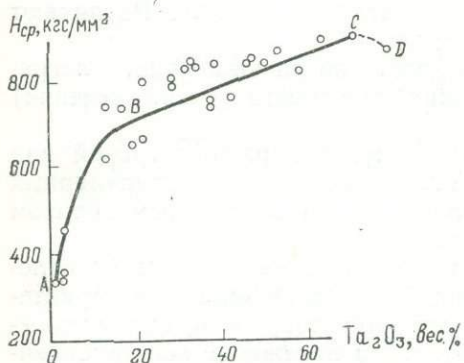


Рис. 14. Зависимость микротвердости от состава минералов ряда колумбит—танталит

рис. 14). Электронномикроскопические исследования образцов, соответствующих по составу отрезку *BC* на диаграмме, подтвердили наличие в них структур распада твердого раствора (Лебедева и др., 1968).

К четвертому типу диаграмм относим графики зависимости микротвердости минералов от содержания в них элементов-примесей (см. рис. 15): Ta и Nb в касситеритах (Максимюк, Лебедева, 1968), Ag — в галенитах (Лебедева, 1963). Точка перегиба *B* на данных графиках указывает на предел изоморфного вхождения примеси в соответствующие минералы.

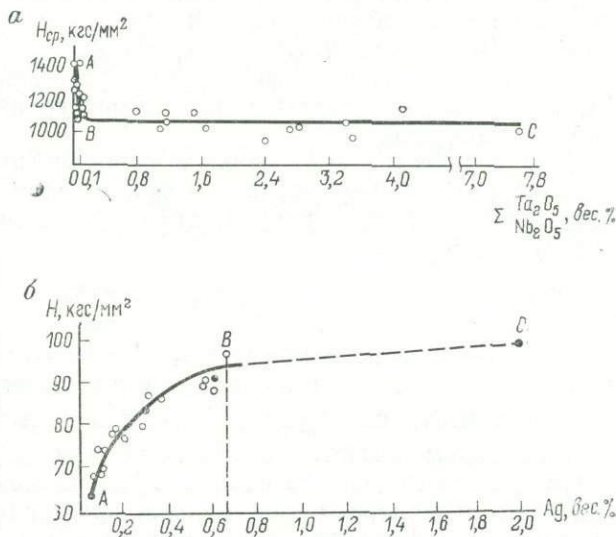


Рис. 15. Зависимость микротвердости от содержания примеси в касситерите (*a*) и в галенитах (*б*)

Третий тип диаграмм объединяет сложные графические зависимости, состоящие из плавных кривых и сопряженных с ними отрезков прямой. Сингулярные точки в этих случаях (точки сочленения кривой и прямой) указывают на прерывистость изоморфного ряда. Кривые на диаграммах, очевидно, должны соответствовать изоморфным замещениям, а отрезки прямых — тонкой механической смеси, образовавшейся в результате распада твердого раствора. Представителем данной группы минералов является ряд колумбита — танталита (см.

## Анизотропия твердости минералов

Минералы, как и все твердые кристаллические тела, обладают анизотропией физических свойств (электрических, оптических и пр.), в том числе и анизотропией твердости, т.е. различием твердости в одном кристалле в зависимости от кристаллографических направлений. Анизотропия твердости, как показали исследования, обнаруживается у всех кристаллических минералов, но выражена она в разной степени. Особенно сильную анизотропию твердости имеют минералы низших сингоний (листоватые, волокнистые, призматические). Для минералов кубической сингонии анизотропия твердости обычно невелика. Различают два вида анизотропии твердости в минералах:

I рода (полярная) — различная твердость по разным кристаллографическим направлениям в пределах одной плоскости (грани, сечения) кристалла;

II рода (ретикулярная) — различная твердость разных граней или семейств граней, а также срезов, параллельных или перпендикулярных кристаллографическим осям в кристалле, зависящая главным образом от их атомной (ретикулярной) плотности.

Анизотропия I рода фиксируется в виде искаженной формы отпечатка (фигуры давления), приближающейся к ромбовидной, и характеризуется разными числовыми значениями микротвердости, вычисленными по двум диагоналям одного отпечатка. На искажение восстановленного отпечатка влияют как структурные, так и механические факторы, например: а) различная упругость и прочность минерала, обусловленная различными силами связи, действующими в разных кристаллографических направлениях в пределах одной плоскости; б) различная ориентировка элементов скольжения и систем дислокаций в кристалле, возникающих при вдавливании индентора.

Кроме того, искажению отпечатка (отклонению от квадратной формы) способствуют так называемые «навалы» и прогибы в минеральной поверхности, образующиеся при вдавливании в минерал алмазной пирамиды (Вальковская, Боярская, 1967).

Анизотропия II рода фиксируется различными числовыми значениями твердости, полученными на разных гранях или срезах в одном и том же минерале.

Для количественной оценки степени анизотропии твердости в минералах в 1961 г. впервые предложен, а затем в 1963 г. уточнен (Лебедева, 1961, 1963) коэффициент анизотропии твердости минерала, вычисляемый по формуле

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

где  $H_{\max}$  — максимальное, а  $H_{\min}$  — минимальное значения твердости, полученные в одном минерале; соответственно:  $K_{H_1}$  — для выражения степени анизотропии I рода,  $K_{H_2}$  — для анизотропии II рода.

При таком расчете коэффициент анизотропии — величина относительная и всегда больше единицы. Чем сильнее выражена анизотропия твердости у минерала, тем больше коэффициент. При расчете  $K_H$  по предлагаемой формуле исключается влияние ошибки измерения; влияют такие факторы, как микронеоднородность минерала, дефекты в струк-

туре, неодинаковые напряжения по всему кристаллу и т. д., которые могут этот коэффициент несколько исказить. Тем не менее условно можно принять, что  $K_H$  является константой минерала, т. е. величиной относительно постоянной для каждого минерала, поэтому он может быть использован в качестве дополнительной характеристики при диагностике близких по твердости минералов.

### Аппаратура и основные принципы методики измерения

Аппаратуру для определения микротвердости можно подразделить на две категории: специальные приспособления к серийным микроскопам и самостоятельные приборы — микротвердомеры.

Из современных приспособлений можно отметить пенетрометр, серийно выпускаемый вместе с универсальным микроскопом MeF австрийской фирмой «Reichert», а также насадку к рудному микроскопу G. K. N., изготовленную фирмой «Ассошейтед Лимитед» (Англия).

Микротвердомеры серийно изготавливаются в ряде стран. Здесь перечисляются лишь те приборы, на которых выполнены систематические определения микротвердости минералов: ПМТ-3 фирмы ЛОМО (СССР); «Диритест» фирмы «Карл Цейс Йена» (ГДР); «Durimet-Pol» фирмы «Лейтца» (ФРГ); «Тюкон-тестер» фирмы Вильсон» (США).

Основные этапы определения микротвердости сводятся к следующему.

*Регулировка прибора по контрольному эталону.* После установки микротвердометра согласно приложенной к нему заводской инструкции необходимо проверить прибор по контрольному эталону. В качестве эталона можно взять кристаллы NaCl (Курицына, 1950 г.). Контрольные измерения рекомендуется проводить на плоскостях спайности (свежем сколе) только прозрачных и бесцветных кристаллов NaCl. Измерять необходимо обе диагонали каждого отпечатка и делать не менее пяти отпечатков. Среднее арифметическое из них ( $H_{cp}$ ) должно соответствовать  $\sim 19,0-22,0$  кгс/мм<sup>2</sup>, нагрузка 5—7 гс (Лебедева, 1963).

*Установка исследуемого образца на столике прибора.* Образец минерала (полированный шлиф, кристалл или брикет) должен быть смонтирован на пластинке с пластилином или иным материале так, чтобы исследуемая поверхность была строго горизонтальна: это достигается с помощью ручного или другого прессов. Минерал на столике микроскопического устройства необходимо ориентировать, если это возможно, относительно нитей окуляр-микрометра и кристаллографических направлений в кристалле, а также параллельно, перпендикулярно или под углом 45° к направлению удлинения минерала, направления спайности и т. д. (в специальных исследованиях допускается ориентировка под любым фиксированным углом).

*Выбор нагрузки и вдавливание алмазной пирамиды для получения отпечатка.* Нагрузку выбирают в соответствии с предполагаемой твердостью измеряемого минерала таким образом, чтобы размер диагонали отпечатка находился, как правило, в пределах  $\sim 15-22$  мкм (в зависимости от степени хрупкости минерала и размеров его выделения). Такие размеры должны считаться стандартными (допускаются лишь небольшие отступления в обе стороны). Однако в отдельных случаях,

особенно при исследовании микровключений, размер диагонали отпечатков может быть и значительно меньшим, до 7—8 мкм; тогда вычисленная по ним твердость считается ориентировочной.

Микротвердомер ПМТ-3 (СССР) снабжен следующим набором грузов (гирь): 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 г. При исследовании твердости минералов можно использовать не только перечисленные выше грузы, но и дополнительно скомбинировать другие сочетания, накладывая на индентор по две-три гири: 3, 7, 15, 30, 40, 70, 150 г. Малые нагрузки необходимо применять для исследования твердости только мягких минералов, а также при диагностике микровключений размером ~0,01—0,03 мм (табл. 2).

Таблица 2  
Выбор оптимальной нагрузки в зависимости от группы твердости

| Группа твердости | Твердость по Моосу | Микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup> | Рекомендуемые оптимальные нагрузки, гс |
|------------------|--------------------|-------------------------------------|--|
| I                | $1-1\frac{1}{2}$   | 3—30*                               | 3—7**                                  |
| II               | $1\frac{1}{2}-2$   | 30—60                               | 7—10                                   |
| III              | 2—3                | 60—120                              | 10—20                                  |
| IV               | 3—4                | 120—200                             | 20—30                                  |
| V                | $4-4\frac{1}{2}$   | 200—350                             | 30—50                                  |
| VI               | $4\frac{1}{2}-5$   | 350—550                             | 50—100                                 |
| VII              | 5—6                | 550—800                             | 100—150                                |
| VIII             | 6—7                | 800—1100                            | 100—200                                |
| IX               | >7                 | >1100                               | 150—200                                |

\* Все интервалы даются приблизительно.

\*\* Для очень хрупких минералов применяются нижние пределы нагрузок.

Процесс вдавливания производится медленно, равномерно, без вибраций в течение ~15—20 сек. При этом алмазная пирамида (в приборе ПМТ-3) опускается на образец и произвольно вдавливается под действием наложенных грузов. После некоторой выдержки — время статического давления нагруженной алмазной пирамиды — индентор возвращают в прежнее положение. Время статического давления ~10—15 сек; для очень хрупких минералов некоторые исследователи считают достаточным 1—3 сек (Рыбалко, 1965).

*Измерение отпечатка и вычисление микротвердости.* После вдавливания нагрузку снимают, предметный столик с образцом приводят в прежнее положение и наблюдают отпечаток, представляющий в идеальном случае квадрат с двумя диагоналями (отпечатки ребер пирамиды). Диагонали измеряют при помощи окуляра-микрометра: если отпечаток получился квадратный, измеряют одну горизонтальную диагональ, если же он искаженный, «ромбовидный», измеряют обе диагонали. Для уменьшения субъективной ошибки измерения один и тот же отпечаток рекомендуется измерить три раза и взять среднее значение. Необходимо иметь в виду, что крест нитей окуляра-микрометра должен слегка касаться с внешней стороны углов отпечатка.

Существует также способ измерения диагоналей отпечатка путем касания нитью окуляра-микрометра попеременно противоположных углов одной диагонали отпечатка. В этом случае отпечаток расположен так, что его диагонали ориентированы под углом  $45^\circ$  к горизонтальной оси столика прибора.

Величину твердости минерала находят по формуле

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

где  $P$  — нагрузка, гс, а  $d$  — диагональ отпечатка в микронах (Хрущов, 1947; Mott, 1956). Для удобства и ускорения вычислений рассчитаны таблицы для различных нагрузок, позволяющие быстро находить искомое значение  $H$  по величине  $P$  и длине диагонали  $d$  (Лебедева, 1963).

Рядом исследователей рассчитаны номограммы (Пудовкина, 1957; Г. А. Ильинский, 1958 г.), которыми можно пользоваться при массовых измерениях, когда приходится оперировать сравнительно менее точными числами твердости.

### Наблюдение характера отпечатков

Методика исследования микротвердости минералов предусматривает изучение и измерение восстановленного отпечатка, т. е. после снятия нагрузки. Во время процесса статического вдавливания под действием нагруженной алмазной пирамиды в минерале происходит сложная деформация в результате взаимодействия ряда механических факторов и главным образом пластической и упругой деформацией. В результате действия упругих сил происходит восстановление краев отпечатка. Пластическая деформация выражается в сдвигении вещества вокруг отпечатка. При этом большое значение имеют дислокационные явления.

Теоретически форма отпечатка от вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием должна представлять квадрат, если вдавливание происходило в веществе, обладающем совершенной пластичностью. Однако большинство минералов сочетают комплекс пластично-упругих и иных механических характеристик, поэтому отпечатки получаются не квадратные, а квадратоподобные, часто ромбовидные с различными искажениями. Ромбовидные отпечатки получают на плоскостях и срезах таких минералов, у которых наблюдается резкая анизотропия упругих сил во взаимно перпендикулярных направлениях — так называемая анизотропия твердости I рода (Лебедева, 1963).

Обычно отпечатки состоят из различных комбинаций некоторых простых форм (Young, Millman, 1964): а) прямое ребро, б) вогнутое ребро, в) выпуклое ребро, г) сигмоидное ребро. Таким образом, в зависимости от ориентировки алмазной пирамиды относительно кристаллографических осей в какой-либо плоскости минерала могут возникать прямосторонние, выпуклые, вогнутые и сигмоидальные отпечатки; кроме того, могут образовываться и комбинированные отпечатки, когда стороны квадрата сочетаются попарно: вогнуто-выпуклые, прямосторонне-сигмоидальные и т. д.

Под действием вдавливания алмазной пирамиды кроме пластично-упругих свойств в подавляющем большинстве минералов наблюдается

проявление хрупких свойств, т.е. нарушение сплошности в образце. Местное разрушение минерала происходит путем растрескивания, раздробления и сколов как непосредственно в месте отпечатка, так и вокруг него. Интенсивность трещинообразования усиливается при увеличении нагрузки.

С. Д. Дмитриев (1949) разработал пятибалльную шкалу хрупкости минералов (нагрузку, при которой появляется первая видимая под микроскопом трещина, он назвал числом хрупкости): I — весьма хрупкие минералы (менее 20 гс), II — хрупкие (20—50 гс), III — слабoplastичные (50—100 гс), IV — пластичные (100—200 гс) и V — весьма пластичные (более 200 гс). Установлено, что хрупкость минералов — свойство анизотропное: например, у флюорита на грани октаэдра трещины появляются при нагрузке 20 гс, а на грани куба — при 100 гс и более (Ильинский, 1963). Разные типы трещин и разрушений, образующиеся вокруг отпечатка, были разделены исследователями на различные категории (Ильинский, 1963; Young, Millman, 1964).

Рациональной представляется следующая группировка.

Трещины разрыва, обычно радиальные, начинаются либо от углов отпечатка, либо от сторон; прямые либо изогнутые трещины разрыва могут соединиться и образовать простые, т.е. одинарные, раковистые трещины, обрамляющие отпечаток.

Трещины спайности: а) различные системы прямых параллельных трещин, идущих вдоль следов спайности; б) сколовые трещины, иногда превращающиеся в раковистые, вплоть до концентрических — образуются тогда, когда вдавливание происходит перпендикулярно плоскости совершенной спайности в минерале.

Трещины отдельности — прямые или слегка изогнутые, напоминающие трещины спайности, но менее четкие. В то время как следы спайности часто бывают видны до вдавливания, следы плоскостей отдельности могут, очевидно, быть замечены в полированных шлифах только после вдавливания.

Г. А. Ильинский (1963) аналогично шкале хрупкости Дмитриева предложил шкалу степени совершенства спайности в минералах (табл. 3).

Таблица 3

Шкала степени совершенства спайности

| Баллы шкалы | Степень совершенства | Минимальная нагрузка, вызывающая трещины, гс | Типичные минералы |
|-------------|----------------------|--|-------------------|
| 1           | Весьма совершенная   | <20  | Биотит, гипс      |
| 2           | Совершенная          | 20—50  | Вольфрамит, рутил |
| 3           | Средняя или ясная    | 50—100                                       | Топаз             |
| 4           | Несовершенная        | 100—200                                      | Везувиан          |
| 5           | Весьма несовершенная | >200   | Кварц             |

Пятибалльная шкала степени совершенства спайности минералов так же, как и шкала хрупкости, позволяет более объективно оценивать эти свойства, чем это делается визуально. Вполне естественно, что сте-

пень совершенства спайности, определяемая с помощью микротвердометра, не всегда совпадает с данными, приводимыми в справочной минералогической литературе. Однако и в данной методике имеются свои недостатки: трещины разрыва, а более всего — отдельности, образующиеся после вдавливания пирамиды, могут сильно маскировать трещины спайности.

Таким образом, степень деформации вещества, а также различные системы трещин и дислокаций, образующиеся вокруг отпечатка, часто весьма характерны и специфичны для каждого минерала или группы в целом.

Систематические исследования показывают, что для ряда минералов характер отпечатка наряду с числовым значением твердости может являться дополнительным диагностическим признаком (Päpnamaa, 1963; Лебедева, 1963; Young, Millman, 1964; Мозгова, 1967). Кроме того, опыт многих исследователей показывает, что по форме и характеру отпечатка можно распознавать либо символ граней, либо сечение, определенным образом ориентированное относительно осей в одном минерале (Григорович, 1959). Так, в результате детальных исследований монокристаллов висмутита установлен большой «разброс» значений твердости этого минерала только за счет анизотропии II рода:  $73-188$  кгс/мм<sup>2</sup>,  $K_{H_2} = 1,70$ . По характеру отпечатков на различных кристаллографических срезах удается индентировать срезы этого минерала в аншлифах (Лебедева, Минцер, 1968).

Тщательные исследования и наблюдения над монокристаллами позволяют более уверенно интерпретировать результаты измерений микротвердости, полученные в аншлифах, даже в случайных сечениях минералов и облегчает их диагностику.

Таким образом, при изучении твердости минералов методом микровдавливанию необходимо настойчиво рекомендовать исследователям производить наблюдения над характером отпечатков с их фотографированием либо зарисовыванием.

#### Обработка результатов измерения и стандартное число замеров на одном минерале

Твердость по микровдавливанию каждого минерала, измеренная весьма чувствительным методом микротвердости, в большинстве случаев не может быть выражена одним числом. Она должна быть охарактеризована определенным комплексом чисел, а именно: пределами колебаний (дисперсией)  $H$  (кгс/мм<sup>2</sup>), средним арифметическим или статистическим числами  $H_{cp}$ ; для анизотропных минералов —  $H_{cp_1}$  и  $H_{cp_2}$  и коэффициентами анизотропии твердости ( $K_H$ , может быть также  $K_{H_1}$ ,  $K_{H_2}$ ). Все эти характеристики легко получить и вычислить, если исследование микротвердости ведется на хорошо ограниченном монокристалле. Но чаще минералог-рудник имеет дело с поликристаллическим агрегатом минералов в аншлифе. Получить истинные коэффициенты анизотропии твердости в таких случаях невозможно — получают лишь числа, статистически приближающиеся к истинным коэффициентам  $K_H$ , либо частные коэффициенты, вычисленные на основании измерения твердости в так называемых «косых» или случайных сечениях мине-

рала. В таких случаях коэффициенты анизотропии рекомендуется обозначать  $K'_{H_1}$ ,  $K'_{H_2}$ .

Для получения значения твердости, количественно характеризующего минерал в целом, необходимо выполнить оптимальное число замеров для каждого минерала и математически правильно обработать результаты измерений. В зависимости от степени анизотропии ( $K_H$ ) исследуемого минерала, а также характера подготовки образца для исследования (аншлифы, кристаллы, полированные брикеты из дробленых фракций), можно рекомендовать оптимальное количество замеров для различных групп минералов, а также соответствующий способ математической обработки результатов.

Способ обработки результатов путем нахождения среднего арифметического ( $H_{cp}$ ) из нескольких замеров микротвердости наиболее простой и распространенный. Однако его можно эффективно и достоверно использовать при следующих обстоятельствах.

1. При исследовании минералов любой степени анизотропности, представленных монокристаллами или их ориентированными срезами. В этих случаях замеры микротвердости группируют по граням либо по направлениям (относительно спайности, удлинения и др.), а по ним вычисляют несколько средних арифметических ( $H_{cp_1}$ ,  $H_{cp_2}$  и т.д.) и коэффициенты анизотропии твердости  $K_H = \frac{H_{cp \cdot \text{макс}}}{H_{cp \cdot \text{мин}}}$ . На каждой грани или срезе достаточно произвести 5—9\* замеров (в зависимости от степени микронеоднородности данной грани или среза).

2. При исследовании изотропных или слабо анизотропных по твердости минералов ( $\sim K_H < 1,12$ ), представленных неориентированными поликристаллическими агрегатами в аншлифах, брикетах и др., обработку результатов можно вести также путем вычисления среднего арифметического ( $H_{cp}$ ), а количество замеров должно быть не менее 7—11\*, которые произведены по возможности на различных сечениях минерала.

3. При исследовании минералов со средневыраженной анизотропией твердости ( $K_H$  в пределах 1,12—1,20) вычислять среднее арифметическое можно в том случае, если исследование производится обязательно на различных сечениях одного и того же минерала. Наилучшим для такой группы минералов является приготовление искусственных полированных брикетов из мелких дробленых зерен минерала (размер зерен может быть от 0,5—1 мм до сотых долей миллиметра). Тогда количество замеров может быть примерно 13—15. Можно вычислять и среднее статистическое. В этом случае необходимо сделать не менее 25—40 замеров.

4. Если минерал существенно анизотропен по твердости ( $K_H > 1,20$ ) и представлен поликристаллическим агрегатом, тогда необходимо применять методику массовых замеров микротвердости (не менее 30—40), а при обработке результатов — методы математической статистики, в частности широко используемый метод нахождения наиболее вероятных значений твердости путем построения вариационных кривых (Лебедева, 1963), или спрямленных графиков. Для исследования твердости этой

\* Количество замеров выводится эмпирически в соответствии с дисперсией получаемых значений  $H$ .

группы минералов очень эффективно готовить специальные препараты — искусственные полированные брикеты из мелкой фракции (Лебедева, Разенкова, 1961). Коэффициенты анизотропии приближенно можно находить путем отношения средних статистических.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бочарова Г. И. О цинковых обманках Эльбрусского рудного поля (Кавказ). — «Вестн. МГУ», 1960, № 5, с. 45—51.
- Бови С. Х. У., Тэйлор К. Определитель рудных минералов. — «Тр. Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии, Избр. докл. иностр. ученых», 1959, т. 8, М., с. 315.
- Боярская Ю. С. Исследование микротвердости окрашенных монокристаллов KCl и NaCl. — «Уч. зап. Кишинев. гос. ун-та», 1959, т. 39, с. 67—76.
- Боярская Ю. С., Вальковская М. И. Изучение анизотропии твердости кристаллов методами вдавливания и царапания. — «Завод. лаб.», 1967, № 3, с. 355—358.
- Вальковская М. И., Боярская Ю. С. Изучение механических свойств ряда сильно анизотропных кристаллов. — В кн.: Оптические и механические свойства полупроводников и диэлектриков. Кишинев, 1967, с. 54—70.
- Григорович В. К. Анизотропия твердости и форма отпечатков. — «Завод. лаб.», 1959, № 5, с. 601.
- Дмитриев С. Д. Применение прибора микротвердости ПМТ-2 конструкции М. М. Хруцова и Е. С. Берковича для диагностики минералов. — «Зап. Всесоюз. мин. о-ва», 1949, сер. 2, ч. 78, вып. 4, с. 182—190.
- Дмитриев С. Д. Анизотропия микротвердости и микротвердость галоидных соединений одновалентных щелочных металлов. — В кн.: Микротвердость. М., 1951, с. 193—196.
- Икорникова Н. Ю. Микротвердость реального кристалла на примере брукита. — «Докл. АН СССР», 1948, новая сер., т. 59, № 7, с. 1329—1333.
- Икорникова Н. Ю. Методика исследования микротвердости корунда. — В кн.: Микротвердость. М., Изд. АН СССР, 1951, с. 100—118.
- Ильинский Г. А. Определение микротвердости минералов методом вдавливания. Л., изд. ЛГУ, 1963, 82 с.
- Лебедева С. И. О микротвердости минералов. — «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1961, вып. 6, с. 89—110.
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., Изд-во АН СССР, 1963, 123 с.
- Лебедева С. И. Применение метода микровдавливания (микротвердости) для исследования зависимости твердости от химического состава минералов. — В кн.: Минеральные микровключения. М., 1965, с. 21—25.
- Лебедева С. И. Применение метода микротвердости для количественной характеристики типоморфных особенностей рудных минералов. — В кн.: Новые методы исследования минералов и горных пород (тезисы докладов). М., 1967, с. 27—30.
- Лебедева С. И. Исследование микротвердости минералов в зависимости от состава как метод физико-химического анализа природных минеральных систем. — В кн.: Редкометалльные месторождения, их генезис и методы исследования. М., 1972, с. 247—252.
- Лебедева С. И., Минцер Э. Ф. Исследования анизотропии твердости висмута. — В кн.: Физические свойства редкометалльных минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 75—79.
- Лебедева С. И., Разенкова Н. И. Исследование микротвердости минералов изоморфного ряда колумбит — танталит. — «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1961, вып. 7, с. 113—117.
- Максимюк И. Е., Лебедева С. И. Изучение физических свойств касситеритов с целью выяснения форм нахождения в них тантала и ниобия. — В кн.: Физические свойства редкометалльных минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 31—43.
- Мозгова Н. Н. Об отражательной способности, микротвердости и термо-э. д. с. галенита в связи с изоморфными примесями серебра и висмута. — «Геология рудных месторождений», 1966, т. VIII, № 3, с. 63—71.

Мозгова Н. Н. Возможность использования микроструктуры отпечатка при исследовании микротвердости минералов.— В кн.: Новые методы исследования минералов и горных пород (тезисы докладов). М., 1967, с. 30—31.

Поваренных А. С. Твердость минералов и определяющие ее факторы.— Зап. Узб. отд. Всесоюз. минерал. о-ва, вып. XII, 1958, т. XII, с. 67—79.

Поваренных А. С. Твердость минералов. Киев, Изд. АН УССР, 1963, 304 с.  
Пудовкина И. А. Точные методы определения отражательной способности и твердости рудных минералов. В кн.: Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957, с. 139—183.

Рыбалко С. И. Выбор оптимальных условий измерения и изучения анизотропии микротвердости минералов.— Автореф. канд. дис. Днепропетровск, ДГИ им. Артема, 1965, 29 с.

Теременская А. Г., Бочарова Г. И., Волченкова В. А. Анизотропия некоторых физических свойств кальцита.— «Вестн. МГУ, сер. геол.», 1962, № 5, с. 44—49.

Хрущов М. М., Беркович Е. С. Микротвердость, определяемая методом вдавливания. М., Изд-во АН СССР, 1943, 85 с.

Хрущов М. М. О введении новой шкалы твердости.— «Завод. лаб.», 1949, № 2, с. 155—160.

Цинзерлинг Е. В. Исследование твердости и хрупкости кварца зонарного и секториального строения методом вдавливания.— «Докл. АН СССР», 1948, № 6, с. 1038.

Bowie S. H. U., Taylor K. A. A system of ore minerals identification.— Mining Mag., 1958, v. XCIX, N 5 и 6, с. 265—277, 337—345.

Henriques A. The Vickers hardness of zinc blende.— Ark. miner. och. geol., 1957, Bd. 2, N 9, p. 58—64.

Mott B. W. Micro-indentation hardness testing. London, 1956. 272 p.

Nakhla F. M. The hardness of metallic minerals in Polished Sections.— Econ. Geol., 1956, v. 51, N 8, с. 811—817.

Pärnadaa E. On the use of Vickers microhardness (VH) in microscopical identification of ore minerals, especially sulphides of Pb, Bi, Sb.—Lunds, Univ., Arsskr. N. F. Avd., v. 2, 59, N 3, 1963, s. 5—44.

Uytenbogaardt W., Burke E. A. I. Tables for microscopic identification of ore minerals. Amsterdam, 1971, 430 p.

Winchell H. The Knoop microhardness tester as a mineralogical tool.— Amer. Miner., 1945, v. 50, p. 583—595.

Young B. B., Millman A. P. Microhardness and deformation characteristics of ore minerals.— Bull. Inst. Mining Metall., 1964, N 73, p. 437—466.

## МАГНИТНАЯ ПОРОШКОГРАФИЯ

Магнитные свойства минералов в полированных шлифах обычно определяют с помощью намагниченной иглы или магнитной стрелки (Юшко, 1966). Изучение магнитных свойств микровключений осуществляется методом магнитной порошкографии (Еремин, 1953; Мелешина, 1960; Грабовский и др., 1960). Сущность этого метода заключается в том, что на поверхность минерала наносится электромагнитный порошок, применяемый при звукозаписи. Порошок предварительно тщательно растирается и взбивается с мыльным раствором или 5%-ным раствором КОН до коллоидной эмульсии в виде пены. На полированную поверхность минерала наносится свежевзбитая эмульсия и через 1—2 мин осторожно (по каплям) смывается дистиллированной водой с помощью пипетки. Минерал, обладающий магнитными свойствами, покрывается пленкой магнитного порошка.

Для изучения микровключений применяется специальная магнитная эмульсия, способ изготовления которой предложен Т. С. Дубенко и И. Д. Ветошкиным и заключается в следующем.

1 г гидратного хлористого железа ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) смешивается с 2,7 г гидратного хлорного железа ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и растворяется в

150 см<sup>3</sup> горячей (с температурой около 70°) дистиллированной воды. Добавляется раствор NaOH (2,5 г в 25 г воды). Образующийся осадок отфильтровывают через двойной слой фильтровальной бумаги и тщательно промывают холодной дистиллированной водой в течение 2 ч.

Полученный таким образом порошок (магнетита) помещают в 400 см<sup>3</sup> подогретого до 50° мыльного 0,5%-ного раствора, затем эту смесь обрабатывают ультразвуком в течение 2,0 мин. Мощность ультразвукового вибратора, рекомендованного Т. С. Дубенко, составляет 22 кГц. Суспензию облучают ультразвуком, после приготовления эмульсионный раствор должен отстояться в течение суток. Средний размер магнитных частиц полученной суспензии составляет сотые доли микрона. При изучении магнитных свойств микровключений капля магнитной эмульсии накладывается на полированный шлиф и раздавливается тонким покровным стеклом. В этом случае процесс осаждения магнитного порошка на минерал, обладающий магнитными свойствами, наблюдается непосредственно под микроскопом. Часто при этом выявляется доменная структура минералов (Грабовский, Жерденко, 1964, 1965; Дубенко, Ветошкин, 1965). В зависимости от степени магнитности минералов пленка может быть различной интенсивности. Например, сильно магнитные минералы (как магнетит) покрываются сплошной толстой пленкой, в то время как полированная поверхность слабо магнитных минералов покрывается единичными зернами магнитного порошка. Во избежание ошибок при определении магнитных свойств микровключений операцию желательно проводить на нескольких зернах исследуемого минерала, так как если последний подстилается сильно магнитным минералом, на его поверхности может также образоваться тонкая пленка магнитного порошка. Полированная поверхность минералов при испытании этим методом не портится; после промывки образца в сильной струе и протирки на сукне или замше полировка полностью восстанавливается.

Метод магнитной порошковой графики успешно может быть применен для отличия схожих в отраженном свете минералов, таких, как троилит и пирротин, моноклинный пирротин — гексагональный пирротин, магнетит — маггемит и др. (Генкин и др., 1965; Грабовский и др., 1960; Зленко, 1965). Однако с помощью магнитной порошковой графики можно судить лишь о степени магнитного свойства минералов, выделяя среди них сильно магнитные, магнитные, слабомагнитные и немагнитные.

Количественно может быть охарактеризована только магнитная восприимчивость минералов. Магнитная восприимчивость твердых тел и в том числе рудных минералов является основной физической константой, характеризующей их поведение в магнитном поле. В настоящее время магнитная восприимчивость минералов не может быть использована в качестве константы при диагностике минералов и особенно для определения микровключений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Генкин А. Д., Логинов В. П., Органова Н. И. О взаимоотношениях и особенностях размещения гексагональных и моноклинных пирротинов в рудах. — «Геология рудных месторождений». 1965, т. VII, № 3, с. 3—24.

Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Доменная структура пирротинов различного генезиса. — «Геология рудных месторождений», 1964, № 3, с. 90—97.

Грабовский М. А., Жерденко О. Н. Исследование рудных минералов методом магнитной порошкографии.— «Геология рудных месторождений», 1963, № 1, т. 5, с. 99—104.

Грабовский М. А., Жерденко О. Н., Сковородин Ю. П. О возможности применения магнитного порошка при изучении вещества железных руд.— «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», 1960, № 7, с. 970—973.

Дубенко Г. С., Ветошкин И. Д. Техника изготовления магнитной суспензии.— «Геология рудных месторождений», 1965, № 6, с. 110—112.

Зленко Б. Ф. Детальное исследование моносulfидов железа ряда троилит-пирротин на примере руд Вавилонского месторождения Алтая.— В кн.: Экспериментальные и методические исследования рудных минералов. М., 1965, с. 142—161.

Мелешина В. А., Желудев И. С., Рез И. С. Применение метода заряженных порошков для изучения доменной структуры и морфологических особенностей роста кристаллов и триглицинсульфата.— «Кристаллография», 1960, т. 5, вып. 2, с. 322—323.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., «Недра», 1971. 320 с.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Электрические свойства минералов (удельная электропроводность или удельное сопротивление и термоэлектродвижущая сила — ТЭДС) являются типоморфными характеристиками рудных минералов, особенно минералов, обладающих полупроводниковыми свойствами. К ним относятся сульфиды, сульфосоли, арсениды, некоторые окислы (около 66 минеральных вида по Telkes, 1950 г.). Электропроводность этих минералов составляет  $10^4$ — $10^{-9}$  Ом·см. Как правило, они являются примесными полупроводниками, содержащими более  $10^{-6}$  массовых процентов изоморфных примесей. Электрические свойства их определяются химической природой примесных ионов, их концентрацией и способом закрепления в решетке кристалла (примесь внедрения или замещения).

В случае примеси внедрения электроположительные атомы (примеси) становятся донорами, а электроотрицательные — акцепторами. Установлено (Розова, 1970), что для каждого минерала характерен определенный комплекс электроактивных (донорных или акцепторных) примесей: в пирите —  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  (доноры),  $\text{As}^{3-}$  (акцептор); в галените —  $\text{Bi}^{3+}$  (донор),  $\text{Ag}^{1+}$  (акцептор); в халькопирите —  $\text{Zn}^{2+}$ , избыток  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  (доноры),  $\text{Ag}^{1+}$  и  $\text{As}^{3-}$  (акцепторы) и т. д. Определение донора или акцептора зависит от количества валентных электронов примесного элемента: если число валентных электронов меньше, чем у замещаемого атома, то он становится акцептором, если больше — донором. При отклонении от стехиометрии избыток одного из основных компонентов тоже является донором (избыток катиона) или акцептором (избыток аниона).

Существует два способа измерения коэффициента ТЭДС полупроводников (Щека, Калмыкова, 1966). Первый, приближенный способ измерения заключается в измерении ТЭДС относительно электродов, между которыми находится образец. Градиент температуры создается с помощью нагревания одного из электродов и температура контактов измеряется термомпарами, припаянными к электродам на расстоянии нескольких миллиметров от их концов. Вторым способом определяют ТЭДС относительно спаев термопар, измеряющих температуру в точках поверхности образца. Градиент температур создается нагревательными устройствами, которые располагаются вблизи одного конца образца или имеют контакт с ним (Болтакс, 1950 ; Розова, 1970). При

минералогических исследованиях пользуются первым способом, более простым и быстрым.

Существуют различные установки для измерения коэффициента ТЭДС (Голосов, 1939; Горбатов, 1959).

П. С. Бернштейном и Е. В. Розовой (ЦНИГРИ) сконструированы две установки для измерения ТЭДС в отдельных зернах минералов и в полированных шлифах. Для измерения коэффициента ТЭДС в полированных шлифах под микроскопом (Розова, 1970) используются массивные медные электроды (рис. 16), в которые на расстоянии 1,5 мм (в горячем) и 5 мм (в холодном) от контакта с зерном приварены спай хромель-алюмелевых термопар. Горячий электрод вместе с миниатюрной печкой прикреплён к длиннофокусному объективу на микроскопе МИН-9 и при помощи пружины прижимается к поверхности образца таким образом, что при наведении на фокус его конец располагается в центре поля зрения окуляра. Холодный электрод прижимается к поверхности шлифа вручную. Разность температуры горячего и холодного электродов измеряется двумя навстречу включенными хромель-алюмелевыми термопарами. Термоэлектродвижущие силы термопар и пар медь — минерал измеряются чувствительным микровольтметром постоянного тока НЗ73-1. При расчете разности температур  $\Delta T$  учитывается поправка Каштановой на удаленность спаев термопар от контактов с изучаемым образцом. Минимальный размер зерен рудных минералов в полированных шлифах 0,6 мм, если же изучаемый рудный минерал расположен среди минералов, проводящих электричество, то минимальный размер зерен составляет 0,3 мм. Чувствительность 10 мкВ/град.

На величину коэффициента ТЭДС не влияют трещины, прожилки и включения непроводящих минералов, анизотропия и т. д. Очень незначительные изменения в величине коэффициента ТЭДС вносит длительность контакта минералов с горячим электродом и особенно существенные изменения может внести неполированный слой.

ТЭДС рудных минералов — полупроводников, главным образом пирита и галенита, исследовали целый ряд авторов: С. И. Голосов (1939), Г. А. Горбатов (1959—1969), В. Т. Прохоров (1965), Е. В. Францеско (1963), С. А. Щека, Т. Ф. Калмыкова (1966), П. Ф. Кравченко, А. З. Тимченко, А. А. Годовиков (1966), Н. Н. Мозгова (1966) и др.

Удельное электрическое сопротивление определялось четырехэлектродным методом на переменном токе низкой частоты. В качестве источника тока использовали звуковой генератор ГЗ-18, сила тока в питающей цепи измерялась миллиамперметром Ц-435, напряжение

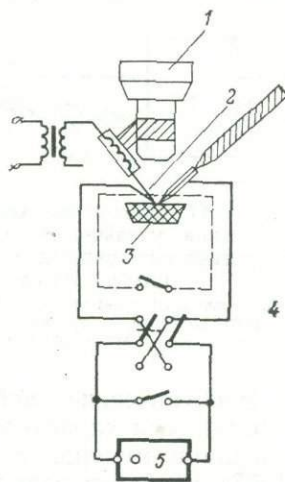


Рис. 16. Блок-схема установки для измерения коэффициента ТЭДС минералов в полированных шлифах (Розова, 1970).

1 — объектив микроскопа;  
2 — датчик; 3 — образец; 4 — переключатель полярности;  
5 — милливольтметр постоянного тока НЗ73-1

между приемными электродами — селективным микровольтметром В6-2 (рис. 17).

Электродами служили четыре стальные иглы, прижимающиеся к поверхности шлифа с помощью пружин. Минимальный размер зерен 0,5 мм, пределы измерений от 1,10—5 до  $1 \cdot 10^3$  Ом·см, относительная ошибка 15—20%. На величину удельного сопротивления влияют (Бернштейн, Розова, 1970) неоднородность химического состава и структуры минерала, анизотропия, зональное строение, неравномерное распре-

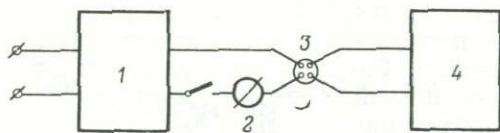


Рис. 17. Блок-схема установки для измерения удельного электрического сопротивления рудных минералов (Бернштейн, Розова, 1970).

1 — звуковой генератор ГЗ-18; 2 — миллиамперметр Ц-435; 3 — датчик; 4 — селективный микровольтметр В6-2

ление примесей, наличие трещин, прожилков и включений посторонних минералов; в результате этих причин разброс измеренных величин удельного сопротивления может достигнуть в пределах одного зерна нескольких порядков. Для устранения грубых ошибок при определении удельного сопротивления минералов в ЦНИГРИ разработана методика измерений (Бернштейн, Розова, 1970).

Электрические свойства минералов являются чувствительными типоморфными характеристиками. Изучая эти свойства, можно выделять генерации минералов на отдельных месторождениях. Г. А. Горбатов (1957) отличает галениты среднетемпературных гидротермальных месторождений от галенитов низкотемпературных или осадочных месторождений по величине ТЭДС.

По коэффициентам ТЭДС и удельного электрического сопротивления можно судить о распределении примесей в отдельных зернах минералов или их агрегатов (Горбатов, 1961; Войткевич, и др., 1965).

Исследования термоэлектрических свойств минералов — полупроводников и установление их зависимости от химического состава (характера примесей), условий образования, структурных особенностей позволяют решать ряд генетических задач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бернштейн П. С., Розова Е. В. Установка и методика измерения удельного электрического сопротивления рудных минералов в полированных шлифах под микроскопом.— «Труды ЦНИГРИ», 1970, вып. 93, с. 57—69.

Болтакс Б. И. О зависимости коэффициента термоЭДС в полупроводниках от разности температур спаев.— «Журнал технической физики», 1950, т. XX, вып. 9.

Войткевич Г. В., Прохоров В. Г., Хайретдинов И. А. К вопросу о природе термоэлектрического эффекта в минералах.— «Докл. АН СССР», 1965, т. 162, № 1, с. 169—172.

Голосов С. И. Возможности применения термоэлектрического эффекта для диагностики рудных минералов.— «Советская геология», 1939, т. 9, № 10—11, с. 140—142.

Горбатов Г. А. Термоэлектрические свойства пирита и галенита и возможная их связь с температурой минералообразования.— В кн.: Методы исследования минерального сырья. М., 1957, с. 106—122.

Горбатов Г. А. Прибор для измерения термоэлектродвижущей силы электропроводящих минералов.— «Бюлл. науч.-техн. информ. МГ и ОН СССР», 1959, № 2(19), с. 113—116.

Горбатов Г. А. К вопросу об изменчивости термоэлектродвижущих сил природных минералов — полупроводников.— «Минеральное сырье», 1961, вып. 3, с. 116—122.

Горбатов Г. А., Рожкова Е. В. Некоторые современные физические методы исследования в применении и изучению вещественного состава минерального сырья.— «Минеральное сырье», 1962, вып. 6, с. 29—45.

Горбатов Г. А., Шибанов А. С. Электрические характеристики минералов, их измерение и использование при минералогических исследованиях.— В кн.: Современные методы минералогического исследования. Часть II. М., 1969, с. 44—76.

Кравченко А. Ф., Тимченко А. З., Годовиков А. А. Электрофизические свойства галенита разных месторождений.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 167, с. 172—175.

Мозгова Н. Н. Об исследовании отражательной способности, микротвердости и термоЭДС галенитов в связи с изоморфными примесями серебра и висмута.— «Геология рудных месторождений», 1966, т. VIII, № 3, с. 63—71.

Прохоров В. Г., Хайретдинов И. Л. К вопросу о связи условий образования пиритов с температурой их декрепитации и термоэлектрическим эффектом.— В кн.: Минералогическая термометрия и барометрия. М., 1965, с. 92—95.

Розова Е. В. К методике измерения коэффициента термоэлектродвижущей силы рудных минералов.— В сб.: Некоторые методы диагностики минералов и определения их физических свойств.— «Труды ЦНИГРИ», 1970, вып. 93, с. 45—57.

Францессон Е. В. Термоэлектрические свойства природных растворов на примере ильменитов из кимберлитов Якутии.— «Геология и геофизика», 1963, № 3, с. 95—106.

Щека С. А., Калмыкова Т. Ф. К оценке относительных температур формирования пиритинов методом ТЭДС.— В кн.: Геохимия и минералогия магматогенных образований. Владивосток, 1966, с. 101—106.

## ФАЗОВЫЙ МИКРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Фазовым анализом называется химический анализ, с помощью которого можно устанавливать минеральные формы химических элементов. Он осуществляется путем избирательного растворения одного минерала для отделения его от других, с ним ассоциирующих. Затем в этом растворе открывается химический элемент, характерный для полученной в процессе растворения минеральной фазы.

Фазовый анализ применяется при изучении микровключений. При экспериментальном подборе растворителя для получения фазовых минеральных растворов необходимо учитывать паразитическое влияние на растворимость минеральных выделений, оказываемое включающими их рудными и жильными минералами.

Определение характерных химических элементов, получаемых в фазовых растворах, можно проводить с помощью реакции электрографического анализа, анализа по методу отпечатков на коллоидной пленке и пленочных реакций. Для определения характерных химических элементов подбираются реактивы, способствующие быстрому протеканию химического анализа (табл. 4).

Ниже приведено описание основных методов и приемов проведения всех видов микрохимических анализов, используемых при диагностике минералов и их микровключений в полированных шлифах.

Реакция электрографического анализа. Этот метод основан на электролизе, когда анодом служит анализируемый минерал, катодом — алюминиевая пластинка, а электролитом — раствор реактива для открытия катиона в исследуемом минерале. Фильтровальная бумага пропитывается соответствующим реактивом и прижимается к полированной поверхности образца. Под действием электрического тока анализируемый образец посылает к катоду свои ионы, которые с

реактивом, пропитывающим фильтровальную бумагу, образуют характерные соединения, окрашивающие бумагу. Преимущество метода заключается в том, что при анализе существенно не нарушается полированная поверхность минерала в шлифе. Электрографический метод значительно превышает скорость выполнения химического анализа. В 1931 г. этот метод применен Хиллером для выявления включений серы и других металлов в железных сплавах, в 1934 г. швейцарскими минералогами, а в 1935 г. И. П. Алимариным при проведении реакций по методу отпечатка на фотобумаге. Этими авторами разработана методика качественного химического электрографического анализа руд на фотобумаге. Позднее этот метод анализа широко использован при диагностике минералов и изучении закономерности их распределения в рудах.

В 1951 г. М. Штемпрок (Stemprok, 1953) опробовал электрографический метод для экспресс-анализа. Предложенный им капиллярный электрограф состоит из тонкостенной трубочки, в которую набирается небольшое количество водного раствора чувствительного реактива. В раствор вводится платиновый электрод (анод), и капилляр прижимается к полированной поверхности или к гладкой поверхности испытуемого минерала. Другой электрод (катод) прижимается непосредственно к сухой поверхности минерала. Электролитом служит чувствительный реактив, помещенный в капилляр. Этот метод основан на использовании анодного растворения минерала. При действии электрического тока ионы металла с поверхности образца проникают в раствор реактива и образуют с последним характерный кристаллический осадок или характерно окрашенный раствор. Для детального изучения под микроскопом раствор с цветным осадком можно выдувать на предметное стекло. Если кристаллический осадок в растворе окрашен, то лучше выдувать его на белую плотную фильтровальную бумагу; по окраске пятна на фильтровальной бумаге определяют химический элемент. М. Штемпрок отмечает, что лучшие результаты дают слабоконцентрированные реактивы. Напряжение электричества в зависимости от электропроводности минерала можно изменять от 5 до 15 В. С помощью этого метода в минералах могут быть определены как катионы, так и анионы. В последнем случае электрод в капилляре с реактивом должен быть соединен с положительным полюсом электричества. Метод электрографического анализа можно применять для исследования минералов, проводящих электрический ток. Однако если исследуемый минерал в шлифе представлен в виде мелких выделений, то последние могут подвергаться анализу в том случае, если он заключен в минерале, проводящем электрический ток.

Микрофазовый микрохимический анализ руд, проводимый на коллоидной пленке. При определении микровключений, размер которых составляет сотые доли миллиметра, большое значение приобретают отпечатки, проводимые методом фазового анализа на целлофановых и коллоидных пленках. Впервые этот метод применен в Ленинградском государственном университете В. И. Тихомировым (1962). Преимущество его состоит в том, что такие микроотпечатки можно изучать под микроскопом в проходящем свете с большими увеличениями. В основу метода положены реакции фазового анализа, проводимого на фотобумаге (Юшко, 1966). Разработкой методи-

Реактивы, применяемые при проведении реакций микрохимического анализа, их назначение и способ приготовления

| Название реактива                                       | Способ приготовления реактива   | Назначение реактива  |
|---|---|--|
| Азотная кислота   | Концентрированная, уд. вес 1,3; разбавленные водные растворы 1:1; 1:20; 1:40  | Растворение минералов  |
| Азотнокислое серебро                                    | Водные растворы 5- и 20 %-ные   | Определение кальцита*, мышьяка, хлора  |
| Азотнокислый кобальт                                    | Водный раствор 0.1 %-ный; 1 часть 20 %-ного водного раствора + 1 часть концентрированной азотной кислоты  | Определение цинка и ртути  |
| Азотнокислая медь                                       | Водные растворы 0,1- и 20 %-ные   | Определение цинка и кальцита*  |
| Азотнокислый цинк<br>$\alpha$ -нитрозо- $\beta$ -нафтол | Водные растворы 1- и 5 %-ные<br>50 мл $\alpha$ -нитрозо- $\beta$ -нафтола растворяют в 100 мл 5 %-ной уксусной кислоты                                    | Определение кобальта   |
| Аммиак  | Водные растворы 25- и 10 %-ные  | Растворение минералов и нейтрализация испытуемых растворов, определение меди   |
| Аммиачно-серебряная соль                                | К насыщенному раствору азотнокислого серебра добавляют соляной кислоты до полного выпадения осадка. Осадок отфильтровывают и растворяют в избытке аммиака | Определение марганца   |
| Бензидин  | 0,5 г бензидина растворяют в 10 мл 50 %-ной уксусной кислоты и разбавляют до 100 мл   | Определение марганца, ванадия, хрома, золота   |
| Барий хлористый<br>Гипосульфит                          | Водный раствор 5 %-ный<br>Водный раствор 5 %-ный  | Определение серы<br>Обесцвечивание йода, выделяющегося из йодистого калия, при употреблении крепких кислот для растворения минералов |
| Диметилглиоксим   | 0,1 часть соли растворяют в 100 мл 95 %-ного спирта   | Определение никеля   |
| Йодистый калий (KI)                                     | В сухом виде (порошок) и водный раствор 5 %-ный   | Определение свинца, сурьмы, висмута, теллура   |
| Дитизон   | 1—2 г дитизона растворить в 100 мл четыреххлористого углерода   | Определение свинца   |
| Калий едкий   | Водные растворы 5- и 20 %-ные   | Определение антимонита*, меди, урана, молибдена, ртути   |
| Калий железосинеродистый (желтая кровяная соль)         | Водный раствор 5 %-ный  | Определение молибдена, меди, урана   |
| Калий железосинеродистый (красная кровяная соль)        | То же   | Определение кобальта, марганца, цинка  |
| Калий роданистый  | »   | Определение фосфора, мышьяка, железа, олова  |

| Название реактива               | Способ приготовления реактива  | Назначение реактива   |
|---------------------------------|--|---|
| Коллоидный раствор              | 10 г сухого желатина замачивают в 100 г воды на 1 ч по истечении этого времени раствор подогревают (не доводя до кипения) до получения однородного коллоидного раствора  | Проведение фазового микрохимического анализа на все химические элементы           |
| Молибденовокислый аммоний       | В сухом виде (порошок) или насыщенный раствор в концентрированной $\text{HNO}_3$   | Определение фосфора, мышьяка  |
| Мышьяковистый ангидрид          | 0,5 г мышьякового ангидрида растворяют в небольшом количестве едкой щелочи в колбе емкостью 100 мл, добавляют $\text{H}_2\text{O}$ до 100 мл и нейтрализуют  | Определение ртути   |
| Р-диметиламинобензиденроданин   | 1 г соли растворяют в 100 мл спирта  | Определение серебра   |
| Перекись водорода               | Водные растворы 30- и 10%-ные  | При растворении минералов и определении ванадия и титана                          |
| Перекись натрия                 | В сухом виде   | Определение хрома   |
| Рубеновая кислота               | 1 г соли растворяют в 100 мл 95%-ного спирта   | Определение меди, никеля, кобальта  |
| Ртутнородановая соль            | 6 г сулемы и 10 г роданистого аммония растворяют в 100 мл воды (если нет сулемы); 8 г красной окиси ртути обрабатывают несколькими каплями $\text{HCl}$ конц. до обесцвечивания, затем добавляют 10 г роданистого калия и разбавляют водой до 100 мл | Определение цинка, кобальта, меди, никеля   |
| Серная кислота                  | Концентрированная, уд. вес 1,84 и водные растворы 1:1; 1:4; 1:20   | Определение теллура, растворение минералов  |
| Сулема                          | Водный раствор 20%-ный   | Определение олова   |
| Тиомочевина                     | Водный раствор 10%-ный   | Определение висмута, селена   |
| Фотобумага                      | Фотобумагу обрабатывают раствором гипосульфита (100 г сухой соли на 500 г воды) в течение 20—40 мин, после чего фотобумагу промывают водой и просушивают   | Проведение микрофазового анализа методом электрографии на все химические элементы |
| Фосфорнонатриевоаммониевая соль | Водный раствор 20%-ный   | Употребляется в качестве маскирующего реактива при определении никеля             |
| Хлористый цезий                 | В сухом виде (порошок) и водный раствор 10%-ный (раствор готовить перед работой)   | Определение сурьмы, теллура, висмута  |
| Хлорное железо                  | Водный раствор   | Определение кальцита*   |
| Царская водка                   | 1 г концентрированной азотной кислоты с 2 г концентрированной соляной кислоты  | Растворение минералов   |
| Целлофан                        | Пористую целлофановую бумагу замачивают в воде в течение 3—4 ч   | Проведение фазового анализа на все химические элементы                            |

\* Пленочные реакции.

ки микрофазового анализа занимались также и на кафедре полезных ископаемых МГРИ (Юшко, Гославская, 1965).

Методика проведения реакций микрофазового анализа заключается в следующем: на полированную поверхность минерала, содержащего соответствующие микровключения, помещают каплю коллоидного раствора или наклеивают тонкую целлофановую пленку. Будучи абсолютно прозрачными, такие пленки не мешают контрольному наблюдению микровключения в отраженном свете. После этого на поверхность пленки наносят по каплям растворитель и специфичный на каждый данный элемент реагент. Если растворитель и реагент подобраны удачно, в порах коллоидной пленки и на полированной поверхности минеральных микровключений образуется цветное окрашивание, соответствующее проводимой реакции.

Полированную поверхность труднорастворимых минералов предварительно протравливают концентрированной азотной кислотой или парами царской водки, после чего на сухую протравленную поверхность накладывают коллоидную пленку и реагент.

Химические реакции, проводимые на коллоидной пленке, более специфичны. Применение этого метода в значительной степени снижает минимум открываемого химического элемента. Реакции микрофазового анализа можно наблюдать непосредственно под микроскопом (лучше в темном поле) при увеличении от 60 до 400. Если коллоидную пленку перенести на предметное стекло и заклеить покровным стеклом с помощью коллоидного раствора, то детали реакций видны в проходящем свете под микроскопом при увеличениях от 60 до 200.

Одновременно с реакциями качественного анализа может быть выявлена микроструктура минералов (зональная, двойниковая и т. д.). Поверхность таких минералов подвергается травлению неодинаково, поэтому образующиеся на них пленки окрасятся не с одинаковой интенсивностью.

Пленочные реакции. При диагностическом травлении на полированной поверхности некоторых рудных минералов получают специфические иризирующие пленки (синие, желтые, малиновые, коричневые и т. д.). Последние долгое время использовались в минераграфии как одно из диагностических свойств при определении минералов. Они не потеряли значение для диагностики некоторых минералов и в настоящее время. Цветные пленки на полированной поверхности минералов получают, если на предварительно протравленную поверхность наложить каплю реагента, образующего с характерным химическим элементом для данного минерала цветной осадок (например, желтая пленка йодистого свинца на галените). Особенно характерно образование цветных пленок на полированной поверхности минералов в процессе проведения реакций фазового микрохимического анализа на коллоидной пленке. Окрашенные пленки на поверхности минералов могут также образоваться вследствие того, что минерал обладает свойством адсорбировать на своей поверхности цветные ионы из реагента (Юшко, 1966).

Реакции пленочного анализа широко используют для выявления внутренней структуры (зональной, двойниковой, секториальной, колломорфной и др.). В этом случае подбирают такой растворитель, с помощью которого различные зоны или грани минерала травятся не

одинаково. В результате получают окрашенные пленки только на протравившихся поверхностях минералов.

Наблюдение реакций пленочного анализа нужно проводить в темном поле под микроскопом прибора МПТ-3. Цветные пленки на микровключениях хорошо наблюдать также с иммерсией при полностью скрещенных николях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Тихомиров В. И. Исследование шлифов методом отпечатков.— В кн.: Фазовый химический анализ руд и минералов. Л., 1962, с. 163—184.

Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., «Недра», 1966. 320 с.

Юшко С. А., Гославская Л. Д. Микрофазовый минералогический анализ руд, проводимый на коллоидных пленках.— В кн.: Минеральные микровключения. М., 1965, с. 42—45.

Stemprok M. Die Methode des schnellen Nachweis von Schwefel in einigen natürlichen Sulfiden u. Sulfosalzen.— Zeitschrift Geologie, 1953, N 1, Hft. 6, S. 453—461.

## ТАБЛИЦЫ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

В таблицах сведены диагностические свойства минералов, наблюдаемых в полированных шлифах преимущественно в виде микровключений, т. е. включений, размеры которых составляют максимально десятые, а в основном сотые и даже тысячные доли миллиметра. К ним относятся минералы группы платины, золота, серебра, селена, теллура, а также рассеянных элементов германия, таллия, кадмия, индия и галлия.

В связи с тем, что все эти минералы встречаются почти исключительно в виде микровключений, мы сочли необходимым привести в диагностических таблицах сведения о всех известных в настоящее время минералах этих элементов.

Кроме минералов, относящихся к группе редких, в таблицах помещены достаточно распространенные минералы, которые в виде микровключений чрезвычайно трудно диагностируются. К таким минералам относятся некоторые минералы из группы кобальта и никеля, вольфрама и олова, сульфосолей мышьяка, сурьмы и висмута. В диагностические таблицы включены только те минералы из этих групп, для которых у авторов имелись дополнительные данные. Так, для сульфосолей выбраны минералы с полными химическими анализами, рентгенометрической характеристикой и с новыми данными по микротвердости.

В последнее время в ряде минералогических лабораторий (ИМГРЭ — Т. Н. Чвилева, Л. Н. Соболева, С. И. Лебедева и др.; ИГЕМ — Н. Н. Мозгова, А. А. Филимонова; ВИМС — И. А. Пудовкина; геологический факультет МГУ — Ю. С. Бородаев, С. С. Боришанская, А. Д. Ракчеев, М. С. Сахарова и др.; Минералогический музей АН СССР им А. Е. Ферсмана — О. Л. Свешникова и др.; кафедра полезных ископаемых МГРИ — С. А. Юшко и др.) занимаются детальным изучением отдельных минералов группы сульфосолей с целью выработки методики их точной диагностики. Однако, учитывая, что методика диагностики минералов группы сульфосолей находится в стадии разработки, составленные нами диагностические таблицы, хотя и не охватывают все минералы, должны представлять интерес для исследователей.

Группа тантало-ниобиевых минералов помещена для того, чтобы показать читателю, что даже некоторые полупрозрачные минералы, диагностика которых в проходящем свете затруднена, могут опреде-

ляться с большей эффективностью в отраженном свете. Особенно эффективно изучение таких групп минералов, как танталит — колумбит, ильменорутит — стрюверит, пироклор — микролит.

Применение отраженного света позволило выявить отличительные особенности внутренней структуры для минералов группы колумбита и танталита, пироклора и микролита (Van der Weep, 1963).

Детальным изучением микротвердости этих групп минералов была установлена зависимость количественных значений микротвердости от химического состава и особенностей строения.

В предлагаемые таблицы сведены новейшие данные по основным диагностическим свойствам минералов с указанием источников.

1. Количественный химический состав, характеризующий содержание не только основных химических элементов, входящих в состав минерала, но и элементов-примесей. Для основной массы минералов приведен теоретический химический состав согласно их формулам, для редких минералов (группа платины) — химический состав, установленный микрозондированием.

2. Кристаллохимические свойства минералов, наиболее интенсивные линии дебаеграммы и параметры решетки.

3. Количественная характеристика оптических свойств: а) отражательная способность (приводится в основном по Рамдору и более поздним данным); для редко встречающихся минералов сделана сводка всех сведений. Значения последних часто не однозначны. Однако расхождения не всегда могут быть объяснены, так как в большинстве случаев неизвестно, на каком материале и при каких условиях проводились измерения; б) цвет, двуотражение, степень анизотропии и внутренние рефлексы характеризуются в основном по визуальным данным с учетом количественных измерений отражательной способности.

4. Количественные измерения твердости по Моосу и по микровдавливанию (микротвердость); для анизотропных по твердости минералов рассчитаны коэффициенты анизотропии твердости (I и II рода —  $K_{H_1}$  и  $K_{H_2}$ ).

5. Реакции диагностического травления, даны только для тех минералов, при определении которых они имеют наиболее существенное значение.

6. В последней графе диагностических таблиц приводятся типы парагенезисов, в которых встречаются описываемые минералы.

При составлении этого руководства авторы не преследовали цели охарактеризовать рудообразующие минералы, так как распространенные рудные минералы достаточно освещены в основных справочных руководствах.

Цифровые данные, которые не имеют ссылок на первоисточники, даны по материалам авторов. Микротвердость минералов измерена С. И. Лебедевой, для вольфрамита и касситерита — И. Е. Максимюк.

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

- $a, b, c$  — кристаллографические оси  
 $a_0, b_0, c_0$  — параметры элементарной ячейки в  $\text{\AA}$   
 $\alpha, \beta, \gamma$  — углы между кристаллографическими осями  
 $Z$  — число формульных единиц в элементарной ячейке (координационное число)  
 $R_o, R_e$  — отражательная способность одноосных минералов  
 $R_g, R_m, R_p$  — отражательная способность двуосных минералов  
 $H_{cp}$  — среднее (арифметическое) значение микротвердости  
 $K_{H_1}, K_{H_2}$  — коэффициенты анизотропии твердости соответственно I и II рода, полученные на монокристаллах  
 $K'_{H_1}, K'_{H_2}$  — коэффициенты анизотропии твердости I и II рода, полученные на поликристаллических агрегатах, т. е. на неориентированных («косых») сечениях в полированных шлифах  
 $N_g, N_m, N_p$  — оси индикатрисы двуосных минералов  
 $N_e, N_o$  — оси индикатрисы одноосных минералов  
 $2V$  — угол оптических осей  
 $n$  — показатель преломления  
 $n_g, n_m, n_p$  — показатели преломления двуосных минералов  
 $n_e, n_o$  — показатели преломления одноосных минералов  
 $\kappa$  — коэффициент поглощения  
 $r, v$  — соответственно красный и синий (при дисперсии)  
 $\lambda$  — длина волны,  $n\lambda$   
 $\parallel$  — параллельно  
3,26 (10) — значения, рассчитанные по дебаеграмме: первое число обозначает межплоскостное расстояние  $d$ , число в скобках — интенсивность соответствующей линии ( $I$ )

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства |                                |
|-------|-------------------|--|------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|       |                   |  |                              | Оптические свойства | Отражательная способность R, % |

Минералы платины

|   |  |  |   |  |   |
|---|--|--|---|--|---|
| 1 | Палладий Pd  | Pd 86,2<br>Pt 1,6<br>Rh 3,0<br>Ir 0,2<br>Ru 0,2<br>Os 0,7<br>Pb 8,1<br>(Westland, Beamish, 1961)   | Сингония кубическая<br>$a_0 = 3,91 \text{ \AA}$<br>2,21 (9)<br>1,92 (9)<br>1,36 (8)<br>1,16 (10)<br>0,88 (7)<br>0,86 (7)  | В воздухе:<br>зелен. 69<br>оранж. 70<br>красн. 71,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 66<br>оранж. 66<br>красн. 67<br>(Рамдор, 1962)  |   |
| 2 | Аллопалладий Pd  | Спектроскопически, кроме Pd, устанавливаются: Hg (до 5%), Pt, Ru, Cu (Cissarz, 1928)   | Сингония гексагональная<br>$a_0 = 6,3$<br>$c_0 = 7,36$<br>(Рамдор, 1962)  | В воздухе:<br>зелен. 53<br>оранж. 54<br>красн. 54<br>В иммерсии:<br>зелен. 52<br>оранж. 52<br>красн. 52<br>(Рамдор, 1962)  |   |
| 3 | Потарит Pd, Hg   | Теор. состав: Hg 65,3 Pd 34,7  | Сингония тетрагональная<br>$a = 3,02$<br>$c = 3,707$  | ~60  |   |
| 4 | Осмий Os   | Содержит небольшую примесь Ir (3,7—5%). Состав изучен на микроанализаторе: Os 98 ± 0,5<br>Ir ~ 1<br>Pt < 1<br>Fe ~ 1<br>Cu 0,3<br>Os 80 ± 0,5<br>Ir 20 ± 0,5<br>Pt < 1<br>Fe < 1                                   | Сингония гексагональная.<br>$a = 2,733$<br>$c = 4,319$<br>2,14 (4)<br>2,06 (10)<br>1,22 (6)<br>1,152 (6)<br>(Levy, Picot, 1961)   | $\lambda$<br>443<br>465<br>499<br>523<br>551<br>586<br>628<br>658<br>681<br>$R$<br>64,5<br>61,0<br>59,4<br>58,7<br>58,1<br>57,6<br>57,0<br>56,8<br>56,4  |   |
| 5 | Иридий осмистый (сысертскит) Os, Ir; Ir от ~68 до 20% Os от ~32 до 80% | В зависимости от химического состава различают разновидности: невьянскит Ir > Os и сысертскит Os > Ir<br>В зависимости от содержания Rh и Ru выделяют родневый и рутений невьянскит, родневый и рутений сысертскит | Сингония гексагональная.<br>Для синтетического состава Os <sub>63</sub> Ir <sub>37</sub><br>$a = 2,7361$<br>$c = 4,3417$<br>(Cabri, 1972)<br>2,14 (4) 2,07 (10)<br>1,23 (6) 1,15 (6)<br>(Levy, Picot, 1961) | $\lambda$<br>443<br>465<br>499<br>523<br>551<br>586<br>628<br>658<br>681<br>$R_g$<br>57,6<br>58,3<br>59,4<br>60,0<br>60,2<br>59,6<br>58,8<br>58,2<br>57,9<br>$R_p$<br>53,8<br>53,5<br>53,0<br>52,6<br>51,9<br>50,8<br>49,6<br>48,8<br>48,6 | При $\lambda$ 5829<br>61,5<br>(Levy, Picot, 1961) |
| 6 | Осмистый иридий (невьянскит) Ir, Os                                    | Ir 70 ± 0,5<br>Os 30 ± 0,5<br>Pt < 1<br>Fe < 1   | Сингония гексагональная<br>2,15 (4)<br>2,07 (10)<br>1,23 (6)  | $\lambda$<br>443<br>465<br>499<br>$R$<br>67,2<br>67,4<br>69,8  |   |

| Свойства в отраженном свете          |                                    | Твердость по Моосу, Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup><br>$\frac{KH_1}{KH_2}$<br>Нагрузка P, гс | Отдельные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|------------------------|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы |  |  |                        |

Титановых металлов

|  |  |                                  |   |  |
|--|--|----------------------------------|---|--|
| Изотропен  | Серебристо-белый                                 | $4 \frac{1}{2} - 5$              | Похож на самородное серебро, от которого отличается повышенной твердостью. Травится HNO <sub>3</sub> и царской водкой | Образует одиночные октаэдрические кристаллы (Колумбия). В ассоциации с платиной самородной и с платиновыми сульфидами (Чоко, Колумбия)       |
| Анизотропен, двуотражение заметно только в иммерсии  | Серебряно-белый с желтоватым оттенком            | 4—5                              | Характерны двойники. Изучен слабо   | В виде неправильных и лепчатых выделений с золотом, калусталитом и другими селеновыми минералами (селеновые рудные жилы Эскеборн, Тилкероде) |
| Не изучена   | Белый  | $3 \frac{1}{2}$                  | От HNO <sub>3</sub> бурет или синет, от FeCl <sub>3</sub> бурет, HCl, KCN, KOH, HgCl <sub>2</sub> не действуют        | Единичные зерна и небольшие самородки (Потаро-Ривер, Гаяна)  |
| Анизотропия сильная с цветным эффектом в оранжево-красных тонах. Двуотражение не наблюдается | Белый (по сравнению с платиной голубовато-серый) | 380—405<br>P=20—30               | Похож на сысертскит, но отличается отсутствием двуотражения и более сильной анизотропией                              | Образует включения в поликсене   |
| Сысертскит резко анизотропен с цветным эффектом от оранжевого до синева-голубого             | Белый с голубоватым оттенком                     | 449—689<br>1,43; 1,32<br>P=40—50 | Царской водкой и другими реактивами не травится   | Образует шестоватые и колеччатые включения в поликсене   |
| Слабо анизотропен с цветным эффектом от светло-голубого до серого                            | Белый с желтоватым оттенком                      | 542—616<br>P=30—50               | Царской водкой и другими реактивами не травится   | Встречается в виде кубиков и неправильных включений в поликсене  |

| № п/п | Название минерала      | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                  |                     |
|-------|------------------------|--|---|--------------------------------------|---------------------|
|       |                        |  |   | Отражательная способность R, %       |                     |
| 7     | Осмирид Ir, Os         | Os 0—32<br>Ir 68—100<br>Примеси: Ru, Rh, Pd, Pt, Au<br>(Минералы, т. I, 1960)  | Сингония кубическая<br>$a_0=3,849$  | $\lambda$                            | R                   |
|       |                        |  |   | 523                                  | 73,5                |
|       |                        |  |   | 551                                  | 76,4                |
|       |                        |  |   | 586                                  | 76,7                |
|       |                        |  |   | 628                                  | 76,8                |
|       |                        |  |   | 658                                  | 76,4                |
|       |                        |  |   | 681                                  | 76,2                |
|       |                        |  |   | При $\lambda$ 5829<br>R 78,4         |                     |
|       |                        |  |   | (Levy, Picot, 1961)                  |                     |
|       |                        |  |   | Высокая, близка к самородному иридию |                     |
| 8     | Ауроосмирид Ir, Os, Au | Au до 19,3   | —   | —                                    | —                   |
| 9     | Иридий Ir              | Ir 95±0,5<br>Os 3±0,5<br>Pt 2±0,5<br>Fe 1±0,1  | Сингония кубическая,<br>$a=3,83$<br>Для синтетического:<br>2,214 (10)<br>1,914 (6)<br>1,357 (6)<br>1,151 (8)<br>(Михеев, 1957)        | $\lambda$                            | R                   |
|       |                        |  |   | 443                                  | 66,2                |
|       |                        |  |   | 465                                  | 66,0                |
|       |                        |  |   | 499                                  | 67,4                |
|       |                        |  |   | 523                                  | 70,4                |
|       |                        |  |   | 551                                  | 73,5                |
|       |                        |  |   | 586                                  | 74,2                |
|       |                        |  |   | 628                                  | 74,2                |
|       |                        |  |   | 658                                  | 74,0                |
|       |                        |  |   | 681                                  | 74,0                |
|       |                        |  |   | При $\lambda$ 5829<br>R 80,8         |                     |
|       |                        |  |   | (Levy, Picot, 1961)                  |                     |
|       |                        |  |   | 80,0                                 |                     |
|       |                        |  |   | (по Л. В. Разину)                    |                     |
|       |                        | Разновидность: платинистый иридий Ir, Pt<br>Pt 19,64<br>Ir 76,85<br>Pd 0,89<br>Cu 1,79<br>(Урал. Минералы, т. I, 1960) | Сингония кубическая, $a_0=3,854 \pm 0,001$<br>(Инаглинский массив, Разин, 1966)   |                                      |                     |
| 10    | Платина Pt             | Химически чистая, иногда содержит до 13—21% Pd   | Сингония кубическая, $a=3,92$<br>Для самородной платины (чистой):<br>2,27 (10)<br>1,96 (9)<br>1,39 (9)<br>1,18 (10)<br>(Рамдор, 1962) | 70                                   | (для искусственной) |
|       |                        | Разновидности:   |   |                                      |                     |

| Оптическая, анизотропия, двуотраженные | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . $KH_1; KH_2$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакция травления | Минеральная ассоциация   |
|--|------------------------------------|--|--|--|
|  |                                    |  |  |  |
| Изотропен                              | Белый с желтоватым оттенком        | 6—7<br>396—549<br>P=50<br>297—572<br>P=100<br>(Young, Millman, 1964)                       | —  | Из россыпи (Урал)  |
| —                                      | —                                  | —  | —  | Из россыпей  |
| Изотропен                              | Белый                              | 7<br>533—657<br>50—70  | —  | В поликसेне из россыпей (Урал)   |
| Изотропен                              | Белый                              | 6—7<br>P=515—617<br>(Разин, 1966)  | —  | Образует вкрапленность в поликसेне (россыпи, Урал)   |
| Изотропен                              | Серебряно-белый                    | 229—274<br>P=50<br>125—127<br>P=100<br>(Young, Millman, 1964)                              | —  | Образует мелкие конкреционные иногда сталактитовые формы с радиальнолучистым строением. Встречается в россыпях |

| № п/п      | Название минерала                      | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                        |      |
|------------|--|--|---|--|------|
|            |  |  |   | Отражательная способность R, %             |      |
|            |  | иридиевая платина                                  | —   | 67—69                                      |      |
|            |  | Ir 6—7   | —   | (Разин, 1966)                              |      |
|            |  | палладистая платина                                | —   | —  |      |
|            |  | Pd 7—10  | —   | —  |      |
|            |  | родистая платина                                   | —   | —  |      |
|            |  | Rh 4—6,8   | —   | 67—69                                      |      |
|            |  | никелистая платина                                 | —   | (Разин, 1966)                              |      |
|            |  | Ni 3,8   | —   | —  |      |
|            |  | Купроплатина мало-медистая                         | —   | 67,8—70                                    |      |
|            |  | Cu 7,7—14  | —   | (Разин, 1966)                              |      |
| 11         | Поликсен Pt, Fe                        | Pt 85—90   | Сингония кубическая, структура типа меди $a_0 = 3,883 \pm 0,001$ для Инаглинского массива (Разин, 1966) | $\lambda$                                  | R    |
|            |  | Fe 7—11 (обычно) или 4—5 (реже)                    |   | 460  | 63,0 |
|            |  | Примеси:   |   | 500  | 67,0 |
|            |  | Ir 0,3—2,3   |   | 540  | 68,5 |
|            |  | Pd 0,1—1,3   |   | 580  | 69,0 |
| Rh 0,2—1,4 | 620                                    | 70,0   |   |  |      |
| Os 0,3—1,1 | 660                                    | 71,0   |   |  |      |
| Cu 0—0,8   | 700                                    | 71,0   |   |  |      |
| Ni 0—1,2   |  | !  |   |  |      |
| 12         | Ферроплатина Pt, Fe                    | Pt 66,0—82,0                                       | Сингония тетрагональная структура типа AuCu, $a = 3,867$ $c = 3,735$ (Михеев и др., 1961)               | $\lambda$                                  | R    |
|            |  | Fe 13,0—24,0                                       |   | 460  | 59,0 |
|            |  | Ni 2,7—5,5   |   | 500  | 62,5 |
|            |  | Cu 1,8—4,0   |   | 540  | 62,5 |
|            |  | Примеси:   |   | 580  | 63,5 |
| Pd 0,1     | 620                                    | 65,0   |   |  |      |
| Sn 1,0     | 660                                    | 65,0   |   |  |      |
| Bi 3,0     | 700                                    | 66,5   |   |  |      |
| 13         | Масленицковит (Pt, Pd) <sub>3</sub> Sn | Pt 66,5—42,0                                       | Сингония кубическая, $a = 3,98—4,01 \text{ \AA}$ (параметр решетки убывает по мере увеличения палладия) | При $\lambda 580$ $R 67,0$ (Вяльсов, 1973) |      |
|            |  | Pd 10,6—33,0                                       |   | $\lambda$                                  | R    |
|            |  | Sn 19—24   |   | 460  | 54,0 |
|            |  | Примеси: Cu, Ni, Bi, Fe, Au                        |   | 500  | 58,0 |
|            |  |  |   | 540  | 59,0 |
|            | 580                                    | 59,5   |   |  |      |
|            | 620                                    | 60,0   |   |  |      |
|            | 660                                    | 60,0   |   |  |      |
|            | 700                                    | 60,0   |   |  |      |
| 14         | (Pd, Pt, Cu) <sub>3</sub> (Sn, Cu)     | Pd 65,0—34,2                                       | Сингония тетрагональная, $a_0 = 4,06 \text{ \AA}$   | $\lambda$                                  | R    |
|            |  | Cu 14,0—4,0  |   | 460  | 48,0 |
|            |  | Sn 26,0—17,0                                       |   | 500  | 51,0 |
|            |  | Pt 27,0—0  |   | 540  | 54,0 |
|            |  |  |   |  |      |

| Ступа в отраженном свете             |                                    | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> $KH_1$ ; $KH_2$ Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакция травления                | Минеральная ассоциация   |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы |   |   |  |
| —                                    | —                                  | 332—387 (Разин, 1966)   | —   | Из россыпи   |
| —                                    | —                                  | —   | —   | То же  |
| —                                    | —                                  | —   | —   | »  |
| —                                    | —                                  | 101—114 (Разин, 1966)   | —   | »  |
| —                                    | —                                  | 120—186 (Разин, 1966)   | —   | Из россыпи   |
| —                                    | —                                  | 83—75 (Разин, 1966)   | —   | То же  |
| Изотропен                            | Белый                              | 325—460 $P=50$  | —   | Вкрапленность с хромпипеллидами в гипербазитах (Урал)  |
| Изотропна (слабо анизотропна)        | Белый со слабо розоватым оттенком  | 214—346 $P \approx 30—50$   | —   | В медно-никелевых рудах в халькопирите, кубаните и таллахите с зюнгинцевитом (Pd, Pt, Cu) <sub>3</sub> (Sn, Cu), масленицковитом, полларитом, пломбопалладинитом и сплавами золота—серебра |
| Изотропен                            | Белый                              | 321—382 $P \approx 30—50$   | Похож на зюнгинцевит, но с более высокой твердостью         | В медно-никелевых рудах, в халькопирите и таллахите совместно с (Pd, Pt, Cu) <sub>3</sub> (Sn, Cu), зюнгинцевитом, сперрилитом и ферроплатиной   |
| Сильно анизотропен                   | Розоватый                          | 239—330 $P \approx 30—50$   | Похож на стэннопалладинит, отличается пониженной твердостью | В медно-никелевых рудах в халькопирите, таллахите и кубаните   |

| № п/п | Название минерала                                | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                    |                |                |
|-------|--|---|--|--|----------------|----------------|
|       |  |   |  | Отражательная способность R, %         |                |                |
| 15    | Pd <sub>2</sub> Sn                               | Примеси: Pb, Bi, Sb, Rh, Ni<br>Pd 62,9<br>Sn 37,0<br>(Минералы теллура . . . , 1972)      | c <sub>0</sub> =3,64 Å<br>2,24 (10)<br>2,03 (5)<br>1,212 (7)<br><br>Для синтезированного А. Ю. Малевским состава Pd <sub>2</sub> Sn (Pd 67,5, Sn 32,5) Сингония ромбическая.<br>a=4,29<br>b=5,62<br>c=8,24<br>2,35 (4)<br>2,26 (10)<br>2,14 (4)<br>1,272 (5)<br>Сингония гексагональная<br>a <sub>0</sub> =4,388<br>c <sub>0</sub> =5,645<br>2,25 (10)<br>2,19 (7)<br>1,572 (3)<br>1,279 (3) | 580                                    | 56,0           |                |
|       |  |   |  | 620                                    | 58,0           |                |
| 16    | Станнопалладинит Pd <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> | Pd 58,0<br>Sn 38,0<br>Примеси: Pt 2,0   | Сингония гексагональная<br>a <sub>0</sub> =4,388<br>c <sub>0</sub> =5,645<br>2,25 (10)<br>2,19 (7)<br>1,572 (3)<br>1,279 (3)   | λ                                      | R <sub>g</sub> | R <sub>p</sub> |
|       |  |   |  | 460                                    | 48,0           | 47,0           |
| 17    | Нигглинит PtSn                                   | Pt 60,0<br>Sn 40,0  | Сингония гексагональная<br>a <sub>0</sub> =4,09<br>c <sub>0</sub> =5,45<br>2,15 (10)<br>2,04 (10)<br>1,479 (7)<br>1,357 (5)<br>1,342 (5)<br>1,199 (8)<br>1,129 (6)   | При λ 580<br>R 57,5<br>(Вяльсов, 1973) |                |                |
|       |  |   |  | λ                                      | R              |                |
| 18    | Звягинцевит Pd <sub>3</sub> (Pb, Sn)             | Pb 63,5—55,3<br>Pd 38,6—16,3<br>Sn 14—0<br>Pt 12—0<br>Примеси: Bi, Rh, Ag, Au, Cu, Fe, Ni | Сингония кубическая<br>a <sub>0</sub> =4,02<br>2,31 (10)<br>2,00 (6)<br>1,415 (7)<br>1,208 (8)<br>1,156 (7)<br>0,917 (6)   | λ                                      | R              |                |
|       |  |   |  | 460                                    | 52,0           |                |
|       |  |   |  | При λ 580<br>R 67,7<br>(Вяльсов, 1973) |                |                |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                      | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> .<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления                        | Минеральная ассоциация  |
|--|---|---|---|---|
|  |   |   |   |   |
| Двуотражение (от сильно до слабо) часто с двойниковым строением  |   |   |   | в сростании с масленицковитом, звягинцевитом, плюмбопалладинитом, поляритом, ферроплатиной и сперрилитом<br>В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с масленицковитом, котульскимитом, сперрилитом и сплавами золота—серебра |
| Двуотражающий сильно анизотропный (от оранжевых до темно-синих тонов)                                      | Розовато-сиреневатый                                    | 354—412<br>P=50   | Похож на станнопалладинит, отличается более сильной анизотропией    |   |
| Сильно анизотропный и двуотражающий [с двойниковым строением]  | Розоватый   | 387—452<br>P=30   |   | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с нигглинитом  |
| Очень сильно анизотропный с цветным эффектом от оранжевого до синего. Двуотражение от розового до голубого | В связи с сильным двуотражением от розового до голубого | 310—499<br>P=20   | Отличается очень сильным двуотражением и яркими цветами анизотропии | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании со станнопалладинитом  |
| Изотропен  | Белый   | 235—272<br>P=30—50  | Похож на масленицковит, но твердость несколько ниже                 | В медно-никелевых рудах в халькопирите и на контакте халькопирита и пентландита в сростании с (Pd, Pt, Cu) <sub>2</sub> (Sn, Cu), плюмбопалладинитом, поляритом, масленицковитом и ферроплатиной  |

| № п/п | Название минерала           | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства               |   | Свойства в отраженном свете  |  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакции травления            | Минеральная ассоциация  |
|-------|-----------------------------|--|---|-----------------------------------|---|--|--|---|---|---|
|       |                             |  |   | Отражательная способность $R$ , % |   | Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок, Внутренние рефлексы         |   |   |   |
| 19    | Плюмбопалладинит $Pd_4Pb_2$ | Pd 42,0—40,0<br>Pb 58,0—47,5<br>Примеси: Bi, Rh, Ag, Au  | Сингония гексагональная<br>$a=4,470$<br>$c=5,719$<br>3,20 (5)<br>2,30 (10)<br>2,23 (10)<br>1,602 (4)<br>1,434 (4)<br>1,302 (5)                                      |                                   | $\lambda$   $R$<br>460   46,5<br>500   50,5<br>540   53,0<br>580   55,5<br>620   57,5<br>660   59,0<br>700   62,5<br>При $\lambda$ 580<br>$R$ 57,1<br>(Вяльсов, 1973) | Сильно анизотропный двуотражающий  | Розовато-коричневатый                      | 297—360<br>$P=10-15$  |   | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с $(Pd, Pt, Cu)_2(Sn, Cu)$ , звягинцевитом, поляритом, ферроплатиной и сперрилитом   |
| 20    | Полярит $Pd(Pb, Bi)$        | Pd 27,0—35,6<br>Pb 20,8—55,0<br>Bi 19,0—44,6<br>Разноядность $Pd(Pb, Te, Bi)$<br>Pd 36,2<br>Pb 31,2<br>Bi 12,2<br>Te 17,6<br>(Минералы теллура . . . , 1972)                             | Сингония ромбическая<br>$a=7,191$<br>$b=8,693$<br>$c=10,681$<br>2,65 (10)<br>2,25 (5)<br>2,16 (9)<br>1,638 (5)<br>1,400 (3)<br>(Полярит—новый минерал . . . , 1969) |                                   | $\lambda$   $R$<br>460   50,0<br>500   54,5<br>540   55,5<br>580   57,5<br>620   58,0<br>660   59,0<br>700   60,0<br>При $\lambda$ 580<br>$R$ 59,6<br>(Вяльсов, 1973) | Слабоанизотропен   | Белый                                      | 147—226<br>$P=15-20$  |   | В медно-никелевых рудах в халькопирите или талнахите, в сростании с $(Pd, Pt, Cu)_2(Sn, Cu)$ , плюмбопалладинитом, звягинцевитом, $(Pd, Ni)_2As$ , ферроплатиной и золотом—серебром |
| 21    | Куперит $PtS$               | Pt 85,89<br>S 14,11<br>Иногда содержит примесь Pd ~ 4, следы Ni, Ru, Ir<br>Pt $82 \pm 0,5$<br>S $17 \pm 1,5$<br>Ni $1 \pm 0,5$<br>Pd $1 \pm 0,5$<br>Fe 0,8<br>(данные микрозондирования) | Сингония тетрагональная<br>$a=3,48$<br>$c=6,11$<br>3,05 (10)<br>1,92 (8)<br>1,76 (7)<br>1,51 (9)<br>1,23 (8)  |                                   | $\lambda$   $R$<br>460   35,0<br>500   37,0<br>540   37,0<br>580   36,5<br>620   36,5<br>660   36,5<br>700   36,5<br>При $\lambda$ 580<br>$R$ 40,1<br>(Вяльсов, 1973) | Анизотропен с цветным эффектом   | Серовато-голубоватый                       | 683—745<br>$P=70-100$   | $n=3,82$<br>$\kappa=0,23$<br>(измерено А. Д. Ракчеевым) | В халькопирите с миллеритом, пьсоцки-том  |
| 22    | Брэггит $(Pt, Pd, Ni)S$     | Pt 58,2—59,1<br>Pd 18,1—20,87<br>Ni 4,7—2,8<br>S 19,0—16,8<br>Содержит 0,42 Rh, Ir и другие примеси (Рамдор, 1962)   | Сингония тетрагональная<br>$a=6,383$<br>$c=6,593$<br>2,92 (10)<br>2,63 (8)<br>1,75 (8)<br>1,72 (8)<br>1,43 (8)<br>1,40 (8)<br>(по XRDC; Минералы, т. I, 1960)       |                                   | $\lambda$   $R_p$   $R_g$<br>470   44,5   45,4<br>546   46,1   47,1<br>589   43,5   44,8<br>650   43,8   45,0<br>(Cabri, 1972)  | Анизотропен, эффект анизотропии отчетливый, в иммерсии почти яркий. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное | От синева-то-серого до коричне-вато-серого | 920—1129<br>$P=100$   |   | В медно-никелевых рудах в ассоциации с куперитом, сперрилитом, стибнопалладинитом, арсенопалладинитом и теллуридами   |
| 23    | Высоцкиит $(Pd, Ni)S$       | Pd 52,5<br>Pt 2,5<br>Ni 10,5<br>S 34,6<br>Примесь: Fe 0,5  | Сингония тетрагональная<br>$a=6,371$<br>$c=6,540$   |                                   | При $\lambda$ 589<br>$R \sim 44-45$<br>(Генкин, Звягинцев, 1962)  | Эффект анизотропии от синева-то до коричневатого.  | Серовато-белый с голубоватым оттенком      | 407—535<br>$P=30-50$  | Обычными реактивами и царской водкой не травится        | В халькопирите с миллеритом и куперитом   |

| № п/п | Название минерала           | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |  |
|-------|-----------------------------|---|---|---|--|
|       |                             |   |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 24    | Лаурит $RuS_2$              | Ru 61,33<br>S 38,67<br>Примесь: Os до 3   | 2,91 (10)<br>2,86 (10)<br>2,64 (7)<br>2,61 (8)<br>1,859 (7)<br>1,717 (8)<br>(Генкин, Звягинцев, 1962)<br>Сингония кубическая<br>$a=5,563-5,574$<br>3,24 (10)<br>2,78 (5)<br>1,96 (8)<br>1,68 (8)<br>1,24 (3)<br>(Платина Алданского щита . . . , 1962)<br>Сингония кубическая | Прив $\lambda$ 580<br>R 52,6<br>(Вальсов, 1973)                       | $\lambda$   R<br>470   47,8<br>546   42,5<br>589   40,3<br>650   37,2  |
| 25    | Эрлихманит $OsS_2$          | I II<br>Os 68 64<br>Ir 2,6 3,5<br>Rh 3,8 5,5<br>Ru 0,4 0,4<br>Pd 0,5 0,6<br>S 25,2 25,5<br>(Snetsinger, 1971) | $a=5,619 \text{ \AA}$<br>3,22 (100)<br>2,80 (80)<br>1,70 (85)<br>0,78 (65)<br>1,98 (55)<br>2,16 (8)<br>2,07 (8)<br>1,69 (10)<br>1,20 (6)  | Нет данных  | Нет данных   |
| 26    | $(Ru, Os, Ir)S_2$           | Ru 33,0<br>Os 20,9<br>Ir 11,4<br>S 21,4<br>(Stumpfl, Clark, 1965)   | 1,98 (55)<br>2,16 (8)<br>2,07 (8)<br>1,69 (10)<br>1,20 (6)  | 60-65   | Слабоанизотропен. В иммерсии с ярким цветным эффектом от темно-золотисто-желтого до темно-голубовато-серого<br>Изотропен |
| 27    | Ирарсит (Ir, Rh, Ru, Pt)AsS | Ir 23,0<br>Rh 7,2<br>Ru 9,4<br>Pt 12,6<br>As 34,5<br>S 11,6<br>(Ирарсит—новый сульфарсенит . . . , 1966)      | Сингония кубическая<br>$a_0=5,777-5,778 \pm 0,005$<br>3,32 (10)<br>2,87 (10)<br>2,57 (8)<br>2,04 (9)<br>1,74 (10)<br>1,11 (9)<br>1,02 (8)<br>0,97 (8)<br>(Ирарсит—новый сульфарсенит . . . , 1966)  | $\lambda$   R<br>455   48,6<br>520   47,8<br>560   47,0<br>650   45,2 | Нет данных   |

| стна в отраженном свете  |                                       | Твердость по Моосу. Микро-<br>твердость<br>$H_v$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1$ ; $KH_2$<br>Нагрузка P,<br>гс | Отличительные особенности.<br>Реакции тропления                                   | Минеральная ассоциация   |
|--|---------------------------------------|--|---|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок.<br>Внутренние рефлексы |  |   |  |
| Двуотражение выявляется в иммерсии   |                                       |  | $n_1=3,33$<br>$n_2=0,61$<br>$n_3=3,09$<br>$n_4=0,70$<br>(измерено А. Д. Ракчевым) |  |
| Изотропен  | Серовато-белый                        | 7,5-8,0<br>1609-2167<br>P=100<br>(Joung, Millman, 1964)  |   | В концентратах из платиновых россыпей  |
| Изотропен  | Нет данных                            | Нет данных   |   | В золотых концентратах (округ Гумбольдт, Калифорния)                         |
| Слабоанизотропен. В иммерсии с ярким цветным эффектом от темно-золотисто-желтого до темно-голубовато-серого<br>Изотропен | Нет данных                            | 1270-1450<br>P=100   |   | В россыпях золота и платины (Борнео)   |
|  | Серовато-белый слегка голубоватый     | 976<br>P=50  |   | В платиновых россыпях в ассоциации с осарситом (Округ Гумбольдт, Калифорния) |

| № п/п | Название минерала                    | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства                     | Оптические свойства                              |  |  |
|-------|--------------------------------------|---|--|--|--|--|
|       |                                      |   |  | Отражательная способность R, %                   |  |  |
| 28    | Холлингвортит<br>(Rh, Pt, Pd)AsS     | Анализы   |  |  | Сингония кубическая<br>$a_0=5,769-5,797 \pm 0,005$<br>Для 3-го анализа (Генкин и др., 1966)<br>3,31 (10)<br>2,87 (10)<br>2,57 (8)<br>2,35 (7)<br>2,04 (9)<br>1,74 (10)<br>1,29 (8)<br>1,18 (7)<br>1,11 (9)<br>0,97 (8)<br>0,96 (7) | λ   R<br>455   49,6<br>520   49,4<br>560   49,2<br>650   48,4<br><br>(Генкин и др., 1966)<br>40-45<br>(Stumpfe, Clark, 1965) |
|       |                                      | Pt 10,3<br>Ir 3,1<br>Rh 30,8<br>Pd 8,7<br>Ru —<br>As 32,6<br>S 13,9   | 23,8<br>17,8<br>11,6<br>2,1<br>—<br>30,7<br>10,8 | 18,4<br>1,4<br>24,6<br>—<br>12,8<br>34,0<br>13,0 |  |  |
| 29    | Осарсит<br>(Os, Ru)AsS               | Os 35,6<br>Ru 18,1<br>Ir 2,0<br>Ni 0,9<br>Pt 0,4<br>Pd 0,6<br>Rh 0,2<br>S 11,5<br>As 30,6<br>(Snetsinger, 1972)   |  |  | Сингония моноклинная<br>$a=5,933$<br>$b=5,916$<br>$c=6,009$<br>$\beta=112^\circ 21'$<br>3,79 (100)<br>2,78 (60)<br>2,74 (70)<br>2,01 (60)<br>1,892 (100)<br>1,870 (80)<br>1,832 (60)<br>(Snetsinger, 1972)                         | Нет данных   |
|       |                                      | Pd 79,8<br>As 19,2<br>(Claringbull, Hey, 1957)<br>Разновидности:<br>(Pd, Pb) <sub>3</sub> As<br>(Pd, Ni) <sub>3</sub> As<br>(Генкин, 1968)<br>Pd <sub>3</sub> (As, Fe)<br>(Минералы теллура ... 1972) |  |  |  |  |
| 30    | Арсенопалладит<br>Pd <sub>3</sub> As | Pd 79,8<br>As 19,2<br>(Claringbull, Hey, 1957)<br>Разновидности:<br>(Pd, Pb) <sub>3</sub> As<br>(Pd, Ni) <sub>3</sub> As<br>(Генкин, 1968)<br>Pd <sub>3</sub> (As, Fe)<br>(Минералы теллура ... 1972) |  |  | Сингония тетрагональная<br>$a=6,80$<br>$c=3,48$<br>(Claringbull, Hey, 1957)  | λ   R<br>480   44,0<br>540   47,0<br>580   48,5<br>660   52,5<br><br>(Генкин, 1968)  |
|       |                                      |   |  |  |  |  |
| 31    | (Pd, Ni) <sub>2</sub> As             | Pd 41,0-44,4<br>Ni 27,0-30,0<br>As 29,0-30,0  |  |  | Для искусственного Pd <sub>2</sub> As сингония гексагональная<br>$a=9,79$<br>$c=6,61$<br>(Raub, Webb, 1963)  | λ   R <sub>g</sub>   R <sub>p</sub><br>465   51,0   41,2<br>551   52,4   43,6<br>585   53,4   45,1<br>658   54,9   47,0      |
|       |                                      |   |  |  |  |  |

| Оптическая анизотропия, двуотраженные | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость Н, кгс/мм <sup>2</sup> . $K_{H_1}, K_{H_2}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакция травления | Минеральная ассоциация  |
|---------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|
|                                       |                                    |  |  |   |
| Изоотропен                            | Обладает голубоватым оттенком      | 848<br>P=50<br>(рутенный холлингвортит по Генкину, 1966)   |  | Рутенный холлингвортит в медно-никелевых месторождениях в халькопиритовых жилах в ассоциации со сперритом и другими платиновыми минералами.<br>Холлингвортит, обваруженный Штумпфем в виде включений в хромитсодержащих горнолитах) |
| Анизотропия слабая, но отчетливая     | Серый                              | Нет данных   |  | В платиноносных россыпях в ассоциации с ирсаритом (округ Гумбольдт, Калифорния)   |
| Слабоанизотропен                      | Коричневатого-розоватый            | Нет данных   |  | В медно-никелевых рудах в халькопирите со сперритом, холлингвортитом; Pd <sub>3</sub> (As, Te) ассоциируется с котульскитом и (Pd, Ag) <sub>4</sub> Te  |
| Отчетливо анизотропен                 | Розовато-сиреневатый               | 247-436<br>P=30  |  | В медно-никелевых рудах в халькопирите и пентландите в сростании со сперритом, ферроплатиной, пломбопалладитом, поларитом и кюстелитом  |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                            |                                   |
|-------|---|---|---|--|-----------------------------------|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %                 |                                   |
| 32    | Сперрилит PtAs <sub>2</sub>   | Теор. состав:<br>Pt 56,58<br>As 43,42<br>Примеси: Rh, иногда Sn, Cu, Fe, Sb, Bi<br>Разновидности:<br>(Pt, Ir)As <sub>2</sub><br>при Ir—5,0<br>~Pt(Ir, Os) <sub>2</sub> As <sub>4</sub><br>(Stumpfl, 1961) | Сингония кубическая.<br>a=5,94<br>2,94 (8)<br>2,10 (8)<br>1,788 (10)<br>1,33 (8)<br>1,22 (9)<br>1,14 (10)<br>1,05 (9)<br>0,94 (9)<br>0,90 (9)<br>0,89 (9)<br>0,83 (10)<br>0,82 (10)<br>0,79 (10)<br>0,77 (10)<br>(Harcourt, 1942)<br>Для Pd <sub>3</sub> Sb сингония не известна.<br>2,30 (10)<br>2,25 (8)<br>2,16 (8)<br>1,59 (5)<br>(Pamlor, 1962)<br>Для Pd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> сингония гексагональная<br>a=7,60<br>c=13,86<br>(Clark, 1972)<br>Нет данных | λ<br>480<br>540<br>580<br>660                  | R<br>52,5<br>53,0<br>53,0<br>50,0 |
| 33    | Стибиопалладинит от Pd <sub>3</sub> Sb до Pd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> | Pd 73,0<br>Sb 25,0<br>(Генкин, 1968)<br>Разновидности:<br>(Pd, Cu) <sub>3</sub> Sb<br>I Pd 62,0 53,5<br>Pt 6,0 —<br>Cu 5,0 16,0<br>Sb 30,0 31,3<br>(Stumpfl, 1961)  | Для Pd <sub>3</sub> Sb сингония не известна.<br>2,30 (10)<br>2,25 (8)<br>2,16 (8)<br>1,59 (5)<br>(Pamlor, 1962)<br>Для Pd <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> сингония гексагональная<br>a=7,60<br>c=13,86<br>(Clark, 1972)<br>Нет данных  | λ<br>460<br>540<br>580<br>660                  | R<br>46,9<br>52,8<br>53,4<br>56,7 |
| 34    | Pd(Sb, Bi)  | Pb 43,5<br>Sb 25,2<br>Bi 31,2<br>(Stumpfl, 1961)  | Нет данных  | Высокая  |                                   |
| 35    | Pt Sb?  | Pt 50,5<br>Sb 34,7<br>(Stumpfl, 1961)<br><br>Разновидности:<br>Pt(Sb, Bi)<br>Pt 50,5<br>Sb 26,4<br>Bi 15,3<br>(Stumpfl, 1961)   | Сингония гексагональная?<br>Для синтетического PtSb решетка типа NiAs<br>a=4,13<br>c=5,48<br>(Thomassen, 1929)<br>Сингония гексагональная?  | Значительно выше пирротина (других данных нет) |                                   |

| Оптический вид: изотропный, двуотражение  | Цвет, оттенок, внутренние рефлексы     | Твердость по Моосу, Микротвердость P, кгс/мм <sup>2</sup> KН <sub>1</sub> ; KН <sub>2</sub> Нагрузка P, г | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|--|---|--|--|
|   |  |   |  |  |
| Изотропен   | Белый                                  | 635—1119<br>P=70—100  | n=4,63, κ=0,68<br>(измерено А. Д. Рывковым)  | В медно-никелевых рудах в виде идиоморфных кристаллов во всех рудообразующих сульфидах обычно в ассоциации с ферроплатиновой (Pd, Pt, Co) <sub>2</sub> (Sn, Cu), масленичковитом, поляритом, (Pd, Ni) <sub>2</sub> As и золотом—серебром |
| Анизотропен, цветной эффект от серовато-синего до красноватого                                  | Белый с бледно-розовым оттенком        | Нет данных  | От паров царской водки быстро чернеет.<br>Концентрированные HCl, HNO <sub>3</sub> и другие реактивы не действуют | Обнаружен в виде отдельных зерен в платиновом концентрате (Поттитерест, пров. Трансвааль, ЮАР)<br>В медно-никелевых рудах в халькопиритовых жилах в ассоциации с другими платиновыми минералами и самородным золотом                     |
| Двуотражение отсутствует. Анизотропия с цветным эффектом в золотисто-желтых тонах               | Светло-желтый                          | Ниже самородной платины   |  | Обнаружен в платиновом концентрате из платиноносных дунитов в ассоциации с другими платиновыми минералами (Дрейкопф, Южная Африка)   |
| Анизотропен. Двуотражение отсутствует.  | Светло-коричневый с розоватым оттенком | Ниже самородной платины   | Сомнительный, так как сумма равна 85,2%  | В концентратах из платиноносных дунитов в ассоциации с геверситом, Pt(Sb, Bi) и самородной платиной (Дрейкопф, Южная Африка)   |
| Сильно анизотропен. Двуотражение хорошо заметно в воздухе от розоватого до светло-коричневатого | Отчетливо розовый                      | Ниже самородной платины   | По-видимому, видимая разновидность PtSb?   | В концентратах из платиноносных дунитов в ассоциации с PtSb <sub>2</sub> , геверситом и самородной платиной (Дрейкопф, Южная Африка)   |

| № п/п | Название минерала                      | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |                               |
|-------|--|---|---|--------------------------------|-------------------------------|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, % |                               |
| 36    | Геверсит PtSb <sub>2</sub>             | Pt 45,0<br>Sb 51,5<br>Иногда содержит Bi до 7,2   | Сингония кубическая.<br>a=6,55<br>3,232 (4)<br>2,877 (7)<br>2,630 (4)<br>2,285 (4)<br>1,944 (10)<br>1,784 (3)<br>1,719 (4)<br>(Генкин, 1968)                          | ~65<br>(Stumpfl, 1961)         |                               |
| 37    | Фрудит PdBi <sub>2</sub>               | Pd 20,1<br>Bi 79,5<br>(Минералы теллура . . . 1972)   | Сингония моноклинная.<br>a=12,74<br>b=4,29<br>c=5,71<br>β=102°27'<br>2,97 (7)<br>2,77 (10)<br>2,48 (7)<br>2,21 (7)<br>1,637 (6)<br>1,556 (8)<br>(Hawley, Berry, 1958) | λ                              | R <sub>p</sub> R <sub>g</sub> |
|       |  |   |   | 470                            | 57,7 61,3                     |
|       |  |   |   | 546                            | 57,2 60,3                     |
|       |  |   |   | 589                            | 56,8 60,4                     |
|       |  |   |   | 650                            | 56,5 60,2                     |
| 38    | Иксизвант Pt(Bi,Sb) <sub>2</sub>       | Pt 35,4—36,4<br>Bi 49,6—54,6<br>Sb 10,7—14,8<br>(Cabri, Harris, 1972)   | Сингония кубическая.<br>a=6,625<br>2,96 (8)<br>2,70 (8)<br>2,34 (5)<br>1,998 (10)<br>1,774 (7)<br>1,443 (5)<br>1,277 (6)<br>1,171 (6)<br>(Cabri, Harris, 1972)        | λ                              | R                             |
|       |  |   |   | 470                            | 61,1                          |
|       |  |   |   | 546                            | 60,0                          |
|       |  |   |   | 589                            | 60,6                          |
|       |  |   |   | 650                            | 61,7                          |
|       |  |   |   | (Cabri, 1972)                  |                               |
| 39    | (Pd, Ag) <sub>4</sub> Te               | Pd 39,3—40,5<br>Ag 28,2—31,2<br>Te 19,6—21,0<br>Bi 3,4—8,3<br>Pb 2,3—8,5<br>Se 0,1—0,5<br>(Минералы теллура . . . 1972) | Сингония кубическая.<br>Для синтетического Pd <sub>4</sub> Te<br>a=12,674<br>(Grönvold, Rost, 1956)   | λ                              | R                             |
|       |  |   |   | 480                            | 46,6                          |
|       |  |   |   | 540                            | 50,1                          |
|       |  |   |   | 580                            | 51,7                          |
|       |  |   |   | 660                            | 55,6                          |
|       |  |   |   | (Минералы теллура . . . 1972)  |                               |
| 40    | (Pd, Ag) <sub>2</sub> (Ag, Pb)(Te, Se) | Pd 37,4—41,2<br>Ag 21,1—28,7<br>Te 16,8—19,6<br>Pb 10,0—15,2<br>Se 1,4—3,7<br>Bi 0,1—1,4<br>Cu 0—4,4                    |   | λ                              | R <sub>p</sub> R <sub>g</sub> |
|       |  |   |   | 480                            | 39,6 43,6                     |
|       |  |   |   | 540                            | 42,4 44,7                     |
|       |  |   |   | 580                            | 44,4 44,7                     |
|       |  |   |   | 660                            | 46,5 45,0                     |
|       |  |   |   | (Минералы теллура . . . 1972)  |                               |

| Стекло и отражающем свете   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                | Твердость по Моосу. Микро-твердость H <sub>1</sub> , кгс/мм <sup>2</sup> K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакция травления   | Минеральная ассоциация  |
|---|---|---|--|---|
|   |   |   |  |   |
| Изотропен   | Светло-серый                                      | Несколько выше самородной платины   | Концентрированными HCl, HNO <sub>3</sub> и царской водкой не травится  | В концентратах из платиносодержащих дунитов в сростании с PtSb, Pt(Sb,Bi) и платиной самородной (Дрейкофф). В медно-никелевых рудах в халькопирите в ассоциации со стибнопалладинитом |
| Сильно анизотропен от темно-серого до светло-коричнево-серого                     | Кремово-белый, слегка коричневатый                | 83<br>P=25<br>(Cabri e. a., 1973)   | От HNO <sub>3</sub> (1:1) слегка вскипает и бурет, от FeCl <sub>3</sub> быстро чернеет, от KCN медленно темнеет; HCl (1:1), KOH и HgCl <sub>2</sub> не действуют | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с нитридом, сперилитом и теллуридами (теллуриносмугитом и др.)   |
| Изотропен   | Белый   | 488—540<br>P=25<br>(Cabri, 1972)  |  | В медно-никелевых пирротитовых рудах в ассоциации с нитридом  |
| Изотропен   | Светло-серый с чуть заметным сиреневатым оттенком | 46—84<br>P=10<br>(Минералы теллура . . . 1972)  |  | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с когульскитом   |
| Сильно анизотропен с цветным эффектом от зеленовато-желтого до огненно-оранжевого | От голубовато-серого до розово-сиреневого         | 151<br>P=10<br>(Минералы теллура . . . 1972)  |  | В медно-никелевых рудах в халькопирите в сростании с когульскитом и другими минералами теллура  |

| № п/п | Название минерала                           | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |      |      |
|-------|---|--|--|--------------------------------|------|------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, % |      |      |
| 41    | Котульскит<br>Pd(Te, Bi)                    | Pd 31,1<br>Bi 24,9<br>Te 44,0<br>(Генкин и др., 1963)  | Сингония гексагональная.<br>$a=4,19 \pm 0,01$<br>$c=5,67 \pm 0,01$<br>3,05 (10)<br>2,24 (9)<br>2,09 (9)<br>1,53 (7)<br>1,33 (7)<br>1,24 (8)<br>1,21 (7)<br>1,17 (8)<br>(Генкин и др. 1963) | $\lambda$                      | Rp   | Rg   |
|       |   |  |  | 470                            | 55,1 | 57,3 |
|       |   |  |  | 546                            | 60,9 | 64,4 |
|       |   |  |  | 589                            | 63,3 | 65,6 |
|       |   |  |  | 650                            | 65,2 | 67,9 |
|       |   |  |  | (Kingston, 1966)               |      |      |
| 42    | Майченерит<br>(Pd, Pt)(Te, Bi) <sub>2</sub> | Pd 11,7—18,0<br>Te 30,0—38,0<br>Bi 42,0—50,0<br>Pt 8,4—10,0  | Сингония кубическая.<br>Для состава:<br>Pd 23,0<br>Te 31,4<br>Bi 46,2<br>$a=6,68 \pm 0,02$<br>2,98 (7)<br>2,72 (7)<br>2,01 (10)<br>1,789 (7)<br>1,462 (5)<br>1,286 (5)                     | $\lambda$                      | R    |      |
|       |   |  |  | 470                            | 58,2 |      |
|       |   |  |  | 546                            | 55,2 |      |
|       |   |  |  | 589                            | 54,3 |      |
|       |   |  |  | 650                            | 54,7 |      |
|       |   |  |  | (Cabri, 1972)                  |      |      |
| 43    | Меренскит<br>Pd(Te, Bi) <sub>2</sub>        | Pd 23,1—33,2<br>Te 50,8—56,3<br>Bi 14,2—15,1<br>Pt 0—1,8<br>(Kingston, 1966)<br>Разновидность:<br>никелистый меренскит<br>(Pd, Pt, Ni)(Te, Bi) <sub>2</sub><br>Pd 2,1—18,3<br>Pt 0,37—1,5<br>Ni 5,9—17,1<br>Te 65,2—72,5<br>Bi 9,1—14,4<br>(Rucklidge, 1969 <sub>2</sub> ) | Сингония тригональная.<br>$a=3,978$<br>$c=5,125$<br>2,92 (10)<br>2,10 (6)<br>2,07 (3)<br>2,02 (3)<br>1,67 (3)<br>(Kingston, 1966)  | $\lambda$                      | Rp   | Rg   |
|       |   |  |  | 470                            | 60,9 | 62,2 |
|       |   |  |  | 546                            | 63,2 | 65,2 |
|       |   |  |  | 589                            | 64,4 | 67,2 |
|       |   |  |  | 650                            | 64,3 | 67,4 |
|       |   |  |  | (Kingston, 1966)               |      |      |
| 44    | Мончетт<br>Pt(Te, Bi) <sub>2</sub>          | Pt 32,1<br>Te 24,6<br>Bi 40,0  | Сингония гексагональная.<br>$a=4,09$<br>$c=5,288$<br>5,32 (10)<br>2,93 (10)<br>(Генкин и др. 1963)   | $\lambda$                      | Rp   | Rg   |
|       |   |  |  | 470                            | 53,0 | 56,8 |
|       |   |  |  | 546                            | 53,2 | 58,8 |
|       |   |  |  | 589                            | 52,9 | 58,1 |
|       |   |  |  | 650                            | 52,7 | 59,6 |
|       |   |  |  | (Генкин и др. 1963)            |      |      |

| Оптические свойства в отраженном свете  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . КН <sub>1</sub> ; КН <sub>2</sub> . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация  |
|---|------------------------------------|--|--|---|
|   |                                    |  |  |   |
| Отчетливо двуотражающий от голубовато-серого до розово-сиреневого   | Кремово-белый                      | 236<br>P=15<br>(Kingston, 1966)  | HCl, KCN и KOH не действуют                  | В медно-никелевых рудах в халькопирите с миллеритом совместно со сперритом, галенитом и золотом-серебром  |
| Анизотропен с цветным эффектом от серо-голубого до темно-коричневого  |                                    |  |  |   |
| Изотропен   | Белый со слабо розоватым оттенком  | 304—324<br>P=25<br>(Cabri, 1972)   |  | В медно-никелевых рудах в ассоциации с мончеттом, котульскитом и сплавами золота-серебра  |
| Двуотражение заметно, в воздухе от белого до серовато-белого. Анизотропия с сильным цветным эффектом от темно-коричневого до светло-зеленовато-серого | Белый                              | Для синтетического PdTe <sub>2</sub><br>99—128<br>P=15—30  |  | В ассоциации с мончеттом, котульскитом, и другими платиновыми минералами в халькопирите<br>В медно-никелевых рудах в халькопирите совместно с мелонитом, гесситом и другими теллуридами |
| Сильно анизотропен. Двуотражение заметно в воздухе  | Белый                              | 117—185<br>P=3—5   |  | В медно-никелевых рудах в халькопирит-миллеритовой жиле в ассоциации с котульскитом   |

| № п/п | Название минерала                                   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |           |
|-------|---|--|--|--------------------------------|-----------|
|       |   |  |  | Односторонняя способность R, % |           |
| 45    | (Pd, Hg) <sub>x</sub><br>(Te, Bi) <sub>y</sub>      | Pd 27,8<br>Bi 1,6<br>Te 38,5<br>Hg 12,0<br>(Kingslop, 1966)                                    | 2,11 (8)<br>2,02 (7)<br>1,664 (6)<br>1,462 (7)<br>1,282 (7)<br>(Генкин и др. 1963)<br>Нет данных   | $\lambda$                      | R         |
| 46    | Остербошит<br>(Pd, Cu) <sub>z</sub> Se <sub>2</sub> | Pd 44,1—44,9<br>Cu 16,7—17,1<br>Se 38,8—39,2<br>(данные микросондирования; Zdenek и др., 1970) | Сингония ромбическая.<br>$a=10,42 \pm 0,02$<br>$b=10,60 \pm 0,02$<br>$c=14,43 \pm 0,02$<br>2,736 (7); 2,647 (10);<br>2,600 (8); 2,244 (7);<br>1,935 (7); 1,903 (7);<br>1,847 (8) | $\lambda$                      | Rp Rg     |
|       |   |  |  | 460                            | 40,9 44,5 |
|       |   |  |  | 540                            | 44,8 49,5 |
|       |   |  |  | 580                            | 45,4 49,8 |
|       |   |  |  | 640                            | 43,0 48,1 |

## Минералы золота

|    |                      |  |   |   |
|----|----------------------|--|---|---|
| 47 | Золото самородное Au | Примеси: Ag—присутствует постоянно и образует с Au неограниченные твердые растворы; другие наиболее характерные примеси: Cu, Bi, Pt, Pd, Hg, Fe, Te, Se.<br>Разновидности: электрум (~30—50% Ag), порцеит (~8—11,5% Pd), купроаурит (до 17—20% Cu), бисмутоаурит (до 4% Bi), родит (до 43% Rh), иридиевое золото (до 30,5% Ir), платинистое золото (до 10,5% Pt) | Сингония кубическая.<br>$a=4,078$<br>$Z=4$<br>(по Бэрету; Минералы, т. 1, 1960)<br>2,35 (10)<br>2,03 (9)<br>1,437 (8)<br>1,226 (9) (Костов, 1971) | В воздухе:<br>85 (для Na-света, по Друдю);<br>зелен. 47,0<br>оранж. 82,5<br>красн. 86,0<br>В иммерсии:<br>зелен. 45<br>оранж. 80<br>красн. 83,5<br>(Рамдор, 1962)<br>$\lambda$ R<br>470 35<br>550 66<br>590 71<br>650 82<br>(Caye, Servelle, 1968)<br>Электрум<br>В воздухе:<br>желт. 81,0<br>(Юшко, 1971)<br>Сплавы Au с Ag<br>R<br>Ag, % ( $\lambda$ 470) ( $\lambda$ 541)<br>0 36,4 71,6<br>10 43,5 77,9 |
|----|----------------------|--|---|---|

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы              | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1, KH_2$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация   |
|--|---|--|--|--|
|  |   |  |  |  |
| Изохропизм   | Светло-серый в иммерсии с коричневатым оттенком | Более мягкий, чем мерсерит и халькопирит   |  | В халькопирите и ассоциации с мерсеритом                                 |
| Анизотропизм с цветным эффектом от серо-голубоватого до серовато-коричневатого | Белый с кремовым оттенком                       | 340<br>P=50—100  |  | Ассоциирует с палладиево-медным трогитом, дисенитом, ковеллином, кварцем |

## та и сер ебан

|                          |  |   |  |   |
|--------------------------|--|---|--|---|
| Изохропизм               | Золотисто-желтый с изменчивыми оттенками в зависимости от содержания Ag (от 0 до ~10%) имеет красноватый оттенок, при увеличении содержания Ag (~10—30%) — желтоватый; электрум (30—50% Ag) имеет желтовато-белый цвет | 2—3<br>45—100; увеличивается от золота (45—55) к электриту (80—100)<br>P=5—10<br>—<br>41—94<br>(Бови, Тейлор, 1959; Рапатама, 1963; Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | Золото: от KCN чернеет (выявляется структура); от царской водки выявляется структура. Температура плавления 1062,6°<br>Электрум: от паров HNO <sub>3</sub> тускнеет; от KCN темнеет с образованием шероховатой поверхности; от FeCl <sub>3</sub> иногда буреет и кризирует; от HgCl <sub>2</sub> буреет до черного | В гидротермальных месторождениях часто встречается в виде включений в пирите, арсенопирите, пирротине, минералах висмута и др. В низкотемпературных месторождениях характерен парагенезис с теллуридами золота и антимонитом, а также пиритом |
| Внутренних рефлексов нет |  |   |  |   |

| № п.п.                                  | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                     |                           |   |   |     |      |  |
|---|---|---|--|---|---------------------------|---|---|-----|------|--|
|   |   |   |  | Отражательная способность R, %          |                           |   |   |     |      |  |
| 48                                      | Палладиевый купроурид (Cu, Pd) <sub>2</sub> Au <sub>2</sub> (Новый природный интерметаллоид . . . 1971) | Au 60,8—65,6 (61,8)<br>Cu 23,0—28,4 (24,9)<br>Pd 7,7—8,6 (7,6)<br>Rh 1,9—3,4 (2,5)<br>Pt 0—2,3 (1,9)<br>Ag 0,6—0,9 (0,7)<br>Bi 0,6—0,8 (0,6)<br>(данные микрозондирования)  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,88$<br>$b_0=3,88$<br>$c_0=3,84$<br>2,23 (10)<br>1,943 (7)<br>1,923 (7)<br>1,370 (7)<br>1,363 (7)<br>1,178 (7)<br>1,161 (7)                   | 20                                      | 56,0                      | 83,1  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 30                                      | 66,8                      | 86,2  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 40                                      | 75,1                      | 88,0  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 50                                      | 81,5                      | 89,4  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | (Eales, 1967)                           |                           |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | λ                                       | R <sub>p</sub>            | R <sub>g</sub>  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 460                                     | 46,0                      | 49,6  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 580                                     | 59,0                      | 63,5  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 660                                     | 67,4                      | 71,6  |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 800                                     | 79,0                      | 82,1  |   |     |      |  |
| 1100                                    | 85,0  | 93,5  |  |   |                           |   |   |     |      |  |
| 49                                      | Серебро самородное Ag   | Почти не бывает химически чистым; образует твердые растворы с Au, Hg, Sb, Bi, Cu, As, Pt. Разновидности: юстелит (Au 10—20%), конгеберит (Hg 5%), аркверит (Hg 13%), бордозит (Hg до 31%), ашмикинг (Sb 11%, куб. с.), алларгентум (Sb 8—15% рекс.), серебро медистое (Cu до 0,1%), Bi-илленит (Bi до 3%) | Сингония кубическая.<br>$a_0=4,078$<br>2,35 (9)<br>2,04 (5)<br>1,228 (6)<br>(по Харкорт; Рамдор, 1962).<br>2,37 (10)<br>2,05 (8)<br>1,443 (8)<br>1,232 (9)<br>(Костов, 1971) | λ                                       | R                         |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 420                                     | 79,8                      |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 580                                     | 89,4                      |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 700                                     | 91,4                      |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | (Определение рудных минералов.... 1973) |                           |   |   |     |      |  |
|   |   |   |  | 50                                      | Акантит Ag <sub>2</sub> S | Теор. состав: Ag 87,06 S 12,94<br>Примеси: Sb, Fe, Zn (сильные доли процента) | Сингония моноклинная.<br>$a_0=9,49$<br>$b_0=6,93$<br>$c_0=8,30$<br>$\beta=124^\circ$<br>3,40 (7)<br>3,07 (8)<br>2,81 (8)<br>2,58 (10)<br>2,44 (10)<br>2,37 (9)<br>2,08 (8)<br>(по Рамсделу; Минералы, т. 1, 1960) | λ   | R    |  |
|   |   |   |  |   |                           |   |   | 420 | 34,6 |  |
|   |   |   |  |   |                           |   |   | 460 | 36,0 |  |
|   |   |   |  |   |                           |   |   | 580 | 33,7 |  |
|   |   |   |  |   |                           |   |   | 660 | 31,7 |  |
| (Определение рудных минералов.... 1973) |   |   |  |   |                           |   |   |     |      |  |

| Света в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . KН <sub>1</sub> ; KН <sub>2</sub> . Погружка P, гс  | Особенности реакции травления  | Минеральная ассоциация   |  |
|---|--|--|--|--|
|   |  |  |  | Оптическая анизотропия, двуотражение   |
| Анизотропен. Цветные эффекты желтые до темпосерых                           | Светло-розовый с синеватым или красноватым оттенком  | 195,4—213,8<br>P=20<br>173,6—204,6<br>P=50   | Растворяется в горячей царской водке. От KCN чернеет   | В тесном прорастании с юстелитом, электрумом, поляритом и др.  |
| Изотропно (при плохой полировке царапины создают ложный эффект анизотропии) | Ярко-белый, на воздухе быстро тускнеет и покрывается кризирующей пленкой; при увеличении в составе Au приобретает желтоватый оттенок. Внутренних рефлексов нет | 2—3; серебро 41—57; юстелит 70—80; медистое серебро 40—50. P=5—10<br><br>Серебро 40—57 (Бонн, Тейлор, 1959)  | Электропроводность 10 <sup>-5</sup> (по Гарвен); от HNO <sub>3</sub> травится со вскипанием; от FeCl <sub>3</sub> темное кризирующее пятно; от HgCl <sub>2</sub> серый налет                   | Гипогенное серебро ассоциирует с алабакином, аргентитом, пиромеферитом, дискразитом и другими сульфосолями серебра, а также с арсенидами кобальта и никеля; иногда—с уранинитом  |
| Анизотропия слабая. Двуотражение очень слабое                               | Белый, по сравнению с галенитом имеет слабый голубовато-зеленый оттенок. Внутренних рефлексов нет  | 2—2 $\frac{1}{2}$<br>20—30<br>P=7—10 (измерен аргентит—акантит).<br>Для аргентита—акантита (группа): 20—61 (Бонн, Тейлор, 1959); Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | Характерно пластинчатое, нередко полисинтетическое двойникование. От халькозина отличается очень высокой твердостью H, от полибазита отсутствием внутренних рефлексов и значительно меньшей H. | Встречается как гидротермальный и гипергенный минерал, часто в виде параморфоз по аргентиту в ассоциации с пиритом, кальцитом, полибазитом. В Pb—Zn-месторождениях (СССР) наблюдались графитовые сростания с галенитом, халькопиритом и тетраэдритом; псевдоморфозы по пруститу, пираргентиту, стэфаниту и др. |

| № п/п | Название минерала                                  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |               |
|-------|--|--|--|--------------------------------|---------------|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, % |               |
| 51    | Аргентит $Ag_2S$                                   | Теор. состав:<br>Ag 87,6<br>S 12,94  | Сингония кубическая.<br>$a_0=4,89$<br>$Z=2$<br>(по Барту; Минералы, т. I, 1960)  | См. акацит                     |               |
| 52    | Штерибергит $AgFe_2S_3$                            | Теор. состав:<br>Ag 34,17<br>Fe 35,37<br>S 30,46   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=6,62$<br>$b_0=11,66$<br>$c_0=12,70 \text{ \AA}$<br>$a_0:b_0:c_0=0,5679:1:1,0885$<br>(для минерала из Яхимова, по Бергеру; Минералы, т. I, 1960)<br>4,25 (10)<br>3,25 (8)<br>2,79 (8)<br>1,79 (7)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$                      | $R'g$   $R'p$ |
|       |  |  |  | 420                            | 29,4   18,5   |
|       |  |  |  | 460                            | 32,0   20,6   |
|       |  |  |  | 540                            | 35,9   24,2   |
|       |  |  |  | 580                            | 37,0   25,5   |
|       |  |  |  | 700                            | 38,2   28,6   |
|       |  |  | (Определение рудных минералов...., 1973)   |                                |               |
| 53    | Аргентопирит $AgFe_2S_3$                           | Теор. состав:<br>Ag 34,17<br>Fe 35,37<br>S 30,46<br>Примеси:<br>Cu (сильные доли %)                                      | Сингония ромбическая.<br>$a_0=6,64$<br>$b_0=11,47$<br>$c_0=6,45 \text{ \AA}$<br>$Z=4$<br>(по Мёрдоку [и Берри; Минералы, т. I, 1960])  | Около 45                       |               |
| 54    | Штрюмейерит $Ag_{1-x}Cu_xS$<br>(при x от 0 до 0,1) | Теор. состав для $AgCuS$ :<br>Ag 53,05<br>Cu 31,19<br>S 15,76<br>(Ag по химическим анализам варьирует от 48,64 до 53,96) | Сингония ромбическая.<br>( $\beta$ -модификация)<br>$a_0=4,06$<br>$b_0=6,66$<br>$c_0=7,99 \text{ \AA}$<br>$a_0:b_0:c_0=0,6096:1:1,1997$<br>$Z=4$<br>(по Суру; Минералы, т. I, 1960)  | $\lambda$                      | $Rg$   $Rp$   |
|       |  |  |  | 460                            | 36,1   28,3   |
|       |  |  |  | 580                            | 28,3   25,1   |
|       |  |  | (Определение рудных минералов...., 1973)   |                                |               |

| Оптические свойства в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1$ ; $KH_2$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|---|---|---|---|
|   |   |   |   |
| См. акацит  | См. акацит  | См. акацит  | Сходен с акацитом, который образует параморфозы по аргентиту  |
| Сильно анизотропен. Двуотражение отчетливое   | Цвет кремовый с розовым оттенком  | 1—1/2<br>49—136<br>1,30; 2,32<br>P=20<br>32—74<br>(Young, Millman, 1964; Markham, Lawrence, 1962)     | Наиболее обычен в гидротермальных (низко- и среднетемпературных) месторождениях серебряных руд вместе с другими минералами серебра (серебром, кераргиритом, сложными сульфидами Ag и др.). Менее обычен в составе руд Co—Ni и Pb—Zn<br>Обычно в виде включений в пираргирите, полубазите, стефаните, прустите, галените, шваните, антимоните. Также ассоциирует с пиритом, аргентитом, пирротитом, Ni—Co-арсенидами и др. |
| Анизотропен. Двуотражение заметное  | Серовато-желтый   | 3 1/2 — 4<br>250—252<br>(Markham, Lawrence, 1962)   | Редкий минерал; образует отдельные кристаллы и агрегаты; ассоциирует с мышьяком, пруститом, хлоритом, пиритом и др. минералами. Впервые встречен в Яхимова (СССР) и в Андриасберге (ФРГ)  |
| Сильно анизотропен. Двуотражение в воздухе очень слабое, заметное на границах зерен, в иммерсии усиливается | Серовато-белый с отчетливым пепло-серевым оттенком  | 2 1/2 — 3<br>40—54<br>1,25; 1,36<br>P=10<br>27—62<br>(Боан, Тейлор, 1959; Uytendogaardt, Burke, 1971) | Характерна структура олеандровых листьев при световом травлении. От халькозина отличается меньшей $H$ . От $HNO_3$ слабо тускнеет; от $HCl$ темнеет; от $FeCl_3$ призирует и выявляет структуру; от $HgCl_2$ иризирует и выявляет структуру; от $KCN$ буреет  |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свой   |                       |
|-------|--|--|--|---|-----------------------|
|       |  |  |  | Освещательная способность R, %  |                       |
| 55    | Купшайт (арсенид Cu и Ag) (Hak, Johan, Skinner, 1970)          | Cu 44,6—45,3<br>Ag 31,5—31,6<br>As 25,6—25,7<br>(данные микрозондирования)   | Кубическая сингония<br>$a_0$ 11,76<br>$Z=28$<br>2,259 (10)<br>2,078 (10)<br>2,702 (9)<br>2,398 (8)<br>1,991 (7)<br>1,959 (7)<br>1,776 (7)  | $\lambda$   | R                     |
|       |  |  |  | 420   | 47,2                  |
|       |  |  |  | 460   | 46,2                  |
|       |  |  |  | 500   | 44,2                  |
|       |  |  |  | 540   | 42,8                  |
|       |  |  |  | 580   | 41,4                  |
|       |  |  |  | 620   | 39,3                  |
| 56    | Пирсцит (Ag, Cu) <sub>14</sub> As <sub>2</sub> S <sub>11</sub> | Теор. состав (при Ag:Cu=10:1)<br>Cu 4,29<br>Ag 72,49<br>As 6,92<br>S 16,30<br>Cu колеблется от 3,04 до 18,11<br>Примесь Sb | Сингония моноклинная (псевдогексагональный),<br>$a_0=12,66$<br>$b_0=7,30$<br>$c_0=11,92$<br>$\beta=90^{\circ}00'$<br>$a_0:b_0:c_0=1,732:1:1,631$<br>$Z=2$<br>2,96 (10)<br>2,78 (9)<br>2,47 (6)<br>2,34 (5)<br>2,30 (6)<br>1,823 (6)<br>(по Пиккоу и Берри; Минералы, т. 1, 1960) | В воздухе: зелен. 29,5<br>оранж. 25,5<br>красн. 25,5<br>В иммерсии: зелен. 19<br>оранж. 14,5<br>красн. 13<br>(Рамдор, 1962) | $\lambda$   R'g   R'p |
|       |  |  |  | 420   | 36,9   31,3           |
|       |  |  |  | 460   | 37,0   30,5           |
|       |  |  |  | 540   | 35,3   28,0           |
|       |  |  |  | 580   | 34,3   27,6           |
|       |  |  |  | 660   | 32,6   26,6           |
| 57    | Прустит Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>                       | Теор. состав:<br>Ag 65,42<br>As 15,14<br>S 19,44<br>Примесь Sb   | Сингония тригональная.<br>$a_{rh}=6,86$<br>$a=103^{\circ}27'$<br>$Z=2$<br>$a_h=10,76$<br>$c_h=8,66$<br>$a_h:c_h=1:0,804$<br>$Z=6$<br>(по Харкору; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,20 (10)<br>2,75 (7)<br>2,53 (9)<br>(по Харкору; Минералы, т. 1, 1960)                               | В воздухе: зелен. 28<br>оранж. 21,5<br>красн. 20,5<br>В иммерсии: зелен. 15<br>оранж. 11,5<br>красн. 10<br>(Рамдор, 1962)   | $\lambda$   Rg   R'p  |
|       |  |  |  | 460   | 32,9   29,2           |
|       |  |  |  | 580   | 26,6   23,2           |
|       |  |  |  | 660   | 25,3   22,0           |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . $K_{H_1}:K_{H_2}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|--|--|--|--|
|   |  |  |  |  |
| Изотропен   | Серо-белый до слегка синевато-серого; в иммерсии синевато-серый                                | 387—398<br>P~8—15  | От HNO <sub>3</sub> травится с выделением пузырьков газа, становится синим, затем бурым и черным; от FeCl <sub>3</sub> (20%) темнеет, сереет   | Встречается в ассоциации с новакитом, коулеитом, пикситом, арсеноламприном (ЧССР)  |
| Анизотропия умеренная, в иммерсии более отчетливая. Двуотражение в воздухе очень низкое, наблюдается лишь по границам зерен, в иммерсии умеренное | Серо-белый с очень слабым нежно-зеленым оттенком. Внутренние рефлексы темно-красные            | ~3<br>142—164<br>P=50—100<br>(Бони и Тейлор, 1959; Young, Millman, 1964)                       | По оптическим свойствам близок к полибазиту; отличается более высокой микротвердостью.<br>От KCN чернеет   | Встречается в виде включений в галените, тетраэдрите, сфалерите, пирите. Ассоциирует также с халькопиритом, стефанитом, пираргиритом, штроемберитом, аргентитом и др. Найден лишь в нескольких месторождениях серебряных руд |
| Анизотропия сильная. Двуотражение отчетливое, в иммерсии сильное  | Серовато-белый с голубоватым оттенком. Внутренние рефлексы кроваво-красные до кирпично-красных | 2—2 $\frac{1}{2}$<br>75—187<br>1,37, 1,40<br>P=20<br>(измерено совместно с О. Л. Свешниковой)  | От пираргирита отличается по внутренним рефлексам и микрохимическим реакциям. В проходящем свете оптически отрицательный; Li—свет: $n_m=3,088$<br>$n_p=2,792$<br>(Юшко, 1966)<br>От царской водки травится; от KCN буреет (до черного); от FeCl <sub>3</sub> темнеет, иногда чернеет; от HgCl <sub>2</sub> буреет, иризирует | Ассоциирует с пираргиритом, а также с арсенидами никеля и кобальта. В виде микровключений встречается в галените; может содержать микровключения серебра   |

| № п/п     | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
|-----------|--|---|---|---|---|-----------|----------------|-----------------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
|           |  |   |   | Отражательная способность R, %  |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 58        | Биллингслейт<br>Ag <sub>2</sub> (As, Sb)S <sub>4</sub><br>(Frondel, Попел, 1968) | Ag 76,22<br>As 5,78<br>Sb 1,51<br>S 16,41<br>Примеси:<br>Cu 0,02<br>Fe 0,06<br>As:Sb=6,22:1<br>(данные микрозондирования) | Ромбическая сингония (псевдотетрагональный).<br>$a_0 \approx b_0$ 14,82<br>$c_0$ 10,48<br>$a_0:b_0:c_0=1:1:0,767$<br>$Z=2$ ;<br>3,50 (4)<br>3,04 (10)<br>2,48 (8)<br>1,82 (7)<br>1,86 (7)   | Около 30% (?)<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 59        | Мваргирит<br>AgSbS <sub>2</sub>  | Теор. состав:<br>Ag 36,72<br>Sb 41,45<br>S 21,83<br>Примеси: As, Cu, Pb   | Сингония моноклиническая.<br>$a_0=13,17$<br>$b_0=4,39$<br>$c_0=12,83$<br>$\beta=81^{\circ}33'$<br>$Z=8$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,443 (9)<br>2,877 (10)<br>2,739 (8)<br>(по Грэхму; Минералы, т. I, 1960)<br>3,42 (4)<br>2,88 (5)<br>2,74 (3)<br>(по Харкорту, Рамдор, 1962)       | В воздухе:<br>зелен. 33<br>оранж. 29<br>красн. 28<br>В иммерсии:<br>зелен. 22<br>оранж. 17<br>красн. 15<br>(Рамдор, 1962)         |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 60        | Пираргирит<br>Ag <sub>2</sub> SbS <sub>3</sub>                                   | Теор. состав:<br>Ag 59,76<br>Sb 22,48<br>S 17,76<br>Примесь As  | Сингония тригональная (дигригонально-пирамидальный класс).<br>$a_{rh}=7,00$<br>$\alpha=104^{\circ}$<br>$Z=6$<br>$a_0=11,04$<br>$c_0=8,72$<br>(по Окару; Рамдор, 1962)<br>По Харкорту:<br>3,20 (9)<br>2,79 (10)<br>2,55 (10)<br>1,680 (6)<br>1,600 (6)<br>(Минералы, т. I, 1960) | В воздухе:<br>зелен. 32,5<br>оранж. 27<br>красн. 24,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 19,5<br>оранж. 16,5<br>красн. 15<br>(Рамдор, 1962) | <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\lambda</math></th> <th>R<sub>g</sub></th> <th>R'<sub>p</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>420</td> <td>36,6</td> <td>34,8</td> </tr> <tr> <td>460</td> <td>36,5</td> <td>34,4</td> </tr> <tr> <td>580</td> <td>28,8</td> <td>26,4</td> </tr> <tr> <td>660</td> <td>26,5</td> <td>24,6</td> </tr> </tbody> </table> | $\lambda$ | R <sub>g</sub> | R' <sub>p</sub> | 420 | 36,6 | 34,8 | 460 | 36,5 | 34,4 | 580 | 28,8 | 26,4 | 660 | 26,5 | 24,6 |
| $\lambda$ | R <sub>g</sub>   | R' <sub>p</sub>   |   |   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 420       | 36,6   | 34,8  |   |   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 460       | 36,5   | 34,4  |   |   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 580       | 28,8   | 26,4  |   |   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 660       | 26,5   | 24,6  |   |   |   |           |                |                 |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |

(Определение рудных минералов..., 1973)

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок, внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup><br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс              | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|---|---|--|---|--|
|   |   |  |   |  |
| —   | —   | —  | От КОН травится   | Ассоциирует с шпритом, аргентитом, теннантитом, висмутином; встречается в виде микровключений в галените   |
| Анизотропия сильная. Двуотражение отчетливое  | Белый. Внутренние рефлексы вишнево-красные; в воздухе редки, в иммерсии чаще                                    | $2 \frac{1}{2}$<br>110—124<br>P=20<br>102—130<br>P=50<br>(Young, Millman, 1964;<br>Uytenbogaardt, Burke, 1971) | От фрейбергита отличается более низкой микротвердостью и анизотропностью; от полубазита более сильной анизотропией; от штрюмeyerита—более высокой микротвердостью и наличием внутренних рефлексов. От KCN бледно-коричневое окрашивание   | Ассоциирует со сфалеритом, пиростильшитом. Встречается в виде микровключений в тетраэдрите, галените; образует сростания с шваргиритом и другими Ag-Sb-минералами, а также с арсеницитом, халькопиритом и др.                    |
| Анизотропия сильная (лучше наблюдается в воздухе). Двуотражение в воздухе отчетливое, в иммерсии довольно сильное | Белый с синеваато-серым оттенком. Внутренние рефлексы карминово-красные со слегка фиолетовым оттенком (сильные) | $2-2 \frac{1}{2}$<br>66—165<br>1,40; 1,45<br>P=20<br>(измерено совместно с О. Л. Свешниковой)                  | Световое травление заметно при длительном освещении. От прустита отличается по внутренним рефлексам (более слабые) и микротвердости. Мваргирит отчетливо светлее. От KCN черный налет; от FeCl <sub>3</sub> слабое травление; от КОН черная побежалость; от HgCl <sub>2</sub> светло-коричневое пятно | Встречается главным образом в гидротермальных Pb-Zn-Ag месторождениях, а также в Ag-Co-Ni месторождениях. Ассоциирует с галенитом, серебром, пруститом, а также сложными сульфидными Sb и Pb. Заменяется полубазитом, аргентитом |

| № п/п     | Название минерала   | Химический состав. Характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
|-----------|---|--|---|--|-----------|-------|-------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|--|
|           |   |  |   | Отражательная способность R, %   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 61        | Стефанит<br>$Ag_3SbS_4$   | Теор. состав:<br>Ag 68,3<br>Sb 15,42<br>S 16,25<br>(иногда содержит примеси: Fe, Cu, As)   | Сингония ромбическая.<br>$a_0$ 7,72<br>$b_0$ 12,34<br>$c_0$ 8,50<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,625:1:0,688$<br>$Z=4$<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960)<br>3,06 (4)<br>2,90 (2)<br>2,56 (3)<br>(по Харкаурту; Рамдор, 1962)<br>3,05 (10)<br>2,88 (10)<br>2,56 (10)<br>(по Пермигиту; Минералы, т. I, 1960)<br>Сингония моноклиническая.<br>$a_0=26,17$<br>$b_0=15,11$<br>$c_0=23,89$<br>$\beta=90^{\circ}00'$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,732:1:1,581$<br>$Z=2$<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960)<br>3,18 (9)<br>2,99 (10)<br>2,87 (8)<br>2,69 (5)<br>2,52 (6)<br>1,886 (6)<br>(по Пикоку и Берри; Рамдор, 1962)<br>Сингония моноклиническая.<br>$a_0=7,53$<br>$b_0=12,79$<br>$c_0=6,88$<br>$\beta_0=92^{\circ}14'$<br>$Z=1$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,45 (10)<br>2,96 (7)<br>2,82 (10)<br>2,07 (7) | В воздухе:<br>зелен. 29<br>оранж. 27,5<br>красн. 24,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 17<br>оранж. 13,5<br>красн. 10<br>(Рамдор, 1962)<br><table border="1"> <tr><th><math>\lambda</math></th><th><math>R'g</math></th><th><math>R'p</math></th></tr> <tr><td>420</td><td>32,4</td><td>30,0</td></tr> <tr><td>460</td><td>34,0</td><td>31,1</td></tr> <tr><td>540</td><td>31,3</td><td>27,7</td></tr> <tr><td>580</td><td>30,2</td><td>26,9</td></tr> <tr><td>660</td><td>29,3</td><td>27,2</td></tr> </table><br>(Определение рудных минералов..., 1973)   | $\lambda$ | $R'g$ | $R'p$ | 420 | 32,4 | 30,0 | 460 | 34,0 | 31,1 | 540 | 31,3 | 27,7 | 580 | 30,2 | 26,9 | 660 | 29,3 | 27,2 |  |
| $\lambda$ | $R'g$   | $R'p$  |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 420       | 32,4  | 30,0   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 460       | 34,0  | 31,1   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 540       | 31,3  | 27,7   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 580       | 30,2  | 26,9   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 660       | 29,3  | 27,2   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 62        | Полибазит<br>$(Ag, Cu)_{10}Sb_2S_{11}$                                  | Теор. состав:<br>(при Ag:Cu=10:1)<br>Cu 4,10<br>Ag 69,47<br>Sb 10,82<br>S 15,61<br>Sb может замещаться As (до нескольких процентов); содержание Cu колеблется в пределах 2,50—9,9 (Минералы, т. I, 1960) | Сингония моноклиническая.<br>$a_0=26,17$<br>$b_0=15,11$<br>$c_0=23,89$<br>$\beta=90^{\circ}00'$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,732:1:1,581$<br>$Z=2$<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960)<br>3,18 (9)<br>2,99 (10)<br>2,87 (8)<br>2,69 (5)<br>2,52 (6)<br>1,886 (6)<br>(по Пикоку и Берри; Рамдор, 1962)<br>Сингония моноклиническая.<br>$a_0=7,53$<br>$b_0=12,79$<br>$c_0=6,88$<br>$\beta_0=92^{\circ}14'$<br>$Z=1$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,45 (10)<br>2,96 (7)<br>2,82 (10)<br>2,07 (7)  | В воздухе:<br>зелен. 29,5<br>оранж. 25,5<br>красн. 25,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 19<br>оранж. 14,5<br>красн. 13<br>(Рамдор, 1962)<br><table border="1"> <tr><th><math>\lambda</math></th><th><math>R'g</math></th><th><math>R'p</math></th></tr> <tr><td>420</td><td>32,0</td><td>31,8</td></tr> <tr><td>460</td><td>31,6</td><td>30,9</td></tr> <tr><td>580</td><td>30,3</td><td>28,2</td></tr> <tr><td>660</td><td>29,0</td><td>27,7</td></tr> <tr><td>700</td><td>28,0</td><td>27,0</td></tr> </table><br>(Определение рудных минералов..., 1973) | $\lambda$ | $R'g$ | $R'p$ | 420 | 32,0 | 31,8 | 460 | 31,6 | 30,9 | 580 | 30,3 | 28,2 | 660 | 29,0 | 27,7 | 700 | 28,0 | 27,0 |  |
| $\lambda$ | $R'g$   | $R'p$  |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 420       | 32,0  | 31,8   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 460       | 31,6  | 30,9   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 580       | 30,3  | 28,2   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 660       | 29,0  | 27,7   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 700       | 28,0  | 27,0   |   |  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |
| 63        | Фрейслебенит<br>$AgPbSbS_3$<br>(группа фрейслебенита; Свешникова, 1972) | Pb:Sb=1:1<br>Теор. состав по формуле:<br>Ag 20,23<br>Pb 38,87<br>Sb 22,84<br>S 18,06<br>Примеси: Cu, Fe  | Сингония моноклиническая.<br>$a_0=7,53$<br>$b_0=12,79$<br>$c_0=6,88$<br>$\beta_0=92^{\circ}14'$<br>$Z=1$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,45 (10)<br>2,96 (7)<br>2,82 (10)<br>2,07 (7)  | В воздухе:<br>зелен. 37,5<br>оранж. 30,5<br>красн. 30<br>В иммерсии:<br>зелен. 22,5<br>оранж. 17,5<br>красн. 19<br>(Рамдор, 1962)  |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1$ ; $KH_2$<br>Нагрузка $P$ , гс                   | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|---|---|--|---|---|
|   |   |  |   |   |
| Анизотропия сильная; двуотражение незначительное, в иммерсии более отчетливое   | Беловато-серый с фиолетово-розоватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались         | $2-2\frac{1}{2}$<br><br>26—47<br>$P=7-10$<br>31—37<br>(Uytenboogaardt, Burke, 1971)                                    | От арсентита отличается по микротвердости, а также светлее и розовее. От штериберита отличается отсутствием двойников (в иммерсии). От сульфосолей Ag отличается отсутствием внутренних рефлексов. От KCN чернеет со слабым всплыванием. Светотравление весьма слабое и часто отсутствует | Наиболее часто ассоциирует с пираргиритом и полибазитом, а также с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и Ni-Co-Fe-арсенидами; может содержать включения серебра, арсентита, штериберита и др.   |
| Анизотропия слабая. Двуотражение очень слабое: от зеленоватого до синевато-серого   | Серо-белый с зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы темно-красные заметные, в иммерсии | 2—3<br><br>98—129<br><br>—; 1,20<br>$P=20$<br>116—155<br>$P=50$<br>(Young, Millman, 1964; Uytenboogaardt, Burke, 1971) | Характерно светотравление поверхности—при освещении вольтовой дугой. От фрейбергита отличается меньшей микротвердостью, от стефанита и арсентита—более высокой $H$ , а от пирсента—более низкой $H$ . От KCN быстрое почернение   | Ассоциирует со стефанитом, пираргиритом, арсентитом, штериберитом, фрейбергитом и др. Имеет довольно широкое распространение в месторождениях серебра, но обычно в небольших количествах. Нередко образуется как вторичный минерал по сфалериту, галениту, блеклым рудам; иногда—по стефаниту и пираргириту |
| Анизотропия отчетливая. Двуотражение очень слабое: в воздухе заметное лишь по границам зерен, в иммерсии несколько отчетливее | Белый до светло-серого (сходен с галенитом). Внутренние рефлексы обычно не заметны        | $2-2\frac{1}{2}$<br><br>104—189<br><br>1,5; —<br>$P=20$<br>(совместно с данными Свешниковой, 1972)                     | От $HNO_3$ чернеет; от царской водки вскипает, образуется буроватый, кризирующий налет  | Чаще встречается в месторождениях Ag-Pb-Zn-формации, в ассоциации главным образом с галенитом, образуя с ним теснейшие прорастания (Фрейберг, ГДР; Нендель-Энзина, Испания; Свешникова, 1972)   |

| № п/п     | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
|-----------|---|--|--|--------------------------------|----|----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|----|--|-----------|---|-----|------|-----|------|-----|------|--|--|
|           |   |  |  | Отражательная способность R, % |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| 64        | Диафорит<br>$Ag_3Pb_2Sb_4S_3$<br>(группа фрейслебенита; Свешникова, 1972) | Pb:Sb=2:3<br>Теор. состав:<br>Ag 23,78<br>Pb 30,48<br>Sb 26,87<br>S 18,87  | (по Харкорту; Минералы, т. 1, 1960)<br>Сингония моноклинная.<br>$a_0=15,849$<br>$b_0=5,901$<br>$c_0=32,084$<br>$\beta=90^{\circ}11'$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$2,686:1:5,437$<br>$Z=8$<br>(по Хельмеру).<br>Опорные линии для всей группы 2,80—2,87 (10); маркирующие линии для диафорита и броньардита: 3,29—3,37 (8—10) 2,03—2,07 (5—8) (Свешникова, 1972)<br>Сингония ромбическая. Представляет тесное прорастание двух очень близких минералов—андорита IV и андорита VI, различающихся величиной $c_0$ :<br><table border="1"> <tr> <td></td> <td>IV</td> <td>VI</td> </tr> <tr> <td><math>a_0</math></td> <td>13,3</td> <td>13,3</td> </tr> <tr> <td><math>b_0</math></td> <td>19,15</td> <td>19,15</td> </tr> <tr> <td><math>c_0</math></td> <td>17,16</td> <td>25,74</td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>2</td> <td>12</td> </tr> </table> 3,28 (10)<br>2,90 (9)<br>2,75 (8)<br>1,88 (8)<br>1,795 (8)<br>(по Харкорту; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,30—3,36 (6—10)<br>2,89—2,94 (6—10)<br>3,42—3,48 (4)<br>(для группы андорита: андорита, пиказента, рамдорита и физелита, Свешникова, 1972) |                                | IV | VI | $a_0$ | 13,3 | 13,3 | $b_0$ | 19,15 | 19,15 | $c_0$ | 17,16 | 25,74 | Z | 2 | 12 | В воздухе:<br>~31<br>(Минералы, т. 1, 1960)<br><table border="1"> <tr> <td><math>\lambda</math></td> <td>R</td> </tr> <tr> <td>480</td> <td>43,8</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>38,0</td> </tr> <tr> <td>640</td> <td>37,5</td> </tr> </table><br>(по А. Д. Ракчеву; Свешникова; Ракчев, 1967) | $\lambda$ | R | 480 | 43,8 | 600 | 38,0 | 640 | 37,5 |  |  |
|           | IV  | VI   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $a_0$     | 13,3  | 13,3   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $b_0$     | 19,15   | 19,15  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $c_0$     | 17,16   | 25,74  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| Z         | 2   | 12   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $\lambda$ | R   |  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| 480       | 43,8  |  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| 600       | 38,0  |  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| 640       | 37,5  |  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| 65        | Андорит<br>$AgPbSb_4S_8$<br>(группа андорита)                             | Pb:Sb=1:1<br>Теор. состав:<br>Pb 23,75<br>Ag 12,36<br>Sb 41,87<br>S 22,02<br>Примеси: Cu, Zn, Fe.<br>Разновидности: пиказент $Ag_3CuPb_4Sb_4S_{12}$ (Свешникова, 1972) | Сингония ромбическая. Представляет тесное прорастание двух очень близких минералов—андорита IV и андорита VI, различающихся величиной $c_0$ :<br><table border="1"> <tr> <td></td> <td>IV</td> <td>VI</td> </tr> <tr> <td><math>a_0</math></td> <td>13,3</td> <td>13,3</td> </tr> <tr> <td><math>b_0</math></td> <td>19,15</td> <td>19,15</td> </tr> <tr> <td><math>c_0</math></td> <td>17,16</td> <td>25,74</td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>2</td> <td>12</td> </tr> </table> 3,28 (10)<br>2,90 (9)<br>2,75 (8)<br>1,88 (8)<br>1,795 (8)<br>(по Харкорту; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,30—3,36 (6—10)<br>2,89—2,94 (6—10)<br>3,42—3,48 (4)<br>(для группы андорита: андорита, пиказента, рамдорита и физелита, Свешникова, 1972)   |                                | IV | VI | $a_0$ | 13,3 | 13,3 | $b_0$ | 19,15 | 19,15 | $c_0$ | 17,16 | 25,74 | Z | 2 | 12 | В воздухе:<br>зелен. 31,5<br>оранж. 27,5<br>красн. 25,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 16<br>оранж. 15<br>красн. 15<br>(Рамдор, 1962)  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
|           | IV  | VI   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $a_0$     | 13,3  | 13,3   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $b_0$     | 19,15   | 19,15  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| $c_0$     | 17,16   | 25,74  |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |
| Z         | 2   | 12   |  |                                |    |    |       |      |      |       |       |       |       |       |       |   |   |    |  |           |   |     |      |     |      |     |      |  |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моссу. Микротвердость $H_v$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности. Реакция травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|---|--|--|--|
|   |   |  |  |  |
| Анизотропия слабая (часто может быть принят за изотропный) (Минералы, т. 1, 1960)<br>По Рамдору: анизотропия сильная, без цветных эффектов.<br>Двуотражение слабое, в иммерсии по границам зерен отчетливое | Белый со слабым зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались                      | $2 \frac{1}{2} - 3$<br>100—238<br>—; 2,1<br>P=30<br>(совместно с данными Свешниковой и Ракчева, 1967)  | От царской водки вскипает, дает радужное окрашивание; от HNO <sub>3</sub> травится (слабо)                     | Встречается чаще в месторождениях формации Ag-Pb-Zn, как правило, с галенитом; при этом ассоциирует в тесных сростаниях с овихинитом, булакежитом и фрейслебенитом (Усть-Теремки, Безмятное и др., СССР; Пришибрам, ЧССР; Фрейберг, ГДР и др.; Свешникова, 1972)   |
| Анизотропия слабая.<br>Двуотражение очень слабое, заметно лишь на границе зерен   | Белый (сходен с галенитом) со слегка голубоватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались | $3 - 3 \frac{1}{2}$<br>140—247<br>—; 1,6<br>P=30<br>(совместно с данными Свешниковой, 1972)<br>140—193<br>(Ragnamaa, 1963; Young, Millman, 1964) | Точная диагностика требует применения различных методов.<br>От HNO <sub>3</sub> коричневый палет (стирающийся) | В месторождениях формации Ag-Pb-Zn андорит ассоциирует с антимонитом (Бая Спрне, Бая Маре, СРР) и овихинитом (Моря, США). В золото-сульфидных месторождениях наказент ассоциирует с фрейбергитом и антимонитом (Гакази, Япония); в оловянно-серебряных месторождениях андорит ассоциирует с фрейбергитом и Pb-сульфосантимонитами (Оуро, Потоси, Боливия); в антимонитовых месторождениях (Люданг, ФРГ)—с физелитом и антимонитом (Свешникова, 1972) |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства               |       |
|-------|--|--|--|-----------------------------------|-------|
|       |  |  |  | Отрицательная способность $R$ , % |       |
| 66    | Рамдорит<br>$AgPb_2Sb_8S_7$<br>(группа андорита; Свешникова, 1972) | Pb:Sb=2:3<br>Ag 12,44<br>Pb 35,84<br>Sb 35,09<br>S 16,63<br>(данные микрозондирования).<br>Разновидности:<br>физелит<br>$Ag_2Pb_3Sb_8S_{18}$ | Сингония ромбическая.<br>$a_0=12,99$<br>$b_0=19,21$<br>$c_0=25,74 \text{ \AA}$<br>$Z=1$<br>(По Нафилду; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,30—3,36 (6—10)<br>2,89—2,94 (6—10)<br>3,42—3,48 (4)<br>(общие для группы: андорит, рамдорит, физелит, навазент) | $\lambda$                         | $R$   |
|       |  |  |  | 470                               | 29,5  |
| 67    | Обихит<br>$Ag_2Pb_5Sb_8S_{13}$<br>(группа обихита)                 | Pb:Sb=5:6<br>Теор. состав:<br>Ag 8,80<br>Pb 42,18<br>Sb 29,41<br>S 19,61<br>Примесь Cu<br>Разновидность теремконит<br>$Ag_2Pb_5Sb_8S_{20}$   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=22,82$<br>$b_0=27,20$<br>$c_0=8,19$<br>$Z=8$<br>Для группы:<br>3,22—3,24 (10)<br>3,45—3,46 (8—10)<br>2,81—2,84 (3—5)<br>2,22—2,23 (8)<br>(Свешникова, 1972)  | $\lambda$                         | $R$   |
|       |  |  |  | 470                               | 38,5  |
| 68    | Балканит<br>$Cu_4Ag_2HgS_8$<br>(Atanassov, Kirov, 1973)            | Cu 37,4<br>Ag 33,1<br>Hg 14,0<br>S 17,2<br>(данные микрозондирования)  | Орторомбический:<br>$a_0=10,62$<br>$b_0=9,42$<br>$c_0=3,92$<br>$Z=1$<br>3,09 (7)<br>2,98 (10)<br>2,89 (7)<br>2,61 (8)<br>2,55 (10)<br>2,45 (8)<br>1,985 (8)<br>1,955 (9)   | $\lambda$                         | $R'g$ |
|       |  |  |  | 420                               | 43,9  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение               | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$\lambda H_1$ ; $\lambda H_2$<br>Нагрузка $P$ , гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|---|---|
|  |   |  |   |   |
| Анизотропия слабая.<br>Двуотражение очень слабое   | Белый со слегка голубоватым оттенком (сходен с галенитом).<br>Внутренние рефлексы не наблюдались        | 2<br>126—195<br>—; 1,6<br>$P=20$<br>Физелит (образец из месторождения Хержа, Румыния):<br>113—182<br>$P=20$  | Необходимо применение комплекса микрометодов  | Встречен в оловяно-серебряной жиле в Потоси (Боливия) и кварце совместно с тетраэдритом, станинитом, шпритом, антимонитом и др.   |
| Анизотропия очень сильная. Двуотражение отчетливое | Серо-белый со слабым оттенком от серовато-зеленого до оливкового.<br>Внутренние рефлексы не наблюдались | $2 \frac{1}{2}$<br>129—216 (микроагрегат:<br>104—123)<br>$P=10—20$<br>98—214 (Индолев, 1964; Свешникова, Ракчеев, 1965; Лавтеев, 1962; Тимофеевский, 1967) | Отличается с трудом, необходимо применение различных методов. От $HNO_3$ травится. $HCl$ (конц.) действует в зависимости от сечения: от побурения до интенсивной буровато-серой окраски (Индолев, 1964) | Ассоциирует главным образом с галенитом, а также с тетраэдритом, халькопиритом, сфалеритом, арсенопиритом, диафоритом, андоритом, джемсонитом и др.<br>Образует тесные прорастания с буланжеритом, шпираргиритом (Встречается в месторождениях Усть-Теремки, Мангазейское, Безымянное и др., СССР; Мори, США) |
| Сильно анизотропен                                 | Серо-белый  | $\sim 2 \frac{1}{2}$<br>79—92<br>$P=10$  | От KCN (20%) $HgCl_2$ (5%) $FeCl_3$ (20%) образуется коричневый налет; $HNO_3$ (1:1) $HCl$ (1:1) $KOH$ (40%) не действуют   | Ассоциирует с халькопиритом, борнитом, халькозинном, дисгенином, киноварью, антителитом, штроейеритом; образует с перечисленными минералами графические прорастания (установлен в месторождении Семночленицы, ИРБ)  |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства            |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

## Минералы

|    |   |   |   |           |           |   |
|----|---|---|---|-----------|-----------|---|
| 69 | Селен Se  |   | Сингония гексагональная и моноклинные   | 25—35%    |           |   |
|    |   |   | $a_0=4,34$<br>$c_0=4,95$<br>$a_0:c_0=1:1,141$<br>2,975 (10)<br>2,06 (10)<br>1,755 (10)<br>1,642 (8)<br>1,634 (8)<br>1,424 (8)                                       | $\lambda$ | R'g       | R'p   |
| 70 | Клокманнит CuSe   | Теор. состав:<br>Cu 43,58<br>Se 56,42                   | Сингония гексагональная.  | $\lambda$ | Rg        | Re  |
|    |   |   | $a_0=3,94$<br>$c_0=17,25$<br>$a_0:c_0=1:4,378$<br>Изоморфен с ковеллитом.<br>3,34 (6); 3,17 (9);<br>2,87 (10); 1,963 (8);<br>1,815 (6); 1,619 (5)<br>(Earley, 1949) | 470       | 15,5      | 37,4  |
| 71 | Атабаскит Cu <sub>2</sub> Se <sub>2</sub> или (Cu <sub>2</sub> Se) <sub>2</sub> (Harris e. a. 1970) | Cu 51,1 52,0<br>Se 49,7 44,0<br>S — 2,7<br>Σ 100,8 98,7 | Ромбическая   | $\lambda$ | R         |   |
|    |   |   | $a_0=8,226$<br>$b_0=11,982$<br>$c_0=6,441$<br>$a_0:b_0:c_0=0,538:1:0,687$<br>3,235 (10)<br>3,015 (6)<br>1,997 (8)<br>1,893 (5)<br>1,664 (4)                         | 470       | 24,7—26,1 | 546 23,9—26,9<br>589 22,8—26,2<br>650 21,6—25,6 |
| 72 | Умангит Cu <sub>4</sub> Se <sub>2</sub>   | Теор. состав:<br>Cu 54,70<br>Se 45,30                   | Сингония ромбическая  | $\lambda$ | Rg        | Re  |
|    |   |   | $a_0=4,27$<br>$b_0=6,39$<br>$c_0=12,44 kX$<br>$a_0:b_0:c_0=0,669:1:1,947$<br>3,57 (10)<br>3,20 (5)  | 470       | 15,8      | 18,6  |

| Оптическая анизотропия, двуотражения | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу, Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup> . $\frac{KH_1}{KH_2}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|------------------------|
|                                      |                                    |  |  |                        |

## селена

|   |  |   |   |  |
|---|--|---|---|--|
| Сильно анизотропен: цветные эффекты от зеленых до зеленовато-серых. Двуотражающий   | Белый  | 2<br>30—70<br>$P=10-15$                               | Твердость меньше, чем у клаусталита и галенита  | Образует включения в клаусталите. Ассоциирует с серой, теллуром, тиманнитом, другими селенидами. Образуется в фумаролах (вулканы Явони, Липарские острова). Встречается как продукт разрушения селенидов |
| Очень сильно анизотропен. Цветные эффекты от желтого до розовато-коричневого. Обладает сильным двуотражением: от оливо-серого до серо-белого. В иммерсии двуотражение усиливается от темно-коричнево-серого с фиолетовым оттенком до более светлого серовато-синего | Светлый галубовато-зеленовато-серый                          | $\frac{1}{2} - 3$<br>57—80<br>$P=10-20$               | От паров HNO <sub>3</sub> налет, от KCN быстрое почернение. KOH действует медленно с появлением коричневого окрашивания различной интенсивности | Образует ориентированные сростания с берцелланитом, включения в халькопирите. Ассоциирует с клаусталитом, другими селенидами, гематитом, пиритом   |
| Анизотропен, цветные эффекты от кремово-белых до темно-синих. Заметное двуотражение от светло-серого до сине-серого   | Серый  | 78<br>$P=15$  |   | Образует микровключения в умангите   |
| Сильно анизотропен, эффект анизотропии сильный, от пурпурового до желтого. Двуотражение очень сильное и резко выраженное в воздухе:   | Светлый красновато-фиолетовый. на воздухе постепенно темнеет | 77—108<br>1,60; 1,25<br>$P=10-20$<br>77—112<br>$P=25$ | Наблюдаются пластинчатые двойники в некоторых образцах. Отличительными являются цвет, анизотропия, двуотражение.                                | Образует включения в колорадоните и вейсците. Ассоциирует с другими селенидами, алланитом, антимонитом, пиритом, халькопиритом и др.   |

| № п/п | Название минерала                                      | Химический состав, характерные элементы примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |   |
|-------|--|--|--|--|---|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %   |   |
| 73    | Бериллианит<br>$Cu_{2-x}Se$                            | Теор. состав:<br>при $x=0$<br>Cu 61,62<br>Se 38,38<br>В природном минерале<br>$x \approx 0,15-0,20$  | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,740$<br>Структура сходна со структурой флюорита. Возможны две модификации: кубическая и ромбическая:<br>3,32 (9); 2,02 (10);<br>1,726 (8); 1,431 (4);<br>1,314 (3); 1,169 (5);<br>(Earley, 1950)  | При $\lambda$ 620 дисперсионные кривые пересекаются  | $\lambda$   R<br>480   31,4<br>540   28,5<br>580   25,6<br>650   23,5   |
| 74    | Эскеборнит<br>$(Cu,Fe)_{1+x}Se$                        | Химический анализ природного минерала отсутствует.<br>Химические анализы синтетических эскеборнитов: | Сингония кубическая.<br>Для естественного<br>$a_0 \approx 5,538$<br>Для синтетического<br>$a_0 \approx 5,53-5,55$<br>в зависимости от колебаний в содержаниях Cu и Fe<br>5,53 (7); 3,12 (9);<br>1,96 (9); 1,671 (7);<br>1,386 (4); 1,270 (4);<br>1,13 (5); 0,934 (5);<br>(Tischendorf, 1960) | ~28-30 для Cu-разновидности;<br>~40-35 для Fe-разновидности (Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) | $\lambda$   R <sub>0</sub>   R <sub>e</sub><br>470   30,6   20,4<br>546   34,6   24,4<br>589   36,2   26,7<br>650   37,9   29,0 |
| 75    | Бамболлит<br>$Cu(Fe,Se)_2$<br>(Harris, Nuffield, 1972) | Cu 25,1<br>Fe 31,0<br>Se 44,5<br>(данные микрозондовой)  | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=5,466$<br>$c_0=5,632$<br>3,19 (100); 1,961 (70);<br>1,931 (40); 1,653 (50);<br>1,270 (20)   | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)   |   |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексии  | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{ кгс/мм}^2$<br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка P, г | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
| Ro — грязно-фиолетово-красный, R <sub>e</sub> — синеватый                                |  | (Joung, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971)   | От HNO <sub>3</sub> устойчивое синее окрасивание; то же от HCl и FeCl <sub>3</sub>   |  |
| Изотропен, иногда анизотропен  | Серовато-голубоватобелый. Быстро тускнеет и синеет   | $\frac{1}{2} - 3$<br>30-42<br>P=5-10<br>26-29<br>P=15<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)      | От других селенидов отличается синеватым оттенком. Похож на халькозин. От HNO <sub>3</sub> побелает; от царской водки появляется сначала коричневый, потом переливающийся налет; от FeCl <sub>3</sub> появляется светло-коричневый, легко и начисто стирающийся налет; KCN, HCl и KOH не действует | Содержит ориентированные включения илюманита. Ассоциирует с другими селенидами, агиларитом, золотом, пиритом, марказитом, полибазитом, пирсенитом и другими минералами                               |
| Ясно анизотропен. Двуотражение отчетливое у Cu-разновидности и слабее у Fe-разновидности | Коричневато-кремовый цвет для Cu-разновидности, желто-коричневато-кремовый цвет для Fe-разновидности | 3;<br>141-165<br>P=20<br>144-202<br>P=15<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)                   | Очень сходен с пирротинном, отличается от него более слабым эффектом анизотропии   | Ассоциирует с халькопиритом, науманнитом, клаусталитом, тиваннитом, умангитом, эвксэритом, гематитом, пиритом, и другими минералами. Изредка образует микропрорастания с халькопиритом и науманнитом |
| Слегка анизотропен   | Кремово-белый  |  |  | Ассоциирует с илюманитом   |

| № п/п | Название минерала                                      | Химический состав, характерные элементы примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свой  |  |  |
|-------|--|---|---|--|--|--|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, %   |  |  |
| 76    | Круксит<br>(Cu, Tl, Ag) <sub>2</sub> Se                | Три анализа из Скрикерума:<br>Cu   Ag<br>46,11   1,44<br>46,55   5,04<br>44,21   5,09<br>Fe   Tl<br>0,63   18,55<br>0,36   16,27<br>1,28   16,89<br>Se<br>33,27<br>30,86<br>32,10<br>(по Норденшельду; Минералы редких элементов, т. 2, 1964)   | Сингония тетрагональная или псевдотетрагональная.<br>$a_0=10,38$<br>$c_0=3,92$<br>$a_0:c_0=1:0,267$<br>3,00 (8)<br>2,59 (10)<br>2,32 (4)<br>2,11 (2)<br>1,833 (4)<br>(Earley, 1950) | 29<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)<br>$\lambda$   R'g   R'p<br>460   35,7   32,4<br>500   35,3   32,3<br>540   34,4   32,8<br>580   33,8   32,9<br>660   35,2   33,6<br>700   35,6   33,6<br>(Определение рудных минералов..., 1973) |  |  |
| 77    | Тирреллит<br>(Cu, Co, Ni) <sub>8</sub> Se <sub>4</sub> | Микрохимически установлено наличие Co, Cu, Ni и Se. Эмпирическая формула Cu <sub>8</sub> Co <sub>2</sub> Ni <sub>12</sub> Se <sub>10</sub> (Machatschki, Stradner, 1952)<br>На основании расчета рентгенограммы Брукера (Robinson, Brooker, 1952), формула минерала (Cu, Co, Ni) <sub>8</sub> Se <sub>4</sub> | Сингония кубическая.<br>$a_0=10,005$<br>3,016 (6)<br>2,886 (7)<br>2,501 (9)<br>1,926 (6)<br>1,769 (10)<br>1,509 (4)<br>1,445 (4)<br>1,121 (4)<br>(Robinson, Brooker, 1952)          | ~35—45<br>(зависит от химического состава)   |  |  |
| 78    | Науманнит<br>Ag <sub>2</sub> Se                        | Теор. состав:<br>Ag 73,15<br>Se 26,85<br>Примеси: Pb и S  | Две модификации: низкотемпературная ромбическая и высокотемпературная кубическая.<br>$t$ превращения — 133°С. Для кубической $a_0=4,983$<br>(Rahfs, 1936)                           | $\lambda$   R<br>460   40,0<br>500   39,0<br>540   36,8<br>580   34,8<br>660   33,0<br>700   32,4<br>(Определение рудных минералов..., 1973)   |  |  |

| Оптические свойства в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микротвердость<br>$H_v$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1$ ; $KH_2$<br>Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|---|--|---|---|
|   |  |   |   |
| Явно анизотропен с цветным эффектом в коричневых тонах. Заметное двуотражение, усиливающееся в иммерсии | 2—3<br>101—142<br>—; 1,18<br>$P=10-20$<br>81—144<br>(Uytenboogaardt, Burke, 1971)                        | От HNO <sub>3</sub> буреет без вскипания. Пары HNO <sub>3</sub> быстро дают легко стирающийся налет. Остальные реактивы не действуют  | Образует прорастания с берцелианитом, умангитом и клокманитом. Ассоциирует с клаусталитом и Селлинитом                                |
| Изотропен   | 3 $\frac{1}{2}$<br>336—469<br>(Uytenboogaardt, Burke, 1971)  | Ранее принимался за пентлацит   | Встречается в парагенезисе с клокманитом, берцелианитом, клаусталитом, пиритом, гематитом   |
| Анизотропен. Двуотражение слабое со слабым цветным эффектом, заметно только в иммерсии                  | Белый<br>$\frac{1}{2}$<br>$\frac{2}{2}$<br>27—56<br>—; 1,43<br>$P=10$<br>31—37<br>(Young, Millman, 1964) | Очень напоминает аргентит, отличается более сильным эффектом анизотропии. От HNO <sub>3</sub> вскипает и чернеет; от FeCl <sub>3</sub> светлорычневое или призрачное стирающееся пятно; от HgCl <sub>2</sub> коричневое пятно, выщелачивается структура | Образует прорастания с клаусталитом. Ассоциирует с тиманитом, умангитом, другими селешдами, золотом, пиритом, халькопиритом и другими |

| № п/п | Название минерала           | Химический состав, характерные элементы примеси, %   | Кристаллографические свойства  | Оптические свойства                                |   | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{кгс/мм}^2$<br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка $P, \text{гс}$ | Отличительные особенности, Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |   |
|-------|-----------------------------|--|--|--|---|---|--|--|---|
|       |                             |  |  | Отражательная способность $R, \%$                  | Оптическая анизотропия, двуотражение  |   |  |  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |
| 79    | Экайрит<br>$\text{AgCuSe}$  | Теор. состав:<br>$\text{Ag } 43,04$<br>$\text{Cu } 25,36$<br>$\text{Se } 31,60$                        | Сингония ромбическая, псевдотетрагональная.<br>$a_0=4,103$<br>$b_0=20,33$<br>$c_0=6,31$<br>$a_0:b_0:c_0=0,202:1:0,310$<br>(Frueh e. n., 1957)<br>Д. Ирли считает минерал тетрагональным.<br>$a_0=4,075$<br>$c_0=6,29$<br>$a_0:c_0=1:1,54$<br>2,88 (5); 2,61 (7)<br>2,48 (4); 2,12 (10);<br>2,02 (2);<br>(Earley, 1950) | ~30  | Сильно анизотропен с ярким цветным эффектом в синих, зеленых и красноватых тонах. Двуотражение очень слабое | Белый с кремовым оттенком   | $\frac{1}{2}$<br>23-42<br>1,25; 1,44;<br>$P=5-10$<br>54-94<br>$P=15$<br>(Young, Millman, 1964) | $\text{HNO}_3$ действует без вскипания; от $\text{FeCl}_3$ образуется слабая призма; от $\text{KCN}$ появляется коричнево-черное пятно; $\text{HgCl}_2$ медленно дает розовато-коричневое окрашивание; $\text{KOH}$ и $\text{HCl}$ не действуют                      | Образует микропро-ростания с клокамши-том и умангитом. Об-разует включения в халькозине. Ассоци-ирует с берцелиани-том, кружесвтом, эске-борнитом, тиваннитом, колорадоитом |
| 80    | Штиллит<br>$\text{ZnSe}$    | Теор. состав:<br>$\text{Zn } 45,30$<br>$\text{Se } 54,70$  | Сингония кубическая типа сфалерита.<br>$a_0=5,67$<br>3,29 (сильная)<br>2,00 (очень сильная)<br>1,71 (сильная)<br>1,30 (сильная)<br>(Рамдор, 1962)  | Немного выше, чем у блеклых руд<br>~30             | Изотропен   | Серовато-белый. Редкие серые внутренние рефлексы  | Твердость больше, чем у блеклой руды (тетраэдри-та)  | Более твердый, чем блеклые руды. От тетраэдри-та отличается отсутствием оливо-ково-коричневого или голубовато-зеленого тона. При рельефном полировании обнаруживаются двойниковые пластинки  | Встречается в виде включений в линненте и селеновом вазците. Ассоци-ирует с пиритом, клаусталитом, молиб-дештом, кадмоселитом   |
| 81    | Кадмоселит<br>$\text{CdSe}$ | Теор. состав:<br>$\text{Cd } 58,74$<br>$\text{Se } 41,26$<br>Примеси: $\text{Zn}, \text{Fe}, \text{S}$ | Сингония гексаго-нальная.<br>$a_0=4,262$<br>$c_0=6,955$<br>$a_0:c_0=1:1,632$<br>3,67 (7)<br>3,24 (5)<br>2,13 (10)<br>1,96 (7)<br>1,816 (8)<br>1,443 (6)<br>(Бурьянова и др., 1957)   | ~20<br>(Минералогия редких элемен-тов, т. 2, 1964) | Слабо анизотро-пен. Ведет себя, как изотроп-ный   | Серый, светлее сфалерита, в иммерсии слабый буроватый оттенок.                                      | ~4<br>203-222<br>$P=10-20$   | От $\text{HNO}_3$ (1:1) появляется побегалость, мине-рал частично растворится и выпадает красный осадок селена;<br>$\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ выявляют спайность по трем направ-лениям;<br>$\text{HCl}, \text{KOH}, \text{FeCl}_3$ не действуют | В песчанниках в асо-циации с ферросели-том, клаусталитом, са-мородным селеном, кадмиевым сфалери-том и пиритом  |

| № п/п | Название минерала                                 | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                 | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                    |   |
|-------|---|--|--|--|---|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %         |   |
| 82    | Тиманнит<br>HgSe                                  | Теор. состав:<br>Hg 71,70<br>Se 28,30<br>Примеси: Cd, S            | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 6,072 \text{ \AA}$<br>$Z = 4$<br>Структура аналогична сфалериту<br>3,50 (10)<br>2,14 (8)<br>1,829 (8)<br>1,394 (3)<br>1,238 (2)<br>1,025 (3)<br>(Earley, 1950)  | $\lambda$                              | R   |
|       |   |  |  | 460                                    | 33,8  |
|       |   |  |  | 500                                    | 31,8  |
|       |   |  |  | 540                                    | 30,3  |
|       |   |  |  | 580                                    | 29,2  |
|       |   |  |  | 660                                    | 28,5  |
|       |   |  |  | 700                                    | 28,4  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов... 1973) |   |
| 83    | Клаусталит<br>PbSe                                | Теор. состав:<br>Pb 72,34<br>Se 27,66<br>Примесь S                 | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 6,11 \text{ \AA}$<br>$Z = 4$<br>3,05 (10)<br>2,16 (9)<br>1,84 (5)<br>1,763 (5)<br>1,366 (5)<br>1,247 (4)<br>(Earley, 1960)  | $\lambda$                              | R   |
|       |   |  |  | 470                                    | 55,4  |
|       |   |  |  | 546                                    | 49,5  |
|       |   |  |  | 589                                    | 48,1  |
|       |   |  |  | 650                                    | 47,1  |
|       |   |  |  | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)           |   |
| 84    | Парагуахауатит<br>Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> | Теор. состав:<br>Bi 63,78<br>Se 36,22<br>S — десятые доли процента | Сингония тригональная.<br>$a_0 = 4,125$<br>$c_0 = 28,56$<br>$a_0 : c_0 = 1 : 6,924$<br>(Earley, 1950).<br>Структура подобна структуре тетрадимита и теллурионисмутита.<br>3,03 (10)<br>2,07 (4)<br>2,23 (5)<br>1,316 (3,5)<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) | 46                                     | Точные измерения отсутствуют.<br>~45<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971). |

| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микро-твердость<br>$H, \text{ кгс/мм}^2$<br>$\frac{K_{H_1}}{K_{H_2}}$<br>Нагрузка P, гс      | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|
|                                      |                                     |  |   |   |
| Изоотропен, иногда слабо анизотропен | Серовато-белый                      | $\frac{1}{2}$<br>$\frac{2}{2}$<br>26—39<br>P—S—10<br>26—29<br>(Young, Millman, 1964)                             | От галенита отличается наличием коричневого оттенка, от халькозина — отсутствием синеватого оттенка.<br>От царской водки появляется переливающийся от синего до красного, затем оранжево-желтый налет, при стирании приобретающий равномерный серый цвет.<br>Остальные стандартные реактивы не действуют<br>Очень похож на галенит, имеет такие же треугольные выкрашивания. Надежно отличается от галенита микрохимической реакцией на селен.<br>От действия HNO <sub>3</sub> бурет без вскипания; от HCl медленно бурет; от FeCl <sub>3</sub> — бурет | Образует включения в клаусталите. Ассоциирует с уманнитом, берцелланитом, пенрозитом, науманнитом, другими селенидами, гематитом            |
| Изоотропен                           | Белый                               | $\frac{1}{2}$ — 3<br>49—63<br>P=10<br>43—74<br>P=15—25<br>(Young, Millman, 1964;<br>Uytenbogaardt, Burke, 1971). | От действия HNO <sub>3</sub> бурет без вскипания; от HCl медленно бурет; от FeCl <sub>3</sub> — бурет   | Образует включения в борните, халькозине, дигените. Ассоциирует с берцелланитом, клауваннитом, уманнитом, эвкайритом, кобальтином и другими |
| Анизотропен. Двуотражение заметное   | Бесцветный, имеет розоватый оттенок | $\frac{1}{2}$ — 3<br>44—160<br>2,80; —;<br>P=10<br>30—100<br>P=15<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971).               | Розовый оттенок в отличие от желтоватого оттенка гуахауатита. Двуотражение менее отчетливо, чем у гуахауатита. От HNO <sub>3</sub> образуется иризирующая побежалость, сечения П(010) травятся слабее. От царской водки образуется побежалость  | Образует тесные сростания с гуахауатитом, клаусталитом и селеном  |

| № п/п     | Название минерала       | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                       | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                              |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
|-----------|-------------------------|--|---|--|---|-----------|-------|-------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|
|           |                         |  |   | Отражательная способность R, %                   |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 85        | Ферроселит<br>$FeSe_2$  | Теор. состав:<br>Fe 26,12<br>Se 73,88<br>может содержать до 20% $CoSe_2$ | Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,79$<br>$b_0=5,74$<br>$c_0=3,577$<br>$a_0:b_0:c_0=0,834:1:0,623$<br>$Z=2$<br>2,56 (9)<br>2,46 (10)<br>1,876 (10)<br>1,781 (7)<br>1,688 (7)<br>1,443 (8)<br>(Бурьянова, Комков, 1955)             | При $\lambda$ 546<br>$R$ 47—50<br>(Santos, 1968) | <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\lambda</math></th> <th><math>R'g</math></th> <th><math>R'p</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>460</td><td>42,2</td><td>41,7</td></tr> <tr><td>500</td><td>44,6</td><td>42,5</td></tr> <tr><td>540</td><td>47,3</td><td>43,6</td></tr> <tr><td>580</td><td>49,9</td><td>45,4</td></tr> <tr><td>660</td><td>55,3</td><td>47,9</td></tr> <tr><td>700</td><td>56,0</td><td>48,6</td></tr> </tbody> </table><br>(Определение рудных минералов.... 1973) | $\lambda$ | $R'g$ | $R'p$ | 460 | 42,2 | 41,7 | 500 | 44,6 | 42,5 | 540 | 47,3 | 43,6 | 580 | 49,9 | 45,4 | 660 | 55,3 | 47,9 | 700 | 56,0 | 48,6 |
| $\lambda$ | $R'g$                   | $R'p$  |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 460       | 42,2                    | 41,7   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 500       | 44,6                    | 42,5   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 540       | 47,3                    | 43,6   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 580       | 49,9                    | 45,4   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 660       | 55,3                    | 47,9   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 700       | 56,0                    | 48,6   |   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 86        | Ашавалит<br>$FeSe$      |  | Сингония гексагональная (?)   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 87        | Троталит<br>$CoSe_2$    | Теор. состав:<br>Co 27,18<br>Se 72,82                                    | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,87 \pm 0,02$<br>2,62 (сильная)<br>2,39 (сильная)<br>1,093 (средняя)<br>1,035 (средняя)<br>0,951<br>(Ramdohr, Schmitt, 1955)  | Довольно высокая отражательная способность       |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 88        | Хастит<br>$CoSe_2$      | Теор. состав:<br>Co 27,18<br>Se 72,82<br>Примесь Fe                      | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,60$<br>$b_0=4,84$<br>$c_0=5,72$<br>$a_0:b_0:c_0=0,846:1:0,629$<br>$Z=2$<br>2,6 (средняя)<br>2,5 (средняя)<br>1,9 (средняя)<br>1,02 (средняя)<br>Решетка типа марказита (Ramdohr, Schmitt, 1955) | Довольно высокая отражательная способность       |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |
| 89        | Борхардит<br>$Co_2Se_4$ |  | Сингония кубическая.<br>2,7<br>2,3<br>2,0<br>1,96<br>1,42   |  |   |           |       |       |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                          | Твердость по Моосу. Микро-твердость, $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{KH_1; KH_2}$ . Нагрузка P, гс              | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|--|---|--|
|  |   |  |   |  |
| Сильно анизотропен, с цветным эффектом от зеленовато-серого до лилово-серого. Двуотражение слабое  | Розовато-кремовый   | $6-6\frac{1}{2}$<br>824—861<br>$P=100$<br>700—933<br>(Бурьянова, Комков, 1955; Кляхин, 1964; Santos, 1968) | Сходен с марказитом. От $HNO_3$ буреет. $HCl$ и $H_2SO_4$ конц. — слабо растворяется. В $HNO_3$ нагретой растворяется со вскипанием       | Образует включения в эсхеборните. Ассоциирует с пиритом, селеном, халькопиритом, клаусталитом, кадмиселитом, вльменитом, сфалеритом, галенитом |
| Изотропен (?). Двуотражение отсутствует. Изотропен   | Темно-серый (?)<br>Фиолетово-красно-бурый                   | Твердый<br>$\sim 7$<br>(Ramdohr, 1962)   | Твердость подобна галениту<br>Плохо полируется.<br>Похож на отшлифованный кобальтин, но имеет более интенсивную розово-фиолетовую окраску | Образует сростания с клаусталитом и другими селенидами<br>Образует тесные прорастания с клаусталитом, золотом, хаститом и борнхардитом         |
| Сильно анизотропен. Двуотражение сильное (от красно-коричнево-оранжевого до темно-красновато-фиолетового). В иммерсии двуотражение усиливается от светло-буро-красного до темно-красно-фиолетового | Желтый. Интенсивность окраски возрастает к кошам кристаллов | 6  | Двойники как у марказита  | Встречается в ассоциации с клаусталитом, троталитом в селеновых рудах  |
| Изотропен  | Белый с розоватым оттенком                                  | 5  | Двуотражение подобно хаститу, троталиту, фребольдиту  | Образует сростания с троталитом, хаститом, клаусталитом. Ассоциирует с гематитом, тиманнитом. Заменяет троталит                                |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимический состав   | Оптические свойства   |  |
|-------|--|--|--|---|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %  |  |
| 90    | Фребольдит<br>$\gamma\text{-CoSe}$                                   | Теор. состав<br>Co 42,74<br>Se 57,26               | Сингония гексагональная.<br>$a_0=3,61$<br>$c_0=5,28$<br>$a_0:c_0=1:1,463$<br>$Z=2$<br>(Минералы, т. I, 1960)<br>2,4<br>2,05<br>1,71<br>1,08<br>1,066<br>0,992                    | Похож на никелин  |  |
| 91    | Куллерудит<br>$\text{NiSe}_2$<br>(Vuorelainen e. a., 1964)           | Теор. состав:<br>Ni 27,09<br>Se 72,91              | Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,89$<br>$b_0=5,96$<br>$c_0=3,67$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,820:1:0,616$<br>$Z=2$<br>2,64<br>2,545 (очень сильные)<br>2,935<br>1,925—1,84 (сильные) | Очень сильно анизотропен, цветные эффекты желтовато-серые до серых и почти черных. В иммерсии заметное двуотражение |  |
| 92    | $\text{NiSe}_2$<br>(Vuorelainen, Hakli, 1964)                        | Теор. состав:<br>Ni 27,10<br>Se 72,90              | Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,89$<br>$b_0=5,96$<br>$c_0=3,67$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,820:1:0,616$  | Отчетливо анизотропен с цветными эффектами от желтого до темно-серого. Двуотражение сильное                         |  |
| 93    | Триостедтит<br>$\text{Ni}_2\text{Se}_3$<br>(Vuorelainen e. a., 1964) | Теор. состав:<br>Ni 35,79<br>Se 64,21              | Кубическая.<br>$a_0=9,94$<br>$Z=8$<br>2,48<br>1,755 (очень сильные)<br>3,00<br>2,87<br>(умеренно сильные)  | Отражательная способность выше, чем у седерхольмита и блокита   |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микротвердость $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_H; K_{H_2}}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности Реакции травления  | Минеральные ассоциации   |
|--|------------------------------------|---|--|--|
|  |                                    |   |  |  |
| Анизотропия сильная. Двуотражение очень слабое, заметное по границам зерен; в маде сильное, от коричневатого до красно-фиолетового | Розово-фиолетовый                  |   | Твердость меньше, чем у трогтальита, берихардтита, хастита. Похож на никелин, но анизотропия менее сильная | Встречается в парагенезисе с кобальтовыми силикатами, клаусталитом, гематитом  |
| Очень сильно анизотропен, цветные эффекты желтовато-серые до серых и почти черных. В иммерсии заметное двуотражение                | Бледнее, чем блокит                |   |  | Вторичный минерал, замещающий вилкманит, седерхольмит  |
| Отчетливо анизотропен с цветными эффектами от желтого до темно-серого. Двуотражение сильное  | Серый                              |   |  | Встречается в ассоциации с другими селенидами, урановыми минералами и сульфидами, слагающими прожилки, секущие диабазы, альбититы (месторождение Оутокумпу, Финляндия) |
| Изотропен  | Желтый                             |   |  | В парагенезисе с клаусталитом, блокитом, седерхольмитом  |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %     | Кристаллохимические свойства  | Оптические свой                |  |
|-------|---|--|---|--------------------------------|--|
|       |   |  |   | Отражательная способность R, % |  |
| 94    | Вилкманнит<br>$Ni_3Se_4$  | Теор. состав:<br>Ni 35,79<br>Se 64,21<br>Следы Cu и Fe | Сингония моноклинная.<br>$a_0=6,22$<br>$b_0=3,63$<br>$c_0=10,52$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,713:1:2,898$<br>$Z=2$<br>2,70<br>2,02<br>1,800 (очень сильные);<br>2,00<br>1,816 (сильные)  | Высокая                        |  |
| 95    | $Ni_3Se_4$<br>(Vuorelainen, Häkli, 1964)  | Примесь:<br>~6% Co                                     | Сингония кубическая.<br>$a_0=9,939$   |                                |  |
| 96    | $Ni_{1-x}Se$ или<br>( $Ni_{0,9}Se$ —<br>$Ni_{0,71}Se$ )<br>(Vuorelainen, Häkli, 1964) |  | Сингония гексагональная для $Ni_{1-x}Se$ .<br>$a_0=3,624$<br>$c_0=5,288$<br>$a_0:c_0=1:1,459$<br>Сингония моноклинная для ( $Ni_{0,9}Se$ —<br>$Ni_{0,71}Se$ ).<br>$a_0=6,22$<br>$b_0=3,63$<br>$c_0=10,52$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,713:1:2,898$ |                                |  |
| 97    | NiSe<br>(Vuorelainen, Häkli, 1964)  |  | Сингония тригональная.<br>$a_0=10,01$<br>$c_0=3,28$<br>$a_0:c_0=1:0,328$  |                                |  |

| стра в отраженном свете              |   | Твердость по Моосу, Микро-<br>твердость<br>$\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_{H_1}: K_{H_2}}$<br>Нагрузка P,<br>гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация   |
|--------------------------------------|---|---|--|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |   |  |  |
|                                      | Сильно анизотропен с желтовато-розовыми цветными эффектами. Отчетливое двуотражение от бледно-желтого до зеленовато-желтого |   |  | Ассоциирует с сидерхольмитом, самородным селеном, ферроселитом, селеновым ваяситом, каттеритом. Является продуктом изменения сидерхольмита                                   |
|                                      |   |   | Желтый                                       | Встречается в ассоциации с другими селенидами, урановыми минералами и сульфидами (месторождение Оутокумпу, Финляндия)  |
|                                      | Отчетливо анизотропен, бледно-зеленые до розовых цветные эффекты. Двуотражение слабое                                       |   | Розовато-желтый, серовато-желтый             |  |
|                                      | Отчетливо анизотропен с красновато-оранжевыми до зеленоватых цветными эффектами. Двуотражение сильное                       |   | Желтый, оранжево-желтый                      | Встречается в парагенезисе с различными селенидами, урановыми минералами и сульфидами, слагающими прожилки, секущие диабазы и альбититы (месторождение Оутокумпу, Финляндия) |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                               |  |
|-------|--|--|--|---|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %                    |  |
| 98    | Седерхольмит<br>$\beta$ -NiSe<br>(Vuorelainen e. a., 1964) | Теор. состав:<br>Ni 42,7<br>Se 57,3<br>Примеси: Co 1—2%  | Сингония гексагональная.<br>$a_0=3,65$<br>$c_0=5,34$<br>$a_0:c_0=1:1,463$<br>(у богатого Ni)<br>$a_0=3,624$<br>$c_0=5,288$<br>$a_0:c_0=1:1,459$<br>(при дефиците Ni)<br>$Z=2$<br>2,70 (очень, очень сильная)<br>2,015 (очень сильная)<br>1,806 (сильная)<br>1,535<br>1,50 (умеренно сильные) | Высокая   |  |
| 99    | Мекиненит<br>$\gamma$ -NiSe<br>(Vuorelainen e. a., 1964)   | Теор. состав:<br>Ni 42,7<br>Se 57,3  | Сингония тригональная.<br>$a_0=10,01$<br>$c_0=3,28$<br>$a_0:c_0=1:0,328$<br>$Z=9$<br>2,88<br>2,63<br>2,325<br>1,95<br>(По Лейтенбогерту, Бурке (1971) сингония мекиненита гексагональная)  |   |  |
| 100   | Блокит (пенрозит)<br>(Ni, Cu) Se <sub>2</sub>              | Химический состав наиболее чистого материала:<br>Ni 14,34<br>Cu 6,81<br>Se 70,93<br>Примеси: Pb, Hg, Ag, Fe, Co, Pt от 0,022 до 2,5%.<br>Очевидно связаны с примесями клаусталита, науманнита, тиманнита и др. селенидов | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,979 \text{ \AA}$<br>Структура типа пирита<br>2,67 (9)<br>2,45 (9)<br>1,802 (8)<br>1,596 (5)<br>1,149 (4)<br>(Earley, 1950)  | ~35<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                          | Твердость по Моосу. Микро-твердость $\frac{H, \text{ кгс/мм}^2}{KH_1: KH_2}$ . Нагрузка P, г | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|---|--|--|--|
|   |   |  |  |  |
| Для богатого Ni сильная анизотропия с желтовато-розовыми цветными эффектами. Двуотражение заметное, в желтоватых тонах. При дефиците Ni анизотропен. Двуотражение слабое от желтого до серовато-желтого | Оранжево-желтый (для богатого Ni), желтый (при дефиците Ni) |  | Отражательная способность ниже, чем у трюкстедтита   | Встречается в парагенезисе с урановыми минералами и селенидами Ni, с вилкманитом, пенрозитом   |
| Очень сильно анизотропен, в воздухе цветные эффекты красные до сине-зеленых или зеленых; в иммерсии — бледно-зеленые до бледно-оранжево-желтых. Двуотражение сильное от желтого до зеленовато-желтого   | Оранжево-желтый, в иммерсии желтый                          | Мягко, подобен клаусталиту   |  | Образует включения в клаусталите, селеновом мелоните, ассоциирует с гематитом и селенидами со структурой шпинели                                 |
| Изотропен   | Кремовато-серый   | $4 \frac{1}{2}$ — 5<br>407—550<br>P=20—50  | От HNO <sub>3</sub> призрает, затем остается серое пятно. От KCN — коричневое пятно. Остальные не действуют. | Образует прорастания с науманнитом. Встречается в парагенезисе с клаусталитом, тиманнитом, другими селенидами. Замещается клаусталитом и селеном |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |                                |
|-------|--|---|---|---|--------------------------------|
|       |  |   |   | Оптическая анизотропия, двуотражение  | Отражательная способность R, % |
| 101   | Ni Te Se<br>(Vuorelainen, Häkli, 1964)                             | Теор. состав:<br>Ni 22,13<br>Te 48,10<br>Se 29,77   | Сингония тригональная.<br>$a_0=3,70$<br>$c_0=5,14$<br>$a_0:c_0=1:1,389$<br>Изоструктурен с мелонитом  | Высокая   |                                |
| 102   | Ni <sub>3</sub> (S, Se) <sub>4</sub><br>(Vuorelainen, Häkli, 1964) | Se ~ 40%<br>Примесь Co ~ 2%   | Сингония кубическая.<br>$a_0=9,65$  |   |                                |
| 103   | Скундит<br>Bi <sub>4</sub> (S, Se) <sub>3</sub>                    |   | Сингония тригональная.<br>$a_0=4,55$<br>$c_0=39,19$<br>$a_0:c_0=1:8,613$<br>Z=3   |   |                                |
| 104   | Агиларит<br>Ag <sub>4</sub> (Se, S)                                | Теор. состав:<br>Ag 79,50<br>Se 14,59<br>S 5,91<br>Примеси: Cu, Fe, Sb<br>По-видимому, является твердым раствором переменного состава в ряду Ag <sub>2</sub> S—Ag <sub>2</sub> Se | Две модификации: кубическая и ромбическая; кубическая модификация образуется при t выше 133°С.<br>4,09 (5)<br>2,42 (10)<br>2,19 (6)<br>2,07 (2)<br>(Earley, 1950)                             | 29,9<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)<br>По Мозесу 31,6<br>(Раммор, 1962)  |                                |
| 105   | Гуанахуатит<br>Bi <sub>2</sub> (Se, S) <sub>3</sub>                | Теор. состав:<br>при Se:S=2:1<br>Bi 68,75<br>S 5,28<br>Se 25,97   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=11,37$<br>$b_0=11,50$<br>$c_0=4,05$<br>$a_0:b_0:c_0=0,989:1:0,352$<br>Изоструктурен с антимонитом и висмутитом.<br>3,61 (9)<br>3,16 (8)<br>2,86 (4)<br>2,57 (3) | 46<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)<br>~55<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) |                                |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Макротвердость<br>$H, \text{кгс/мм}^2$<br>$KH_1, KH_2$<br>Нагрузка P, гс           | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|-------------------------------------|--|--|--|
|   |                                     |  |  |  |
| Анизотропен с бледно-серыми до розовых цветными эффектами. Двуотражение отчетливое                                    |                                     |  |  | Встречается в ассоциации с клаусталитом, пиритом, содержащим Ni, Co, селеносодержащими сульфидами  |
| Изотропен   | Зелено-серый                        |  |  | Встречается в ассоциации с другими селенидами; урановыми минералами, сульфидами (месторождение Оутокумау, Финляндия)   |
| Сведения отсутствуют  |                                     |  |  |  |
| Изотропен или слабо анизотропен   | Светло-серый с зеленоватым оттенком | $\frac{1}{2}$<br>25—40<br>1,11; 1,20<br>P=5—10<br>25—35<br>P=5—10<br>(Берман, Казаринова, 1968)        | Агиларит несколько более темный, чем науманит. От FeCl <sub>3</sub> светло-коричневый или призрачный налет, легко стирается; KCN выявляет структуру                                  | Ассоциирует с аргентитом, электрумом, стезфанитом, пирситом, Си- и Ag-селенидами   |
| Анизотропен. Отчетливое двуотражение, в иммерсии сильное,    с — чисто-белый,    а — розовый,    б — голубовато-серый | Белый с желтоватым оттенком         | $\frac{1}{2}$ —3<br>42—98<br>1,43; —;<br>P=10<br>75—210<br>(Fander, 1967; Uytenbogaardt, Burke, 1971). | Характеризуется более ярким цветом, чем парагуанахуатит и висмутит.<br>В некоторых сечениях своеобразная решетчатая внутренняя структура.<br>Заметна спайность по двум направлениям. | Образует прорастания с клаусталитом. Ассоциирует с висмутином, висмутом, пиритом, козалитом, золотом, другими селенидами, борнитом и другими минералами. Заменяется парагуанахуатитом. |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |  |
|-------|--|---|---|--------------------------------|--|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, % |  |
| 106   | Икунолит<br>$\text{Bi}_4(\text{Se}, \text{S})_3$<br>(Kato, 1959) | Bi 87,99<br>Se 2,19<br>S 9,82   | Сингония тригональная.<br>$a_0 = 4,15$ ; $c_0 = 39,19$<br>$a_0:c_0 = 1:9,44$<br>$z = 3$<br>4,34<br>3,022<br>2,205   | ~50                            |  |
| 107   | Лайтакарнит<br>$\text{Bi}_4(\text{Se}, \text{S})_3$              | Bi 78,28<br>Pb 0,78<br>Ag 0,71<br>Cu 0,26<br>Zn 0,14<br>Se 15,50<br>S 3,28<br>Присутствие Cu, Zn, Pb связывается с наличием механической примеси халькопирита, сфалерита и галенита. Спектральным анализом установлен теллур (слабые линии) | Сингония тригональная.<br>$a_0 = 4,225$<br>$c_0 = 39,93$<br>$a_0:c_0 = 1:9,451$<br>Изоструктурен с жоземтом.<br>3,072 (10)<br>2,246 (9)<br>2,112 (9)<br>1,741 (8)<br>1,538 (6)<br>(Vorma, 1960) | ~50                            |  |
| 108   | Платинит<br>$\text{Pb}_2\text{Bi}_7\text{Se}_7\text{S}_4$        |   | Сингония гексагональная.  | ~40                            |  |

| Свет в отраженном свете              |  | Твердость по Моосу. Микро-твердость<br>$\frac{H, \text{кгс}/\text{мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции тримения  | Минеральная ассоциация  |
|--------------------------------------|--|---|--|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   |   |  |   |
|                                      | Анизотропен. Двуотражение не наблюдается   |   | От $\text{HNO}_3$ и царской водки призрачная побежалость.  | Ассоциирует с самородным висмутом и висмутином в ферберит-кварцевой жиле, содержащей касситерит |
|                                      | Анизотропен. Цветные эффекты: темно-серый, коричневатый, коричневый. Двуотражение слабое | 50<br>36-50<br>P=50<br>(Vorma, 1960; Uytendogaardt, Burke, 1971)  | В отличие от самородного висмута имеет более серый цвет. От действия $\text{HNO}_3$ (1:1) быстро травится, становится темно-серым; от 20%-ного $\text{FeCl}_3$ — сине-серое пятно; $\text{HCl}$ (1:1), $\text{KCl}$ , $\text{KOH}$ , $\text{HgCl}_2$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ не действуют | Ассоциирует с самородным висмутом, халькопиритом, сфалеритом и др.                              |
|                                      | Сильно анизотропен, цветные эффекты в сероватых и коричневых тонах                       |   |  | Ассоциирует с халькопиритом, арсениритом, касситеритом, франкентом, гуанахуатитом               |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свой                |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

## Минералы

|     |                      |                                 |   |  |  |  |  |
|-----|----------------------|---------------------------------|---|--|--|--|--|
| 109 | Теллур самородный Te | Примеси: Se, Au, Ag, Fe         | Сингония тригональная.<br>$a_0=4,455$<br>$c_0=5,91$<br>$a_0:c_0=1:1,33$<br>$Z=3$<br>3,85 (5)<br>3,22 (10)<br>2,33 (8)<br>2,22 (7)<br>1,82 (6)<br>1,61 (6)                 | При $\lambda$ 546<br>43,4—53,5<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>$\lambda$   $R'g$   $R'p$<br>460   66,0   57,6<br>500   66,3   57,8<br>540   66,5   58,0<br>580   65,9   57,6<br>660   64,0   56,0<br>700   62,9   54,5        |  |  |  |
|     |                      |                                 |   | (Определение рудных минералов.... 1973)  |  |  |  |
| 110 | Вулканиит CuTe       | Теор. состав: Cu 33,24 Te 66,76 | Сингония ромбическая<br>$a_0=4,09$<br>$b_0=6,95$<br>$c_0=3,15$<br>$a_0:b_0:c_0=0,588:1:0,453$<br>3,52 (6)<br>2,86 (7)<br>2,03 (10)<br>(Cameron, Threadgold, 1961) Thread- | В белом свете:<br>$Rg$ 58,8<br>$Rp$ 36<br>(Cameron, Threadgold, 1961)<br>$\lambda$   $R'g$   $R'p$<br>460   22,3   24,1<br>500   33,0   22,3<br>540   41,0   16,4<br>580   46,2   14,9<br>660   52,7   17,5<br>700   54,4   21,7 |  |  |  |
|     |                      |                                 |   | (Определение рудных минералов.... 1973)  |  |  |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{кгс/мм}^2$ |        | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|--------|--|------------------------|
|                                      |                                    | $KH_1$   | $KH_2$ |  |                        |

## теллура

|  |   |                  |         |  |  |
|--|---|------------------|---------|--|--|
| Отчетливо анизотропен. Двуотражение заметно только в иммерсии на стыке зерен | Белый с едва заметным кремовым оттенком | $2-2\frac{1}{2}$ | $26-89$ | Сильная анизотропия твердости. По цвету и отражательной способности сходен с алтантом, кренеритом и самородной сурьмой. От $\text{HNO}_3$ — почернение; парская водка дает желтовато-коричневый налет; от $\text{AgNO}_3$ — призрающий коричневый налет; от $\text{FeCl}_3$ — призрающий налет   | Образует графические прорастания с галенитом. Ассоциирует с золотом, серебром, селеном, теллуридами золота и серебра, висмутом, тетраэдритом, станцином, козалитом, шеслитом, марказитом |
| Сильно анизотропен. Двуотражение от желтого по $Rg$ до голубого по $Rp$      | Желтоватый до голубоватого              | 1—2              |         | Сложное двойниковое строение с двойниковой плоскостью, под $<45^\circ$ к лучшей спайности. От $\text{HNO}_3$ (1:1) вскипает, становится темно-серым; от $\text{HNO}_3$ (1:7) вскипает после 20 сек, становится коричневым и выявляется спайность от $\text{HCl}$ серовато-белое пятно; от $\text{FeCl}_3$ мгновенно темнеет до светло-коричневого; от $\text{KCN}$ светлеет и становится бледно-коричневым | Встречается в тесном прорастании с риккардитом и самородным теллуrom   |

| № п/а | Название минерала                                       | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |   |
|-------|---|---|---|--|---|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %   |   |
| 111   | Риккардит<br>$\text{Cu}_{4-x}\text{Te}$                 | Теор. состав:<br>для $\text{Cu}_4\text{Te}_2$<br>Cu 39,91<br>Te 60,09<br>для $\text{Cu}_7\text{Te}_3$<br>Cu 41,08<br>Te 58,92 | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=3,98$<br>$c_0=6,12$<br>$a_0:c_0=1:1,54$<br>$Z=1$<br>(Fogman, Reascok, 1949);<br>3,35 (6)<br>2,54 (4)<br>2,07 (10)<br>1,984 (4)<br>(Thompson, 1949)   | $R_0=20$<br>$R_e=14$<br>(Минералы, т. 1, 1960)                           | $\lambda$   $R'g$   $R'p$<br>460   31,0   22,3<br>500   26,7   17,0<br>540   20,5   12,1<br>580   18,2   12,7<br>660   21,7   34,1<br>700   27,5   45,0 |
| 112   | Вейсцит<br>$\text{Cu}_{2-x}\text{Te}$<br>( $x=0-0,33$ ) | Теор. состав:<br>для $\text{Cu}_2\text{Te}_3$<br>Cu 49,91<br>Te 50,09<br>для $\text{Cu}_5\text{Te}_3$<br>Cu 45,36<br>Te 54,64 | Сингония гексагональная.<br>$\text{Cu}_{2-x}\text{Te}$<br>$a_0=12,45$<br>$c_0=21,56$<br>$a_0:c_0=1:1,73$<br>$\text{Cu}_2\text{Te}$<br>$a_0=12,54; c_0=21,71$<br>$a_0:c_0=1:1,73$<br>$Z=54$<br>(Patzak, 1956)<br>3,65 (10)<br>3,22 (7)<br>2,09 (4)<br>1,99 (5)<br>(Рамдор, 1962) | По Мозесу:<br>$\sim 31,8$<br>(измерено с фотоэлементом;<br>Рамдор, 1962) | $\lambda$   $R$<br>480   42,4<br>520   42,0<br>560   41,2<br>580   40,6<br>620   39,4<br>660   38,3   |
| 113   | Эмпрессит<br>$\text{AgTe}$                              | Ag 45,17<br>Te 54,75<br>Fe 0,22<br>н. о. 0,39<br>$\Sigma 100,53$<br>(Bradley, 1914)   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=8,90$<br>$b_0=20,07$<br>$c_0=4,62$<br>$Z=16$<br>3,81 (6)<br>3,33 (6)<br>3,18 (5)<br>2,70 (10)<br>2,23 (8)<br>(Новак, 1964)  | (Безсмертная, Логинова, Соболева, 1969)                                  | $\lambda$   $R$<br>546   34,1—49,9<br>589   34,4—50,1<br>(Stumpfl, Rucklidge, 1968)   |

| Свойства в отраженном свете  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс}/\text{мм}^2$<br>$K_{J1}; K_{J2}$<br>Нагрузка $P, \text{гс}$ | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|-------------------------------------|---|--|--|
|  |                                     |   |  |  |
| Очень сильно анизотропен, с шетным эффектом от канареечно-желтого до коричнево-красного. Двуотражение очень сильное с ярким шетным эффектом от пурпурно-красного до фиолетово-серого | Пурпурно-красный                    | $\frac{1}{2}$<br>3<br>161—266<br>1,20; 1,45<br>$P=10-20$  | Наблюдается анизотропия твердости. От $\text{HNO}_3$ немедленно всплывает и чернеет; от $\text{HCl}$ серо-коричневый налет; от $\text{KCN}$ медленное серое потемнение; от $\text{FeCl}_3$ серо-синее потускнение; от $\text{HgCl}_2$ пурпурно-красный | Встречается в виде включений в вулканите. Образует прорастания с вейсцитом, другими теллуридами, пиритом и др.   |
| Ясно анизотропен. Заметное двуотражение  | Светло-серый с голубоватым оттенком | Твердость выше, чем у теллуридов висмута и меньше, чем у риккардита   | От $\text{HNO}_3$ конц. немедленное бурное вскипание и коричневая окраска; от $\text{HCl}$ , $\text{FeCl}_3$ , $\text{HgCl}_2$ , $\text{KCN}$ , коричневая окраска, появляющаяся с разной скоростью  | Встречается в виде включений в риккардите. Ассоциирует с вулканитом, креннеритом, калавернитом, петцитом, селенидами и сульфидами меди, пиритом, золотом и др. |
| Сильно анизотропен. Двуотражение сильное от светло-серого до кремово-белого  | Белый с голубоватым оттенком        | $3-3\frac{1}{2}$<br>108—133<br>(Stumpfl, Rucklidge, 1968)   | От $\text{HNO}_3$ вскипает, иризирующий налет; от $\text{FeCl}_3$ и $\text{HgCl}_2$ иризирующий налет; $\text{HCl}$ , $\text{KOH}$ не действуют  | Образует прорастания со штифтитом. Ассоциирует с теллуридом, сальванитом, петцитом, гесситом, риккардитом и др.  |

| № п/п | Название минерала      | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                       | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                     |           |
|-------|------------------------|--|--|---|-----------|
|       |                        |  |  | Отражательная способность R, %          |           |
| 114   | Шютцит<br>$Ag_5Te_8$   | Теор. состав:<br>Ag 58,5<br>Te 41,5                                      | Сингония гексагональная.<br>$a_0 = 13,38$<br>$c_0 = 8,45$<br>$Z = 7$   | $\lambda$                               | R         |
|       |                        |  |  | 546                                     | 37,2—38,9 |
|       |                        |  |  | 589                                     | 36,7—38,3 |
|       |                        |  |  | (Stumpfl, Rucklidge, 1968)              |           |
| 115   | Гёссит<br>$Ag_2Te$     | Теор. состав:<br>Ag 62,85<br>Te 37,14<br>Примеси: Au, Pb, Fe, Bi         | Низкотемпературная модификация<br>Сингония моноклиная.<br>$a_0 = 8,09$<br>$b_0 = 4,48$<br>$c_0 = 8,96$<br>$a_0:b_0:c_0 = 1,806:1:2,000$<br>$Z = 4$<br>(Frueh, 1959)<br>3,01 (6)<br>2,87 (8)<br>2,31 (10)<br>2,25 (7)<br>2,14 (6)<br>(Rowland, Berry, 1951).<br>Высокотемпературная модификация.<br>Сингония кубическая.<br>$a_0 = 6,64$<br>$Z = 4$ | $\lambda$                               | R'g R'p   |
|       |                        |  |  | 460                                     | 38,2 39,3 |
|       |                        |  |  | 500                                     | 38,8 39,0 |
|       |                        |  |  | 540                                     | 39,8 38,8 |
|       |                        |  |  | 580                                     | 40,6 38,8 |
|       |                        |  |  | 660                                     | 41,8 39,1 |
|       |                        |  |  | 700                                     | 41,8 39,2 |
|       |                        |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |
| 116   | Петцит<br>$Ag_2AuTe_2$ | Теор. состав:<br>Ag 41,71<br>Au 25,42<br>Te 32,87<br>Примеси: Cu, Hg, Mo | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 10,38$<br>$Z = 8$<br>(Frueh, 1959)<br>2,77 (10)<br>2,11 (5)<br>2,02 (4)<br>1,897 (3)<br>(Thompson, 1949)  | $\lambda$                               | R         |
|       |                        |  |  | 460                                     | 41,2      |
|       |                        |  |  | 500                                     | 40,1      |
|       |                        |  |  | 540                                     | 39,3      |
|       |                        |  |  | 580                                     | 38,7      |
|       |                        |  |  | 660                                     | 38,8      |
|       |                        |  |  | 700                                     | 39,2      |
|       |                        |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                        | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . $KH_1$ ; $KH_2$ . Нагрузка P, гс                         | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|---|---|
|  |   |  |   |   |
| Сильно анизотропен, цветные эффекты от коричневатых до голубых. Двуотражение слабое  | Светло-серый  | $\frac{1}{3-2}$<br>75—90<br>(Stumpfl, Rucklidge, 1968)   |   | Ассоциирует с эмпресситом, гёсситом, петцитом, сильванитом, теллуриом, колорадонтом, фробергитом, галенитом, тетраэдритом и др.   |
| Ясно анизотропен с цветным эффектом от темно-оранжевого до темно-синего. Двуотражение в воздухе часто едва заметно; в иммерсии отчетливое от слабокоричневатого до сиренево-розоватого | Серовато-белый  | 2—3<br>31—45<br>$P = 5-10$<br>24—41<br>(Bowie, Taylor, 1958;<br>Young, Millman, 1964;<br>Uytenbogaardt, Burke, 1971) | При ярком дневном свете через 2—3 дня покрывается побежалостью. Сходен с петцитом, акантитом и эмпресситом. От $HNO_3$ быстро буреет; от $FeCl_3$ кризирует | Образует прорастания с сильванитом и петцитом. Образует включения в галените, петците, пирите, борните, золоте, серебре, алтанте. Ассоциирует с аргентитом, мелонитом, колорадонтом, жозентом и др. |
| Анизотропен. Двуотражения нет  | Светло-серый со слабым лиловатым или красноватым оттенком | $\frac{1}{2} - 3$<br>46—54<br>$P = 10$<br>43—47<br>$P = 15$<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)                          | От $HNO_3$ буреет; от $FeCl_3$ и $HgCl_2$ протравливается   | Образует сростания с гёсситом, золотом, верлитом, алтантом, калаверитом, сильванитом. Ассоциирует с пиритом, халькопиритом, молибденитом, фробергитом, креннитом и др.                              |

| № п/п | Название минерала                     | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                               |      |      |
|-------|---------------------------------------|--|--|---|------|------|
|       |                                       |  |  | Отражательная способность R, %                    |      |      |
| 117   | Сильванит<br>Au Ag Te <sub>4</sub>    | Теор. состав:<br>при Ag: Au=1:1<br>Au 24,19<br>Ag 13,22<br>Te 62,59  | Сингония монокли-<br>ная.<br>a <sub>0</sub> =8,96<br>b <sub>0</sub> =4,49<br>c <sub>0</sub> =14,62<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =<br>=1,996:1:3,256<br>Z=2<br>(Tunell, 1941)<br>3,04 (10)<br>2,14 (5)<br>1,984 (3)<br>(Thompson, 1949)                                  | λ   | R'g  | R'p  |
|       |                                       |  |  | 460   | 56,6 | 44,9 |
|       |                                       |  |  | 500   | 59,1 | 48,0 |
|       |                                       |  |  | 540   | 59,8 | 49,7 |
|       |                                       |  |  | 580   | 60,0 | 50,4 |
|       |                                       |  |  | 660   | 60,9 | 52,3 |
|       |                                       |  |  | 700   | 61,2 | 53,3 |
|       |                                       |  |  | (Определение руд-<br>ных минералов...,<br>1973)   |      |      |
|       |                                       |  |  | (Минералогия,<br>редких элементов,<br>т. 2, 1964) |      |      |
| 118   | Крешнерит<br>(Au, Ag) Te <sub>2</sub> | Теор. состав:<br>из формулы Au Te <sub>2</sub><br>Au 43,59<br>Te 56,41<br>отношение<br>Au:Ag=2,7<br>Au 7,22<br>Ag 32,99<br>Te 59,79<br>Примеси: Cu, Fe,<br>Sb. | Сингония ромбичес-<br>кая.<br>a <sub>0</sub> =16,54<br>b <sub>0</sub> =8,82<br>c <sub>0</sub> =4,46<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =<br>=1,875:1:0,506<br>Z=8<br>3,03 (10); 2,94 (7);<br>2,23 (6); 2,11 (8);<br>2,07 (5); 1,78 (5);<br>(Tunell, Murata,<br>1950)          | λ   | R'g  | R'p  |
|       |                                       |  |  | 460   | 55,7 | 47,8 |
|       |                                       |  |  | 500   | 59,0 | 52,0 |
|       |                                       |  |  | 540   | 61,1 | 54,4 |
|       |                                       |  |  | 580   | 62,7 | 56,0 |
|       |                                       |  |  | 660   | 64,3 | 58,0 |
|       |                                       |  |  | 700   | 65,0 | 58,9 |
|       |                                       |  |  | (Определение руд-<br>ных минералов...,<br>1973)   |      |      |
| 119   | Калаверит<br>AuTe <sub>2</sub>        | Теор. состав:<br>Au 43,59<br>Te 56,41<br>Золото в небольших<br>количествах замещает-<br>ся серебром  | Сингония монокли-<br>ная.<br>a <sub>0</sub> =7,19<br>b <sub>0</sub> =4,41<br>c <sub>0</sub> =5,08<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =<br>=1,632:1:1,152<br>Z=2<br>(Tunell, Ksanda,<br>1935)<br>3,01 (10); 2,19 (4);<br>2,09 (8); 1,195 (4);<br>0,888 (4)<br>(Thompson, 1949) | λ   | R'g  | R'p  |
|       |                                       |  |  | 460   | 52,5 | 49,2 |
|       |                                       |  |  | 500   | 55,0 | 51,9 |
|       |                                       |  |  | 540   | 56,4 | 53,3 |
|       |                                       |  |  | 580   | 57,5 | 54,3 |
|       |                                       |  |  | 660   | 58,2 | 55,9 |
|       |                                       |  |  | 700   | 58,4 | 56,7 |
|       |                                       |  |  | (Определение руд-<br>ных минералов...,<br>1973)   |      |      |

| Оптическая анизотро-<br>пия, двуотражение  | Цвет, отте-<br>нок.<br>Внутренние<br>рефлексы | Твердость по<br>Моосу. Микро-<br>твердость<br>H, кгс/мм <sup>2</sup><br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub><br>Нагрузка P,<br>гс | Отличительные осо-<br>бенности. Реакции<br>травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|--|---|--|
|  |   |  |   |  |
| Сильно анизотро-<br>пен. Цветные<br>эффекты от голу-<br>бовато-серого до<br>темно-коричне-<br>вого. Двуотраже-<br>ние отчетливое | Кремово-<br>белый                             | 2<br>91—149<br>1,28; 1,20;<br>P=10—20  | Обнаруживает<br>полисинтетические<br>двойники. От<br>HNO <sub>3</sub> образуется<br>сразу светло-ко-<br>ричневый иризи-<br>рующий налет;<br>от щелочной водки<br>слабое искипание<br>и налет  | Образует сростания<br>с гесситом и нагиаги-<br>том. Ассоциирует с<br>пелитом, адтантом,<br>калаверитом, креш-<br>неритом, колорадоитом,<br>вейситом, риккарди-<br>том и другими    |
| Анизотропен.<br>Двуотражение<br>слабое   | Кремово-<br>белый                             | 1<br>2<br>182—224<br>—; 1,17<br>P=15—30  | От HNO <sub>3</sub> бурное<br>искипание, при-<br>зирующий налет;<br>от FeCl <sub>3</sub> и KOH<br>коричневатый на-<br>лет; от HNO <sub>3</sub><br>выявляется спай-<br>ность   | Образует прораста-<br>ния с теллуридом, дру-<br>гими теллуридами,<br>фрейбергитом и шир-<br>ротинном. Ассоциирует с<br>борнитом, халькози-<br>ном, тетраэдритом, ко-<br>лорадоитом |
| Ясно анизотро-<br>пен. Двуотраже-<br>ние заметное  | Кремово-<br>белый                             | 4<br>127—215<br>1,14; 1,47<br>P=15—30  | Светлее сильва-<br>нита и имеет го-<br>раздо более сла-<br>бую анизотро-<br>пию. От HNO <sub>3</sub><br>быстрое светло-<br>коричневое окра-<br>шивание и затем<br>почернение; от<br>FeCl <sub>3</sub> и KOH<br>коричневый на-<br>лет; HNO <sub>3</sub> (1:1)<br>делает видимой<br>очень тонкую<br>спайность | Образует включения<br>в халькопирите и шир-<br>ротинне. Ассоциирует с<br>другими теллуридами,<br>фрейбергитом, тетра-<br>эдритом, молибдени-<br>том, арсенирнитом и<br>др.         |

| № п/п | Название минерала                         | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                               | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                     |           |       |
|-------|---|--|--|---|-----------|-------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %          |           |       |
| 120   | Монтбрейит<br>$Au_2Te_3$                  | Теор. состав:<br>Au 50,77<br>Te 49,23<br>Примеси: Cu, Ag,<br>Fe, Pb, Sb, Bi      | Сингония триклинная.<br>$a_0=12,10$<br>$b_0=13,46$<br>$c_0=10,80$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,899:1:0,802$<br>$Z=12$<br>(Thompson, 1946)<br>2,97 (8); 2,92 (8);<br>2,08 (10)            | $\lambda$                               | $R'g$     | $R'p$ |
|       |   |  |  | 460                                     | 61,7      | 51,2  |
|       |   |  |  | 500                                     | 65,0      | 54,2  |
|       |   |  |  | 540                                     | 67,4      | 56,4  |
|       |   |  |  | 580                                     | 68,8      | 57,8  |
|       |   |  |  | 660                                     | 71,2      | 60,1  |
|       |   |  |  | 700                                     | 71,8      | 61,1  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |       |
| 121   | Костовит<br>$AuCuTe_4$<br>(Terziev, 1966) | Au 25,2<br>Cu 7,7<br>Te 67,6<br>Ag 0,4<br>(дашты микрозондирования)              | Сингония моноклинная (?).<br>3,04 (10); 2,94 (6);<br>2,10 (8); 2,05 (4)  | $\lambda$                               | $R$       |       |
|       |   |  |  | 433                                     | 49,3—50,1 |       |
|       |   |  |  | 482                                     | 52,1—55,2 |       |
|       |   |  |  | 559                                     | 54,9—60,1 |       |
|       |   |  |  | 589                                     | 53,0—57,9 |       |
|       |   |  |  | 691                                     | 48,4—53,3 |       |
| 122   | Колорадоит<br>$HgTe$                      | Теор. состав:<br>Hg 61,14<br>Te 38,86<br>Примесь Cu до 11%.<br>Иногда примесь Pb | Сингония кубическая.<br>$a_0=6,45$<br>$Z=4$<br>3,73 (10); 2,28 (9);<br>1,943 (7); 1,314 (4);<br>1,240 (3)<br>(Thompson, 1949)<br>Для медьсодержащей разновидности $a_0=$<br>$=6,401$ | $\lambda$                               | $R$       |       |
|       |   |  |  | 460                                     | 37,4      |       |
|       |   |  |  | 500                                     | 36,8      |       |
|       |   |  |  | 540                                     | 37,0      |       |
|       |   |  |  | 580                                     | 39,0      |       |
|       |   |  |  | 660                                     | 37,4      |       |
|       |   |  |  | 700                                     | 36,6      |       |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |       |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы               | Твердость по Моосу. Микротвердость $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{KH_1; KH_2}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|---|--|---|--|---|
|   |  |   |  |   |
| Анизотропен, цветной эффект в коричневых и синеватых тонах. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное                                      | Кремовый с очень незначительным розовым оттенком | $\frac{1}{2}$<br>196—228<br>1,13; —<br>P=20   | Структура сходна со структурой креннерита. Отличается от сльванита более слабым двуотражением. От $HNO_3$ (1:1) сильное вскипание, светло-желтая побелость. Свообразное травление, похожее на крокодиловую кожу: от $HNO_3$ конц. слабое травление с однородной серо-коричневой окраской | Ассоциирует с золотом, фробергитом, пиритом, марказитом, халькопиритом, ковеллином, калаверитом и др.   |
| Сильно анизотропен с красновато- и желтовато-бурыми цветными эффектами. Отчетливое двуотражение от светло-кремового до буровато-кремового | Кремово-белый                                    | $2-2\frac{1}{2}$<br>35—43   |  | Ассоциирует тесно с самородным теллуром и пиритом, золотом и другими теллуридами  |
| Изотропен, после нагревания появляется анизотропия натяжения  | Белый со слабо-коричневым оттенком               | 2<br>27—37<br>P=5<br>23—28<br>(Young, Millman, 1964)  | От $HNO_3$ при помощи электролитического травления медленно появляется бледно-коричневый, затем пестрый налет; от царской водки слабо стирающийся налет, позже образуются белые радиально-лучистые шарики; коричневый налет  | Наблюдается в виде включений в борните. Образует прорастания с сльванитом и гесситом. Ассоциирует с золотом, калаверитом, петцитом, алтанитом, пагнагитом и др. |

| №<br>а/а | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                           | Кристаллографические свойства   | Оптические свойства                     |             |
|----------|---|--|---|---|-------------|
|          |   |  |   | Отражательная способность R, %          |             |
| 123      | Алтанг<br>PbTe  | Теор. состав:<br>Pb 61,91<br>Te 38,09<br>Примеси: Ag, Au,<br>Cu, Fe          | Сингония кубическая.<br>$a_0=6,439 \pm 0,006 \text{ kX}$<br>$Z=4$<br>3,22 (10)<br>2,28 (8)<br>1,854 (3)<br>1,439 (5)<br>1,311 (4)<br>(Thompson, 1949)   | $\lambda$                               | R           |
|          |   |  |   | 486                                     | 69,7        |
|          |   |  |   | 559                                     | 70,5        |
|          |   |  |   | 594                                     | 68,8        |
|          |   |  |   | 662                                     | 64,4        |
|          |   |  |   | (Новый теллурид висмута, 1968)          |             |
| 124      | Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub><br>(Новый теллурид висмута, 1968) | Теор. состав:<br>Te 60,4<br>Bi 39,6  | 3,204 (8)<br>2,029 (6)<br>1,6063 (4)<br>1,0475 (4)  | $\lambda$                               | R           |
|          |   |  |   | 435                                     | 55,0        |
|          |   |  |   | 523                                     | 60,0        |
|          |   |  |   | 594                                     | 61,5        |
|          |   |  |   | 662                                     | 61,9        |
|          |   |  |   | 698                                     | 62,3        |
| 125      | Теллуровисмутит<br>Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>                | Теор. состав:<br>Bi 52,09<br>Te 47,91<br>Часто следы Se,<br>иногда Pb, Sb, S | Сингония тригональная.<br>$a_0=4,39$<br>$c_0=30,6$<br>$a_0:c_0=1:6,97$<br>$Z=1$<br>(Reacock, Berry, 1940)<br>3,21 (10)<br>2,37 (8)<br>2,19 (5)<br>2,03 (5)<br>1,809 (4)<br>1,608 (4)<br>1,486 (5)<br>1,157 (4)<br>1,045 (4)<br>(Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$                               | R'g   R'p   |
|          |   |  |   | 460                                     | 63,3   60,4 |
|          |   |  |   | 500                                     | 64,2   60,6 |
|          |   |  |   | 540                                     | 64,8   60,2 |
|          |   |  |   | 580                                     | 65,1   60,6 |
|          |   |  |   | 660                                     | 67,6   63,3 |
|          |   |  |   | 700                                     | 68,9   64,7 |
|          |   |  |   | (Определение рудных минералов..., 1973) |             |
|          |   |  |   | $\lambda$                               | R           |
|          |   |  |   | 486                                     | 61,5        |
|          |   |  |   | 559                                     | 63,6        |
|          |   |  |   | 594                                     | 64,5        |
|          |   |  |   | 662                                     | 64,6        |
|          |   |  |   | (Новый теллурид висмута, 1968)          |             |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микротвердость<br>$\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|------------------------------------|---|--|--|
|  |                                    |   |  |  |
| Изотропен  | Белый                              | 2—3<br>45—60<br>P=10<br>34—57<br>(Bowie, Taylor, 1958;<br>Young, Millman, 1964)                       | Нежно-зеленоватый оттенок на контакте с галенитом, петцитом, гесситом.<br>От HNO <sub>3</sub> коричневое окрашивание со вскипанием, видны фигуры травления; от HCl призрающий налет, после стирания видны трещины; от FeCl <sub>3</sub> плотный коричневый налет | Образует включения в галените и нагнаците, борните, гессите, в колорадоите. Ассоциирует с петцитом, монтебрейнитом, агвиларитом, тетраэдритом, халькопиритом, сфалеритом, ковеллином и др. |
| Сильно анизотропен, четко выраженные цветные эффекты голубоватые и желтоватые.<br>Двуотражение слабое, заметное в иммерсии.<br>Анизотропен со слабым цветным эффектом (голубоватым, желтоватым, коричневатым). Двуотражение слабое | Ярко кремовато-белый               | 2<br>35—50<br>P=5—10  | Мозаичное строение. Двойники отсутствуют   | Встречается с кварцем, сидеритом, бурнонитом, булакжеритом в сплошных паратиновых рудах  |
|  | Нежно-розоватый с фиолетовым тоном | 2<br>32—93<br>1,44; 1,70<br>P=10—20   | От HNO <sub>3</sub> темно-коричневое пятно и вскипание; от FeCl <sub>3</sub> слабый налет  | Образует включения в тетрадимите, халькопирите. Ассоциирует с другими теллуридами висмута, алтангом, калаверитом, монтебрейнитом, петцитом, висмутом и др.                                 |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                             | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |  |
|-------|--|--|--|--|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %   |  |
| 126   | Стибиотеллуrowисмутит<br>( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )<br>$\text{Sb}_{\approx 3,9}$<br>(разноиодность теллуrowисмутита) | Bi 46,9<br>Sb 2,7<br>Te 47,5<br>S 0,45<br>н. о. 1,55<br>(Магакьян, 1956; 1957) | $a_0=4,32$<br>$c_0=30,00$<br>$a_0:c_0=1:6,94$  | 60   |  |
| 127   | Верлит<br>$\text{Bi}_5\text{Te}_2$   | Bi 59,47—70,63<br>Te 28,52—35,47<br>Примеси: Ag, S                             | Сингония тригональная.<br>$a_h=4,42$<br>$c_h=29,85$<br>$a_h:c_h=1:6,753$<br>$Z=3$<br>(Warren, Peacock, 1945)<br>3,22 (10)<br>2,36 (7)<br>2,21 (5)<br>1,484 (3)<br>1,402 (4)<br>(Thompson, 1949)<br>3,23 (10)<br>2,34 (9)<br>1,985 (10)<br>1,484 (8)<br>(Маркова, 1961) | Отражательная способность высокая, близка к теллуrowисмутиту, ~52<br>(Маркова, 1961) |  |
| 128   | Хеллейит<br>$\text{Bi}_7\text{Te}_3$   | Теор. состав:<br>Bi 79,26<br>Te 20,74<br>Примесь серы                          | Сингония тригональная.<br>$a_h=4,47$<br>$c_h=119,04$<br>$a_h:c_h=1:26,64$<br>$Z=2$<br>3,25 (10)<br>2,36 (5)<br>2,23 (4)<br>1,621 (4)<br>1,480 (4)<br>(Warren, Peacock, 1945)   | При $\lambda$ 546<br>48,0—51,2   |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                                    | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{кгс/мм}^2$ . $KH_1; KH_2$ . Нагрузка, P гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|---|---|
|  |   |  |   |   |
| Анизотропен. Двуотражение слабое   | Белый с кремовым оттенком. Цвет более блеклый, чем у теллуrowисмутита | 38—68  | От $\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.) растворяется; раствор при нагревании окрашивается в пурпурный цвет; от $\text{HNO}_3$ (1:1) буресет, призмует; от $\text{FeCl}_3$ (20%) призмует | Тесная ассоциация с золотом. Ассоциирует с кварцем  |
| Анизотропен. Двуотражение слабое, в иммерсии более отчетливое  | Бесцветен   | 2<br>81<br>(Маркова, 1961)   | От $\text{HNO}_3$ быстрое травление; от $\text{FeCl}_3$ коричневая побелость; от $\text{HCl}$ становится серовато-бурым; $\text{KOH}$ ; $\text{KCN}$ , $\text{HgCl}_2$ не действуют | Образует включения в дельфините, арсенопирите, тетрадимите. Ассоциирует с теллуридами висмута, алтантом, петцитом, гесситом, висмутом, галенитом, золотом, борнитом и др. |
| Слабо анизотропен. Цветные эффекты от желтовато-серых до коричневых и темно-серых. Двуотражение слабое | Белый   | 2<br>30—48<br>$P=15$<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)                                     | От $\text{HNO}_3$ вскипает и быстро сереет; $\text{FeCl}_3$ дает бурое (до радужного) пятно. Остальные реактивны не действуют   | Ассоциирует с висмутом, жозеитом, золотом, гесситом, алтантом, арсенопиритом, пирротинном, молибденитом   |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                     |           |
|-------|---|--|--|---|-----------|
|       |   |  |  | Отражательная способность, R, %         |           |
| 129   | Вольфскит<br>$\text{AgBiTe}_2$<br>(Безсмертная, Логинова, Соболева, 1969) | Теор. состав:<br>Ag 18,9<br>Bi 36,5<br>Te 44,6<br>Примеси: возможно Pb, Sb                                     | 3,28 (3)<br>3,15 (10)<br>2,86 (1)<br>2,60 (1)<br>1,74 (1)  | $\lambda$                               | R         |
|       |   |  |  | 460                                     | 53,8      |
|       |   |  |  | 500                                     | 53,8      |
|       |   |  |  | 540                                     | 53,2      |
|       |   |  |  | 580                                     | 53,3      |
|       |   |  |  | 660                                     | 55,2      |
|       |   |  |  | 700                                     | 56,0      |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |
| 130   | $(\text{Pb, Bi})_2\text{Te}_4$<br>(Rucklidge, 1969)                       | Pb $16,6 \pm 0,2$ ; 15,2<br>Bi $37,4 \pm 0,4$ ; 40,2<br>Te $44,6 \pm 0,4$ ; 45,3<br>(данные микрозондирования) |  |   |           |
| 131   | Фробергит<br>$\text{FeTe}_2$  | Теор. состав:<br>Fe 17,96<br>Te 82,04  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,85$<br>$b_0=5,28$<br>$c_0=6,26 kX$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,729:1:1,186$<br>$Z=2$<br>2,80 (10)<br>2,70 (8)<br>2,06 (5)<br>1,84 (4)<br>(Thompson, 1947)           | $\lambda$                               | R'g R'p   |
|       |   |  |  | 460                                     | 51,1 50,8 |
|       |   |  |  | 500                                     | 50,9 50,1 |
|       |   |  |  | 540                                     | 50,2 49,2 |
|       |   |  |  | 580                                     | 50,6 49,3 |
|       |   |  |  | 660                                     | 54,2 51,9 |
|       |   |  |  | 700                                     | 56,3 53,0 |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |
| 132   | Мелонит<br>$\text{NiTe}_2$  | Теор. состав:<br>Ni 18,70<br>Te 81,30<br>Примесь: Se   | Сингония тригональная.<br>$a_0=3,84$<br>$c_0=5,26$<br>$a_0:c_0=1:1,370$<br>$Z=1$<br>(Peacock, Thompson, 1946)<br>2,81 (10)<br>2,63 (3)<br>2,05 (5)<br>1,912 (5)<br>1,554 (6)<br>(Thompson, 1949) | $\lambda$                               | R'g R'p   |
|       |   |  |  | 460                                     | 56,1 53,3 |
|       |   |  |  | 500                                     | 58,8 53,2 |
|       |   |  |  | 540                                     | 61,8 54,9 |
|       |   |  |  | 580                                     | 65,0 57,8 |
|       |   |  |  | 660                                     | 70,2 63,5 |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973) |           |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микротвердость<br>$\frac{H_{\text{кгс}}}{\text{мм}^2}$<br>$\frac{K_{H_1}}{K_{H_2}}$<br>Нагрузка P, гс | Отражательные особенности. Рефлексы  | Минеральная ассоциация   |
|---|------------------------------------|---|--|--|
|   |                                    |   |  |  |
| Слабо анизотропен. Цистные эффекты не наблюдаются. Двуотражение слабое, заметное только в иммерсии  | Розовато-фиолетовый                | 55—99<br>1,80,—<br>P=5—10   | Похож на теллурувисмутит по цвету и отражательной способности. В иммерсии темнее теллурувисмутита, но светлее галенита и пеццита. При полировании появляются треугольники окрашивания как у галенита | Образует тесные сростания с теллурувисмутитом, теллуридами висмута, тетраэдритом, галенитом и другими минералами. Обнаружен в составе золоторудных месторождений Армении   |
| Сильно анизотропен с характерным цветным эффектом от пурпурно-красного до синего. Двуотражение слабое, но с цветным эффектом              | Розовато-сиреневый                 | 3—4<br>250—297  | Отражательная способность ниже алтанта и выше теллурувисмутита   | Образует включения в халькопирите  |
| Сильно анизотропен с яркими цветными эффектами. Двуотражение заметно в воздухе с цветным эффектом. Rg розовато-кремовый, Rp нежно-розовый | Светло-розовый                     | 1—1 $\frac{1}{2}$<br>63—166<br>1,22; 1,89<br>P=20—30<br>66—119<br>P=15<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)                    | От $\text{HNO}_3$ сразу вскипает и чернеет; от $\text{FeCl}_3$ слабое окрашивание в коричневый цвет  | Образует включения в креннерите, алтанте, монтебрейтите, халькопирите, пирите. Наблюдаются ориентированные сростания с дигенитом, борнитом, теллурувисмутитом. Ассоциирует с марказитом, сфалеритом, тетраэдритом, колорадонитом и др. |

| № п/п | Название минерала                               | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                                       | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |  |
|-------|---|--|--|---|--|--|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %  |  |  |
| 133   | Имгрэит<br>NiTe<br>(Юшко-Захарова, 1964)        | Теор. состав:<br>Ni 31,5<br>Te 68,5  | 3,10 (3)<br>2,88 (10)<br>2,09 (3)<br>1,964 (5)<br>1,588 (5)  | $\lambda$   | $R_0$  | $R_e$  |
| 134   | Тетрадимит<br>Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S | Теор. состав:<br>Bi 59,27<br>S 4,55<br>Te 36,18<br>Примеси: Cu, Au,<br>иногда Se (до 2%) | Сингония тригональная.<br>$a_{rh}=4,326$<br>$c_{rh}=30,07$<br>$a_{rh}:c_{rh}=1:6,952$<br>$Z=1$<br>(Harker, 1934)<br>5,06 (6)<br>3,74 (5)<br>3,20 (10)<br>2,65 (6)<br>2,16 (8)<br>(Harker, 1934)<br>3,10 (10)<br>2,28 (5)<br>1,747 (4)<br>1,292 (5)<br>1,207 (5)<br>1,012 (4)<br>(Thompson, 1949) | 470 56,3 54,5<br>546 60,6 57,0<br>589 64,0 60,4<br>650 66,9 62,9<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>Желт. на воздухе:<br>52,4<br>В иммерсии:<br>41,1<br>$\lambda$   $R'g$   $R'p$<br>460 58,7 49,4<br>500 60,0 50,6<br>540 60,7 51,9<br>580 60,6 52,2<br>660 60,1 52,1<br>700 60,1 52,4 | (Определение рудных минералов..., 1973)  | При $\lambda$ 546<br>49,8—51,7<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) |
| 135   | Жозент В<br>Bi <sub>4</sub> Te <sub>2</sub> S   | Теор. состав:<br>Bi 74,4<br>Te 22,7<br>S 2,9<br>Иногда примеси:<br>Pb, Fe, Se            | Сингония тригональная.<br>$a_h=4,34$<br>$c_h=40,63$<br>$a_h:c_h=1:9,43$<br>$Z=3$<br>(Reacock, 1941)<br>3,16 (10)<br>2,30 (4)<br>2,17 (6)<br>(Ли, 1957)   | $\lambda$   $R$<br>455 48,6—53,8<br>555 51,5—58,1<br>593 53,2—58,5<br>665 53,4—59,8   | (Гамянин, 1968)<br>$\lambda$   $R'g$   $R'p$<br>460 60,2 52,2<br>500 61,2 52,7<br>540 62,7 53,6<br>580 63,8 54,3<br>660 63,8 54,8<br>700 63,0 54,8 | (Определение рудных минералов..., 1973)                        |

| Оптическая анизотропия, двуотражение                                  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \mu\text{гс}/\text{мм}^2$ . $KH_1; KH_2$ . Нагрузка P, гс                           | Отличительные особенности. Реакции <i>пробирки</i>  | Минеральная ассоциация   |
|---|------------------------------------|--|---|--|
|   |                                    |  |   |  |
| Анизотропен. Двуотражение слабое, в иммерсии сильное                  | Белый с розоватым оттенком         | 210—220<br>1,13;—<br>$P=10-20$   |   | Ассоциирует с гёсситом, сильванитом, калаверитом и др.   |
| Анизотропен. Двуотражение очень слабое, наблюдается только в иммерсии | Светло-кремовый                    | $\frac{1}{2}$ —2<br>25—76<br>1,68; —<br>$P=10$<br>28—52<br>$P=15$<br>(Young, Millman, 1964;<br>Uytenbogaardt, Burke, 1971) | От HNO <sub>3</sub> темно-коричневое пятно и сильное вскипание; от FeCl <sub>3</sub> слабый налет | Образует сростания, иногда <i>ориентированные</i> , с золотом, висмутом, теллуром, алтантом, мелонитом, халькопиритом, дигешитом, борнитом, другими минералами |
| Ясно анизотропен с цветным эффектом от серого до темно-коричневого    | Кремово-белый                      | 29—67<br>$P=10$<br>(Гамянин, 1968)   | При скрещенных <i>наколах</i> наблюдаются двойники  | Образует сростания с висмутом. Ассоциирует с хедлейнитом, теллуридами висмута, арселопиритом, нирротинном, галенитом, халькопиритом, козалинитом, гёсситом     |

| № п/п | Название минерала                      | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                             |             |
|-------|--|---|---|---|-------------|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, %                  |             |
| 136   | Жозент А<br>$\text{Bi}_4\text{TeS}_2$  | Теор. состав:<br>Bi 81,4<br>Te 12,4<br>S 6,2        | Сингония тригональная.<br>$a_1=4,25$<br>$c_1=39,77$<br>$a_1:c_1=1:9,36$<br>$Z=1$<br>3,07 (10)<br>2,57 (6)<br>2,24 (8)<br>2,11 (8)<br>1,894 (6)<br>1,774 (6)<br>1,537 (6)<br>(Peacock, 1941) | $\lambda$                                       | R           |
|       |  |   |   | 465   | 47,7—51,7   |
|       |  |   |   | 555   | 48,8—53,1   |
|       |  |   |   | 593   | 49,9—53,9   |
|       |  |   |   | 665   | 50,0—54,4   |
|       |  |   |   | (Гамьянин, 1968)                                |             |
|       |  |   |   | $\lambda$                                       | R'g   R'p   |
|       |  |   |   | 460   | 53,9   48,8 |
|       |  |   |   | 500   | 54,6   49,8 |
|       |  |   |   | 540   | 54,9   50,0 |
|       |  |   |   | 580   | 54,9   50,4 |
|       |  |   |   | 660   | 54,4   50,8 |
|       |  |   |   | 700   | 54,0   51,2 |
| 137   | Чикловант<br>$\text{Bi}_2\text{TeS}_2$ |   | Сингония гексагональная.  | (Определение рудных минералов..., 1973)<br>~ 45 |             |
| 138   | Гриовлинт<br>$\text{Bi}_4\text{TeS}_3$ | Bi 78,89<br>S 9,08<br>Te 12,03<br>Примесь Se до 1,7 | В структурном отношении аналогичен жозенту А (Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)   | Высокая   |             |
| 139   | Киткент<br>$\text{NiTeS}$              |   | Сингония гексагональная.  | $\lambda$                                       | R           |
|       |  |   |   | 470   | 54,7—52,0   |
|       |  |   |   | 546   | 58,3—55,8   |
|       |  |   |   | 589   | 61,0—58,1   |
|       |  |   |   | 650   | 62,3—60,0   |
|       |  |   |   | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)                    |             |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость Н, кгс/мм <sup>2</sup> . $K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|------------------------------------|---|--|--|
|  |                                    |   |  |  |
| В базальных сечениях изотропен, в других сечениях анизотропен  | Белый зеленовато-серый             | 49—114<br>1,55; 1,35<br>P=10<br>40—87<br>(Гамьянин, 1968)   | От $\text{HNO}_3$ и $\text{HCl}$ серое пятно; от $\text{FeCl}_3$ голубоватое пятно; $\text{KCN}$ , $\text{KOH}$ , $\text{HgCl}_2$ не действуют | Ассоциирует с висмутом, икнополитом, висмутином, золотом, хеддейнитом, арсениритом, гесситом и др.                 |
| Анизотропен. Цветные эффекты от серых до темно-серых с коричневатым оттенком. Двуотражение заметно только в иммерсии                   | Голубовато-серый                   |   |  | Ассоциирует с тетрадимитом, висмутином, минералами висмута и теллура, минералами меди                              |
| В сечениях перпендикулярных оси с — изотропен, в других сечениях анизотропен с розовато-коричневыми и темно-коричнево-серыми эффектами | Кремово-белый                      | 2   | От $\text{HNO}_3$ всплывает, остается коричневое пятно с коричневой иризирующей каймой; $\text{HCl}$ не действует                              |  |
| Анизотропен от светло-серого до розового или пурпурного. Двуотражение не наблюдается   | Бледно-желтый                      | 109—119<br>P=15<br>(Häkli e. a., 1965; Uytenbogaardt, Burke, 1971)                                  |  | Ассоциирует с клаусталитом, Se-мелонитом, гематитом, Se-полидимитом, Se-линцитом, пирозентом, селерходьмитом и др. |



| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства            |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

| Минералы |                                     |  |  |            |      |   |     |      |      |   |
|----------|-------------------------------------|--|--|------------|------|---|-----|------|------|---|
| № п/п    | Название минерала                   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | λ          |      | R                                       |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | λ          | R    | R                                       |     |      |      |   |
| 142      | Германит<br>$Cu_3(Fe, Ge)S_4$       | Cu от 39,44 до 45,40<br>Fe от 4,55 до 8,39<br>Ge 8,70—10,96<br>S 31,27—31,44<br>Fe:Ge ~ 1:1<br>(данные химических анализов; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)<br><br>Разновидность: ванадиево-мышьяковый германит<br>$Cu_3(As_{0,5}Ge_{0,5} \times V_{0,2})S_4$<br>Cu 47,0—51,0<br>V 2,4—2,9<br>Ge 6,0—6,5<br>As 9,0—11,0<br>S 29,0—35,0<br>(по трем анализам микрозондирования; Ванадиево-мышьяковый германит 1968) | Сингония кубическая<br>$a_0=10,535$<br>(по Мердоку; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,05—3,07 (8—10)<br>1,870—1,875 (4—8)<br>1,595—1,60 (3—7)<br>(по Харкору, Рамдор, 1962; по Мердоку, Минералы, т. 1, 1960)               | 420        | 21,6 | (Определение рудных минералов..., 1973) |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 460        | 21,5 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 500        | 20,7 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 580        | 23,0 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 660        | 26,3 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 700        | 27,7 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   |     | λ    | R    |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   |     | 467  | 27,0 | (Ванадиево-мышьяковый германит, 1968)   |
|          |                                     |  |  |            |      |   |     | 516  | 29,3 |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   |     | 584  | 32,5 |   |
|          |                                     |  |  | 615        | 32,9 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 696        | 32,5 |   |     |      |      |   |
| 143      | Реньерит<br>$(Cu, Fe)_3(Fe, Ge)S_4$ | Cu 41,63—43,81<br>Fe 12,08—13,78<br>Ge 6,00—7,75<br>S 31,28—31,69<br>Примеси: Zn, Ga, As<br>(Минералы, т. 1, 1960)   | Сингония тетрагональная (псевдокубический)<br>$a_0=5,33$<br>$c_0=10,48$<br>$a_0:c_0=1:1,97$<br>(по Леви и Прузосту; Минералы, т. 1, 1960)<br>3,06 (10)<br>2,65 (3)<br>1,87 (8)<br>(по Мердоку; Минералы, т. 1, 1960) | В воздухе: |      |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | λ          | R    |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 450        | 19,5 | (по Леви и Прузосту; Рамдор, 1962)      |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 525        | 28,5 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 600        | 35,0 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  | 650        | 32,5 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   | λ   | R'g  | R'p  |   |
|          |                                     |  |  |            |      |   | 460 | 17,7 | 18,0 | (Определение рудных минералов..., 1973) |
|          |                                     |  |  |            |      |   | 500 | 20,7 | 19,3 |   |
|          |                                     |  | 540  | 25,5       | 23,5 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  | 580  | 29,5       | 27,5 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  | 660  | 34,2       | 32,1 |   |     |      |      |   |
|          |                                     |  | 700  | 35,6       | 33,8 |   |     |      |      |   |

| Оптическая двуотропность, двуотражение | Цвет, оттенок, внутренние рефлексы | Твердость по Моссу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . $KH_1$ ; $KH_2$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--|------------------------------------|--|--|------------------------|
|  |                                    |  |  |                        |

германий

|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
| Изотропен   | От коричневатого до желтоватого до розового (очевидно, в зависимости от состава). | 4<br>348—458<br>P—30—50<br>372—450<br>(Young, Millman, 1964; Pärnasmaa, 1963; Uytendogaardt, Burke, 1971)                                       | От реньерита, лусонита и энаргита отличается изотропностью и большей микротвердостью; от борнита — значительно большей микротвердостью. От $HNO_3$ , $FeCl_3$ травится                   | Находится в тесной ассоциации с галенитом, теннантитом и сфалеритом; сопровождается реньеритом. В борните, энаргите, теннантите и лусоните встречен в виде микровыделений |
| Изотропен   | Кремный с розоватым или коричневатым оттенком                                     | 475—522<br>P—50<br>(Ванадиево-мышьяковый германит, 1968)  | —  | Микросрастания со сфалеритом и пиритом  |
| Анизотропия умеренная (в иммерсии более ясная). Двуотражение в оранжево-бурых тонах (отчетливо заметно только в иммерсии) | Бронзовый, слегка оранжевый   | $\frac{1}{2}$<br>4—4<br>280—367<br>1,10; 1,16<br>P—20—50<br>295—425<br>(Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971; Singh, Santokh, 1967) | От борнита и германита отличается желтовато-оранжевым оттенком, анизотропностью, наличием двойников и микротвердостью. От $HNO_3$ (1:2) + $KClO_3$ + $HCl$ (конц.) выявляется структура. | Ассоциирует с борнитом, энаргитом, теннантитом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом. Образует тесные срастания с галенитом, лусонитом, германитом и борнитом             |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |           |   |  |
|-------|---|--|--|---|-----------|---|--|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %  |           |   |  |
| 144   | Аргиродит<br>$Ag_8GeS_8$<br>(образует твердые растворы с калфильдитом $Ag_8SnS_8$ ) | Теор. состав:<br>Ag 76,51<br>Ge 6,44<br>S 17,05    | Сингония ромбическая.<br>$a_0=14,96$<br>$b_0=12,24$<br>$c_0=6,82$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,222:1:0,557$<br>$Z=4$ (указывается на возможность существования кубической модификации)<br>3,05 (8)<br>2,72 (7)<br>2,042 (10)<br>1,869 (10)<br>(по Хиллеру; Минералы, т. 1, 1960) | В воздухе:<br>зелен. 24,5<br>оранж. 21<br>красн. 18,5<br>В иммерсии:<br>зелен. 10,5<br>оранж. 9,5<br>красн. 9<br>(Рамдор, 1962) | $\lambda$ | R |  |
|       |   |  |  | 460   | 25,2      |   |  |
|       |   |  |  | 540   | 24,3      |   |  |
|       |   |  |  | 580   | 24,2      |   |  |
|       |   |  |  | 660   | 24,6      |   |  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов... 1973)  |           |   |  |
|       |   |  |  | <b>Минералы</b>   |           |   |  |
| 145   | Индий (самородный)<br>In  | —  | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=3,25$<br>$c_0=4,95$<br>$Z=2$ (синтетический, по Фуэту; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964).<br>2,74 (10); 2,50 (2);<br>2,30 (3); 1,69 (2)<br>(по Залашковой и Иванову; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)                      | В воздухе:<br>желт. 92,3<br>В иммерсии:<br>желт. 85,7<br>(по Н. Е. Залашковой и В. В. Иванову, ИМГРЭ)                           |           |   |  |
| 146   | Рокеант<br>$CuInS_2$  | Теор. состав:<br>Cu 26,2<br>In 47,4<br>S 26,4      | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=5,51$<br>$c_0=11,05$<br>3,19 (очень очень сильная);<br>2,76 (средняя);<br>1,95 (очень сильная);<br>1,66 (сильная)<br>(по Пикоту и Пирроту; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)  | $\lambda$   | R         |   |  |
|       |   |  |  | 420   | 24,7      |   |  |
|       |   |  |  | 460   | 23,6      |   |  |
|       |   |  |  | 540   | 22,3      |   |  |
|       |   |  |  | 580   | 22,0      |   |  |
|       |   |  |  | 660   | 22,2      |   |  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов... 1973)  |           |   |  |

| Оптические свойства в отраженном свете   | Твердость по Мосу. Микро-твердость $\frac{H, \text{кгс}/\text{мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральные ассоциации  |
|--|--|---|---|
|  |  |   |   |
| Анизотропия заметна по границам зерен, особенно в иммерсии. Двуотражение в воздухе незначительно | $\frac{1}{2}$<br>159—178<br>P—20—30<br>154—172<br>(Young, Millman, 1964)                                 | От фаязитита, лидонита, эваргита и германита отличается более низкой микро-твердостью, от борнита — более высокой.<br>От германита и борнита — также наличием оптической анизотропии. От KCN коричневый налет; от $HgCl_2$ иризирующий налет; от KOH тускнеет | Ассоциирует с самородным серебром, аргентитом, пираргиритом, стефанитом, сфалеритом и др. в серебряных и свинцово-цинковых месторождениях |
| Анизотропия очень слабо. Двуотражение не наблюдается   | 3<br>130—159<br>P=20<br>(образец Н. Е. Залашковой и В. В. Иванова)                                       | —   | Ассоциирует с минералами зоны окисления свинца и серебра  |
| Анизотропия слабая   | 241<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)  | От $HNO_3$ травится (выявляется структура)  | Ассоциирует с сульфидами Cu и образует броски в борните   |

| № з/л | Название минерала                     | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |      |
|-------|---------------------------------------|--|--|--|------|
|       |                                       |  |  | Отражательная способность, R, %  |      |
| 147   | Индит<br>$\text{FeIn}_2\text{S}_4$    | Fe 8,84<br>In 59,30<br>S 31,85<br>(рассчитано по данным микроспектрального анализа; Генкин, Муравьева, 1963) | $a_0=10,62$<br>3,76 (5); 3,20 (10);<br>2,17 (4); 2,05 (7);<br>1,877 (9)<br>(Генкин, Муравьева, 1963)                         | $\lambda$  | R    |
|       |                                       |  |  | 420  | 26,4 |
|       |                                       |  |  | 460  | 26,6 |
|       |                                       |  |  | 660  | 24,0 |
| 148   | Джалиндит<br>$\text{In}(\text{OH})_2$ | Микроспектральным анализом установлены количественные соотношения In:Fe=4:1 (Генкин, Муравьева, 1963)        | Сингония кубическая.<br>$a_0=7,95$<br>3,96 (10); 2,80 (9);<br>2,29 (6); 1,778 (9);<br>1,624 (7)<br>(Генкин, Муравьева, 1963) | (Определение рудных минералов..., 1973)<br>В воздухе:<br>желт. ( $\lambda=589$ )<br>8,2<br>(Генкин, Муравьева, 1963) |      |

## Минералы

|     |                          |   |  |   |           |      |
|-----|--------------------------|---|--|---|-----------|------|
| 149 | Гринокит<br>$\text{CdS}$ | Теор. состав:<br>Cd 77,81<br>S 22,19<br>Примесь In  | Сингония гексагональная.<br>$a_0=4,15$<br>$c_0=6,73$<br>$a_0:c_0=1:1,622$<br>3,167 (10)<br>2,071 (8)<br>1,900 (8)<br>1,764 (8)<br>(по Ульриху, Захаряеву; для искусств. гексаг. CdS; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) | В воздухе:<br>зелен. 18,5<br>оранж. 17,0<br>красн. 16,0<br>В масле:<br>зелен. 8,0<br>оранж. 6,5<br>красн. 6,5<br>(Рамдор, 1962) | $\lambda$ | R    |
|     |                          |   |  |   | 460       | 20,0 |
|     |                          |   |  |   | 500       | 22,2 |
|     |                          |   |  |   | 580       | 19,0 |
|     |                          |   |  |   | 700       | 17,9 |
|     |                          |   |  | (Определение рудных минералов..., 1973)   |           |      |
| 150 | Хоулинг<br>$\text{CdS}$  | Теор. состав:<br>Cd 77,81<br>S 22,19<br>Примеси: Zn до 5—10, Fe < 5<br>(данные спектрального анализа) | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,82$ ;<br>Z=4<br>3,36 (10); 2,058 (8);<br>1,753 (6)<br>(по Трейлу и Бойду; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)   | —   |           |      |

| № з/л | Название минерала                                    | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства  |   | Твердость по Моосу. Микро-твердость $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{KП; KH_2}$ . Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация |
|-------|--|--|------------------------------|--|---|---|--|------------------------|
|       |  |  |                              | Отражательная способность, R, %  | Оптический изотропизм, двуотражательность           |   |  |                        |
|       | Изотропен  |  |                              | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | 293—325<br>$P=20-50$<br>(образец А. Д. Генкина)     | От $\text{HNO}_3$ травится  | Ассоциирует с кварцем и коллоидным касситеритом. В гипергенных условиях замещается джалиндитом               |                        |
|       | Изотропен  |  |                              | Темно-серый. Внутренние рефлексы светло-желтые   | 250—301<br>$P=20$<br>(образец А. Д. Генкина)        | Светло-желтый в прозрачных шлифах.<br>$n=1,725$ . От $\text{HCl}$ (1:1) травится (Генкин, Муравьева, 1963)  | Продукт гипергенного изменения индита  |                        |
|       | Анизотропия весьма слабая, обычно в шлифах изотропен |  |                              | Светло-серый; в иммерсии зелено-синеватый. Внутренние рефлексы бесцветные, лимонно-желтые до красно-коричневых и кроваво-красных; в иммерсии усиливаются | $3-3\frac{1}{2}$<br>$52-91$<br>—; 1,48<br>$P=10-20$ | Отличается от сфалерита наличием голубоватого оттенка и меньшей микро-твердостью. От $\text{HNO}_3$ травится; от $\text{HCl}$ реакция травления нежно выражена (Юшко, 1971) | Гипергенный минерал, встречается в ассоциации со сфалеритом, Cd-содержащим сфалеритом, вюрцитом, смитсонитом |                        |
|       | Изотропен  |  |                              | —  | —   | Показатель преломления $n \sim 1,78$ (по Трейлу и Бойлу)  | Вторичный минерал зоны окисления; встречается в виде корочек на сфалерите и сидерите                         |                        |

## Кадмин

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свой  |      |
|-------|---|--|--|--|------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %                             |      |
| 151   | Шадлуцит<br>(Cu, Fe) <sub>8</sub><br>(Pb, Cd) S <sub>8</sub> или<br>Cu <sub>4</sub> Fe <sub>4</sub><br>(Pb, Cd) S <sub>8</sub><br>(Шадлуцит—новый сульфид..., 1973) | Cu 27,5<br>Fe 24,1<br>Pb 16,6<br>Cd 3,9<br>S 27,4<br>(данные микрозондирования).<br>Разновидности:<br>Мп-шадлуцит<br>Cu 29,8—31,2<br>Fe 26,4—27,2<br>Pb 4,8—8,2<br>Mn 3,2—4,6<br>Cd 1,0—1,3<br>S 29,4—31,5<br>(данные микрозондирования) | Структура типа п-фазы (Co <sub>3</sub> S <sub>8</sub> );<br>a <sub>0</sub> =10,91 Å<br>3,29 (10)<br>2,11 (4)<br>1,925 (9)<br>Мп-шадлуцит:<br>a <sub>0</sub> =10,73<br>3,23 (10)<br>2,07 (3)<br>1,894 (9)   | λ  | R    |
|       |   |  |  | 440  | 19,0 |
|       |   |  |  | 480  | 20,9 |
|       |   |  |  | 540  | 24,8 |
|       |   |  |  | 580  | 26,8 |
|       |   |  |  | 660  | 30,0 |
|       |   |  |  | 740  | 31,3 |
|       |   |  |  | Мп-шадлуцит:   |      |
|       |   |  |  | λ  | R    |
|       |   |  |  | 440  | 21,2 |
|       |   |  |  | 480  | 24,7 |
|       |   |  |  | 540  | 29,0 |
|       |   |  |  | 580  | 30,8 |
|       |   |  |  | 660  | 33,8 |
|       |   |  |  | 740  | 35,2 |
| 152   | Монтенонит<br>CdO   | Теор. состав:<br>Cd 87,54<br>O 12,46   | Сингония кубическая.<br>a <sub>0</sub> =4,696<br>Z=4<br>2,7071 (8)<br>2,3445 (10)<br>1,6578 (9)<br>1,4137 (7)<br>1,3535 (6) (по Ксанд, на искусственном материале; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964)   | 18,5<br>(вычислено по показателю преломления для Li-света) |      |
| 153   | Отавит<br>CdCO <sub>3</sub>   | Теор. состав:<br>CdO 74,43<br>CO <sub>2</sub> 25,57  | Сингония тригональная.<br>a <sub>0</sub> =4,92<br>c <sub>0</sub> =16,27<br>a <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =1:3,306<br>Z=2<br>3,78 (5); 2,93 (10);<br>2,46 (5); 2,06 (5);<br>1,83 (10); 1,59 (6);<br>1,499 (5); 1,023 (5)<br>(по Захаряеву, для искусств. соединения; Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) |  |      |

| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | Твердость по Моосу. Микро-твердость H <sub>кис/км<sup>2</sup></sub> , K <sub>H1</sub> , K <sub>H2</sub> . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--------------------------------------|--|--|--|--|
|                                      |  |  |  |  |
| Изотропен                            | Серый  | 3  | От HNO <sub>3</sub> и HCl травится. В проходящем свете красный до оранжево-коричневого; изотропный, n <sub>L1</sub> =2,49 (по Ксанд) | Встречен в виде корочки на каламиновой руде в Монтенони (Сардиния, Италия)   |
| —                                    | Бесцветный. Внутренние рефлексы желто-коричневые, красноватые (по цвету порошка) | —  | Прозрачен; экспериментально доказана неограниченная смешимость составов ZnCO <sub>3</sub> и CdCO <sub>3</sub>                        | Гипергенный минерал, ассоциирует со смитсопитом, церусситом, проморфитом, малахитом, а также с гидроксидами железа и оксидами марганца |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства            |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

| Минералы |                                      |  |                              |                                |                      |
|----------|--------------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| № п/п    | Название минерала                    | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                               | Кристаллохимические свойства | Отражательная способность R, % |                      |
|          |                                      |  |                              | $\lambda$                      | R                    |
| 154      | Джезказганит<br>$\text{CuReS}_4$ (?) | Re 40—50<br>Cu 15—20<br>(данные микронди-<br>рования: Вишневская<br>и др., 1961) | —                            | 460<br>540<br>660              | 28,6<br>28,0<br>29,0 |

(Определение руд-  
ных минералов...  
1973)

| Минералы |                              |                                 |  |                                 |                                      |
|----------|------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------------|
| № п/п    | Название минерала            | Теор. состав:                   | Сингония   | Отражательная способность R, %  |                                      |
|          |                              |                                 |  | $\lambda$                       | R'g R'p                              |
| 155      | Лорандит<br>$\text{TlAsS}_2$ | Tl 59,46<br>As 21,87<br>S 18,67 | Сингония моноклин-<br>ная.<br>$a_0=12,27$<br>$b_0=11,34$<br>$c_0=6,11$<br>$\beta=104^\circ 12'$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,083:1:0,539$<br>$Z=8$ (Дана и др.,<br>1951)<br>1,882 (4); 1,824 (10);<br>1,542 (8); 1,493 (8);<br>1,443 (6) (по Цемап-<br>пу; Рамдор, 1962) | 420<br>460<br>540<br>580<br>660 | 37,7<br>36,4<br>33,0<br>30,8<br>29,1 |

(Определение руд-  
ных минералов...  
1973)

| Минералы |  |   |   |                                |  |
|----------|--|---|---|--------------------------------|--|
| № п/п    | Название минерала  | Теор. состав:   | Сингония  | Отражательная способность R, % |  |
|          |  |   |   | $\lambda$                      | R  |
| 156      | Врбант<br>$\text{Tl}_2\text{Hg}_2\text{Sb}_2\text{As}_2\text{S}_{20}$<br>(Caye e. a.,<br>1967) | Tl 32,15<br>Sb 18,94<br>As 23,64<br>S 25,27<br>(As:Sb ~ 1:1;<br>из формулы<br>$\text{TlAs}_2\text{SbS}_6$ )<br>Примесь Fe | Сингония ромбичес-<br>кая.<br>$a_0=23,64$<br>$b_0=23,37$<br>$c_0=11,25$<br>$Z=21$<br>(по Фронделю; Мине-<br>ралы, т. 1, 1960) | 480<br>540<br>580<br>640       | 32,8—36,4<br>30,0—33,4<br>27,6—30,7<br>26,2—28,5 |

(Caye e. a.,  
1967)

| Минералы |   |  |  |  |   |
|----------|---|--|--|--|---|
| № п/п    | Название минерала   | Теор. состав:  | Сингония   | Отражательная способность R, %   |   |
|          |   |  |  | $\lambda$  | R |
| 157      | Хатчинсонит<br>$(\text{Pb}, \text{Ti})_2\text{As}_2\text{S}_6$<br>(Graeser, 1965) | Tl 16,33<br>Pb 17,06<br>Ag 8,88<br>As 30,84<br>S 26,39<br>(по Нафилду из фор-<br>мулы<br>$\text{Ag}_2(\text{Pb}, \text{Ti})\text{As}_{10}\text{S}_{17}$ );<br>Минералогия редких<br>элементов, т. 2, 1964) | Сингония ромбичес-<br>кая.<br>$a_0=10,80$<br>$b_0=35,35$<br>$c_0=8,16$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,3055:1:0,2308$<br>$Z=4$<br>3,77 (7); 3,68 (7);<br>2,73 (10); 2,68 (10)<br>(по Нафилду; Минера-<br>логия редких элемен-<br>тов, т. 2, 1964) | В воздухе:<br>27,2, в иммерсии<br>значительно сни-<br>жается (Рамдор,<br>1955);<br>При $\lambda$ 589<br>30,0—31,0<br>(Graeser, 1965) |   |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства                       |   | Отличительные осо-<br>бенности. Революция<br>травления | Минеральная ассоциация |
|-------|-------------------|--|------------------------------|---|---|--|------------------------|
|       |                   |  |                              | Оптическая анизотро-<br>пия, двуотражение | Цвет, отте-<br>нок,<br>Внутренние<br>рефлексы |  |                        |

| Минералы |                   |  |                              |                                |   |   |  |
|----------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|---|---|--|
| № п/п    | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Отражательная способность R, % |   | Отличительные осо-<br>бенности. Революция<br>травления  | Минеральная ассоциация                                   |
|          |                   |  |                              | $\lambda$                      | R |   |  |
|          |                   |  |                              |                                |   | От $\text{HNO}_3$ (1:1)<br>буреет; от $\text{HNO}_3$<br>(конц.) нести-<br>рающееся пятно;<br>от KCN (20%)<br>едва заметно<br>буреет | Ассоциирует с бор-<br>нитом, халькозинном и<br>галенитом |

| Минералы |                   |               |          |                                |   |  |   |
|----------|-------------------|---------------|----------|--------------------------------|---|--|---|
| № п/п    | Название минерала | Теор. состав: | Сингония | Отражательная способность R, % |   | Отличительные осо-<br>бенности. Революция<br>травления                                     | Минеральная ассоциация  |
|          |                   |               |          | $\lambda$                      | R |  |   |
|          |                   |               |          |                                |   | Очень похож на<br>ширартирит, резко<br>отличается по<br>микротвердости.<br>От KOH травится | Ассоциирует с ре-<br>альгаром и маркази-<br>том в мышьяковых руд-<br>дах (Алхар, Югосла-<br>вия), а также реаль-<br>гаром, аурипигмен-<br>том, баритом, шпри-<br>том, марказитом в Рам-<br>блер (США) и Джи-<br>джикруте (СССР) |

| Минералы |                   |               |          |                                |   |  |   |
|----------|-------------------|---------------|----------|--------------------------------|---|--|---|
| № п/п    | Название минерала | Теор. состав: | Сингония | Отражательная способность R, % |   | Отличительные осо-<br>бенности. Революция<br>травления   | Минеральная ассоциация  |
|          |                   |               |          | $\lambda$                      | R |  |   |
|          |                   |               |          |                                |   | От прустита от-<br>личается качест-<br>венными реакциями.<br>От царской водки<br>вскипает, черне-<br>ет, от KOH<br>блестящий налет,<br>после стирания<br>серое пятно | Ассоциирует с ре-<br>альгаром и аурипиг-<br>ментом в виде тесных<br>прорастаний |

| Минералы |                   |               |          |                                |   |  |  |
|----------|-------------------|---------------|----------|--------------------------------|---|--|--|
| № п/п    | Название минерала | Теор. состав: | Сингония | Отражательная способность R, % |   | Отличительные осо-<br>бенности. Революция<br>травления   | Минеральная ассоциация   |
|          |                   |               |          | $\lambda$                      | R |  |  |
|          |                   |               |          |                                |   | Двуосный, от-<br>рицательный, пл.<br>опт. осей (010)<br>Ng—c<br>Nm—b<br>Np—a<br>При $\lambda=589$ :<br>$n_g=3,188$ ;<br>$n_m=3,176$<br>$n_p=3,078$ | Ассоциирует с рати-<br>том, лорданитом, ба-<br>умгауеритом и други-<br>ми сульфоредами,<br>а также со сфалери-<br>том, шпритом, реаль-<br>гаром и аурипигмен-<br>том |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |               |
|-------|--|---|---|--------------------------------|---------------|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, % |               |
| 157   |  |   |   |                                |               |
| 158   | Имхофит<br>(мышьяковая сульфосоляталия; Bigli e. a., 1965)               | —   | Сингония моноклиническая.<br>$a_0=8,77$<br>$b_0=24,51$<br>$c_0=11,44 \text{ \AA}$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,358:1:0,466$   | 31—38<br>(в зеленом свете)     |               |
| 159   | Рагинит<br>$\text{TlFeS}_2$<br>(Laurent e. a., 1969; Zdenek e. a., 1969) | Теор. состав:<br>Tl 63,01<br>Fe 17,29<br>S 19,77  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=12,40$<br>$b_0=10,44$<br>$c_0=5,26$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=1,187:1:0,504$<br>$Z=8$<br>4,17 (очень силь-<br>3,35) ные)<br>3,26 (умеренно<br>сильная)<br>2,89 (очень сильная)<br>2,64 (умеренно<br>сильная) | $\lambda$                      | $Rg$          |
|       |  |   |   | $\lambda$                      | $Rp$          |
|       |  |   |   | $\lambda$                      | $R'g$   $R'p$ |
| 160   | Пикополит<br>$\text{TlFeS}_3$<br>(Zdenek e. a., 1970)                    | Теор. состав:<br>Tl 49,6<br>Fe 27,0<br>S 23,4<br>Далние микрозондирования:<br>Tl 46,8—47,8<br>Fe 28,2—28,6<br>Pb 1,9—2,8<br>S 23,9—24,1 | Сингония ромбическая.<br>$a_0=5,49$<br>$b_0=10,72$<br>$c_0=9,94$<br>$a_0:b_0:c_0=$<br>$=0,504:1:0,844$<br>$Z=4$<br>5,40 (5); 4,26 (9);<br>3,80 (7); 3,33 (7);<br>2,912 (10)   | $\lambda$                      | $R'g$   $R'p$ |

| Свойства в отраженном свете          |   | Твердость по Моосу. Микро-<br>твердость<br>$\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$<br>Нагрузка P,<br>гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |   |  |   |
|                                      |   |   | 2V (вычисл.) =<br>=37°34' (по Сян-<br>ту и Прибору;<br>Минералогия ред-<br>ких элементов,<br>т. 2, 1964).<br>От NaOCl тра-<br>вится; от пирар-<br>грита и киповари<br>отличается по<br>цветному эффекту:<br>у первого — блеклые<br>желтые тона, у вто-<br>рого — голубоватые<br>и коричневатые |   |
|                                      | Анизотропия<br>очень сильная.<br>Двуотражение<br>не установлено   | 38  | —  | Обнаружен в ассо-<br>циации с реальгаром<br>(Швейцария)                           |
|                                      | Анизотропия сильная с интенсивными цветными эффектами в оранжевых тонах. Двуотражение отчетливое:<br>$R'_p(\perp \text{ удлинению})$ светло-серый с кремовым оттенком;<br>$R'_g(\parallel \text{ удлинению})$ розовый.<br>Анизотропия сильная с фиолетово-серыми цветными эффектами. Двуотражение сильное | —   | —  | Встречается в ассо-<br>циации с пиритом, ло-<br>рандитом, редко с ре-<br>альгаром |
|                                      |   | 41<br>P=15  | —  | Ассоциирует с пи-<br>ритом, реальгаром, ло-<br>рандитом, рагинитом                |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства            |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

| Минералы |  |  |  |                                      |   |
|----------|--|--|--|--------------------------------------|---|
| 161      | Сульванит<br>$\text{Cu}_3\text{VS}_4$              | Теор. состав:<br>Cu 51,55<br>V 13,78<br>S 34,67<br>Примеси:<br>As, Zn.<br>Разновидность:<br>арсеносульванит с преобладанием As над V (As до 13%) | Сингония кубическая.<br>$a=5,381$<br>$Z=1$<br>(по Полингу и Хултгрену; Минералы, т. I, 1960)<br>3,39 (8); 3,11 (8);<br>1,910 (10); 1,101 (8)<br>(по XRDC; Минералы, т. I, 1960).<br>Арсеносульванит:<br>$a_0=5,22$ (образец с Алдана); $a_0=5,267$ (образец из Монголии).<br>3,03 (9); 1,859 (10);<br>1,584 (9); 1,074 (9)<br>(по Михеэву; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$                            | $R$   |
|          |  |  |  | 480<br>540<br>580<br>640             | 25,8—27,9<br>29,2—31,2<br>29,1—30,4<br>33,0—34,8<br>(Levy, 1967)        |
| 162      | Патронит<br>$\text{VS}_2$                          | Теор. состав:<br>V 28,43<br>S 71,57  | —  | $\lambda$                            | $R$   |
|          |  |  |  | 460<br>540<br>580<br>660             | 26,0<br>30,9<br>32,3<br>31,6<br>(Определение рудных минералов..., 1973) |
| 163      | Кульсонит<br>$\text{FeV}_2\text{O}_4$              | Теор. состав:<br>$\text{FeO}$ 32,40<br>$\text{V}_2\text{O}_5$ 67,60  | Сингония кубическая<br>$a_0=8,297$<br>$Z=8$<br>(для искусственного $\text{FeV}_2\text{O}_4$ :<br>$a_0=8,462$ )<br>(Минералы, т. 2, вып. 3, 1967)<br>4,79 (4); 2,93 (6);<br>2,50 (10); 2,07 (8);<br>1,597 (9); 1,466 (9)<br>(Минералы, т. II, вып. 3, 1967)   | $\lambda$                            | $R$   |
|          |  |  |  | Зел. 23,5<br>(Минералы, т. II, 1967) | ~20   |
| 164      | Вавадинит<br>$\text{Pb}_4(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$ | —  | Сингония гексагональная  | $\lambda$                            | $R$   |
|          |  |  |  | ~16—17                               |   |

| ства в отраженном свете              |                                    | Твердость по Моосу. Микротвердость $H_{\text{кгс/мм}^2}$ .<br>$KH_1$ ; $KH_2$ .<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакция травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|------------------------|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок, внутренние рефлексы |   |  |                        |

## вавадинит

|  |   |  |  |   |
|--|---|--|--|---|
| Изотропен  | Желтовато-белый до темно-кремово-желтого                                | $\frac{1}{3-2}$<br>142—165<br>$P=20-50$<br>152—165<br>(по Burke; Uytendogaardt, Burke, 1971) | Характерно выкрашивание по спайности в виде треугольников, как у галенита  | Ассоциирует с галенитом, энаргитом, блеклыми рудами, пирротинном, халькопиритом и др.   |
| Анизотропен  | Серый с синеватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались          | —  | От KOH тускнеет, иризирует   | Ассоциирует с сульванитом, бравоитом, блеклыми рудами, самородной серой, углстым веществом, кварцем, карбонатами<br>Ассоциирует с магнетитом, ильменитом, рутилом; замещается гематитом |
| Изотропен иногда аномально анизотропен                           | Голубовато-серый $\downarrow$   | $\frac{1}{4-2}$  | От магнетита отличается более высокой отражательной способностью, меньшей твердостью, немагнитностью и тем, что стандартными реактивами не травится  |   |
| Анизотропен (внутренние рефлексы мешают определению анизотропии) | Серый. Внутренние рефлексы от голубовато-желтых до красных $\downarrow$ | $\frac{1}{2-2}$ —3   | В проходящем свете оптически отрицательный;<br>$Nm=2,354$<br>$Np=2,416$<br>$Ng-Np=0,066$ .<br>От $\text{HNO}_3$ и $\text{HCl}$ темнеет, образуется желтый налет, от KOH темнеет, образуется белый налет (смотреть в косом свете) | Вторичный минерал, ассоциирует с миметизитом, пироморфитом, галенитом, сфалеритом, церусситом, вульфенитом и др.  |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свой                |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Огратительная способность R, % |  |

## Минералы

|     |                      |                                      |  |  |  |
|-----|----------------------|--------------------------------------|--|--|--|
| 165 | Мышьак самородный As | As ~ 100<br>Примесь Sb               | Сингония гексагональная<br>$a=4,12$<br>$\alpha=54^{\circ}16'$<br>2,74 (8)<br>2,04 (5)<br>1,867 (6)<br>1,53 (5)<br>(по Харкорт; Рамдор, 1962)   | В воздухе:<br>зелен. 61,5<br>оранж. 50,5<br>красн. 50<br>(Рамдор, 1962).<br>$\lambda$ R  |  |
| 166 | Реальгар $As_4S_4$   | Теор. состав:<br>As 70,08<br>S 29,92 | Сингония моноклинная<br>$a_0=9,29$<br>$b_0=13,53$<br>$c_0=6,57$<br>$\beta=106^{\circ}33'$<br>$a_0:b_0:c_0=0,6878:1:0,4858$<br>Z=4<br>(По Бёргеру, Минералы т. I, 1960)<br>3,166 (10)<br>2,931 (7)<br>2,717 (7)<br>2,122 (7)<br>(по Копалеву; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$ R'g R'p<br>420 22,3 22,0<br>460 24,4 20,8<br>540 20,9 18,8<br>580 19,8 18,2<br>660 19,6 17,8<br><br>(Определение рудных минералов..., 1973)<br><br>При $\lambda$ 530<br>20,0—21,1<br>(Graeser, 1967) |  |

| стля в отраженном свете              |                                    | Твердость по Моосу. Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup><br>КН <sub>1</sub> ; КН <sub>2</sub><br>Нагрузка Р, гс | Отрицательные особенности. Реакция травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|------------------------|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы |  |  |                        |

## мышьяка и сурьмы

|   |  |   |  |  |
|---|--|---|--|--|
| Анизотропия весьма отчетливая. Двуотражение слабое (в иммерсии усиливается) | Белый  | $3 \frac{1}{2}$<br>93—137<br>1,24; —<br>P=20—30<br>57—167<br>(Бови, Тейлор, 1959; Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | На воздухе возникает сильная побелость; сурьма светлее, менее анизотропна, на воздухе не тускнеет; висмут гораздо светлее, мягче (более низкая микротвердость). От HNO <sub>3</sub> небольшое вскипание, почернение, образование серо-синего палета; от FeCl <sub>3</sub> быстрое окрашивание в коричневый цвет, почернение  | Ассоциирует с пруститом, пираргиритом, арсентитом, дискразитом, сафлоритом, шмальтином, никелином, лаутитом, блеклыми рудами, сфалеритом, реже реальгаром и другими минералами           |
| Анизотропия сильная; двуотражение отчетливое                                | Серо-белый. Внутренние рефлексы желто-красные, оранжевые | $1 \frac{1}{2}$ — 2<br>50—57<br>P=10<br>47—60<br>(Бови и Тейлор, 1959; Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971)            | От HNO <sub>3</sub> вскипает; от царской водки бурет, темнеет с выделением газа; от KOH бурет, чернеет. Прозрачен в проходящем свете: двусный отрицательный. Пл. орг. осей (010) с Np 11°<br>$\lambda=590$ :<br>$n_g=2,704$<br>$n_m=2,684$<br>$n_p=2,538$<br>2V=46°42'<br>$\lambda=650$ :<br>$n_g=2,634$<br>$n_m=2,617$<br>$n_p=2,496$<br>2V=49°34'<br>$\lambda=740$ :<br>$n_g=2,578$<br>$n_m=2,560$<br>$n_p=2,458$<br>Сильная дисперсия $r>V$ | В эпитеpmальных месторождениях находится всегда в тесной ассоциации с аурипигментом, а также с антимонитом, тетраэдритом, марказитом, пиритом и мельниквитом, реже — с кшварью и золотом |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %          | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |
|-------|--|---|--|---|--|
|       |  |   |  | Отражательная способность R, %  |  |
| 167   | Лурипигмент<br>As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>                        | Теор. состав:<br>As 60,91<br>S 39,09                        | Сингония моноклинная.<br>a <sub>0</sub> =11,49;<br>b <sub>0</sub> =9,59;<br>c <sub>0</sub> =4,25;<br>β=90°27'<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =<br>=1,198:1:0,443<br>Z=4<br>(по Бёргеру; Минералы, т. I, 1960)<br>4,775 (10);<br>2,707 (6);<br>2,446 (6);<br>1,743 (8)<br>(по Ковалеву; Минералы, т. I, 1960);<br>4,80 (6)<br>2,82 (3)<br>2,70 (3)<br>(по Харкорт; Рамдор, 1962) | В воздухе<br>   a<br>зелен. 32<br>оранж. 26<br>красн. 26<br>   b<br>зелен. 13<br>оранж. 15<br>красн. 14<br>В иммерсии:<br>   a<br>зелен. 27<br>оранж. 18<br>красн. 20<br>   b<br>зелен. 7<br>оранж. 7<br>красн. 7<br>(Рамдор, 1962) |  |
| 168   | Домейкит<br>(α- и β-домейкит)<br>Cu <sub>3</sub> As                  | —   | α-домейкит кубической сингонии, β-домейкит гексагональной сингонии   | При λ 550<br>47,5—48,7<br>(Picot, Vernet, 1967)   |  |
| 169   | Альгодонит<br>Cu <sub>6-7</sub> As                                   | Теор. состав:<br>Cu <sub>6</sub> As<br>Cu 83,58<br>As 16,42 | Сингония ромбическая.<br>a <sub>0</sub> =2,59<br>b <sub>0</sub> =4,56<br>c <sub>0</sub> =4,23<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =0,5687:<br>:1:0,9272<br>2,13 (8)<br>2,00 (10)<br>1,54 (5)<br>(Минералы, т. I, 1960)   | λ   R<br>460   54,8<br>540   61,4<br>580   63,0<br>620   61,0<br>(Picot, Vernet, 1967)  |  |
| 170   | Коутекит<br>Au <sub>5</sub> As <sub>2</sub><br>(Picot, Vernet, 1967) | —   | Сингония гексагональная.<br>3,32<br>2,446<br>2,078<br>2,024<br>1,994<br>1,374<br>1,324<br>(Минералы, т. I, 1960)   | λ   R'g   R'p<br>460   50,5   46,9<br>540   45,5   42,0<br>580   42,0   40,5<br>620   40,5   38,0<br>(Picot, Vernet, 1967)  |  |

| Оптические свойства в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>КН <sub>1</sub> ; КН <sub>2</sub> .<br>Нагрузка P, гс              | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|---|--|--|
|  |   |  |  |
| Анизотропия сильная (трудно заметна из-за сильных внутренних рефлексов). Двуотражение очень сильное: белый, матово-серый с розоватым оттенком до серо-белого | 1<br>2 — 2<br>26—33<br>P=10<br>22—58<br>(Бови, Тейлор, 1959;<br>Young,<br>Millman,<br>1964;<br>Uytenboogaardt,<br>Burke,<br>1971) | В проходящем свете — оптически положительный;<br>Ng=3,0;<br>Nm=2,8;<br>Np=2,4;<br>Ng-Np=0,6<br>2V=76°. Сильно плеохроичен; совершенная спайность ⊥ Np.<br>От KCN, KOH от HgCl <sub>2</sub> травится, образуется желтая кайма | Ассоциирует с ретартом, антимонитом, киноварью, марказитом, самородным мышьяком, арагонитом, кальцитом, кварцем, опалом и др.                                    |
| α-домейкит изотропен, β-домейкит слабо анизотропен   | 206<br>(Picot, Vernet, 1967)<br>β-домейкит: 250<br>(Socolescu, Superseanu, 1960)  | —  | Ассоциирует с альгодонитом, халькозинном, раммельсбергитом и др.; α-домейкит может содержать ламеллы β-домейкита   |
| Анизотропен. Двуотражение слабое   | 4<br>217—255<br>(Бови, Тейлор, 1959;<br>Picot, Vernet, 1967)  | Несколько светлее домейкита, отличается по дебаеграмме.<br>HCl травится  | В тесном сростании с α- и β-домейкитом (Джезказган, СССР), а также в ассоциации с купритом (Альгодонес, Чили). В Беловце (ЧССР) обнаружен в прожилках медных руд |
| Сильно анизотропен   | 114—147<br>P=15<br>(Uytenboogaardt,<br>Burke, 1971;<br>Picot, Vernet, 1967)   | От HCl, от HNO <sub>3</sub> (1:1) и FeCl <sub>3</sub> травится; от царской водки розовеет  | Наблюдается в тесном сростании с пакситом, самородным мышьяком, серебром, домейкитом, лёллингитом, смальтином, халькозинном и др.                                |

| № п/п | Название минерала                        | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства               |   |
|-------|--|---|--|-----------------------------------|---|
|       |  |   |  | Отражательная способность R, %    |   |
| 171   | Паксит<br>$Cu_2As_2$<br>(Johan Z., 1962) | Химический анализ:<br>Cu 36,12<br>As > 10<br>Примеси:<br>Sb 0,1—1,0;<br>Fe, Ti, Hg, Bi, Pb,<br>Co, Ni — следы   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=12,84$<br>$b_0=11,50$<br>$c_0=7,654$<br>$a_0:b_0:c_0=1,116:1:0,6655$<br>$Z=10$<br>3,633 (8)<br>3,164 (10)<br>2,772 (7)<br>2,618 (7)<br>1,795 (7)   | Меньше, чем у самородного мышьяка |   |
| 172   | Лёллингит<br>$FeAs_2$                    | Теор. состав:<br>Fe 27,18<br>As 72,82<br>Примеси: Co, Ni, Sb, S.<br>Разновидности: кобальтистый лёллингит (Co—1,32%), глаукопирит (Co—5,97%), гейерит (S—6,79%) при Fe—31,20 и As—61,40%; Минералы, т. 1, 1960) | Сингония ромбическая.<br>$a_0=5,26$<br>$b_0=5,93$<br>$c_0=2,86$<br>$a_0:b_0:c_0=0,8868:1:0,4814$<br>$Z=2$<br>(по Бёргеру; Минералы, т. 1, 1960).<br>По Михееву (1952): увеличивается $c_0$ с повышением отношения $Co+Ni$ ;<br>Fe<br>2,589 (10)<br>2,535 (9)<br>2,398 (6)<br>2,332 (9)<br>1,448 (4)<br>1,109 (9)<br>1,097 (10)<br>Глаукопирит:<br>2,580 (10)<br>2,395 (3)<br>2,354 (8)<br>1,962 (4)<br>1,946 (3)<br>1,473 (2)<br>1,1065 (10)<br>(по Михееву, Минералы, т. 1, 1960) | $\lambda$                         | $R'g$   $R'p$<br>460 52,0   57,3<br>500 53,5   55,8<br>540 54,6   54,1<br>580 55,2   52,0<br>660 55,0   50,2<br>700 54,6   50,2 |

| ства в отраженном свете  |  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс/мм}^2$ .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$ .<br>Нагрузка P, гс.   | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|--|--|---|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы       |  |   |   |
| Анизотропия очень сильная: от светло-зеленовато-серого до темно-бурого (с различными фиолетовыми оттенками)              | Белый, заметно серое самородного мышьяка | $3\frac{1}{2} - 4$   | —   | Обнаружен в сростании с новакитом, коутекитом, самородным мышьяком в кальцитовых жилах (Черный Дул, ЧССР)     |
| Анизотропия сильная со слабым цветным эффектом. Двуотражение среднее: от белого с синеватым оттенком до желтовато-белого | Белый                                    | $5 - 5\frac{1}{2}$<br>635—741<br>Глаукопирит:<br>572—824<br>1,40; —<br>P=70—150<br>368—1048<br>(Боли, Тейлор, 1959;<br>Young, Millman, 1964;<br>Uytenboogaardt, Burke, 1971) | От арсенопирита, глаукодота и других минералов отличается сильным двуотражением, чистым белым цветом, микротвердостью и тремя характерными дублетами на дебаеграмме: 2,589 и 2,535; 2,398 и 2,332; 1,109 и 1,097.<br>От $HNO_3$ травится медленно с образованием желтого пятна; от $HgCl_2$ иногда слегка буреет; HCl, KCN, $FeCl_3$ и KOH — не действуют | Ассоциирует с арсенопиритом, сульфидами Fe и Cu, арсенидами Co и др., иногда с самородными золотом и висмутом |

| № п/п | Название минерала                           | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |       |       |
|-------|---|--|--|---|-------|-------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %  |       |       |
| 173   | Арсенопирит<br>FeAsS                        | Теор. состав:<br>Fe 34,30<br>As 46,01<br>S 19,69<br>Примеси: Co, Ni.<br>За счет микровключений различных минералов устанавливаются также примеси Ag, Au, Cu, Pb, Bi и Sb.<br>Разновидности: данаит (Co от 3 до 12%)<br>Существует ряд арсенопирит — данаит — глаукокодот | Сингония моноклинная (?)<br>$a_0=9,53$<br>$b_0=5,66$<br>$c_0=6,43$<br>$\beta=90^\circ$<br>$Z=8$<br>(по Бёргеру; Минералы, т. I, 1960).<br>2,66 (10)<br>2,44 (9)<br>2,41 (9)<br>1,82 (10)<br>1,63 (8)<br>(По Михееву; Минералы, т. I, 1960)   | $\lambda$   | $R'g$ | $R'p$ |
|       |   |  |  | 460   | 49,9  | 52,3  |
|       |   |  |  | 500   | 51,5  | 52,4  |
|       |   |  |  | 540   | 52,6  | 52,0  |
|       |   |  |  | 580   | 53,4  | 51,5  |
|       |   |  |  | 620   | 53,9  | 54,0  |
|       |   |  |  | 700   | 51,4  | 51,2  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973)   |       |       |
| 174   | Лаулит<br>CuAsS                             | Теор. состав:<br>Cu 37,20<br>As 44,01<br>S 18,79<br>Примеси:<br>Ag, Sb   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,79$<br>$b_0=5,48$<br>$c_0=11,49$<br>$a_0:b_0:c_0=0,691:$<br>$:1:2,097$<br>$Z=4$<br>(по Вейлу и Окару; Минералы, т. I, 1960)  | $\lambda$   | $R$   |       |
|       |   |  |  | 460   | 33,8  |       |
|       |   |  |  | 540   | 31,1  |       |
|       |   |  |  | 580   | 30,3  |       |
|       |   |  |  | 660   | 31,7  |       |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973)   |       |       |
| 175   | Энарцит<br>Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> | Теор. состав:<br>Cu 48,42<br>As 19,02<br>S 32,56<br>Примеси:<br>Sb, Fe<br>Разновидность:<br>стибиознарцит (Sb около 6%)  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=6,47$ ;<br>$b_0=7,44$<br>$c_0=6,19$<br>$a_0:b_0:c_0=0,869:1:$<br>$:0,832$<br>$Z=2$<br>(по Паулингу; Минералы, т. I, 1960).<br>По Харкорту:<br>3,21 (3)<br>3,08 (6)<br>2,85 (8)<br>1,86 (7)<br>1,73 (5)<br>1,59 (4)<br>По Сунагава:<br>3,16 (10); 2,83 (9);<br>1,84 (9); 1,714 (8)<br>1,581 (8)<br>(Рамдор, 1962; Минералы, т. I, 1960) | $Rp$<br>зелен. 24,28<br>оранж. 23,11<br>красн. 22,25<br>$Rm$<br>зелен. 26,16<br>оранж. 24,74<br>красн. 23,30<br>$Rg$<br>зелен. 28,50<br>оранж. 25,99<br>красн. 24,66<br>(по Строкаи; Рамдор, 1962).<br>$\lambda$    $a$    $b$    $c$ |       |       |
|       |   |  |  | 470   | 27,4  | 26,9  |
|       |   |  |  | 546   | 25,2  | 25,9  |
|       |   |  |  | 589   | 24,4  | 26,1  |
|       |   |  |  | 650   | 25,7  | 28,1  |
|       |   |  |  | (López-Soler, Bosch-Figueroa, 1969)   |       |       |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс/мм}^2$ .<br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|--|---|--|--|
|   |  |   |  |  |
| Отчетливо анизотропен с цветным эффектом в розоватых и зеленоватых тонах. Двуотражение в воздухе практически не заметно, с иммерсией слабое   | Белый  | $\frac{1}{5} - \frac{1}{2} - 6$<br>745—1127<br>1,20; 1,20<br>$P=100-150$<br>— —<br>715—1354<br>(Бови, Тейлор, 1959; Young, Millman, 1964; Parnamaa, 1963; Uytendogaardt, Burke, 1971; Gammon, 1966) | От лёллингита отличается несколько большей твердостью, от гудмундита — большей твердостью и менее сильным двуотражением. Саффорит и раммельсбергит мягче, белее и обнаруживают Ni и Co микрохимическими реакциями. От HNO <sub>3</sub> и царской водки выявляется структура. Остальные стандартные реактивы не действуют<br>От энаргита отличается более серой окраской, меньшей анизотропией и двуотражением, а также меньшей микротвердостью. От KCN травится; от HgCl <sub>2</sub> слабо травится<br>От германита отличается анизотропностью и меньшей микротвердостью; от борнита — резко большей микротвердостью, а также более высокой R; люпонит имеет двойниковое строение и более оранжевый цвет. От KCN немедленное почернение; от царской водки коричневый налет, который стирается | Широко распространенный первичный минерал мышьяка в высоко- и среднетемпературных гидротермальных месторождениях в ассоциациях с пиритом, вольфрамитом, лёллингитом, саффоритом, блеклыми рудами, энарцитом, сфалеритом, халькопиритом и др. Встречается также в контактово-метасоматических и менее обычен для низкотемпературных месторождений (с кинварью и антимонитом)<br>Ассоциирует с дигенитом, самородным мышьяком, энарцитом, фаматинитом, теннантитом, пиритом, ковеллином, халькопиритом, борнитом и др. |
| Анизотропен с цветным эффектом: от синего до фиолетово-бурого. Двуотражение слабое (заметно только в иммерсии на границе зерен)   | Серовато-белый с буро-фиолетовым оттенком. Внутренние рефлексы очень слабые.                       | $\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$<br>161—261<br>1,10; 1,40<br>$P=30-50$   | От германита отличается анизотропностью и меньшей микротвердостью; от борнита — резко большей микротвердостью, а также более высокой R; люпонит имеет двойниковое строение и более оранжевый цвет. От KCN немедленное почернение; от царской водки коричневый налет, который стирается   | Обычно наблюдается в ассоциации с халькопиритом, пиритом, блеклыми рудами, нередко с борнитом, люпонитом, баритом и др.  |
| Анизотропия отчетливая, особенно в иммерсии, с очень пестрыми цветными эффектами. Погасание прямое; двуотражение в воздухе слабое, на границах зерен — отчетливое, в иммерсии более сильное | Светло-розово-коричневатый. Встречаются признаки темно-красных внутренних рефлексов (Рамдор, 1962) | $3 - 3\frac{1}{2}$<br>212—357<br>1,47; —<br>$P=30-50$   | От германита отличается анизотропностью и меньшей микротвердостью; от борнита — резко большей микротвердостью, а также более высокой R; люпонит имеет двойниковое строение и более оранжевый цвет. От KCN немедленное почернение; от царской водки коричневый налет, который стирается   | Обычно наблюдается в ассоциации с халькопиритом, пиритом, блеклыми рудами, нередко с борнитом, люпонитом, баритом и др.  |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свой  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %   |  |  |
| 176   | Люционит<br>$Cu_3AsS_4$  | Теор. состав:<br>Cu 48,42<br>As 19,02<br>S 34,56<br>(по составу аналогичен энаргиту)<br>Разновидность:<br>стибиолуционит | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=5,28$<br>$c_0=10,44$<br>$a_0:c_0=1:1,98$<br>$Z=2$<br>(по Ватанабе; Минералы; т. I, 1960).<br>3,01—3,08 (10)<br>1,861—1,886 (10)<br>1,591—1,606 (8—9)<br>(по Харкорту, Минато, Такаю, Мураоко; Рамдор, 1962; Минералы, т. I, 1960) | В воздухе;<br>зелен. 25<br>оранж. 23,5<br>красн. 25<br>(Рамдор, 1962;<br>образец из Серро-де-Паско)<br>$\lambda$   $R_o$<br>480   24,3—24,9<br>540   24,8—25,6<br>580   25,9—26,0<br>640   26,7—27,2<br>$\lambda$   $R'e$<br>480   25,0—25,6<br>540   26,1—27,9<br>580   26,8—29,4<br>640   27,2—30,5<br>Стибиолуционит:<br>$\lambda$   $R_o$<br>480   23,7—23,8<br>540   23,7—23,9<br>580   24,0—24,2<br>640   26,0—26,8<br>$\lambda$   $R'e$<br>480   24,2—24,5<br>540   25,4—26,2<br>580   26,4—27,4<br>640   28,1—29,0 |  |  |
| 177   | Синнерит<br>$Cu_{5-6}As_3S_8$ (?)  | Cu 40,2<br>As 29,5<br>S 29,3<br>(Marumo, Nowacki, 1964)  | Сингония триклинная.<br>2,97—3,04 (9—10)<br>1,85 (7—9)<br>1,57—1,58 (6—8)<br>1,07 (7—8)<br>1,01 (6—10)<br>(Marumo e. a., 1964;<br>Определение рудных минералов..., 1973)   | (Levy, 1967)<br>При $\lambda$ 530<br>29,5—31,5<br>(Graeser, 1965)<br>$\lambda$   $R$<br>460   29,3<br>540   29,0<br>580   28,7<br>680   31,9<br>(по Чвилевой, Безсмертная и др., 1973)   |  |  |
| 178   | Теннантит<br>$Cu_{12}As_4S_{13}$<br>(конечный As-член изоморфного ряда теннантит-тетраэдрит) | Теор. состав:<br>Cu 51,57<br>As 20,26<br>S 28,17<br>Примеси: Sb, Ag, Zn, Fe, Hg, Bi, Sn                                  | Сингония кубическая.<br>$a_0=10,21$<br>$Z=2$<br>$a_0$ колеблется в зависимости от состава: при замещении мышьяка сурьмой увеличивается;  | В воздухе:<br>зелен. 29,5<br>оранж. 24<br>красн. 21,5<br>(Рамдор, 1962;<br>образец из Тзу-меба).   |  |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс   | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|---|---|--|---|--|
|   |   |  |   |  |
| Анизотропия отчетливая с пестрыми цветными эффектами. Двуотражение заметно в воздухе, в иммерсии значительно усиливается            | Светло-серый с коричневатом-розоватым оттенком    | $3-3\frac{1}{2}$<br>257—432<br>1,44; 1,50<br>$P=30-50$<br>205—397<br>(Бови, Тейлор, 1959;<br>Paranaaa, 1963; Young, Millman, 1964;<br>Uytenboogaardt, Burke, 1971) | От энаргита отличается более светлой окраской и пластинчатым двойниковым строением.<br>$HNO_3$ и KCN действуют медленно, образуется налет | Ассоциирует с энаргитом, фаматинитом, борнитом, халькопиритом, пиритом, блеклыми рудами, баритом и кварцем                       |
| Анизотропен (в иммерсии усиливается), с цветными эффектами от желто-коричневых до серовато-голубоватых. Двуотражение не наблюдалось | Желтовато-коричневатый (по сравнению с галенитом) | 357<br>$P=20$<br>357—390<br>(Graeser, 1965)  | Характерны двойники, но в образцах из Эльбрусского месторождения двойники не наблюдались  | Ассоциирует с теннантитом, сфалеритом, зелигманнитом и халькопиритом   |
| Изотропен   | Серовато-белый с зеленоватым оттенком.            | $4-4\frac{1}{2}$<br>350—425<br>$P=30-50$<br>(для ряда образцов)  | От сходных в микровыделениях стефанита, полибазита, миаргирита отличается изотропностью и   | Ассоциирует с галенитом, штрмейеритом, халькопиритом, пираргиритом, пиритом, энаргитом, сфалеритом, борнитом, халькозинном и др. |

| № п/п | Название минералов                                   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                     | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                               |      |
|-------|--|--|---|---|------|
|       |  |  |   | Отражательная способность R, %                    |      |
|       | с общей формулой $A_{12}X_4S_{13}$ , см. тетраэдрит) |  | также увеличивается при замещении Cu серебром и ртутью (Сахарова, 1966)<br>2,94—2,95 (9—10);<br>2,55 (6)<br>1,801—1,810 (6—10)<br>1,537—1,541 (6—8)<br>(по Харкорту, Вальдо; Минералы, т. I, 1960; Костов, 1971)  | $\lambda$   | R    |
|       |  |  |   | 420   | 29,3 |
|       |  |  |   | 460   | 29,7 |
|       |  |  |   | 540   | 29,5 |
|       |  |  |   | 580   | 28,8 |
|       |  |  |   | 660   | 27,9 |
|       |  |  |   | (Определение рудных минералов..., 1973)           |      |
| 179   | Сарторит<br>$PbAs_2S_4$                              | Теор. состав:<br>Pb 42,70<br>As 30,87<br>S 26,43                       | Сингония моноклиновая.<br>$a_0=58,49$<br>$b_0=7,81$<br>$c_0=83,46$<br>$\beta=90^\circ$<br>$a_0:b_0:c_0=7,49:1:10,69$<br>$Z=240$<br>(По Бэнистеру, Пабсту, Во; Минералы, т. I, 1960)<br>3,48 (10)<br>3,23 (4)<br>2,95 (9)<br>2,76 (9)<br>2,62 (7)<br>2,10 (7)<br>(по Харкорту; Минералы, т. I, 1960) | При $\lambda$ 530<br>35,0—39,0<br>(Graeser, 1965) |      |
| 180   | Дюфренуазит<br>$Pb_2As_2S_5$                         | Теор. состав:<br>Pb 57,20<br>As 20,68<br>S 22,12<br>Примеси:<br>Cu, Te | Сингония моноклиновая.<br>$a_0=8,41$<br>$b_0=25,85$<br>$c_0=7,88$<br>$\beta=90^\circ 30'$<br>$a_0:b_0:c_0=0,326:1:0,306$<br>$Z=8$<br>(по Берри; Минералы,   | При $\lambda$ 530<br>36,5—40,5<br>(Graeser, 1965) |      |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H_v$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}: K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|---|--|
|  |   |   |   |  |
|  | Внутренние рефлексы темно-красные (выявляются редко)  | с содержанием As от 12% вес. и более);<br>390—425<br>(для As-члена состава: As=24,61<br>Sb=1,57<br>S=68,27);<br>261—305<br>(для теннантита<br>с Hg=7,5;<br>Zn=7,0;<br>As=13,6;<br>Sb=7,7%;<br>образец В. И. Степанова из Хайдаркана)<br>194—197<br>Graeser, 1965) | большой микротвердостью; от тетраэдрита — большей микротвердостью и по травлению (см. тетраэдрит). От KCN иногда слабо буреет; от $CrO_3+HCl$ выявляется структура (Юшко, 1971) |  |
| Анизотропен, двуотражение не наблюдалось   | Белый (по сравнению с галенитом желто-коричневый оттенок). Внутренние рефлексы ярко красные |   | Часть двойники. От KOH темнеет; от NaClO быстро травится  | Ассоциирует с ратитом, ливейнгитом, баумгауэритом, гутчинсонитом, теннантитом, сфалеритом, галенитом, реальгаром, аурипигментом          |
| Сильно анизотропен; цветные эффекты от коричнево-фиолетовых до темно-зеленых. Двуотражение яркое, но лучше заметно по границам зерен | Белый (по сравнению с галенитом слабый серовато-голубоватый оттенок). Внутренние рефлексы   | 145—156<br>(Graeser, 1965)  | Характерны полисинтетические двойники   | Ассоциирует со сфалеритом, реальгаром, зелигманитом, леггенбахитом и другими Pb, As-сульфосолями, а также с тетраэдритом и халькопиритом |

| № п/п | Название минерала                          | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |       |       |
|-------|--|---|---|--|-------|-------|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, %                                 |       |       |
| 181   | Иорданит<br>$Pb_5As_2S_8$                  | Теор. состав:<br>Pb 71,90<br>As 10,30<br>S 17,80<br>Примеси:<br>Sb (до 1,4)<br>Fe (до 1,2),<br>Tl (до 1,56) | т. I, 1960).<br>3,01 (10); 2,84 (9);<br>2,32 (6); 2,20 (4);<br>2,09 (8); 1,53 (4)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960)<br>Сингония моноклинная<br>$a_0=8,91$<br>$b_0=31,71$<br>$c_0=8,42$<br>$\beta=118^{\circ}21'$<br>(по Берри, Пикоку).<br>2,22 (10)<br>2,10—2,11 (7—9)<br>1,815—1,828 (9)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960; Митряева и Муратова, 1963) | $\lambda$  | $R'g$ | $R'p$ |
|       |  |   |   | 460  | 41,1  | 39,1  |
|       |  |   |   | 540  | 39,8  | 37,7  |
|       |  |   |   | 580  | 38,9  | 37,0  |
|       |  |   |   | 660  | 37,2  | 35,6  |
|       |  |   |   | (Определение рудных минералов..., 1973)                        |       |       |
| 182   | Баумгауерит<br>$Pb_3As_4S_6$<br>(по Берри) | Состав образца из Ленгенбаха (Минералы, т. I, 1960):<br>Pb 48,86<br>As 24,39<br>S 26,42                     | Сингония триклинная.<br>$a_0=22,74$<br>$b_0=8,33$<br>$c_0=7,89$<br>$\alpha=90$<br>$\beta=97^{\circ}25'$<br>$\gamma=90^{\circ}$<br>$a_0:b_0:c_0=2,729:1:0,948$<br>$Z=4$<br>(по Берри; Минералы, т. I, 1960)<br>3,78 (5); 2,97 (5);<br>2,73 (10);<br>2,30 (10); 2,11 (7);<br>1,90 (7)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960)                                       | При $\lambda$ 530<br>34,0—39,0<br>(Graeser, 1965)              |       |       |
| 183   | Грейтонит<br>$Pb_9As_4S_{15}$              | Теор. состав:<br>Pb 70,49<br>As 11,33<br>S 18,18  | Сингония тригональная<br>3,80 (10);<br>3,47 (10); 2,94 (8);<br>2,74 (8); 0,875 (9)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960)  | При $\lambda$ 530<br>33,4—34,4<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) |       |       |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup><br>$K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|---|--|--|--|--|
|   |  |  |  |  |
| Анизотропия ясная с цветным эффектом: от синеватых до коричневатых розовых тонов. Двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии отчетливое (Минералы, т. I, 1962; Митряева, Муратова, 1963) | Белый, по сравнению с галенитом — с очень слабым зеленоватым оттенком (Митряева, Муратова, 1963)<br>Внутренние рефлексы не наблюдались   | 3<br>149—204<br>(Митряева, Муратова, 1963; Young, Millman, 1964; Pärnamaa, 1963; Graeser, 1965)            | Обычны двойники. От геокронита отличается большей микротвердостью и дебаграммой; от буланжерита — дебаграммой. От $HNO_3$ (1:1) медленно темнеет, появляется серое до темного окрашивание; от $HNO_3$ (конц.) травится | Ассоциирует с галенитом, пиритом, грейтонитом, дюфренуазитом, энаргитом, баумгауэритом и др.                                   |
| Анизотропия отчетливая до сильной с цветными эффектами: от сине-зеленого и желтого до фиолетового. Двуотражение ясное   | Белый (по сравнению с галенитом — с розовато-коричневатым оттенком); спустя некоторое время синет. Внутренние рефлексы темно-красные, наблюдаются не всегда (Uytenbogaardt, Burke, 1971) | $2\frac{1}{2}$ —3<br>128—182<br>(Pärnamaa, 1963; Graeser, 1965)  | Обычны двойники    (100). От КОН образуется налет, $HgCl_2$ бурет  | Ассоциирует с ратитом-1, ливейнгитом, сарторитом, хатчинсонитом, галенитом, халькопиритом                                      |
| Слабо анизотропен. Двуотражение заметно только в иммерсии на границе зерен  | Белый. Внутренние рефлексы наблюдаются редко — темно-красные   | $\frac{1}{2}$<br>123—156<br>(Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971)                             | От геокронита и иорданита отличается более слабой анизотропией   | Ассоциирует с галенитом, халькопиритом, иорданитом, а также с пиритом, арсениопиритом, халькозином, реальгаром, борнитом и др. |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |  |
|-------|--|--|---|---|--|
|       |  |  |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 184   | Ливейнгит<br>$Pb_5As_8S_{17}$  | Теор. состав:<br>Pb 47,44<br>As 27,56<br>S 25,00   | Сингония моноклинная (псевдоромбический)<br>$\beta=90^{\circ}14'$   | При $\lambda$ 530<br>34,0—36,0<br>(Graeser, 1965)   |  |
| 185   | Зелигманнит<br>$PbCuAs_3$  | Теор. состав:<br>Pb 46,89<br>Cu 14,38<br>As 16,99<br>S 21,74<br>Примеси: Ag, Zn, Sb — десятые доли %; Fe — сотые доли % (Минералы, т. I, 1960) | Сингония ромбическая.<br>$a_0=8,081$<br>$b_0=8,747$<br>$c_0=7,636$<br>$a_0:b_0:c_0=0,924:1:0,873$<br>$Z=4$<br>(по Хельнеру, Ляйневеберу; Минералы, т. I, 1960 г.).<br>3,85 (9); 2,72 (10); 2,57 (8); 1,77 (8)<br>(по Харкорту, Минералы, т. I, 1960)                                  | При $\lambda$ 530<br>36,0—40,0<br>(Graeser, 1965)<br>$\lambda$   R<br>460   34,9<br>540   34,7<br>580   34,1<br>680   31,3<br>(по Чвилевой; (Определение рудных минералов..., 1973) |  |
| 186   | Ратит-I.<br>$(Pb, Tl)_3As_4(As, Ag)S_{10}$<br>(Berry, 1953; Graeser, 1965) | —  | Сингония моноклинная.<br>$a_0=25,05$<br>$b_0=7,926$<br>$c_0=8,44$<br>$\beta=99^{\circ}00'$<br>$a_0:b_0:c_0=3,160:1:1,064$<br>$Z=4$<br>(по Берри и Пикоку; Минералы, т. I, 1960)<br>3,4 (5); 3,17 (5); 2,96 (10); 2,72 (10); 2,32 (7); 1,92 (5)<br>(по Харкорту; Минералы, т. I, 1960) | При $\lambda$ 530<br>34,0—38,5<br>(Graeser, 1965)   |  |
| 187   | Сурьма самородная Sb   | Sb ~ 100   | Сингония ромбоэдрическая.<br>$a_0=4,50$<br>$c:a=1,324$<br>$\alpha=75^{\circ}2'$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,07 (6)<br>2,23 (2)<br>2,13 (3)<br>(По Харкорту; Рамдор, 1962)  | $\lambda$   Rg   Rp<br>460   75,6   72,4<br>500   76,2   73,0<br>580   74,3   70,5<br>660   73,6   68,3<br><br>(Определение рудных минералов..., 1973)                              |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                               | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс/мм}^2$ . $K_{H_1}; K_{H_2}$ . Нагрузка P, гс                                | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|--|--|---|--|
|  |  |  |   |  |
| Сильно анизотропен с цветными эффектами: от зеленоватого или синеватого до фиолетового или желтого. Двуотражение не наблюдалось                | Белый. Внутренние рефлексы красные (наблюдаются редко)           | 3<br>173—183<br>(Graeser, 1965)  | От NaClO травится медленно, образуется черно-бурый налет  | Ассоциирует с баумгауеритом, сарторитом, хатчинсонитом   |
| Сильно анизотропен. Двуотражение в воздухе очень слабое, заметное на двойниковых пластинках  | Розовато-белый. Внутренние рефлексы не наблюдались               | 3<br>151—205<br>1,25; —<br>P=10<br>160—167<br>(Uytendogaardt, Burke, 1971).<br>Sb-зелигманнит:<br>149—161<br>(Graeser, 1967) | От дюфренуазита, иорданита и бурнонита отличается розовым оттенком; от блеклой руды, кроме того, меньшей микротвердостью. От KOH медленно образуется иризирующий налет; остальные стандартные реактивы не действуют | Ассоциирует с штроемейеритом, теннантитом, дюфренуазитом, ратитом, баумгауеритом, петцитом, алтаитом; зелигманнит замещает иорданит и дюфренуазит, с которыми образует тесные сростания; замещается галенитом, науманнитом |
| Анизотропен с цветными эффектами (в иммерсии сильно анизотропен). Двуотражение в воздухе заметно на двойниковых пластинках, в иммерсии сильнее | Белый. Внутренние рефлексы от коричнево-красных до чисто красных | 159—163<br>(Graeser, 1965)   | Характерны полисинтетические двойники   | Ассоциирует с ливейнгитом, баумгауеритом, сарторитом, хатчинсонитом, реалгаром, иорданитом   |
| Анизотропия отчетливая. Двуотражение очень слабое (в воздухе), в иммерсии немного отчетливее   | Ярко-белый   | $\frac{1}{3-3}$<br>62—135<br>1,23; —<br>P=20—50<br>45—135<br>(Бови, Тейлор, 1959;  | От мышьяка (самор.) отличается более слабыми эффектами анизотропии и травлением $K_2S$ . От $HNO_3$ (1:1) коричневый налет; от $FeCl_3$ слабый коричневый налет; от $HgCl_2$ слабо                                  | Ассоциирует с антимонитом, бертьеритом, шмальтином, аллемонтитом, самородным висмутом, сфалеритом, пиритом, арсенопиритом, а также с минералами серебра, гипергенными сурьмяными минералами и др.                          |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свой   |  |
|-------|--|---|--|---|--|
|       |  |   |  | Отражательная способность R, %  |  |
| 188   | Антимонит<br>Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>  | 3,439 (6)<br>2,249 (10)<br>2,151 (10)<br>(Михеев, 1957)<br><br>Теор. состав:<br>Sb 71, 38<br>S 28, 62<br>Примеси: As, Bi, Pb, Fe, Cu и др. (возможно часть из них за счет механических включений) | Сингония ромбическая.<br>a <sub>0</sub> =11,39<br>b <sub>0</sub> =11,48<br>c <sub>0</sub> =3,89<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =0,993:1:1,018<br>Z=4<br>(Рамдор, 1962)<br>3,57 (9)<br>3,045 (9)<br>2,51 (9)<br>1,933 (10)<br>1,687 (10)<br>(Михеев, 1957) | В воздухе:<br>   c<br>зелен. 44<br>оранж. 38<br>красн. 33,5<br>   b<br>зелен. 30,5<br>оранж. 25<br>красн. 24,5<br>(Рамдор, 1962)<br>λ   R <sub>p</sub>   R <sub>m</sub>   R <sub>g</sub><br>470   31,5   42,5   50,4<br>546   31,4   40,9   46,8<br>589   30,4   39,6   44,3<br>650   30,2   39,6   41,3<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>λ   R <sub>e</sub><br>470   56,3<br>546   47,2<br>589   45,1<br>650   53,5<br><br>R <sub>o</sub><br>470   51,2<br>546   40,9<br>589   43,0<br>650   56,0<br>(по Безмертной; Купростибит — новое химическое соединение, 1969)<br>При λ 590<br>38,0—44,0<br>(Определение рудных минералов..., 1973) |  |
| 189   | Купростибит<br>Cu <sub>2</sub> Sb<br>(Купростибит — новое химическое соединение, 1969) | Cu 53,3<br>Sb 42,06<br>Ti 3,0—3,5   | Сингония тетрагональная.<br>a <sub>0</sub> =3,99<br>c <sub>0</sub> =6,09<br>c:a=1,53<br>Z=2  | λ   R <sub>e</sub><br>470   56,3<br>546   47,2<br>589   45,1<br>650   53,5<br><br>R <sub>o</sub><br>470   51,2<br>546   40,9<br>589   43,0<br>650   56,0<br>(по Безмертной; Купростибит — новое химическое соединение, 1969)<br>При λ 590<br>38,0—44,0<br>(Определение рудных минералов..., 1973)   |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> .<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|--|---|
|  |   |  |  |   |
| Анизотропия сильная с цветным эффектом: от серовато-синих до розовато-коричневосерых тонов. Двуотражение сильное     | Белый до серовато-белого. В порошке с иммерсией наблюдаются красные внутренние рефлексы | Pärnamaa, 1963; Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971; Pääkkönen, 1966)<br>$\frac{1}{2-2}$<br>65—167<br>1,83; 1,25<br>P=10—30<br>72—138<br>P=50<br>(Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971) | коричневый (стирающийся) налет; от HNO <sub>3</sub> (конц.) — черный, а при добавлении капли воды — толстый белый налет; от K <sub>2</sub> S травится<br><br>Характерные оптические свойства: двуотражение, анизотропия, двойники. От HNO <sub>3</sub> вскипает и чернеет; от KOH буреет, образуется оранжево-красный осадок (наблюдается в косом свете); от KCN: иногда травится (Юшко, 1971) | Ассоциирует с кинварью, флюоритом, кальцитом, баритом. Кроме того — с реальгаром, аурипигментом, пиритом, Pb-Sb-сульфосолями, энаргитом и др. |
| Анизотропия сильная с цветными эффектами. Двуотражение заметное в воздухе от кремново-белого до розовато-фиолетового | Сиренево-розовый  | ~4<br>195—230<br>P=50  | От всех розовых сульфидов отличается более низкой твердостью кроме борнита. От последнего отличается анизотропностью   |   |



| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                                  |  |
|-------|---|--|--|--|--|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %                       |  |
| 193   | Цинкенит<br>PbSb <sub>2</sub> S <sub>4</sub>                  | Теор. состав:<br>Pb 35,79<br>Sb 42,06<br>S 22,15<br>Примеси:<br>Ag, Cu — до десятых долей процента | Сингония гексагональная<br>a <sub>0</sub> =44,15<br>c <sub>0</sub> =8,62<br>Z=81<br>(по Нафилду; Минералы, т. I, 1960)   | (Levy, 1967)   |  |
|       |   |  |  | λ  | R  |
|       |   |  |  | 480  | 31,7                                       |
|       |   |  |  | 540  | 31,7                                       |
|       |   |  |  | 590  | 31,6                                       |
|       |   |  |  | 640  | 31,0                                       |
|       |   |  |  | (по Чвилевой; Определение рудных минералов..., 1973) |  |
|       |   |  |  | λ  | R <sub>g</sub>                             |
|       |   |  |  | 433  | 47,3                                       |
|       |   |  |  | 482  | 46,3                                       |
|       |   |  |  | 559  | 46,3                                       |
|       |   |  |  | 589  | 44,5                                       |
|       |   |  |  | 668  | 42,0                                       |
|       |   |  |  | 691  | 41,0                                       |
|       |   |  |  | R <sub>p</sub>                                       |  |
|       |   |  |  | 433  | 38,4                                       |
|       |   |  |  | 482  | 38,0                                       |
|       |   |  |  | 559  | 38,0                                       |
|       |   |  |  | 589  | 37,5                                       |
|       |   |  |  | 668  | 35,4                                       |
|       |   |  |  | 691  | 34,1                                       |
|       |   |  |  | (О новой находке цинкениита..., 1966).               |  |
|       |   |  |  | При λ 589  |  |
|       |   |  |  | R <sub>g</sub> 42,0                                  |  |
|       |   |  |  | R <sub>p</sub> 38,0                                  |  |
| 194   | Буланжерит<br>Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub> | Теор. состав:<br>Pb 55,42<br>Sb 25,69<br>S 18,89<br>Примеси: Cu (до 1%), Fe, Zn, Sn, Bi            | Сингония моноклиная.<br>a <sub>0</sub> =21,42<br>b <sub>0</sub> =23,51<br>c <sub>0</sub> =8,09<br>β=100°48'<br>a <sub>0</sub> :b <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =0,9166:1:0,3475<br>Z=8<br>(по Бери; Минералы, т. I, 1960) | (Чвилева, 1968)                                      |  |
|       |   |  |  | λ  | R <sub>p</sub> (  c)   R <sub>g</sub> (⊥c) |
|       |   |  |  | 472  | 36,0   39,8                                |
|       |   |  |  | 550  | 37,5   41,5                                |
|       |   |  |  | 579  | 36,5   40,4                                |
|       |   |  |  | 640  | 34,3   38,0                                |
|       |   |  |  | (по Ракчеву; О новой находке цинкениита..., 1966)    |  |
|       |   |  |  | При λ 590  |  |
|       |   |  |  | 35,0—42,0  |  |
|       |   |  |  | (по Чвилевой; Определение рудных минералов..., 1973) |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub><br>Нагрузка P, гс                | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|---|---|---|---|
|  |   |   |   |   |
| Анизотропия от неясной до отчетливой (в зависимости от сечения).<br>Двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии более заметное<br>ΔR=9,5<br>(Чвилева, 1965)  | Белый.<br>Внутренние рефлексы темно-красные (наблюдаются не всегда)               | 3—3 $\frac{1}{2}$<br>159—208<br>1,12; 1,22<br>P=20—30<br>137—187<br>P=20<br>(О новой находке цинкениита..., 1966)                 | От других Sb-сульфосоей отличается сравнительно высокой микротвердостью; от плагионита — по дебаеграмме (наиболее четко).<br>От HNO <sub>3</sub> чернеет; от HCl (пары) слегка буреет | Ассоциирует с антимонитом, джемсонитом, буланжеритом, бурнонитом, галенитом, сфалеритом, пиритом                |
| Анизотропия отчетливая (в иммерсии сильная).<br>Двуотражение слабое, в иммерсии значительно яснее: 11 c и b — светлый, серовато-белый до белого с зеленовато-синеватым оттенком, 11 a — зеленовато-серый (по Рамдору);<br>ΔR в воздухе 15,0<br>(Чвилева, 1968) | Серовато-белый с голубоватым оттенком.<br>Внутренние рефлексы очень слабо красные | 2 $\frac{1}{2}$ — 3<br>100—182<br>—; 1,35<br>P=20—50<br>113—179<br>(Young, Millman, 1964;<br>О новой находке цинкениита..., 1966) | По сравнению с джемсонитом меньшая R, более слабое двуотражение, более высокая микротвердость.<br>От HNO <sub>3</sub> травится (почернение со вскипанием)                             | Ассоциирует с другими сульфосолями свинца, а также с антимонитом, галенитом, сфалеритом, пиритом, арсенопиритом |

| № п/п | Название минерала             | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства  | Оптические свой   |  |
|-------|-------------------------------|--|---|---|--|
|       |                               |  |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 195   | Фюлөппит<br>$Pb_3Sb_8S_{15}$  | Теор. состав:<br>Pb 27,66<br>Sb 48,78<br>S 23,56   | Сингония моноклинная<br>$a_0=13,39$<br>$b_0=11,69$<br>$c_0=16,90$<br>$\beta=94^\circ 41'$<br>$a_0:b_0:c_0=1,1448:1:1,4464$<br>$Z=4$<br>3,86 (10)<br>3,21 (8)<br>2,91 (5)<br>(по Нафилду; Минералы, т. I, 1960)  | <i>Rm</i><br>зелен. 35,6<br>желт. 32,2<br>красн. 30,1<br><i>Rp</i><br>зелен. 34,7<br>желт. 32,9<br>красн. 29,2<br>(по Строкаи; Минералы, т. I, 1960)  |  |
| 196   | Плагионит<br>$Pb_5Sb_8S_{17}$ | Теор. состав:<br>Pb 40,75<br>Sb 37,78<br>S 21,47   | Сингония моноклинная<br>$a_0=13,47$ ;<br>$b_0=11,83$ ;<br>$c_0=19,98$<br>$\beta=107^\circ 11'$<br>$a_0:b_0:c_0=1,139:1:1,693$<br>$Z=4$<br>(по Нафилду и Пикоку; Минералы, т. I, 1960).<br>3,22—3,28 (10)<br>2,90—2,91 (9,10)<br>2,61—2,62 (8,9)<br>(по Нафилду и Пикоку, Рамдор, 1962; по XRDС, Минералы, т. I, 1960) | $\perp(001)$ . <i>Rp</i><br>зелен. 36,07<br>оранж. 33,67<br>красн. 30,35<br>$\perp(001)$ , <i>Rm</i><br>зелен. 37,19<br>оранж. 34,36<br>красн. 31,13<br>(по Строкаю; Рамдор, 1962)<br>$\lambda$   <i>R</i><br>472   33,8—37,6<br>550   34,5—38,0<br>579   33,6—37,5<br>640   31,8—34,5<br>(Мозгова и др., 1969)<br>$\lambda$   <i>R'g</i>   <i>R'p</i><br>460   43,5   33,4<br>540   41,9   33,4<br>580   40,9   33,0<br>660   39,0   30,6<br><br>(Определение рудных минералов..., 1973) |  |
| 197   | Тинтинаит<br>$Pb_5Sb_8S_{17}$ | Примеси: Вi  | Сингония ромбическая  | $\lambda$   <i>Rp</i>   <i>Rm</i><br>470   37,4   38,3<br>546   36,3   37,4<br>589   35,0   36,2<br>650   35,1   35,8<br><br>$\lambda$   <i>Rg</i><br>470   43,9<br>546   43,3<br>589   41,9<br>650   42,0  |  |

| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                                 | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|---|--|--|--|---|
|   |  |  |  |   |
| Слабо анизотропен. Двуотражение не наблюдалось  | Белый  | >2   | —  | Ассоциирует со сфалеритом, цинкенимом, доломитом  |
| Анизотропия отчетливая, особенно в иммерсии, с цветным эффектом. Двуотражение ясное, особенно в иммерсии, отчетливое; $\Delta R$ (в воздухе) 20,5 (Чвилева, 1968) | Белый. Внутренние рефлексы темно-красные (редки, видны в иммерсии) | 2—3<br>159—205<br>$1,21; 1,30$<br>$P=20—30$  | От $HNO_3$ чернеет со вскипанием (через некоторое время), от царской водки сереет с выделением газа; от $KOH$ буровато-красное иризирующее пятно | Ассоциирует с Рb-Sb-минералами, а также с франкенимом   |
| Анизотропен. Двуотражение ясное   | Белый  | 149—157<br>$P=50$<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)  | —  | Ассоциирует с халькопиритом, галенитом, кобеллитом, арсенипиритом, пиритом, тетраэдритом, висмутом, теллуридами |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |  |
|-------|---|--|--|---|--|--|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %  |  |  |
| 198   | Семсейит<br>$Pb_9 Sb_8 S_{21}$                                  | Теор. состав:<br>Pb 53,10<br>Sb 27,73<br>S 19,17<br>Примеси:<br>Ag, Cu, Fe   | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 13,66$<br>$b_0 = 12,03$<br>$c_0 = 24,58$<br>$\beta = 105^\circ 49'$<br>$a_0:b_0:c_0 = 1,135:1:2,043$<br>$Z = 4$<br>3,84 (5); 3,37 (8);<br>3,26 (10); 2,97 (9)<br>(по Нафилду и Пикоку; Рамдор, 1962)<br>3,77 (9); 3,22 (7);<br>3,20 (10); 2,97 (10)<br>(по XRDC, образец из Вольсберга; Минералы, т. I, 1960)) | Сечение (001)<br><i>Rm</i><br>зелен. 42,01<br>оранж. 36,44<br>красн. 33,25<br><i>Rp</i><br>зелен. 41,13<br>оранж. 35,63<br>красн. 32,80<br>(по Строкан; Рамдор, 1962)   |  |  |
| 199   | Дадсонит<br>$Pb_{11}Sb_{12}S_{29}$                              | —  | Сингония моноклинная.  | $\lambda$ <i>R</i><br>470   34,8—39,7<br>546   34,9—40,0<br>589   34,2—39,6<br>650   32,7—37,4<br>(Jambor, 1968)  |  |  |
| 200   | Гетероморфит<br>$Pb_{15}Sb_{16}S_{39}$<br>(Мозгова и др., 1967) | Теор. состав:<br>Pb 49,26<br>Sb 30,91<br>S 19,83<br>Химический анализ образца из Кара-Камар:<br>Pb 48,33<br>Sb 30,96<br>S 19,29<br>Примеси: Ag, Cu, Zn, Hg | Сингония моноклинная.<br>3,24 (9)<br>2,95 (10)<br>2,14 (8)<br>1,284 (8)  | В воздухе<br>$\lambda$ <i>Rg</i> (   <i>c</i> )<br>450   39,3<br>496   40,3<br>527   41,8<br>579   40,3<br>640   38,0<br>670   37,7<br><i>Rp</i> ( $\perp c$ )<br>450   35,7<br>496   36,3<br>527   37,0<br>579   36,5<br>640   34,4<br>670   34,2<br>(по Ракчеву; Мозгова и др., 1967) |  |  |
| 201   | Лонэит<br>$22PbS \cdot 13Sb_2S_3$<br>(?)<br>(Jambor, 1967)      | Pb 48,5<br>Sb 29,5<br>As 1,5<br>S 21,25<br>(данные микронзондирования)   | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 42; b_0 = 8,04$<br>$c_0 = 32,3; Z = 2$<br>3,45 (10); 4,17 (8);<br>2,92 (8); 3,40 (6);<br>2,836 (5)   | $\lambda$ <i>Rg</i> <i>Rp</i><br>470   46,2   38,6<br>546   43,8   36,9<br>589   42,7   36,2<br>650   40,9   35,5   |  |  |

| в отраженном свете  | Твердость по Моссу. Микро-твердость. $H, \text{кгс/мм}^2$ . $K_{H_1}; K_{H_2}$ . Нагрузка $P, \text{гс}$ | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |   |
|---|--|---|--|---|
|   |  |   |  | Оптическая анизотропия, двуотражение  |
| Анизотропия сильная; двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии отчетливое   | Белый со слабым зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались                                 | $2 \frac{1}{2}$<br>133—179<br>$P = 25$<br>(Young, Millman, 1964)  | От $HNO_3$ быстро чернеет; от царской водки вскипает и покрывается черным иризирующим налетом; от HCl слабое коричневое окрашивание  | Ассоциирует с галенитом, сфалеритом, бурнонитом, тетраэдритом, джемсонитом, пираргиритом, норданитом и другими Pb-Sb-минералами |
| Анизотропия ясная до сильной. Двуотражение не наблюдалось (Uytendogaardt, Burke, 1971)  | Белый с зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы кроваво-красные  | —   | —  | Ассоциирует с джемсонитом, робинсонитом   |
| Анизотропия сильная, часты цветные эффекты в лиловатых и сиреневатых тонах. Двуотражение сильное, отчетливо заметно в воздухе: $\perp$ удлинению сероватобелый с очень слабым коричневатым оттенком; $\parallel$ удлинению светлый, белый | Белый, галенитоподобный. Внутренние рефлексы густые красные, заметны в воздухе                           | $2 \frac{1}{2} - 3$<br>137—187<br>—; 1,36<br>(сечения $\parallel$ удлинению 170—187; сечения $\perp$ удлинению 137—165)<br>$P = 20$ | От плагионита и семсейита отличается по действию реактивов: первые травятся $HNO_3$ и прочими реактивами. От плагионита отличается также меньшей твердостью. Стандартные реактивы при обычных экспозициях не действуют; при экспозиции 10 мин: от $HNO_3$ травится, от HCl (конц.) серое пятно; от KOH (конц.) бурит | Ассоциирует со сфалеритом, плагионитом, семсейитом  |
| Анизотропия сильная. Двуотражение сильное от белого до серого   | Белый  | 171—197<br>$P = 50$   | От $HNO_3$ (1:1) быстро покрывается иризирующим налетом; от KOH — бурый налет  | Ассоциирует с вейнитом, буланжеритом, джемсонитом, цинкенинитом   |

| № п/п | Название минерала                  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |
|-------|------------------------------------|---|--|---|--|
|       |                                    |   |  | Отражательная способность R, %  |  |
| 202   | Бурнонит<br>$PbCuSbS_3$            | Теор. состав:<br>Pb 42,54<br>Cu 13,04<br>Sb 24,65<br>S 19,77<br>Примеси:<br>As (замещает Sb,)<br>Mn, Zn, Ag, Fe | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 8,162$<br>$b_0 = 8,710$<br>$c_0 = 7,810$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,937:1:0,897$<br>$Z = 4$<br>(по Хельнеру, Ляйневеберу; Минералы, т. I, 1960).<br>3,86—3,89 (8)<br>2,96—3,00 (8)<br>2,73—2,74 (10)<br>2,67 (8)<br>2,58—2,62 (6—8)<br>1,980 (8); 1,945 (8)<br>1,845—1,85 (7—8)<br>(Рамдор, 1962; Минералы, т. I, 1960) | Зелен. 33,5<br>оранж. 30<br>красн. 29<br>(Рамдор, 1962)<br>$\lambda$   R  | 470   от 36,4—37,3<br>до 37,5—40,0<br>546   от 34,6—35,2<br>до 35,9—39,2<br>589   от 34,3—34,7<br>до 35,4—39,4<br>650   от 33,3 до<br>34,6—39,9<br>(по Хаберу; Uytendogaardt, Burke, 1971) |
| 203   | Менегинит<br>$CuPb_{13}Sb_7S_{24}$ | Теор. состав:<br>Pb 61,51<br>Cu 1,45<br>Sb 19,47<br>S 17,57<br>Примеси: As, Bi, Sn,<br>Zn — сотые доли процента | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 11,363$<br>$b_0 = 24,057$<br>$c_0 = 99,077$<br>(по Ойлеру, Хельнеру; Минералы, т. I, 1960).<br>3,70—3,73 (5—8)<br>3,26—3,29 (9—10)<br>2,91—2,92 (7—10)<br>1,200 (10)*<br>(Минералы, т. I, 1960; Рамдор, 1962; О новой находке менегинита..., 1966)   | $\lambda$   Rg (  c)  | 433   45,6<br>469   46,1<br>518   44,5<br>559   46,9<br>589   45,6<br>668   42,2<br>691   41,3<br>Rp (⊥c)  |
| 204   | Бертьерит<br>$FeSb_2S_4$           | Теор. состав:<br>Fe 13,06<br>Sb 56,95<br>S 29,99<br>Примеси: Mn, Zn,<br>As, а также Cu, Pb,<br>Ag               | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 11,44$<br>$b_0 = 14,12$<br>$c_0 = 3,76$<br>$Z = 4$<br>(по Бёргеру)<br>3,62 (9)<br>3,15 (9)<br>2,60 (10)  | a<br>Зелен. 27,5<br>Оранжев. 26,5<br>Красн. 26,5<br>   c<br>Зелен. 39,0<br>Оранжев. 34,5<br>Красн. 34,0<br>(Рамдор, 1962) |  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$ .<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|---|
|  |   |  |   |
| Анизотропия слабая (в воздухе), в иммерсии заметная. Двуотражение в воздухе очень слабое, в иммерсии отчетливое  | Белый с очень слабым зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы густые красные (в иммерсии)            | $\frac{1}{2} - 3$<br>166—187<br>$P = 20-50$<br>166—212<br>(Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | От буланжерита отличается двойниковым строением, микротвердостью и отрицательным эффектом от HNO <sub>3</sub> . От царской водки чернеет  |
| Анизотропия ясная. Двуотражение заметное на границе зерен (в иммерсии более отчетливое). Максимальная анизотропия на срезах    удлинению, минимальная — в сечениях ⊥ c (О новой находке менегинита..., 1966).<br>Двуотражение (ΔR) — сильное; 14,8 (Чвилева, 1968) | Белый с чуть голубоватым оттенком. Рефлексы красные, заметны в воздухе                                | $2-3$<br>$\frac{140-179}{-}; 1,28$<br>$P = 20-30$  | От джемсонита отличается более слабым двуотражением и более высокими значениями микротвердости. От HNO <sub>3</sub> травится (чернеет); от HCl слегка сереет. От царской водки — иризирующая пленка |
| Анизотропия сильная, как у антимонита, но с более яркими цветными эффектами. Двуотражение отчетливое и весьма характерное: от коричневатого-розового   | Белый с серовато-коричневым оттенком  | $2-3$<br>92—221<br>$2,10; 1,83$<br>$P = 30$<br>134—206<br>(Young, Millman, 1964; Pääkkönen, 1966)            | Сходен с антимонитом, но травление от KOH значительно слабее; отличается более высокой микротвердостью. От KOH слабый коричневый налет; от царской водки вскипает                                   |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                               |                     |       |
|-------|---|--|--|---|---------------------|-------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %                    |                     |       |
| 205   | Джемсонит<br>$Pb_4FeSb_6S_{14}$                           | Теор. состав:<br>Pb 40,16<br>Fe 2,71<br>Sb 35,39<br>S 21,74<br>(Fe достигает 10%)<br>Примеси: Cu, Zn, Ag | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 15,71$<br>$b_0 = 19,05$<br>$c_0 = 4,04$<br>$\beta = 91^\circ 48'$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,8247:1:0,2120$<br>$Z=2$<br>(по Берри; Минералы, т. I, 1960)<br>3,62 (6); 2,80 (3);<br>2,71 (4); 2,28 (3);<br>2,23 (3); 2,01 (4)<br>(по Берри; Минералы, т. I, 1960)      | $\lambda$   | $\parallel a$       |       |
|       |   |  |  | 465   | 38,7                |       |
|       |   |  |  |   | $\parallel b$       |       |
|       |   |  |  | 465   | 48,7                |       |
|       |   |  |  | 527   | 43,3                |       |
|       |   |  |  | 589   | 35,5                |       |
|       |   |  |  | (Рамдор, 1962)                                    |                     |       |
|       |   |  |  | Зелен. 39   |                     |       |
|       |   |  |  | оранж. 32   |                     |       |
|       |   |  |  | красн. 29,5                                       |                     |       |
|       |   |  |  | (Рамдор, 1962)                                    |                     |       |
|       |   |  |  | $\lambda$   | $R_g (\parallel c)$ |       |
|       |   |  |  | 472   | 39,7                |       |
|       |   |  |  | 550   | 40,6                |       |
|       |   |  |  | 579   | 38,7                |       |
|       |   |  |  | 640   | 36,3                |       |
|       |   |  |  |   | $R_p (\perp c)$     |       |
|       |   |  |  | 472   | 36,3                |       |
|       |   |  |  | 550   | 36,5                |       |
|       |   |  |  | 579   | 34,7                |       |
|       |   |  |  | 640   | 32,5                |       |
|       |   |  |  | (по Ракчеву; О новой находке цинкениита..., 1966) |                     |       |
| 206   | Ливингстонит<br>$HgSb_4S_7$                               | Теор состав:<br>Hg 21,25<br>Sb 54,59<br>S 27,16  | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 30,25$<br>$b_0 = 4,00$<br>$c_0 = 21,48$<br>$\beta = 104^\circ 12'$<br>$a_0:b_0:c_0 = 7,56:1:5,37$<br>$Z = 8$<br>(по Ницзеки, Бёргеру; Минералы, т. I, 1960).<br>3,73 (7); 3,47 (7);<br>2,99 (10); 2,27 (6);<br>1,729 (5)<br>(по Горману; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$   | $R'g$               | $R'g$ |
|       |   |  |  | 420   | 41,8                | 32,0  |
|       |   |  |  | 460   | 43,0                | 31,8  |
|       |   |  |  | 540   | 40,2                | 30,3  |
|       |   |  |  | 580   | 38,4                | 29,6  |
|       |   |  |  | 660   | 35,0                | 27,4  |
|       |   |  |  | (Определение рудных минералов..., 1973)           |                     |       |
| 207   | Парадокразит<br>$Sb_2(Sb, As)_2$<br>(Leonard e. a., 1971) | Sb 82,9<br>As 18,6<br>(данные микронзондирования)  | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 7,252$<br>$b_0 = 4,172$<br>$c_0 = 4,431$<br>$\beta = 123^\circ 08'$  | $\lambda$   | $R_g$               | $R_p$ |
|       |   |  |  | 470   | 70,0                | 71,2  |
|       |   |  |  | 546   | 67,8                | 73,8  |
|       |   |  |  | 589   | 70,0                | 71,0  |
|       |   |  |  | 650   | 68,0                | 70,0  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакции травления]   | Минеральная ассоциация   |
|--|--|---|--|
|  |  |   |  |
| вого и серовато-белого до белого   |  |   |  |
| Анизотропия сильная. Двуотражение отчетливое: $\parallel c$ — белый со слабым зеленовато-желтым оттенком, $\perp c$ — белый с серовато-зеленым оттенком. В иммерсии эти эффекты заметнее (Рамдор, 1962). $\Delta R = 12,5$ (Чвилева, 1968) | Белый (по-надобно галениту). Внутренние рефлексы красные (наблюдаются только в иммерсии)                   | 2—3<br>52—147<br>1,10; 2,24<br>$P = 15—20$<br>67—126<br>(Бови, Тейлор, 1959;<br>О новой находке цинкениита...<br>1966; Par-pamaa, 1963;<br>Young, Millman, 1964; Uyt-enbogaardt, Burke, 1971) | От сходных буланжерита и менегенита отличается несколько меньшим двуотражением, меньшим цветным эффектом в скрещенных николях, меньшей микротвердостью. От $HNO_3$ травится без вскипания, реже со вскипанием; KOH действует очень медленно  |
| Анизотропия сильная. Двуотражение умеренное  | Белый. Внутренние рефлексы темно-красные (сильные)   | 2<br>102—155<br>—; 1,52<br>$P = 10$<br>74—131<br>(Young, Millman, 1964;<br>Uyt-enbogaardt, Burm, 1971)  | От $HNO_3$ и от KCN медленно бурет; от KOH быстро тускнеет и желтеет   |
| Сильно анизотропен. Двуотражение яркое: от желтовато-белого с сильным розовым оттенком до серовато-белого  | Белый с желтовато-розовым оттенком   | 121—142<br>$P = 25$   | Всеми стандартными реактивами травится. Отличается от самородной сурьмы, аллемонтита и дискразита по R, дебаеграмме и нали-  |
|  |  |   | В свинцово-цинковых месторождениях в ассоциации с пиритом, сфалеритом, галенитом, тетраэдритом, буланжеритом и др.<br><br>Ассоциирует с антимонитом, киноварью, серой, метациннабаритом, тиманнитом и др.<br><br>Ассоциирует с аллемонтитом и Sb-леллингитом, которые находятся в нем в виде продуктов распада твердого раствора |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |   |
|-------|---|--|--|--|---|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %   |   |
| 208   | Гетчелит<br>SbAs <sub>3</sub>   | As 25,58<br>Sb 41,57<br>S 32,85<br>Примеси: Fe, Zn, Se<br>десятье доли %, Cu,<br>Bi, Pb, Cd — тысячные<br>доли % | Z = 1<br>3,72<br>3,05<br>2,219<br>1,720<br>1,518<br>Сингония моноклин-<br>ная.<br>$a_0 = 11,85$<br>$b_0 = 8,99$<br>$c_0 = 11,68 \text{ \AA}$<br>$\beta = 116^\circ$<br>(Weissberg, 1965)<br>4,97—5,06 (5—8)<br>4,14—4,44 (7—8)<br>3,63—3,66 (7—8)<br>2,89—2,90 (10)<br>(Первая находка гетчелита в СССР, 1972;<br>Weissberg, 1965) | $\lambda$   R<br>470   28,4—30,7<br>546   25,9—27,3<br>589   25,1—26,5<br>650   24,3—25,6<br>(Uutenbogaardt,<br>Burke, 1971)<br>$\lambda$   R'g   R'p<br>420   36,5   32,2<br>460   35,7   31,8<br>540   31,3   28,2<br>580   29,0   26,0<br>660   27,6   24,8 | (Определение руд-<br>ных минералов...,<br>1973) |
| 209   | Плэйферит<br>16PbS ×<br>×9(Sb, As) <sub>2</sub> As <sub>3</sub><br>(Jambor, 1967) | Pb 51,0<br>Sb 28,0<br>As 2,4<br>S 18,8<br>(данные микронзонди-<br>рования)                                       | Сингония моноклин-<br>ная.<br>$a_0 = 45,4$<br>$b_0 = 8,29$<br>$c_0 = 21,3$<br>3,39 (10); 3,32 (10);<br>2,785 (7); 2,086 (6);<br>3,98 (4)   | $\lambda$   Rg   Rp<br>470   42,3   38,3<br>589   39,2   35,4<br>650   37,7   34,0   |   |
| 210   | Твиннит<br>PbS(Sb, As) <sub>2</sub> S <sub>3</sub><br>(Jambor, 1967)              | Pb 41<br>Sb 28<br>As 11<br>S 23<br>(данные микронзонди-<br>рования)  | Сингония триклин-<br>ная.<br>$a_0 = 19,6$<br>$b_0 = 7,99$<br>$c_0 = 8,60$<br>Z = 8<br>4,18 (5); 3,91 (5);<br>3,51 (10); 2,78 (7);<br>2,689 (5); 2,344 (8)  | $\lambda$   Rg<br>470   45,6<br>589   41,6<br>650   39,6<br>$Rp$<br>470   38,7<br>589   35,9<br>650   34,6   |   |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-<br>твердость<br>H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> .<br>Нагрузка P,<br>гс   | Отличительные осо-<br>бенности. Реакции<br>травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Анизотропия силь-<br>ная. Двуотражение<br>слабое (заметное<br>в воздухе только<br>на агрегате зерен) | 2<br>42—82<br>1,50; 1,72<br>(42—64 на<br>плоскости<br>спайности;<br>57—82 на<br>срезах ⊥<br>плоскости<br>спайности)<br>P = 10<br>30—50<br>(Uytenbo-<br>gaardt,<br>Burke,<br>1971) | Спайность весьма<br>совершенная, сло-<br>доподобная.<br>$n_g = 3,37$<br>$n_m = 3,27$<br>От киновари отли-<br>чается менее густой<br>окраской внутрен-<br>них рефлексов,<br>более высокой R<br>и меньшей H;<br>от реальгара —<br>красными внутрен-<br>ними рефлексами;<br>от лорандита —<br>спайностью в одном<br>направлении, внут-<br>ренними рефлек-<br>сами красными,<br>но с оранжевым<br>оттенком. От КОН<br>образуются тре-<br>угольники травле-<br>ния на плоскости<br>спайности (Первая<br>находка гетчелита<br>в СССР, 1972) | Ассоциирует с анти-<br>монитом, киноварью,<br>реальгаром, аурипиг-<br>ментом, кварцем и<br>флюоритом |
| Анизотропен.<br>Двуотражение<br>сильное от белого<br>до буровато-серого                              | Белый<br>150—171<br>P = 50  | Наблюдаются двой-<br>ники. От КОН и<br>HNO <sub>3</sub> (1:1) обра-<br>зуется побежалость   | Ассоциирует с лон-<br>зитом, геттардитом и<br>другими сульфантимо-<br>нидами свинца                  |
| Анизотропен.<br>Сильное двуотра-<br>жение  | Белый<br>131—152<br>P = 50  | Наличие двойников.<br>От КОН быстро<br>образуется иризи-<br>рующий налет;<br>после стирания<br>остается буро-серое<br>пятно   | Ассоциирует с лон-<br>зитом, веенитом, булан-<br>жеритом и другими<br>сульфантимонидами<br>свинца    |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |           |
|-------|---|--|--|--------------------------------|-----------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, % |           |
| 211   | Веенит<br>$2\text{PbS}(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>(Jambor, 1967)   | Pb 52,5<br>Sb 19,7<br>As 6,8<br>S 21,2<br>Sb:As = 5:3<br>(данные микронзондирования)             | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 8,44$<br>$b_0 = 26,2$<br>$c_0 = 7,90$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,322:1:0,304$<br>$Z = 8$<br>3,81 (10); 3,03 (9);<br>3,42 (8); 3,26 (8);<br>2,76 (7) | $\lambda$                      | <i>Rg</i> |
|       |   |  |  | 470                            | 39,5      |
| 212   | Мэдокит<br>$7\text{PbS} \times$<br>$\times 3(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>или $17\text{PbS} \times$<br>$\times 8(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_2$<br>(Jambor, 1967)  | Pb 55<br>Sb 22,8<br>As 3,1<br>S 19,9<br>Sb:As = 9:2<br>(данные микронзондирования)               | Сингония ромбическая.<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,7977:1:0,2381$<br>$Z = 4$<br>3,67 (7); 3,40 (10);<br>3,56 (9); 2,925 (7);<br>2,72 (8)  | $\lambda$                      | <i>R</i>  |
|       |   |  |  | 470                            | 44,5      |
| 213   | Геттардит<br>$9\text{PbS} \times$<br>$\times 8(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>(Jambor, 1967)   | Pb 44<br>Sb 22<br>As 12<br>S 21<br>Sb:As ~10:9   | Сингония моноклиная.<br>$a_0 = 20,0$<br>$b_0 = 7,94$<br>$c_0 = 8,72$<br>$Z = 1$<br>4,19 (5); 3,52 (10);<br>2,795 (9); 2,67 (5);<br>2,65 (5)                                  | $\lambda$                      | <i>Rg</i> |
|       |   |  |  | 470                            | 44,2      |
| 214   | Сорбит<br>$12\text{PbS} \times$<br>$\times 7(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>или $17\text{PbS} \times$<br>$\times 11(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>(Jambor, 1967) | Sb 25,5—25<br>As 5—6<br>Pb 46—47<br>S 21—21,5<br>(данные микронзондирования)                     | Сингония моноклиная.<br>$a_0 = 44,9$<br>$b_0 = 8,28$<br>$c_0 = 26,4$<br>$Z = 2$ или 3<br>4,13 (6); 3,44 (10);<br>3,38 (9); 2,96 (6);<br>2,099 (5)                            | $\lambda$                      | <i>Rg</i> |
|       |   |  |  | 470                            | 45        |
| 215   | Стеррит<br>$12\text{PbS} \times$<br>$\times 5(\text{Sb}, \text{As})_2\text{S}_3$<br>(?)<br>(Jambor, 1967)   | Pb 44,5—47<br>Sb 21—23<br>As 5,5—6<br>S 20,5—21,5<br>Примеси: Ag, Cu (данные микронзондирования) | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 28,4$<br>$b_0 = 42,6$<br>$c_0 = 8,20$<br>$Z = 4$ (?)<br>3,68 (9); 3,54 (6);<br>3,26 (10); 2,965 (6);<br>2,836 (7); 2,353 (6)                 | $\lambda$                      | <i>Rg</i> |
|       |   |  |  | 470                            | 40,4      |

| в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс}/\text{мм}^2$ .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$ .<br>Нагрузка $P, \text{гс}$ | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация  |  |
|---|---|--|---|--|
|   |   |  |   | Оптическая анизотропия, двуотражение   |
| Анизотропен. Двуотражение слабое от белого до розовато-серого                                 | Белый с едва заметным розоватым оттенком  | 156—172<br>$P = 50$                          | Наблюдались полисинтетические двойники. От KOH (40%) иризирующий налет, от $\text{HNO}_3$ чернеет | Ассоциирует с мэдокитом, буланжеритом, джемсонитом и другими сульфосолями Pb и Sb  |
| Сильно анизотропен. Двуотражение сильное от белого до серого (чуть слабее, чем у буланжерита) | Серовато-белый  | 141—171<br>$P = 50$                          | От KOH (40%) побежалость; от $\text{HNO}_3$ быстро тускнеет и чернеет                             | Ассоциирует с буланжеритом, джемсонитом, веенитом и другими сульфоантимонидами свинца  |
| Анизотропен. Двуотражение довольно сильное  | Белый   | 180—187<br>$P = 50$                          | Обычны полисинтетические двойники. От KOH иризирующий налет; от $\text{HNO}_3$ почернение         | Ассоциирует с лонэитом, плэйферитом веенитом, буланжеритом, джемсонитом, цинкенином  |
| Сильно анизотропен. Двуотражение довольно сильное   | Белый   | 172—186<br>$P = 50$                          | От KOH бурет или иризирует; от $\text{HNO}_3$ (1:1) иризирует или чернеет                         | Ассоциирует с лонэитом, веенитом, буланжеритом и другими сульфоантимонидами свинца   |
| Сильно анизотропен. Двуотражение сильное от белого до серого                                  | Белый   | —  | —   | Естречен в тесном срастании с веенитом в ассоциации с мэдокитом, буланжеритом, джемсонитом и другими сульфоантимонидами свинца |

| № п/п           | Название минерала                | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |               |
|-----------------|----------------------------------|---|--|--------------------------------|---------------|
|                 |                                  |   |  | Отражательная способность R, % |               |
| 216             | Геокронит<br>$Pb_5(Sb, As)_2S_8$ | Формула достоверно не установлена; соотношение Sb:As часто близко к 1:1, соответственно теор. состав:<br>Pb 69,62<br>Sb 8,07<br>As 5,05<br>S 17,26<br>Примеси: Cu, Ag, Tl, Sn | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 9,0$<br>$b_0 = 31,9$<br>$c_0 = 8,5$<br>$\beta = 62^\circ$<br>$Z = 6$<br>(Рамдор, 1962)<br>3,77 (9); 3,22 (7);<br>3,20 (10); 2,97 (10)<br>(по XRDC, образцы из Вольфсберга; Минералы, т. I, 1960)           | $\lambda$                      | R             |
|                 |                                  |   |  | 472                            | 36,0—39,5     |
| 217             | Акташит (сульфоарсенид Hg и Cu)  | Hg 32,54—33,41<br>Cu 23,38—23,98<br>As 17,56—18,20<br>Sb 2,50—2,55<br>S 23,20—23,80<br>(данные химического анализа и микрозондирования; Васильев, 1968)                       | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 5,398$<br>3,12 (100); 1,909 (54);<br>1,627 (40); 1,238 (15);<br>1,101 (10)<br>(Васильев, 1968)  |                                | —             |
|                 |                                  |   |  |                                |               |
| <b>Минералы</b> |                                  |   |  |                                |               |
| 218             | Висмут самородный Bi             | Bi ~ 100<br>Примеси: As, Te, Sb   | Сингония тригональная.<br>$a_n = 4,517$<br>$c_n = 11,92$<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960).<br>3,21—3,25 (10)<br>2,25—2,26 (9)<br>1,431—1,435 (9—10)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960; данные авторов для образца из Средней Азии) | $\lambda$                      | R             |
|                 |                                  |   |  | 470                            | 55,1—59,8     |
|                 |                                  |   |  | 546                            | 59,9—64,9     |
|                 |                                  |   |  | 589                            | 62,5—68,5     |
|                 |                                  |   |  | 650                            | 62,8—69,3     |
|                 |                                  |   |  |                                | (Haber, 1969) |

| в отраженном свете  |  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H, \text{кгс/мм}^2$ .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$ .<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|---|--|--|---|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   |  |   |   |
| Анизотропия отчетливая. Двуотражение в воздухе слабое (едва заметное на границе двойников), в иммерсии несколько усиливается.<br>$\Delta R$ (в воздухе) = 7,1 (Чвилева, 1968)                               | Белый со слабым зеленоватым оттенком. Внутренние рефлексы не наблюдались     | $2\frac{1}{2}$<br>95—140<br>1,20; 1,40<br>$P = 20-30$<br>134—161<br>$P = 50$<br>(Young, Millman, 1964)   | Очень сходен с иорданитом и буланжеритом, отличается составом и наличием двойников. От царской водки травится, желто-бурый налет; $HNO_3$ и HCl слабая реакция после длительного времени, от HCl слабое коричневое окрашивание  | Встречается в свинцово-цинковых месторождениях, руды которых обогащены Sb и содержат As; ассоциирует с другими сульфосолями Pb, а также с галенитом; сфалеритом и пиритом         |
| Слабо анизотропен с голубоватыми цветными эффектами. Двуотражение незначительное  | Белый  | 300—346<br>$P = 50$  | —   | —   |
| <b>висмута</b>  |  |  |   |   |
| Анизотропия от сильной до умеренной; эффекты анизотропии ясные, в иммерсии более резкие. Двуотражение от сильного до полного отсутствия. В микровключениях двуотражение и анизотропия могут быть не заметны | Розовый, после полировки быстро тускнеет. Внутренние рефлексы не наблюдались | $2-2\frac{1}{2}$<br>13—26<br>1,38; 1,05<br>$P = 5-10$<br>(для микровключений $P = 3$ )<br>9—19<br>(Бови, Тейлор, 1959; Pärnamaa, 1963; Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | От сходных в микровыведениях серебра, медистого золота и сурьмы отличается низкой микротвердостью. От $HNO_3$ вскипает и бурет; от HCl медленно бурет; от $FeCl_3$ бурет; иризирует; от $HgCl_2$ бурет, иногда видна спайность по (0001) (в образцах с начинающимся окислением) | Обычно ассоциирует с никелевыми, кобальтовыми и серебряными минералами, а также с висмутовыми сульфосолями и висмутином; иногда с касситеритом, вольфрамитом и другими минералами |

| № п/п | Название минерала                           | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                     | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |   |
|-------|---|--|---|---|---|
|       |   |  |   | Отражательная способность R, %  |   |
| 219   | Висмутин<br>$\text{Bi}_2\text{S}_3$         | Теор. состав:<br>Bi 81,30<br>S 18,70<br>Примеси: Pb, Cu, Sb,<br>Fe, Se | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 11,15$<br>$b_0 = 11,29$<br>$c_0 = 3,98$<br>$Z = 4$<br>(по Хофману; Минералы, т. I, 1960)<br>3,53—3,56 (9—10)<br>3,08—3,12 (6—10)<br>1,935—1,953 (5—8)<br>(по Харкорт; ASTM; Минцеру и др.)  | $R_p$<br>зелен. 41,46<br>оранж. 40,86<br>красн. 39,60<br>$R_m$<br>зелен. 48,45<br>оранж. 48,17<br>красн. 40,86<br>$R_g$<br>зелен. 54,51<br>оранж. 53,00<br>красн. 49,18<br>(Рамдор, 1962) | $\lambda$   $R$<br>470   39,5—50,6<br>546   37,8—50,2<br>589   37,4—49,2<br>650   36,8—47,2<br>Uytenbogaardt,<br>Burke, 1971) |
| 220   | Бончевит<br>$\text{PbBi}_4\text{S}_7$       | Теор. состав:<br>Pb 16,35<br>Bi 69,95<br>S 17,70<br>Примеси: Cu, Sb    | Сингония ромбическая.<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,9004:1:$<br>:0,3249<br>3,50 (10); 3,08 (8);<br>2,78 (6); 2,50 (5);<br>1,939 (8)<br>(по Костову; Минералы, т. I, 1960)   | $\lambda$   $R$<br>527   46,6<br>589   46,2<br>686   45,8<br>(Нечелюстов, 1967)   | $\lambda$   $R$<br>527   46,6<br>589   46,2<br>686   45,8<br>(Нечелюстов, 1967)   |
| 221   | Галенобисмутит<br>$\text{PbBi}_2\text{S}_4$ | Теор. состав:<br>Pb 27,50<br>Bi 55,48<br>S 17,02<br>Примеси: Sb, Se    | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 11,67$<br>$b_0 = 14,50$<br>$c_0 = 4,084$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,8106:1:$<br>:0,2817<br>$Z = 4$<br>(по Викману; Минералы, т. I, 1960)<br>3,47 (10); 3,03 (7);<br>2,47 (7); 2,38 (6);<br>2,06 (7); 1,975 (7)<br>(по Берри; Минералы, т. I, 1960) | —   | —   |

| в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|---|---|---|---|
|   |   |   |   |
| Анизотропия отчетливая со слабо-выраженным цветным эффектом. Двуотражение заметное в (иммерсии усиливается) | 2—2 $\frac{1}{2}$<br>73—188<br>1,90; 1,70<br>$P = 15—20$<br>(сеч. $\perp$ оси $b$ 153—188; сеч. с ясной спайностью $\perp$ оси $a$ 73—149; сеч. $\perp$ оси $c$ и удлинению, с ясной спайностью 73—153)<br>68—190<br>(Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt; Burke, 1971) | От антимонита отличается более высокой $R$ , более слабым двуотражением и отрицательной реакцией с KOH. От сходных сульфосолой отличается характером анизотропии твердости и по дебаграмме. От $\text{HNO}_3$ вскипает, чернеет; от HCl иризирующая пленка. Характерна спайность параллельная удлинению кристалла | Ассоциирует с самородным висмутом и сульфоантимонидами Pb и Ag; с касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом, пирротином, а также с самородным золотом, пиритом, галенитом и др.                               |
| Анизотропия сильная без цветных эффектов. Двуотражение резко выражено                                       | 2 $\frac{1}{2}$<br>129—205<br>1,58; 1,30<br>$P = 15—20$   | От галеновисмутита отличается только по дебаграмме; от лиллианита — более сильным эффектом анизотропии. Видна спайность в виде отчетливых трещин, параллельных удлинению, чем сходен с висмутином   | Ассоциирует с шеелитом, вольфрамитом, пиритом, сфалеритом, молибденитом, висмутином, козалитом; содержит микровключения висмута, тетрадимита и козалита   |
| Анизотропия сильная. Двуотражение сильное (особенно в иммерсии) с цветными эффектами                        | 2 $\frac{1}{2}$ —3 $\frac{1}{2}$<br>135—196<br>1,08; 1,38<br>$P = 7—20$<br>142—150<br>(Назирова, 1968)  | От козалита отличается хорошей спайностью, более ясной анизотропией и двуотражением. Трудно отличим от висмутита (последний светлее) и бончевита (только по дебаграмме). От $\text{HNO}_3$ травится, вскипает   | Образует тесные микрорастания с молибденитом, галенитом, висмутином; содержит микровключения галенита, козалита, висмута и других Bi-сульфосолой; встречается в виде микровключений в сфалерите, пирите и др. |

| № п/п     | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
|-----------|---|--|---|---|-----------|-------|--------|-----------|------|-----------|-----|-----------|------|-----------|------|------|--|
|           |   |  |   | Отражательная способность R, %  |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 222       | Лиллианит<br>$Pb_3Bi_2S_6$  | Теор. состав:<br>Pb 50,46<br>Bi 33,93<br>S 15,61<br>Примеси: Ag, Cu, Zn, Fe, Sb, Se.<br>Разновидность: сурьмяный лиллианит $Pb_3(Bi,Sb)_2S_6$ (по Сахаровой, 1972) | Сингония ромбическая.<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,800:1:0,543$<br>(по Флинку; Минералы, т. I, 1960)<br>3,36 (8); 2,89 (10); 2,76 (7); 2,13 (9); 2,03 (10)<br>(по Онтоеву, образец из Букуки; Минералы, т. I, 1960)                                  | В воздухе:<br>зелен. 51,5<br>оранж. 45<br>красн. 43,5<br>(Рамдор, 1962)   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 223       | Козалит<br>$Pb_2Bi_2S_5$  | Теор. состав:<br>Pb 41,75<br>Bi 42,10<br>S 16,15<br>Примеси: Cu, Ag, Fe, Sb, Se, Au до 10% (образец из Британской Колумбии, рудник Карибу).                        | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 19,08$<br>$b_0 = 23,86$<br>$c_0 = 4,06$<br>$Z = 8$<br>(по Берри)<br>3,40—3,42 (8—10)<br>2,95 (10); 2,80 (6)<br>2,09—2,14 (5—8)<br>(по Берри, Рамдор, 1962; по Ермиловой и Сендеровой; Минералы, т. I. 1960) | В воздухе (белый свет):<br>43 (по Фолинсби)<br>$R_g = 41,1$<br>$R_p = 31,1$<br>(по Орселю; Рамдор, 1962)  |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 224       | Кобеллит<br>$Pb_2(Bi, Sb)_2S_5$<br>(выделен ряд козалита-кобеллита; Сахарова, 1973) | Теор. состав:<br>Pb 43,00<br>Bi 28,91<br>Sb 8,42<br>S 17,74<br>Примеси: Fe, (до 1,93), Cu  | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 22,60$<br>$b_0 = 34,08$<br>$c_0 = 4,02$<br>3,51 (9); 3,39 (10); 2,83 (3); 2,04 (4)<br>(по Нафилду; Минералы, т. I, 1960)<br>3,54 (8—10); 3,39 (10); 2,82 (3—7); 2,01 (2—5); (Соболева и др., 1973)          | $R_g$ 45,4<br>$R_m$ 41,1<br>$R_p$ 36,6<br>(Harris, e. a. 1968)<br><table border="1"> <tr> <th><math>\lambda</math></th> <th><math>R'p</math></th> <th><math>R''p</math></th> </tr> <tr> <td>470</td> <td>47,8</td> <td>43,0</td> </tr> <tr> <td>540</td> <td>45,4</td> <td>40,6</td> </tr> <tr> <td>660</td> <td>43,0</td> <td>38,3</td> </tr> </table><br>(Соболева и др., 1973) | $\lambda$ | $R'p$ | $R''p$ | 470       | 47,8 | 43,0      | 540 | 45,4      | 40,6 | 660       | 43,0 | 38,3 |  |
| $\lambda$ | $R'p$   | $R''p$   |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 470       | 47,8  | 43,0   |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 540       | 45,4  | 40,6   |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 660       | 43,0  | 38,3   |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 225       | Геровскит<br>$6PbS \cdot Bi_2S_3$   | Pb 53,6—58,6<br>Bi 24,9—28,3<br>S 14,4—14,5<br>Примеси: Ag от 1,1 до 2,5%; Cu — сотые доли % (данные микрондирования).   | Минерал орторомбический.<br>$a = 13,705$<br>$b = 31,194$<br>$c = 4,121$<br>$a:b:c = 0,439:1:0,132$<br>3,537 (3); 3,409 (10); 2,854 (3); 1,767 (4)<br>(синтетический образец).   | <table border="1"> <tr> <th><math>\lambda</math></th> <th>R</th> </tr> <tr> <td>470</td> <td>43,3—47,3</td> </tr> <tr> <td>546</td> <td>40,6—44,6</td> </tr> <tr> <td>589</td> <td>39,8—43,9</td> </tr> <tr> <td>650</td> <td>39,6—43,7</td> </tr> </table>   | $\lambda$ | R     | 470    | 43,3—47,3 | 546  | 40,6—44,6 | 589 | 39,8—43,9 | 650  | 39,6—43,7 |      |      |  |
| $\lambda$ | R   |  |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 470       | 43,3—47,3   |  |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 546       | 40,6—44,6   |  |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 589       | 39,8—43,9   |  |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |
| 650       | 39,6—43,7   |  |   |   |           |       |        |           |      |           |     |           |      |           |      |      |  |

| в отраженном свете  | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка $P$ , гс   | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|---|---|--|---|
|   |   |  |   |
| Анизотропия от отчетливой до умеренной без цветного эффекта. Двуотражение в воздухе очень слабое, в иммерсии отчетливое | 2—3<br>120—195<br>(Кляхин, Дмитриева, 1968)   | От $HNO_3$ (1:1) быстро бурет и темнеет; от $FeCl_3$ тускнеет, иризирует. Спайность в полированном шлифе по (100) совершенная, по (010) отчетливая; от $HCl$ | Ассоциирует с серебром, висмутом, сфалеритом, пиритом, арсенипиритом, козалитом, висмутином, галенитом и др.  |
| Анизотропия очень слабая, в иммерсии отчетливая. Двуотражение слабое  | 2 $\frac{1}{2}$ —3<br>82—179<br>1,17; 1,65<br>$P = 15—30$<br>(сеч. $\perp$ удлинению — $H_{ср} = 100$ ; сеч. $\parallel$ удлинению — $H_{ср} = 165$ )<br>83—161<br>(Назирова, 1968; Young, Millman, 1964)<br>84—186<br>—; 1,61<br>$P = 15—30$<br>(для микровключений $P = 10—15$ )<br>124—172<br>(Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | От других сульфосолей отличается более слабой анизотропией. От $HNO_3$ травится со вскипанием; от $FeCl_3$ становится коричневым; от $HCl$ медленно бурет    | Ассоциирует с халькопиритом, пиритом, галенитом, пирротинном, золотом, галеновисмутитом, теллуридами, тетраэдритом, висмутом и др.; с кобеллитом может образовывать тесные микросрастания |
| Анизотропия сильная. Двуотражение в воздухе незначительное  | Белый<br>Внутренние рефлексы не наблюдались   | От козалита отличается более сильной анизотропией и двуотражением, от других висмутовых сульфосолей только по дебаеграмме.<br>От $HNO_3$ вскипает            | Ассоциирует с халькопиритом, галенитом, арсенипиритом, пиритом, пирротинном, тетраэдритом, висмутом, теллуридами и др.; с козалитом может образовывать тесные микросрастания              |
| Сильно анизотропен с цветными эффектами от темно-серых (голубовато-серых) до белых. Двуотражение слабое                 | Белый до светло-серого<br>Внутренние рефлексы не наблюдались  | От $HNO_3$ (1:1) через 1 мин коричневое пятно; от $HCl$ (1:1) слабое коричневое пятно  | Находится в тесном микросрастании с козалитом и галенитом   |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |  |
|-------|---|---|---|---|--|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 226   | Густавит<br>$\text{Bi}_{11}\text{Pb}_8\text{Ag}_3\text{S}_{24}$<br>(Karup—Moller, 1970) | Pb 51,91<br>Bi 26,96<br>S 15,08<br>(н. о. 3,93<br>данные химического анализа)<br>Ag 7,37—7,39<br>Pb 22,00—22,82<br>Bi 51,15—51,71<br>S 17,13—17,27<br>Cu < 0,2<br>(данные микрозондирования)<br>Разновидность:<br>(Ag, Cu) $\text{Pb}_4\text{Bi}_5\text{S}_{12}$<br>(минерал из ряда густавита, установлен с помощью микрозондирования; Сахарова, 1972) | $a = 12,8$<br>$b = 31,0$<br>$c = 4,15$<br><br>Ромбическая сингония.<br>$a_0 = 13,548$<br>$b_0 = 19,449$<br>$c_0 = 4,105$<br>$a:b:c = 0,697:1:0,211$<br>$Z = 1$<br>3,63—3,64 (8—10)<br>3,38 (8)<br>3,00 (10)<br>2,90 (10)                        | При $\lambda$ 546<br>42—46  |  |
| 227   | Эмплектит<br>$\text{CuBiS}_2$   | Теор. состав:<br>Cu 18,88<br>Bi 62,08<br>S 19,04  | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 6,13$<br>$b_0 = 3,898$<br>$c_0 = 14,54$<br>$a_0:b_0:c_0 = 1,573:1:3,730$<br>$Z = 4$<br>(по Хофману);<br>3,20 (10); 3,02 (10);<br>2,34 (9)<br>(Минералы, т. I, 1960)   | $\lambda$   R<br>470   35,0—39,6<br>550   36,2—42,2<br>590   36,0—42,1<br>650   36,0—40,8<br>(Springer, Demirsoy, 1969) |  |
| 228   | Виттихенит<br>$\text{Cu}_3\text{BiS}_3$   | Теор. состав:<br>Cu 38,46<br>Bi 42,15<br>S 19,39  | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 6,55$<br>$b_0 = 7,55$<br>$c_0 = 10,19$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,867:1:1,350$<br>$Z = 2$<br>(по Борхерту, Шрёдеру; Минералы, т. I, 1960).<br>4,54 (4); 3,07 (8);<br>2,84 (10); 2,65 (4)<br>(по Нафилду; Рамдор, 1962) | В воздухе:<br>зелен. 35<br>оранж. 29,5<br>красн. 28<br>(Рамдор, 1962)   |  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{кгс}/\text{мм}^2$ , $KH_1; KH_2$<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация  |
|--|---|---|---|
|  |   |   |   |
| Слабо анизотропен, цветные эффекты сине-черные до серо-белых и кремовых. Двуотражение слабое, от белого до серо-белого | —<br><br>175—218<br>$P = 100$   | Обычны двойники с двойниковой плоскостью $\parallel$ и реже $\perp$ к удлинению   | Найден в криолитовом месторождении в Гренландии   |
| Анизотропия сильная с цветным эффектом: от серо-синего до коричневого. Двуотражение отчетливое без цветного эффекта    | 2<br>157—238<br>1,21; 1,37<br>$P = 20—50$<br>158—249<br>(Young, Millman, 1964)  | Отличается от висмутита меньшей R, направлением спайности, перпендикулярной удлинению в сечениях, параллельных (0001) и оттенком. От $\text{HNO}_3$ бурет | Ассоциирует с халькопиритом, виттихенитом, висмутином, Вителлуридами, висмутом, золотом и др.   |
| Анизотропия слабая или отчетливая. Двуотражение очень слабое, неясное  | Серовато-белый с кремовым оттенком<br><br>2—3<br>156—211<br>—; 1,15<br>$P = 20—30$<br>167—216<br>(Young, Millman, 1964; Uytendogaardt, Burke, 1971) | От висмутита и эмплектита отличается меньшей R, более слабой анизотропией и двуотражением. От $\text{HNO}_3$ бурет  | Встречается в виде микровключений в борните, халькопирите, а также в контакте с халькозином; редко наблюдался в магнетите и гематите. Ассоциирует также с теннантитом, висмутом, висмутином, эмплектитом, айкинитом и др. |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                                | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |  |
|-------|---|---|---|--|--|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %   |  |
| 229   | Купробисмутит<br>CuBiS <sub>2</sub> (?)   | Теор. состав:<br>Cu 18,88<br>Bi 62,08<br>S 19,04<br>Примесь Ag                    | Сингония моноклинная.<br>$a_0 = 17,65$<br>$b_0 = 3,93$<br>$c_0 = 15,24$<br>$\beta = 100^{\circ}30'$<br>$a_0:b_0:c_0 = 4,49:1:3,87$<br>$Z = 12$<br>3,25 (4); 3,07 (10);<br>2,73 (6)<br>(по Нафилду; Минералы, т. I, 1960)  | —  |  |
| 230   | Айкинит<br>PbCuBiS <sub>3</sub>   | Теор. состав:<br>Cu 11,03<br>Pb 35,98<br>Bi 36,29<br>S 16,70<br>Примеси: Te, Ag   | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 11,32$<br>$b_0 = 11,66$<br>$c_0 = 4,01$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,9708:1:0,3436$<br>$Z = 4$<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960).<br>3,62—3,67 (10—8)<br>3,17—3,18 (9—8)<br>2,86—2,88 (8—7)<br>2,68—2,69 (3—4)<br>2,58 (6)<br>(по Пикоку, образец из Березовска; Минералы, т. I, 1960; по Харкорту, Рамдор, 1962) | В воздухе:<br>зелен. 43,4<br>оранж. 40,6<br>красн. 38,7<br>(образец из Акчагыла; Минералы, т. I, 1960)<br>В воздухе:<br>зелен. 44%<br>оранж. 37,5<br>красн. 38<br>(Рамдор, 1962)<br>$\lambda$   R<br>470   38,0—44,0<br>546   39,2—45,7<br>589   39,5—46,0<br>(Kingston, 1968) |  |
| 231   | Рецбаниит<br>Pb <sub>3</sub> Cu <sub>2</sub> Bi <sub>10</sub> S <sub>19</sub><br>(nBi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ×<br>× mCuPbBiS <sub>3</sub><br>общая формула для группы: хаммарит, рецбаниит, линдстремит, гладит) | Теор. состав:<br>Cu 6,6<br>Pb 21,5<br>Bi 54,0<br>S 17,9<br>(Минералы, т. I, 1960) | 3,60 (2); 3,22 (3);<br>3,01 (3)<br>(по Харкаурту; Рамдор, 1962)<br>3,56 (9); 3,12 (8);<br>2,82 (10)<br>(образец из Бейца Бихорулуй; Минералы, т. I, 1960)   | В воздухе:<br>43,3<br>(для белого света; по Фолинсби; Рамдор, 1962)  |  |
| 232   | Нафилдит<br>Pb <sub>10</sub> Bi <sub>10</sub> Cu <sub>4</sub> S <sub>27</sub><br>(Kingston, 1968)   | Pb 40,42<br>Bi 37,69<br>Cu 5,90<br>S 16,35<br>(данные микрозондирования)          | Сингония ромбическая.<br>$a_0 = 14,602$<br>$b_0 = 21,344$<br>$c_0 = 4,026$<br>$a_0:b_0:c_0 = 0,684:1:0,189$<br>$Z = 1$<br>4,00 (9); 3,66 (10);<br>3,54 (10); 3,16 (8);<br>2,54 (7)  | $\lambda$   Rg<br>470   45,6<br>546   44,9<br>589   44,5<br>Rp<br>470   39,8<br>546   39,0<br>589   38,6   |  |

| в отраженном свете   | Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы   | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация |
|--|--------------------------------------|--|---|--|------------------------|
|  |                                      |  |   |  |                        |
| Анизотропия отчетливая до сильной. Двуотражение отчетливое (в воздухе)                       | Белый с кремовым оттенком            | 2—2 $\frac{1}{2}$<br>165—204<br>P = 30<br>165—246<br>(Young, Millman, 1964; Kingston, 1968)                                    | Отличается от других сульфосолей отношением к травлению и четким двуотражением (особенно в иммерсии).<br>От HNO <sub>3</sub> вскипает и чернеет; от HCl быстро буреет | Ассоциирует с галени- том, козали- том, галенобисмутитом, тетрадимитом, халькопиритом, золотом, тетраэдритом, бурнонитом, виттихенитом и др. Встречается в виде микровключений в борни- те, галени- те, халькопирите |                        |
| Анизотропия умеренная. Двуотражение в воздухе умеренное и слабое, в иммерсии яснее           | Белый                                | 2 $\frac{1}{2}$<br>76—118<br>1,45; 1,31<br>P = 10—15<br>(образец из Средней Азии<br>Э. Ф. Минцера, ИМГРЭ)<br>149—178<br>P = 15 | От HNO <sub>3</sub> сильное вскипание; от HCl коричневая побужалость; от FeCl <sub>3</sub> светло-бу- рый налет   | —  |                        |
| Слабо анизотропен; цветные эффекты от сине-серых до серо-красноватых. Двуотражение незаметно | Кремово-белый                        | —  | —   | Ассоциирует с айкинитом, пиритом, молибденитом, кварцем  |                        |

| № п/п    | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                 | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |     |
|----------|--|--|--|---|-----|
|          |  |  |  | Отражательная способность R, %  |     |
| 233      | Бенжаминит<br>$2(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \times m[\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3]$ ,<br>$m = 3,5-6$<br>(Минцер, 1967).<br>$(\text{Cu}, \text{Ag})_2 \times$<br>$\times \text{Pb}_2\text{Bi}_4\text{S}_9$<br>(Минералы, т. I, 1960) | —  | Сингония моноклинная.<br>3,50 (9); 2,97 (10);<br>2,05 (5)<br>(Минцер, 1967)  | 41—43<br>(разница $R'g$ и $R'p$ мала)<br>(Минцер, 1967)   |     |
| Минералы |  |  |  |   |     |
| 234      | Ваираунит<br>$\text{CoFe}$ Challis,<br>Long, 1964)   | —  | Сингония кубическая.   | При $\lambda$ 510<br>54   |     |
| 235      | Каттьерит<br>$\text{CoS}_2$<br>(Demirsoy, 1968)  | Содержит примеси:<br>Ni, Cu  | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 5,52$<br>2,75 (8); 2,46 (8);<br>2,249 (7); 1,163 (10);<br>1,474 (10); 1,063 (10)  | $\lambda$   | $R$ |
| 236      | Линнеит<br>$\text{Co}_3\text{S}_4$   | Теор. состав:<br>Co 57,96<br>S 42,04<br>Примеси: Ni, Cu, Fe.       | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 9,416$<br>(по Менцеру; Минералы, т. I, 1960)<br>2,82 (9); 2,38 (7);<br>1,82 (8); 1,68 (10);<br>0,960 (7)<br>(по Харкорту, Минералы, т. I, 1960) | При $\lambda$ 460<br>46,2<br>(по Орселю,<br>Рамдор, 1962)<br>45—50<br>(Uytenbogaardt,<br>Burke, 1971)               |     |
| 237      | $\text{Co}_9\text{S}_8$<br>(Stumpfl, Clark, 1964)  | Теор. состав:<br>Co 67,40<br>S 32,60                               | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 9,928$  | ~ 55  |     |
| 238      | Карролит<br>$\text{Co}_2\text{CuS}_4$  | Теор. состав:<br>Co 38,0<br>Cu 20,52<br>S 41,48<br>Примеси: Ni, Fe | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 9,477$<br>2,875 (9); 2,388 (7);<br>1,827 (9); 1,676 (10);<br>1,231 (7); 1,094 (9)<br>(по де Ионгу и Хоогу;<br>Минералы, т. I, 1960)             | При $\lambda$ 546<br>42,6<br>(Uytenbogaardt,<br>Burke, 1971)<br>зелен. 45<br>оранж. 44<br>красн. 43<br>(Юшко, 1971) |     |

| в отраженном свете | Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы          | Твердость по Моосу. Микротвердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$<br>Нагрузка $P$ , гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--------------------|--|---|--|---|--|
|                    |  |   |  |   |  |
|                    | Анизотропия сильная с цветным эффектом от синего до светло-коричневого. Двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии отчетливое | Белый со слабым желтоватым оттенком         | $2\frac{1}{2}$<br>161—179<br>1,07; 1,08<br>$P = 20$<br>(измерен образец Э. Ф. Минцера, ИМГРЭ)                | $\text{HNO}_3$ (1:1), $\text{FeCl}_3$ — буреет; $\text{KOH}$ — иризирующая пленка, затем коричневый налет (Минцер, 1967)              | Ассоциирует с халькопиритом, эмплектитом и др.   |
| кобальта           |  |   |  |   |  |
|                    | Изотропен  | Белый иногда со слегка зеленоватым оттенком | 185—329<br>$P = 15-100$  | —   | Ваираунит образует тесную ассоциацию с минералом аварунитом (NiFe) в серпентинитах.  |
|                    | Изотропен  | Розовый (в масле розовато-фиолетовый)       | 953—1113<br>$P = 15$<br>(на синтетическом материале; Demirsoy, 1968)   | —   | Образует сростания с минералами группы линнеита  |
|                    | Изотропен  | Белый с кремовым или розоватым оттенком     | 5—5 1/2<br>351—566<br>(Bowie, Taylor, 1958; Young, Millman, 1964, Uytenbogaardt, Burke, 1971)                | От сходного кобальтина отличается более низкой микротвердостью. От $\text{HNO}_3$ медленно буреет; от $\text{HgCl}_2$ — слегка буреет | Образует включения в халькопирите, пирротине. Наблюдаются структуры прорастания с миллеритом, халькопиритом, кобальт-пентландитом, иногда ориентированные сростания с борнитом, бравоитом, висмутом. |
|                    | Изотропен  | Белый                                       | Тверже халькопирита, менее твердый, чем линнеит  | —   | Образует закономерные ориентированные включения в обогащенном Cu-линнеите  |
|                    | Изотропен  | Кремово-белый                               | 5—5 1/2<br>351—566<br>$P = 50$<br>(Bowie, Taylor, 1958)  | От кобальтина отличается более низкой микротвердостью. От паров $\text{HNO}_3$ тускнеет; от $\text{HgCl}_2$ медленно становится бурым | Образует включения в сфалерите, халькопирите, линнеите и других кобальтовых и никелевых сульфидах и арсенидах  |



| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |  |
|-------|--|---|---|---|--|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 243   | Джулукулит (Co, Ni)AsS (Полушкина, Сидоренко, 1963)  | Co 16,00<br>Ni 5,30<br>As 28,59<br>S 13,63<br>Cu 0,22<br>Fe 2,13<br>Bi 0,055<br>(данные химического анализа концентрата, содержащего минерал) | Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,56$<br>$b_0=5,55$<br>$c_0=3,53$<br>$a_0:b_0:c_0=0,822:1:0,636$<br>2,72 (10)<br>2,465 (9)<br>2,382 (8)<br>1,800 (10)<br>1,120 (9)<br>1,063 (8)<br>1,017 (8)                  | 50  |  |
| 244   | «Белый минерал» (Co <sub>1,09</sub> Ni <sub>0,71</sub> Fe <sub>0,20</sub> ) <sub>2</sub> ·(As <sub>1,98</sub> S <sub>1,2</sub> ) <sub>3</sub> (Antun, e. a., 1966) | Co 21,4<br>Ni 13,8<br>Fe 3,8<br>As 49,6<br>S 10,9<br>(данные микрозондирования)   | Сингония тетрагональная (?)   |   |  |
| 245   | «Минерал Y» (Co <sub>2,37</sub> Ni <sub>1,63</sub> )×(S <sub>6,07</sub> As <sub>4,63</sub> ) <sub>11</sub> ? (Antun, e. a., 1936)                                  | Co 18,3<br>Ni 12,5<br>As 48,0<br>S 25,3<br>(данные микрозондирования)   |   |   |  |
| 246   | Лангсит Co <sub>0,8</sub> Ni <sub>0,2</sub> As (кобальтовый аналог никелина); (Petruk e. a., 1969)   | Co 35,5<br>Ni 7,0<br>As 56,0<br>(данные микрозондирования)  | Сингония гексагональная.<br>$a_0=3,538$<br>$c_0=5,127$<br>$a_0:c_0=1:1,449$<br>2,631 (10); 1,966 (9);<br>1,770 (8); 1,493 (4);<br>1,470 (3)   | $\lambda$   $R_g$   $R_p$<br>470   46,4   45,4<br>546   47,1   46,4<br>589   48,2   47,5<br>650   51,0   49,9 |  |
| 247   | Сафлорит (Co, Fe)As <sub>2</sub>   | Теор. состав:<br>Co 28,23<br>As 71,77<br>Примеси:<br>Fe (до 18%), Ni, S, Bi, Cu   | Сингония ромбическая.<br>$a_0=2,936$<br>$b_0=5,261$<br>$c_0=5,982$<br>$a_0:b_0:c_0=0,5581:1:1,137$<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960)<br>2,578 (10)<br>2,373 (9)<br>1,859 (10)<br>1,639 (10)<br>1,291 (9) | ~55—60<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)  |  |

| в отраженном свете  |   | Твердость по Моосу, Микротвердость $\frac{H}{K_{H_1}}; \frac{K_{H_2}}{K_{H_1}}$ Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|---|---|--|--|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение  | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы            |  |  |   |
| Слабо анизотропен   | Белый; в иммерсии со слабым кремовым оттенком |  | Зерна имеют ромбические сечения. Очень сходен с арсенопиритом, отличается более слабым эффектом анизотропии  | Густая вкрапленность в кварцевых прожилках медно-кобальтового месторождения   |
| Анизотропен   | Голубоватобелый                               | Очень твердый  | Светлее и характеризуется более слабой анизотропией, чем орегонит (см. раздел «Минералы никеля»)   |   |
| Анизотропен   | Желтоваторозоватый                            |  | Мягче, чем орегонит и более анизотропен (см. раздел «Минералы никеля»)   |   |
| Анизотропен. Цветные эффекты от сине-серых до светло-бурых. Очень слабое двуотражение   | Буроватозеленый                               | 780—857<br>P=50  |  | Встречается в виде включений в сафлорите, совместно с мауреритом, Со-пентландитом, зигенитом, паркеритом, бравонитом                              |
| Сильно анизотропен со слабым цветным эффектом. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное; от бледно-голубого до бледно-желтого | Белый с голубоватым оттенком                  | $4\frac{1}{2}$ —5<br>430—988<br>P=100—200 (Young, Millman, 1964);<br>Uytenbogaardt, Burke, 1971) | Характерны двойники по (101) в виде шестилучевых звезд и тройников, чем отличается от раммельсбергита; от арсенопирита отличается более низкой микротвердостью. От HNO <sub>3</sub> со вскипанием выявляется структура; от FeCl <sub>3</sub> слабая коричневая побегалость | Встречается в виде включений в пирите. Образует прорастания с лёллингитом, арсенопиритом, золотом. Охотнее ассоциирует с висмутом, чем с себрором |

| № п/п           | Название минерала                                 | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |                              |
|-----------------|---|--|--|---|------------------------------|
|                 |   |  |  | Отражательная способность R, %  |                              |
| 248             | Скуттерудит<br>CoAs <sub>3</sub>                  | 1,1094 (10)<br>1,0564 (10)<br>(по Михееву; Минералы, т. I, 1960)<br>Теор. состав:<br>Co 20,77<br>As 79,23<br>Примеси:<br>Fe, Ni, S, Cu, Bi, Sb, Te, Ni, Fe до 12% —читамит | Сингония кубическая.<br>$a_0=8,21$<br>$Z=8$<br>(по Эфтедалю; Минералы, т. I, 1960)<br>2,585 (10)<br>2,184 (8)<br>1,828 (9)<br>1,668 (9)<br>1,607 (10)<br>1,404 (9)<br>(по Михееву; Минералы, т. I, 1960)<br>Сингония кубическая.<br>$a_0=8,28$<br>$Z=8$<br>(по Эфтедалю; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$   | R                            |
| 249             | Смальтин (шмальтин)<br>(Co, Ni) As <sub>3-x</sub> | Теор. состав:<br>Co 28,23<br>As 71,77  | Сингония кубическая.<br>$a_0=8,28$<br>$Z=8$<br>(по Эфтедалю; Минералы, т. I, 1960)   | В воздухе:<br>зелен. 56<br>оранж. 58,5<br>красн. 50<br>В иммерсии:<br>зелен. 49,5<br>оранж. 46,5<br>красн. 46,0<br>(Рамдор, 1962) |                              |
| <b>Минералы</b> |   |  |  |   |                              |
| 250             | Ni самородный                                     |  | Сингония кубическая  | $\lambda$   | R                            |
| 251             | Аваруит (Ni, Fe)                                  | Ni до 67   | Сингония кубическая  | 470<br>546<br>589<br>650<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>При $\lambda$ 530<br>60—61<br>(Quervain, 1967)                        | 58,9<br>63,2<br>64,2<br>67,0 |

| в отраженном свете  |   | Твердость по Моосу, Микротвердость<br>$\frac{H}{K_{H_1}}; \frac{K_{H_2}}{H}$<br>Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|---|---|--|---|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение                                    | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |  |   |  |
| Изотропен, иногда наблюдается слабая анизотропия в зональных кристаллах | Белый с желтоватым оттенком. Цвет может зависеть от состава: зоны желтовато-белого цвета могут быть серовато-белыми или голубовато-белыми | 5 $\frac{1}{2}$ —6<br>589—729<br>P=100—200<br>268—974<br>P=50—200<br>(Bowie, Taylor, 1958; Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971) | Характеризуется зональным строением. От хлоантита отличается более высокой микротвердостью. От HNO <sub>3</sub> не изменяется или травится медленно, выявляется структура                       | Образует включения в арсенопирите, самородном серебре, сульфосолях серебра, самородном висмуте, минералах никеля и кобальта. Наблюдаются сростания с никелином и висмутом  |
| Изотропен   | Белый   | 5 $\frac{1}{2}$ —6<br>616—729<br>P=100—200   | От хлоантита отличается более высокой микротвердостью. От HNO <sub>3</sub> вскипает, темнеет, выявляется зональная структура; от FeCl <sub>3</sub> буреет; от HgCl <sub>2</sub> медленно буреет | Встречается в ассоциации с другими арсенидами кобальта, никеля и железа. Айтенобургарт (Uytenbogaardt, Burke, 1971) отрицает наличие самостоятельного минерала смальтина, а предполагает наличие разновидностей Co-скуттерудит, Ni-скуттерудит, Fe-скуттерудит |
| <b>никеля</b>   |   |  |   |  |
| Изотропен   | Белый   | 186—210<br>P=50<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)  | Наблюдаются двойники (  | Образует включения в хизлеудите  |
| Изотропен   | Белый, иногда со слегка зеленоватым оттенком  | 209—420<br>P=15—100<br>(Chamberlain e. a., 1965; Nickel, 1959; Young, Millman, 1964)   |   | Образует псевдоморфозы по магнетиту и пентландиту. Образует прорастания с хизлеудитом и неправильные каемки вокруг пентландита. Иногда содержит включения графита и меди   |

| № п/п | Название минерала                         | Химический состав, характерные элементы-примеси, %          | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |   |
|-------|---|---|---|--------------------------------|---|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, % |   |
| 252   | Шрейберзит<br>(Fe, Ni, Co) <sub>3</sub> P |   | Сингония тетрагональная   |                                |   |
| 253   | Брейтгауптит<br>NiSb                      | Теор. состав:<br>Ni 32,52<br>Sb 67,48                       | Сингония гексагональная<br>$a_0=3,946$<br>$c_0=5,148$<br>$a_0:c_0=1:1,305$<br>$Z=2$<br>2,84 (10)<br>2,052 (9)<br>1,959 (9)<br>1,616 (4)<br>1,553 (4)  | $\lambda$                      | $R'o$   $R'e$<br>470 45,5 37,4<br>546 48,2 36,9<br>589 53,0 43,7<br>650 58,0 51,0<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)         |
| 254   | Миллерит NiS                              | Теор. состав:<br>Ni 64,67<br>S 35,33<br>Примеси: Fe, Co, Cu | Сингония тригональная.<br>$a_h=9,62$<br>$c_h=3,16$<br>$a_h:c_h=1:0,328$<br>$Z=9$<br>(по Алсену; Минералы, т. I, 1960)<br>2,792 (9)<br>2,514 (5)<br>2,242 (5)<br>1,186 (10)<br>1,821 (7)<br>1,730 (7)<br>Известна гексагональная высокотемпературная модификация | $\lambda$                      | $R'o$   $R'e$<br>470 45,5 44,8<br>546 51,5 56,2<br>589 53,2 59,0<br>650 54,5 61,0<br>(Demirsoy, 1969; Giraud e. a., 1968) |
| 255   | Вазсит NiS <sub>2</sub>                   | Примеси Co и Cu; до 20% Se                                  | Сингония кубическая   | $\lambda$                      | $R$<br>470 31,8<br>546 30,7<br>589 30,7<br>650 31,5<br>(Demirsoy, 1968)   |

| в отраженном свете   |   | Твердость по Моосу, Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup><br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--|---|--|--|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |  |  |   |
| Слабо анизотропен (более заметна анизотропия в иммерсии). Двуотражение заметно в иммерсии от розовато-коричневого до желтоватого | Белый, в иммерсии характеризуется коричневатозубым оттенком                                   | 7  | Характеризуется совершенной спайностью по (001). Мягче кохенита, более сильно анизотропен  | Встречается в виде ориентированных включений в кохените и самородном железе в каменных метеоритах   |
| Анизотропен. Двуотражение отчетливое от почти белого с желтовато-красным оттенком до красновато-фиолетового                      | Розовый с фиолетовым оттенком   | 5—5½<br>428—515<br>—; I, 10<br>P=50<br>412—584<br>P=50—100<br>(Bowie, Taylor, 1958; Young, Millman, 1964; Uytenbogaardt, Burke, 1971)  | По сравнению с никелином характеризуется более интенсивной розовой окраской. От HNO <sub>3</sub> чернеет и ирризирует; от FeCl <sub>3</sub> ирризирует; от HgCl <sub>2</sub> иногда тускнеет   | Образует включения в хромите, пентландите, галените, саффлорите. Наблюдаются прорастания с пирротинном  |
| Сильно анизотропен. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное от бледно-коричневато-желтого до светло-желтого                     | Светло-желтый в контакте с некоторыми минералами (борнит) белый со слабым желтоватым оттенком | 3—3½<br>171—388<br>1,37; 1,92<br>P=50<br>254 параллельно удлинению,<br>348 перпендикулярно удлинению<br>192—376<br>(Bowie, Taylor, 1958; Uytenbogaardt, Burke, 1971; Young, Millman, 1964) | Игольчатая форма выделений, от сходного халькопирита отличается повышенной отражательной способностью, сильной анизотропией и более высокой микротвердостью. От HNO <sub>3</sub> иногда всплывает и становится бурым; от паров образуется налет; от HgCl <sub>2</sub> буреет | Образует ориентированные включения и или сростания с линнеитом; реакционные каемки на границе виоларита и пирротина. Образует включения в пирротине и пентландите и прорастания с хизлевудитом, сфалеритом, галенитом |
| Изотропен  | Серый   | 773—856<br>P=15<br>(на синтетическом материале; Demirsoy, 1968)  |  | Образуется в результате изменения скуттерудита и других Ni-сульфидов и арсенидов  |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |   |
|-------|---|---|---|---|---|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %  |   |
| 256   | Хизлеудит<br>$Ni_3S_2$  | Теор. состав:<br>Ni 73,3<br>S 26,7  | Сингония тригональ-<br>ная.<br>$a_h=5,742$<br>$c_h=7,139$<br>$a_h:c_h=1:1,243$<br>$Z=3$<br>2,88 (9)<br>2,38 (4)<br>2,03 (5)<br>1,822 (10)<br>1,657 (8)                  | 51,6<br>(Кэмерон, 1966)   | $\lambda$   $R$<br>486   48,6<br>546   52,5<br>589   56,5<br>650   56,5 |
|       |   |   |   | (Кулагов и др., 1967)   |   |
| 257   | Полидимит<br>$Ni_3S_4$  | Теор. состав:<br>Ni 57,86<br>S 42,14<br>Примеси: Co, Fe   | Сингония кубиче-<br>ская.<br>$a_0=9,444$<br>$Z=8$<br>(По Менцеру; Минералы, т. I, 1960)<br>2,85 (8); 2,365 (8);<br>1,821 (5); 1,673 (9);<br>1,232 (4)                   | $\lambda$   $R$<br>470   42,9<br>546   46,0<br>589   47,3<br>650   51,7                                       | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)  |
| 258   | Годлевскит<br>$Ni_7S_6$<br>(Кулагов, Евстигнеева и др., 1969) | Ni 61,5<br>Fe 3,0<br>Co 0,6<br>S 35,0<br>(данные микросонди-<br>рования)  | Сингония ромбиче-<br>ская.<br>$a_0=9,180$<br>$b_0=11,263$<br>$c_0=9,457$<br>$a_0:b_0:c_0=0,815:1:0,840$<br>3,28 (5)<br>2,85 (10)<br>1,803 (9)<br>1,795 (8)<br>1,654 (8) | $\lambda$   $R_g$   $R_p$<br>480   41,5   44,4<br>540   48,7   49,5<br>580   50,8   50,2<br>660   54,2   52,4 | (При $\lambda$ 560—620<br>оптический знак<br>меняется)                  |
| 259   | Шандит<br>$\beta-Ni_3Pb_2S_2$<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) |   | Сингония гексаго-<br>нальная.<br>3,94 (9)<br>2,78 (10)<br>2,27 (8)<br>1,760 (6)<br>1,611 (8)  |   |   |
| 260   | Вольфахит<br>$Ni(As, Sb)S$                                    | Ni 29,53<br>As 38,46<br>Sb 13,17<br>S 14,43<br>Fe 3,71<br>Pb 1,32<br>Ag 0,12<br>Co следы<br>Содержит примесь<br>галенита и дискразита<br>(по Петерсену; Минералы, т. I, 1960) |   |   |   |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу, Микро-<br>твердость<br>$H, \text{кгс/мм}^2$<br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления                                    | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Ясно анизотропен с цветным эффектом от бурого до синевато-серого. Двуотражение слабое, заметное в иммерсии | Белый с желтовато-кремовым оттенком   | 4<br>221—274<br>—; 1,24<br>P=50<br>231—321<br>P=50<br>(Chamberlain, 1966)       | От пентландита и миллерита отличается меньшей твердостью; от пентландита анизотропией. От $HNO_3$ серовато-бурые пятна; от $FeCl_3$ и $KOH$ слабые бурые пятна; от $HgCl_2$ светло-бурые пятна до радужных |
| Изотропен  | Белый с желтовато-розовым оттенком  | $4\frac{1}{2}$ —5<br>362—449<br>P=50<br>437—444<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) | От сходного зигенита отличается низкой микротвердостью. От $HNO_3$ слабо вскипает, буреет, иризирует и выявляет структуру  |
| Сильно анизотропен, цветные эффекты синеватые до красноватых. Двуотражение слабое в желтоватых тонах       | Светло-желтый   | 382—418<br>P=40—50  | Характерны двойники  |
| Очень сильно анизотропен от серого до желтого до коричневого. Двуотражение сильное                         | Белый со слегка кремовым оттенком   | 4—5   | Растворяется с выделением S и белого осадка окислов As и Sb  |
|  |   |   | Образует включения в борните, халькозине, ориентированные срастания с шандитом и пентландитом  |
|  |   |   | Наблюдается в ассоциации с халькопиритом, пирротинитом, миллеритом, галенитом, сфалеритом, висмутом, герсдорфитом, ульманнитом   |
|  |   |   | Развивается по пентландиту, замещается миллеритом  |
|  |   |   | Образует ориентированные срастания с хизлеудитом (включения шандита II плоскости 0001 хизлеудита)  |
|  |   |   | Образует кристаллические корочки и прожилки вместе с никелином, дискразитом и галенитом в кальцитовой жиле   |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |   |
|-------|---|---|--|--|---|
|       |   |   |  | Отражательная способность, R, %  |   |
| 261   | Ульманнит<br>NiSbS  | Теор. состав:<br>Ni 27,62<br>Sb 57,30<br>S 15,08<br>Примеси: Co, Fe, As и Bi  | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,92$<br>$Z=4$<br>(по Рамсделу; Минералы, т. I, 1960)   | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650  | R<br>46,7<br>44,6<br>44,5<br>46,1   |
|       |   |   |  | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>При $\lambda$ 580 45,5<br>(Вяльсов, 1973)  |   |
| 262   | Паркерит<br>$\alpha\text{-Ni}_3(\text{BiPb}_2)\text{S}_2$ |   | Сингония ромбическая.<br>4,01 (7)<br>2,85 (10)<br>2,33 (9)<br>1,802 (6)<br>1,645 (7) | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650  | R<br>от 42,0—44,7<br>до 44,4—47,7<br>от 43,5—46,1<br>до 46,2—48,0<br>от 44,0—46,5<br>до 47,6—48,6<br>от 45,2—47,6<br>до 48,0—50,1 |
|       |   |   |  | (Petruk e.a., 1969)<br>45,5<br>(Кэмерон, 1966)   |   |
| 263   | Бравойт<br>(Fe, Ni, Co)S <sub>2</sub>                     | Fe 20,68<br>Ni 24,81<br>S 54,51<br>(анализ минерала из Аляски, США, пересчитанный на 100; Минералы, т. I, 1960). Иногда содержит Cu | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,50$<br>2,74 (4)<br>2,29 (2)<br>1,675 (3)              | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650  | R<br>32,0—44,5<br>30,9—52,2<br>31,0—53,9<br>31,3—54,6   |
|       |   |   |  | R зависит от состава минерала (Demirsoy, 1968; Demirsoy, 1969; Vaughan, 1969)<br>Отражательная способность выше, чем у пирротина |   |
| 264   | (Fe, Ni) <sub>2</sub> S<br>(Stumpfl, 1961)                | Fe 51,0<br>Co 1,0<br>Ni 28,0<br>S 22,5  |  |  |   |
| 265   | Виоларит<br>Ni <sub>2</sub> FeS <sub>4</sub>              | Теор. состав:<br>Fe 18,52<br>Ni 38,94<br>S 42,54  | Сингония кубическая.<br>$a_0=9,529$<br>$Z=8$<br>(по Бэнистеру; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650  | R<br>42,1<br>(Кэмерон, 1966)<br>38,3<br>42,25<br>44,1<br>48,2   |
|       |   |   |  | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)   |   |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость<br>$H, \text{кгс/мм}^2$<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Изотропен, в некоторых образцах анизотропен  | 5—5 $\frac{1}{2}$<br>498—542<br>P=100<br>460—560<br>(Bowie, Taylor, 1958; Uytenbogaardt, Burke, 1971; Parnamaa, 1963; Young, Millman, 1964) | В отличие от сходных арсенидов кобальта и никеля немного желтее и тверже: минералы группы линнеита имеют меньшую твердость и отличаются розовым оттенком. От HNO <sub>3</sub> медленно бурет; от FeCl <sub>3</sub> слегка бурет | Образует прорастания с халькопиритом и галенитом. Иногда образует включения в золоте   |
| Сильно анизотропен от зеленовато-серых до желтовато-коричневых тонов. Заметное двуотражение—от кремово-белого до серовато-кремово-белого | Кремово-белый<br>111—142<br>P=15<br>(Petruk a. o., 1969)  | Характерные полисинтетические двойники, особенно заметны в масле  | Образует включения в висмуте, галените, никелине, зигените, кобальт-пентландите и др. Образует сростания с висмутином              |
| Изотропен  | Серый с различными розовато-коричневыми оттенками<br>3 $\frac{1}{2}$ —6<br>(в зависимости от содержания Ni)<br>668—861<br>P=100—200         | Очень характерна зональность. От HNO <sub>3</sub> темнеет, иногда выявляет зональное строение, иногда вскипает  | Бравойт образуется в результате замещения пентландита, миллерита. Образует ориентированные сростания со скуттерудитом              |
| Анизотропен  | Цвет напоминает цвет пирротина<br>Сравнительно низкая   |   | Образует прорастания с минералами Pt и Pd  |
| Изотропен  | Серовато-белый с фиолетовым оттенком<br>4 $\frac{1}{2}$ —5 $\frac{1}{2}$<br>413—460<br>P=50   | От сходных пирротина и бравоита отличается сиреневым оттенком, хорошо заметным в иммерсии. От HNO <sub>3</sub> медленно вскипает и бурет  | Встречается как продукт изменения вместе с бравоитом, пентландитом, миллеритом (образует псевдоморфозы по пентландиту и миллериту) |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |  |
|-------|---|--|--|---|--|--|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %  |  |  |
| 266   | Пентландит (Fe, Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>   | Теор. состав: при Fe:Ni=1<br>Fe 32,55<br>Ni 34,22<br>S 33,23<br>Изоморфная примесь Co 0,4—3; Ag до 4%.<br>Примеси: Se, Fe.<br><br>Разновидность: кобальтпентландит (Co, Ni, Fe) <sub>9</sub> S <sub>8</sub> . Содержит до 66,6 вес. % Co | Сингония кубическая.<br>a <sub>0</sub> =10,17<br>Z=4<br>(по Лундквисту; Минералы, т. 1, 1960)<br><br>Сингония кубическая.<br>a <sub>0</sub> =10,34<br>Z=2<br>5,97 (5)<br>3,118 (5)<br>2,985 (7)<br>2,372 (6)<br>1,828 (10) | 52,0<br>(Кэмерон, 1966)<br><br>λ   R<br>470   39,8<br>546   44,1<br>589   47,0<br>650   50,5<br><br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)<br>λ   R<br>470   49,5<br>546   53,7<br>589   55,2<br>650   57,2<br><br>(Petruk e. a., 1969) |  |  |
| 267   | Джерфишерит K <sub>3</sub> (Cu, Na)X × (Fe, Ni) <sub>12</sub> S <sub>14</sub> (Fuchs, 1966) | Na 0,3<br>K 8,7<br>Cu 4,2<br>Fe 50,7<br>Ni 0,8<br>S 33,8<br>(данные микрозондирования)   | Сингония кубическая.<br>a <sub>0</sub> =10,34<br>Z=2<br>5,97 (5)<br>3,118 (5)<br>2,985 (7)<br>2,372 (6)<br>1,828 (10)  | При λ 580<br>23,8<br>(Вяльсов, 1973)<br>λ   R<br>460   18,0<br>500   20,3<br>540   22,1<br>580   23,5<br>660   25,4<br>700   26,0<br><br>(Определение рудных минералов..., 1973)  |  |  |
| 268   | Никелин NiAs  | Теор. состав:<br>Ni 43,92<br>As 56,08<br>Примеси: Co (до 2%), Sb, S, Fe, Bi, Cu. Разновидность никелина—арит (Sb до 6%)  | Сингония гексагональная.<br>a <sub>0</sub> =3,609<br>c <sub>0</sub> =5,019<br>a <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =1:1,390<br>Z=2<br>2,627 (10)<br>1,937 (9)<br>1,788 (8)<br>1,320 (7)<br>1,070 (6)<br>1,032 (7)                | В воздухе:<br>Ro<br>зелен. 48,9<br>оранж. 57,1<br>красн. 59,5<br>Re<br>зелен. 42,8<br>оранж. 55,2<br>красн. 58,5<br>В иммерсии:<br>Ro<br>зелен. 37,7<br>оранж. 44,7<br>красн. 50,1  |  |  |

| в отраженном свете                   |                                     | Твердость по Моосу, Микротвердость<br>H, кгс/мм <sup>2</sup><br>KH <sub>1</sub> ; KH <sub>2</sub><br>Нагрузка P, гс   | Отличительные особенности.<br>Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |   |   |   |
| Изотропен                            | Светло-желтый                       | 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4<br>187—229<br>—; 1,30<br>P=50<br>195—303<br>P=50<br>(Bowie, Taylor, 1958; Uytenbogaardt, Burke, 1971; Chamberlain, 1965; Young, Millman, 1964) | Высокая отражательная способность, изотропность и октаэдрическая спайность, заметная в крупных зернах; отличается низкой микротвердостью. HNO <sub>3</sub> не действует или действует слабо: желтовато-бурая иризирующая, легко стирающаяся пленка              | Образует разнообразные включения в пирротине (иногда ориентированные), образует включения в халькопирите, кубаните, макинавите. Наблюдается в сростаниях с хизлеводитом, аварунтом, халькопиритом. Образует включения в магнетите.<br>Ag—пентландит образует включения и ориентированные сростания с обычным пентландитом<br>Встречается в виде неправильных зерен и ориентированных сростаний с пирротинном. Ассоциирует с паркеритом, висмутом, висмутином, саффлоритом, сфалеритом, сульфидами Cu и Fe |
| Изотропен                            | Желтовато-белый                     | 245—363<br>P=25—50<br>(Kuovo e. a., 1959; Petruk e. a., 1959)<br>Твердость увеличивается с увеличением содержания кобальта<br>155—193<br>P=20                                   |   | Образует включения в энстатитовом хондрите в парагенезисе с троилитом   |
| Изотропен                            | Розовый со слабым кремовым оттенком | 5—5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub><br>382—489<br>—; 1,30<br>328—348 для анизотропных сечений;<br>433—455 для изотропных сечений<br>(Кэмерон, 1966)                                 | От пирротина отличается более высокой твердостью и отражательной способностью; от маухерита—сильной анизотропией, двуотражением и более густой красной окраской. От HNO <sub>3</sub> вскипает, темнеет, от паров образуется налет; от FeCl <sub>3</sub> буреет; | В магматических месторождениях ассоциирует с маухеритом, хромитом, пентландитом и другими. В гидротермальных месторождениях с другими арсенидами кобальта и никеля, самородным серебром, аргентитом, самородным висмутом и др.  |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы, примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
|-------|--|--|--|---|----|-----|----|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|------|---|-----------------------|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %                                    |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| 269   | Ni—As-минерал<br>Ni:As~5:4<br>Fe~1,4%<br>(Frenzel, Ottemann, 1968)   |  |  | Re<br>зелен. 32,4<br>оранж. 43,2<br>красн. 49,8<br>(Рамдор, 1962) |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| 270   | Вестервелдит<br>(Fe, Ni, Co)As<br>(Oep, e. a., 1972)<br>(Fe <sub>0,635</sub> Ni <sub>0,400</sub> Co <sub>0,015</sub> ) <sub>1,050</sub><br>As <sub>1,000</sub> | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe</td> <td>29,1</td> <td>27,1</td> <td>26,6</td> <td>26,1</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>13,4</td> <td>16,0</td> <td>17,4</td> <td>17,2</td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>0,7</td> <td>0,7</td> <td>0,6</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>As</td> <td>55,7</td> <td>57,0</td> <td>55,5</td> <td>55,8</td> </tr> </tbody> </table> <p>(данные микрондирования)</p> |  | I   | II | III | IV | Fe | 29,1 | 27,1 | 26,6 | 26,1 | Ni | 13,4 | 16,0 | 17,4 | 17,2 | Co | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | As | 55,7 | 57,0 | 55,5 | 55,8 | $a_0=3,45;$<br>$b_0=5,97$<br>$c_0=5,33$<br>$a_0:b_0:c_0=0,579:1:0,893$<br>2,991<br>2,605<br>2,080<br>1,988<br>1,725 | Ниже, чем у маухерита |  |
|       | I  | II   | III  | IV  |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| Fe    | 29,1   | 27,1   | 26,6   | 26,1  |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| Ni    | 13,4   | 16,0   | 17,4   | 17,2  |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| Co    | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,6   |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| As    | 55,7   | 57,0   | 55,5   | 55,8  |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |
| 271   | Раммельсбергит<br>NiAs <sub>2</sub>  | Теор. состав:<br>Ni 28,15<br>As 71,85<br>Примеси: Co, Fe, S, Sb, Bi  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,52$<br>$b_0=4,79$<br>$c_0=5,79$<br>$a_0:b_0:c_0=0,738:1:2,209$<br>Z=2<br>(по Пикоку и Дэдсону; Минералы, т. I, 1960)<br>2,83 (8)<br>2,56 (10)<br>2,48 (8)<br>1,872 (7)<br>1,693 (3)<br>(по Кайману; Минералогия, т. I, 1960) | 59,0<br>(Кэмерон, 1966)   |    |     |    |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |    |     |     |     |     |    |      |      |      |      |   |                       |  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-твердость<br>$\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{KH_1; KH_2}$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления                   | Минеральная ассоциация   |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
| Очень сильно анизотропен, цветные эффекты как у ковеллина. Двуотражение сильное.    таблитчатости, отражательная способность и цвет как у никелина; ⊥ значительно более низкая отражательная способность |  | от HgCl <sub>2</sub> коричневая окраска                        | Образует каемки вокруг никелина  |
| Анизотропен сильно, особенно в масле с оранжево-коричневыми и голубоватыми эффектами. Двуотражение в коричневых и коричневато-серых тонах  | Коричневатый до серого, в масле более отчетливый коричневатый цвет                               | Твердость выше, чем у маухерита и никелина                     | Встречается в хромит-никелиновых рудах в парагенезисе с маухеритом и никелином                                   |
| Сильно анизотропен. При неполном скрещении никелей цветной эффект от бледно-желтого до различных оттенков синего. Двуотражение слабое  | Белый или кремово-белый  | 5—6<br>556—629<br>—; —;<br>P=100<br>687—778<br>(Кэмерон, 1966) | Парагенезис со смальтином, саффлоритом, парараммельсбергитом, никелином, минералами серебра, самородным висмутом |

| № п/п | Название минерала                                 | Химический состав, характерные элементы-примеси, %                      | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |                 |
|-------|---|---|--|---|-----------------|
|       |   |   |  | Отражательная способность R, %  |                 |
| 272   | Парараммельсбергит NiAs <sub>2</sub>              | Теор. состав:<br>Ni 28,15<br>As 71,85<br>Примеси: Co, Fe, S, Sb         | Сингония ромбическая.<br>a <sub>0</sub> =5,74;<br>b <sub>0</sub> =5,81<br>c <sub>0</sub> =11,40<br>2,86 (8)<br>2,55 (10)<br>2,37 (7)<br>2,01 (7)<br>1,82 (7)<br>1,73 (7)   | >60%  |                 |
| 273   | Орселит Ni <sub>2</sub> As (Caillere e. a., 1959) | Теор. состав:<br>Ni 61,05<br>As 38,95                                   | Сингония гексагональная.<br>1,977 (10)<br>1,918 (10)<br>1,810 (4)<br>1,737 (4)   | R' <sub>g</sub>   | R' <sub>p</sub> |
| 274   | Маухерит Ni <sub>11</sub> As <sub>8</sub>         | Теор. состав:<br>Ni 51,85<br>As 48,15                                   | Сингония тетрагональная.<br>a <sub>0</sub> =6,858<br>c <sub>0</sub> =21,874<br>a <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =1:3,190<br>Z=4<br>2,70 (10)<br>2,02 (10)<br>1,717 (10)<br>1,447 (9)<br>1,211 (6)<br>(по Пикоку; Минералы, т. I, 1960) | 51,2<br>(Кэмерон, 1966)<br>При λ 580<br>51,6<br>(Вяльсов, 1973)<br>λ R<br>460 46,1<br>500 47,6<br>540 48,6<br>580 50,6<br>660 56,0<br>700 58,0<br>(Определение рудных минералов..., 1973) |                 |
| 275   | Герсдорфит NiAs                                   | Теор. состав:<br>Ni 35,41<br>As 45,26<br>S 19,33<br>Примеси: Fe, Co, Sb | Сингония кубическая.<br>a <sub>0</sub> =5,68<br>Z=4 (Боккий и Цинбер, 1964)<br>2,847 (6)<br>2,557 (8)<br>2,332 (6)<br>1,725 (8)<br>1,582 (8)<br>1,100 (6)<br>(по Олтаузену; Минералы, т. I, 1960)                                    | 47,5<br>(Кэмерон, 1966)<br>При λ 580<br>53,9<br>(Вяльсов, 1973)<br>λ R<br>460 47,2<br>500 46,4<br>540 45,6<br>580 45,4<br>660 47,1<br>700 48,3<br>(Определение рудных минералов..., 1973) |                 |

| в отраженном свете   |                                    | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup><br>K <sub>H2</sub> ; K <sub>H2</sub> ·<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|------------------------------------|--|---|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы |  |   |  |
| Анизотропия сильная с бурым, розовато-бурым цветным эффектом. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное | Белый                              | 762—803<br>P=100—200 (Bowie, Taylor 1958)  | Анизотропия слабее, чем у раммельсбергита. Мирмекитоподобные структуры замещения хлоантита и никелина. От HNO <sub>3</sub> вскипает и чернеет; FeCl <sub>3</sub> выявляет структуру, от HgCl <sub>2</sub> —при длительном действии легко стирающийся налет  | Тесная ассоциация со смальтином, раммельсбергитом, никелином, герсдорфитом, лёллингитом, самородным серебром                       |
| Двуотражение слабое  | Розовый                            |  |   |  |
| Слабо анизотропен. Двуотражение не наблюдается   | Белый с розоватым оттенком         | 5—5 1/2<br>658—788<br>—; —;<br>P=100—200   | От никелина отличается более слабой анизотропией, отсутствием двуотражения, более высокой микротвердостью; от раммельсбергита и сафлорита—розоватой окраской и слабой анизотропией. От HNO <sub>3</sub> вскипание; от FeCl <sub>3</sub> слабый коричневый налет. Структурное травление: HNO <sub>3</sub> (1:1), KMnO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> или H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | Ассоциирует с никелином, пирротинном, пентландитом, смальтином, самородным висмутом, раммельсбергитом и другими                    |
| Изотропен  | Белый с розоватым оттенком         | 5—5 1/2<br>640—806<br>—; 1,30;<br>P=100<br>665—743 (Кэмерон, Young, Millman, 1964)                                 | Хорошо выраженная спайность и буроватое пятно от KMnO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Треугольники выкрашивания как у галенита. От HNO <sub>3</sub> буреет до черного цвета; от FeCl <sub>3</sub> иногда медленно буреет; от HgCl <sub>2</sub> слабо буреет, пленка легко стирается  | Довольно редок. Встречается в ассоциации с арсенидами Co и Ni, железистыми карбонатами. Замещает никелин, маухерит, раммельсбергит |

| № п/п           | Название минерала                                | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                                 |  |
|-----------------|--|--|--|---|--|
|                 |  |  |  | Отражательная способность R, %                      |  |
| <b>Минералы</b> |  |  |  |   |  |
| 276             | Олово самородное Sn (Uytendogaardt, Burke, 1971) |  | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=5,83$<br>$c_0=3,18$<br>2,91 (10)<br>2,79 (9)<br>2,05 (7)<br>2,01 (10)<br>1,65 (7)<br>1,480 (7)<br>(Костов, 1971)                              | Высокая   |  |
| 277             | Герценбергит SnS                                 | Теор. состав:<br>Sn 78,8<br>S 21,2                 | Сингония ромбическая.<br>$a_0=3,989$<br>$b_0=4,339$<br>$c_0=11,20$<br>$a_0:b_0:c_0=0,919:1:2,582$<br>3,42 (4)<br>3,24 (4)<br>2,83 (10)<br>(Минералы, т. I, 1960; Рамдор, 1962) | Близка к галениту<br>При $\lambda$ 546<br>42,1—44,3 |  |
| 278             | Берндтит SnS <sub>2</sub>                        |  | Сингония тригональная.<br>$a_0=3,639$<br>$c_0=5,868$<br>$a_0:c_0=1:1,1626$<br>Сингония гексагональная. (Clark, 1972)<br>$a_0=3,65$<br>$c_0=11,81$                              | ~25<br>При $\lambda$ 546<br>29—37<br>(Clark, 1972)  |  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кг/мм <sup>2</sup><br>$KH_1$ ; $KH_2$<br>Нагрузка P, гс    | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|--|---|--|
|  |  |   |  |
| <b>олова</b>   |  |   |  |
| Слабо анизотропен, желтовато-серые до голубовато-серых цветные эффекты   | Кремово-белый<br>2—2,5<br>10—15<br>—; —;<br>P=15—25<br>(Toubeau, 1962)                           | Легко растворяется в HCl конц. с выделением водорода. Растворяется в H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> конц. Твердость близка аргентиту                                      | Встречается в россыпях в ассоциации с самородной платиной, осмистым иридием, золотом, медью, касситеритом, киноварью и др.   |
| Анизотропен. Эффекты анизотропии в воздухе и масле сильные; в положении под <45° красные до желто-красных яркие цветные эффекты. Голубые и фиолетовые в других положениях. Двуотражение слабое, в иммерсии заметное:    (001) голубовато-белый оттенок; ⊥ (001) слегка желтовато-белый | Белый. Темно-красно-коричневые внутренние рефлексы, заметны при тщательном наблюдении в иммерсии | Отличается от тиллита меньшей R, а для франкеита характерны более слабые эффекты анизотропии. От HCl травится, шероховатая поверхность; от KOH травится, коричневый налет | Образуется за счет первичных минералов олова (при полном отсутствии свинца): за счет станнына в ассоциации с кварцем, пиритом, сфалеритом, арсенопиритом, реже халькопиритом; за счет норденшельдита в ассоциации со станныном, арандизитом, кубанитом, сфалеритом, касситеритом и др. |
| Анизотропия в темных зеленовато-серых тонах (Clark, 1972)<br>Анизотропия неясна, маскируется внутренними рефлексами. Двуотражение сильное:    базальной плоскости серое до слегка коричневатого; ⊥ — базальной плоскости разноокрашенное. Преобладает характерный желтоватый оттенок   | Серый (светло-коричневый). Очень сильные бурые до оранжево-желтых внутренние рефлексы            | На контакте с сульфидами в берндтите обнаружены мелкие (<2 мкм) зерна самородной серы (Clark, 1972)   | Ассоциирует со сфалеритом, халькопиритом, станныном, варламовитом. Образует включения в пирите, замещается касситеритом, отеманнитом   |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |              |
|-------|--|--|--|--------------------------------|--------------|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, % |              |
| 279   | Отеманит $\text{Sn}_2\text{S}_3$<br>(Moh, Berndt, 1964)  |  | Сингония ромбическая.  | ~30                            |              |
| 280   | Станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  | Теор. состав:<br>Cu 29,58<br>Fe 12,99<br>Sn 27,61<br>S 29,82<br>Примеси: Zn (до 11%), Cd (до 1,5%), Pb (до 2%), Ag (до 1%), Sb (до 3%), In (до 1%) | Сингония псевдокубическая.<br>$a_0=5,47$<br>$c_0=10,747$<br>$a_0:c_0=1:1,964$<br>3,064 (8)<br>1,888 (10)<br>1,618 (7)<br>1,607 (6)<br>1,234 (6)<br>1,103 (8)<br>(Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$                      | $R'o$        |
|       |  |  |  | 480                            | 24,4—25,2    |
|       |  |  |  |                                | $R'e$        |
|       |  |  |  |                                | 25,7—26,7    |
|       |  |  |  |                                | $R'o$        |
|       |  |  |  | 540                            | 27,4—28,2    |
|       |  |  |  |                                | $R'e$        |
|       |  |  |  |                                | 27,4—29,3    |
|       |  |  |  |                                | $R'o$        |
|       |  |  |  | 580                            | 27,9—28,8    |
|       |  |  |  |                                | $R'e$        |
|       |  |  |  |                                | 29,0—29,4    |
|       |  |  |  |                                | $R'o$        |
|       |  |  |  | 640                            | 27,9—29,5    |
|       |  |  |  |                                | $R'e$        |
|       |  |  |  |                                | 28,0—29,8    |
| 281   | Станнин желтый<br>$\text{Cu}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}\text{FeS}_4$<br>при $x=0-0,44$<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) |  | Сингония тетрагональная  | $\lambda$                      | $R'o$        |
|       |  |  |  | 480                            | 20,0—21,2    |
|       |  |  |  | 540                            | 22,7—25,0    |
|       |  |  |  | 580                            | 25,2—27,3    |
|       |  |  |  | 640                            | 28,8—29,6    |
|       |  |  |  |                                | $R'e$        |
|       |  |  |  | 480                            | 22,2—24,4    |
|       |  |  |  | 540                            | 25,2—27,5    |
|       |  |  |  | 580                            | 27,4—29,4    |
|       |  |  |  | 640                            | 30,0—31,9    |
|       |  |  |  |                                | (Levy, 1967) |

| в отраженном свете   |  | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H, \text{кгс/мм}^2$<br>$\frac{KH_1}{KH_2}$<br>Нагрузка P, гс               | Отличительные особенности. Реакция травления   | Минеральная ассоциация  |
|--|--|---|--|---|
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы             |   |  |   |
| Двуотражение слабое. Сильно анизотропен с красновато-коричневыми до голубовато-серых цветными эффектами  | Серый. Оранжево-коричневые внутренние рефлексы | Твердость меньше, чем у герценбергита и больше, чем у берндтита   |  | Ассоциирует с изостаннином, пиритом, халькопиритом, ковеллином, окислами железа. Замещает станнин, герценбергит. Замещается касситеритом, берндтитом  |
| Анизотропен с отчетливыми цветными эффектами (желтовато-коричневыми, серовато-оливково-зелеными, голубовато или фиолетово-серыми). Двуотражение неясное, в иммерсии усиливается, по Ro—коричнево-оливковый, по Re более серо-зеленый | Серый с оливково-зеленым оттенком              | 206—307<br>—; —;<br>P—50<br>140—326<br>(Bowie, Taylor, 1958; Singh, 1967; Springer, 1968; Young, Millman, 1964) | Характерны структуры распада и ориентированные срастания с халькопиритом, сфалеритом, тетраэдритом, изостаннином. Отличается от минералов группы блеклых руд с более низкой отражательной способностью, анизотропией. От конц. HCl, HNO <sub>3</sub> иризирующий осадок, хорошей структуры не дает | Образует включения в халькопирите, сфалерите, арсенопирите, пирите, тетраэдрите, висмуте, висмутине, буланжерите, рутиле, золоте, галените, пирротине |
| Сильно анизотропен с красноватыми, голубоватыми и зеленоватыми цветными эффектами. Сильное двуотражение—от желтовато-коричневого до оранжево-коричневого   | Желтый   | Твердость больше, чем у борнита   | Желтый станнин, впоследствии гексастаннин (Ramdohr, 1960)  | Образует включения в станнине и прорастания с халькопиритом. Образует реакционные каемки между халькопиритом и станнином, касситеритом и борнитом     |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |                     |
|-------|---|---|--|--------------------------------|---------------------|
|       |   |   |  | Отражательная способность R, % |                     |
| 282   | Станноидит<br>Cu <sub>5</sub> (Fe, Zn) <sub>2</sub> SnS <sub>8</sub>  | Cu 37,2<br>Ag 0,1<br>Fe 12,5<br>Zn 1,2<br>Sn 16,5<br>S 31,2<br>(данные микрозондирования; Kato, 1969)                         | Сингония ромбическая.<br>a <sub>0</sub> =10,76<br>b <sub>0</sub> =5,40<br>c <sub>0</sub> =16,09<br>3,11 (10)<br>1,906 (7)<br>1,621 (2)   | λ                              | R                   |
|       |   |   |  | 470                            | 20,6—22,6           |
|       |   |   |  | 546                            | 24,4—26,4           |
|       |   |   |  | 589                            | 25,7—27,8           |
|       |   |   |  | 650                            | 27,6—29,6           |
|       |   |   |  | (Uytenbogaardt, Burke, 1971)   |                     |
| 283   | Родостаннин<br>Cu <sub>2</sub> FeSn <sub>3</sub> S <sub>8</sub>   | Теор. состав:<br>Cu 16,0<br>Fe 7,0<br>Sn 44,8<br>S 32,2<br>(Springer, 1968)   | Сингония гексагональная.<br>a <sub>0</sub> =7,27<br>c <sub>0</sub> =18,07<br>a <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =1:2,485<br>6,09 (4)<br>5,93 (6)<br>3,12 (10)<br>2,58 (5)<br>1,819 (3)<br>(Springer, 1968) | При λ 520                      | R 20,5 или 27,8     |
| 284   | Кёстерит<br>Cu <sub>3</sub> SnZnS <sub>4</sub><br>Zn—аналог станнина  | Cu 30,6<br>Sn 25,3<br>Zn 11,2<br>S 28,4<br>Fe до 2, Sb 0,9;<br>Mn 0,1<br>Se 0,01<br>Ag 0,005<br>Ni следы<br>(Орлова, 1956)    | Сингония тетрагональная.<br>(Springer, 1968)   | λ                              | R                   |
|       |   |   |  | 470                            | 22,7—24,6           |
|       |   |   |  | 546                            | 24,8—26,2           |
|       |   |   |  | 589                            | 25,4—26,6           |
|       |   |   |  | 650                            | 26,4—27,1           |
|       |   |   |  | (Lévy, 1967; Singh, 1967)      |                     |
| 285   | Сакураит<br>(Cu, Zn, Fe) <sub>3</sub><br>(In, Sn) <sub>4</sub><br>In—аналог кёстерита<br>(Kato, 1965)   | I II<br>Cu 23 21<br>Zn 10 14<br>Fe 9 5<br>Ag 4 3,5<br>In 17 23<br>Sn 9 4<br>S 31 30<br>(данные микрозондирования; Kato, 1965) | Сингония тетрагональная.<br>a <sub>0</sub> =5,455<br>c <sub>0</sub> =10,9<br>a <sub>0</sub> :c <sub>0</sub> =1:1,998<br>Z=2  | ~ 20                           |                     |
| 286   | Моусонит<br>Cu <sub>7</sub> Fe <sub>3</sub> SnS <sub>10</sub><br>(Markham, Lawrence, 1965)<br>Cu <sub>2+x</sub> Sn <sub>1-x</sub> FeS <sub>4</sub><br>0,5 < x < 1<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971) | Теор. состав:<br>Cu 44,7<br>Fe 11,2<br>Sn 11,9<br>S 32,2  | Сингония псевдокубическая.<br>a <sub>0</sub> =10,74<br>3,09 (10)<br>2,680 (5)<br>1,895 (8)<br>1,618 (6)<br>1,065 (5)   | λ                              | R'o R'e             |
|       |   |   |  | 480                            | 20,6—20,9 17,8      |
|       |   |   |  | 540                            | 24,3—24,8 23,7—24,5 |
|       |   |   |  | 580                            | 26,7—27,2 28,4—29,6 |
|       |   |   |  | 640                            | 30,2—30,9 34,2—36,1 |

| в отраженном свете   | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup><br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub><br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|--|------------------------------------|---|--|---|
|  |                                    |   |  |   |
| Анизотропен. Цветные эффекты оранжево-красные до желтовато-серых. Двуотражение от розовато-бурого до бурого  | Коричневый                         | 232—271<br>—; —;<br>P=50<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)  | Оптически сходен с желтым станнином. От HNO <sub>3</sub> (конц. и 1:1) буреет, выявляется мозаичное строение | Встречается в кварце с галенитом, халькопиритом, тетраэдри- том, касситеритом, станнином  |
| Анизотропен. Цветные эффекты голубовато-серые до темно-бурых. Двуотражение незаметно   | Розоватый                          | —<br>243—266<br>—; —;<br>P=100<br>(Springer, 1968)  | Красноватый оттенок в сравнении со станнином   | Встречается среди обычного станнина как продукт его изменения   |
| Слабо анизотропен. Двуотражение не наблюдается   | Серый                              | 292—325<br>—; —;<br>P=50  |  | Образует прорастания со станнином и замещает касситерит, гидроокислы железа, халькопирит, ковеллин, дигенит   |
| Анизотропен слабо (почти изотропен). Двуотражение не наблюдается   | Красновато-зелено- вато-серый      | 4<br>Твердость немного выше, чем у станнина   | От HNO <sub>3</sub> (конц.) травится   | Встречается в виде включений в станнине как продукт распада твердого раствора. Станнин ассоциирует со сфалеритом, халькопиритом, касситеритом, матильдитом  |
| Анизотропен сильно с яркими соломенно-желтыми и синими цветными эффектами. Очень сильное двуотражение от оранжевого до бурого со слабым оранже- вым оттенком | Буровато-оранжевый                 | 239—301<br>1,15; 1,26   | От NaCN некоторые зерна темнеют. Твердость немного выше бор- нита  | Образует включения в борните, который сопровождается халькопиритом, тетраэдри- том. Ассоциирует с халькопиритом, тетраэдри- том, пиритом, галенитом, теннантитом, энаргитом, касситеритом, колуситом, арсе- нопиритом |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                   |   |                                       |
|-------|---|--|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %        |   |                                       |
| 287   | Окартит<br>$Ag_2SnFeS_4$<br>Серебряный аналог станнина (Caye e. a., 1968) | Теор. состав:<br>Ag 41,6<br>Sn 22,9<br>Fe 10,8<br>S 24,7<br>Ag 36,0<br>Sn 25,0—28,0<br>Fe 7,5—7,7<br>S 26,0—27,0<br>Примеси: Zn—4,0—4,2<br>Cu 1,8<br>(данные микронзондирования) | Сингония тетрагональная.<br>$a_0=5,74$<br>$c_0=10,96$<br>$a_0:c_0=1:1,909$<br>3,26 (10)<br>2,87 (4)<br>2,03 (5)<br>1,98 (8)<br>1,72 (7)  | $\lambda$<br>480<br>540<br>580<br>620 | $R_o$<br>24,8<br>24,2<br>23,8<br>24,5                   | $R_e$<br>22,6<br>22,8<br>22,8<br>22,9 |
| 288   | Канфильдит<br>$Ag_8SnS_6$   | Теор. состав:<br>Ag 73,49<br>Sn 10,14<br>S 16,37<br>Обычная примесь Ge   | Диморфен.<br>Модификация ромбическая:<br>$a_0=14,96$<br>$b_0=12,24$<br>$c_0=6,82$<br>$a_0:b_0:c_0=1,222:1:0,557$<br>Модификация кубическая:<br>$a_0=21,11$<br>(Геология олова, 1947)<br>3,05 (8)<br>2,72 (7)<br>2,042 (10)<br>1,869 (10)<br>(Рамдор, 1962)<br>Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,05$<br>$b_0=4,29$<br>$c_0=11,35$<br>$a_0:b_0:c_0=0,944:1:2,647$<br>$Z=2$<br>(по Хофману; Минералы, т. I, 1960) | $\lambda$<br>470<br>545<br>589<br>650 | $R$<br>24,1—24,4<br>21,8—22,4<br>21,5—22,0<br>21,5—22,0 |                                       |
| 289   | Тиллит $PbSnS_2$  | Теор. состав:<br>Pb 53,05<br>Sn 30,51<br>S 16,44<br>Примеси: Fe, Zn  | Сингония ромбическая.<br>$a_0=4,05$<br>$b_0=4,29$<br>$c_0=11,35$<br>$a_0:b_0:c_0=0,944:1:2,647$<br>$Z=2$<br>(по Хофману; Минералы, т. I, 1960)   | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650 | $R$<br>40,1—48,3<br>40,2—46,6<br>40,1—45,8<br>39,9—44,4 |                                       |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Анизотропен. Цветные эффекты оранжевые и зеленоватые. Двуотражение слабое от серо-бурого до фиолетово-серого   | Буро-серый  | Твердость как у станнина  | Часты полисинтетические двойники. Анизотропия сходна с энаргитом, но цветные эффекты менее интенсивные   |
| Эффект анизотропии непостоянный; в большинстве случаев минералы отчетливо анизотропны с синевато-серым цветным эффектом. Иногда изотропен. Двуотражение в воздухе слабое, в иммерсии сильное с цветным эффектом в желто-розовых и коричневых тонах     | Серовато-белый с розовато-коричневым или фиолетовым оттенком                                      | $2\frac{1}{2}$ —3<br>105—132<br>—; 1,27<br>$P=50$<br>133—172<br>—; —;<br>$P=25$<br>(Singh, Santokh, 1967) | От фаматинита, люционита, энаргита, стибнолюционита, германита, борнита, отличается более низкой твердостью. От $HNO_3$ коричневый цвет с выявлением внутренней структуры, от KOH коричневая окраска; от $HgCl_2$ радужная окраска с выявлением внутренней структуры |
| Анизотропия отчетливая с очень четким цветным эффектом; от синевато-серого до темно-коричнево-фиолетового. Двуотражение в воздухе заметно только на границе зерен, в иммерсии немного отчетливее (белое $\perp 001$ и до желтоватого $\parallel 001$ ) | Белый с кремовым оттенком   | 2<br>31—125<br>$P=25$<br>(Young, Millman, 1964; Singh, 1967, Uyttenbogardt, Burke, 1971)                  | Отличается от франкеита более высокой R, резкой анизотропией и цветными эффектами. Характерно двойниковое строение. От $HNO_3$ , HCl, $FeCl_3$ , KOH образуются коричневые налеты различных оттенков   |

| № п/п | Название минерала                       | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства                   |   |
|-------|---|--|--|---------------------------------------|---|
|       |   |  |  | Отражательная способность R, %        |   |
| 290   | Франкеит<br>$Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$        | Теор. состав:<br>Pb 49,8<br>Sn 17,1<br>Sb 11,7<br>S 21,5<br>Примеси: Zn, Ag, Ge, In  | Сингония моноклинная.<br>$a_0=46,94$<br>$b_0=11,64$<br>$c_0=17,31$<br>$\beta=94^\circ 48'$<br>$a_0:b_0:c_0=4,031:1:1,487$<br>Z=16<br>(по Нафилду; Минералы, т. I, 1960)<br>3,43 (3)<br>2,88 (5)<br>2,06 (2)<br>(по Харкорт; Рамдор, 1962)<br>3,47 (6)<br>2,97 (10)<br>2,27 (6)<br>2,09 (7)<br>1,925 (8)<br>1,835 (9)<br>1,449 (10)<br>(по Поляковой; Минералы, т. I, 1960)<br>Сингония неизвестна. | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650 | R<br>31,6—35,1<br>26,6—34,3<br>29,9—33,8<br>29,1—33,8<br>(Singh, Santokh, 1967) |
| 291   | Цилиндрит<br>$Pb_3Sn_4Sb_2S_{14}$       | Теор. состав:<br>Pb 30,6<br>Sn 23,4<br>Sb 24,0<br>S 22<br>Примеси: Fe, Cu, Au, Ge  | Сингония неизвестна.<br>2,89 (10)<br>2,03 (6)<br>1,81 (6)<br>1,455 (3)<br>1,290 (2)<br>(по Харкорт; Минералы, т. I, 1960)  | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650 | R<br>30,4—32,9<br>28,2—30,9<br>28,1—30,9<br>27,9—30,6<br>(Singh, Santokh, 1967) |
| 292   | Колусит<br>$Cu_3(As, Sn, V, Fe, Sb)S_4$ | Cu 46,9<br>Fe 3,6<br>Sn 5,8<br>V ?<br>As 8,40<br>Sb 0,64<br>S 29,2<br>Te 0,4<br>н. о. 0,9<br>Сумма 95,84<br>(по Мердоку; Минералы, т. I, 1960) | Сингония кубическая.<br>$a_0=10,608$<br>3,075 (10)<br>2,66 (4)<br>1,88 (8)<br>1,60 (6)<br>1,084 (3)<br>(Минералы, т. I, 1960)  | $\lambda$<br>480<br>540<br>580<br>640 | R<br>25,9—26,5<br>28,2—29,9<br>30,1—31,6<br>30,5—31,4<br>(Lévy, 1967)           |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-твердость<br>$\frac{H}{K_{H_1}; K_{H_2}}$<br>Нагрузка P, гс        | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|--|---|--|
|  |  |   |  |
| Оптическая анизотропия, двуотражение   | 1—2<br>23—52<br>1,88; —;<br>P=7—10<br>13—108<br>(Young, Millman, 1964; Singh, Santokh, 1967) | Отмечаются клиновидные двойники. От тиллита отличается более низкой отражательной способностью и меньшей анизотропностью. От $HNO_3$ бурет и иризирует, от паров темнеет; царская водка (пары) выявляет структуру; от HCl травится (после 4—5 мин), от паров слегка тускнеет (Юшко, 1971) | Во франкеите наблюдаются ориентированные включения пирротина. Образует включения в станнине, пирротине, канфилдите. Образует графические сростания с касситерит-жемсонитовым или галенит-буланжерит-касситеритовым агрегатом |
| Анизотропия от слабой до отчетливой, цветные эффекты от желтоватого до голубовато-зеленоватого; двуотражение слабое, яркое в агрегатах зерен; усиливается в иммерсии                         | Сероватобелый  | —; —;<br>P=20—25<br>(Пудовкина, 1957; Young, Millman, 1964)   | Включения в станнине, сфалерите, касситерите, пирите, халькопирите, вюртците. Образует графические сростания с галенитом, буланжеритом и касситеритом  |
| Анизотропен, просветления в положении $45^\circ$ синеватые до желтоватых. Двуотражение слабое, усиливается в иммерсии:    оси удлинения кремово-белый, $\perp$ к ней синевато-серовато-белый | Белый  | 3—4<br>296—376<br>(Singh, Santokh, 1967; Uytendogaardt, Burke, 1971; Young, Millman, 1964)  | Зональное строение зерен. От $HNO_3$ медленно бурет, выявляется зональное строение. Твердость немного больше теннантита, меньше, чем у энаргита  |
| Изотропен  | Розовато-кремовый  |   | Встречается в разновидностях серни желтый станнин—моусонит   |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |                                       |                                       |
|-------|---|---|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
|       |   |   |  | Отражательная способность R, %   |                                       |                                       |
| 293   | Касситерит<br>SnO <sub>2</sub>  | Теор. состав:<br>Sn 78,8<br>O 21,2<br>Примеси: Ta, Nb,<br>W, Fe, In, Ga,<br>Ge, Sc и др.  | Сингония тетрагональная.<br>$a_0 = 4,737$<br>$c_0 = 3,185$<br>$a : c = 1 : 0,672$<br>3,36 (8); 2,64 (7)<br>1,762 (10);<br>1,412 (5)  | $\lambda$<br>472<br>527<br>579<br>670  | $R_0$<br>11<br>10,9<br>10,8<br>10,3   | $R_e$<br>12,1<br>11,8<br>11,5<br>11,0 |
|       |   |   |  | (измерено<br>А. Д. Ракчевым)   |                                       |                                       |
| 294   | Старингит<br>(Fe, Mn) <sub>0,5</sub><br>(Sn, Ti) <sub>4,5</sub><br>(Ta, Nb) <sub>1,0</sub> O <sub>12</sub><br>(Burke, e. a.,<br>1969) | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 21,5<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1,8<br>SnO <sub>2</sub> 73,3<br>TiO <sub>2</sub> 0,03<br>FeO 3,7<br>MnO 0,3<br>(данные микрозондирования) | Сингония тетрагональная.<br>$a_0 = 4,742$<br>$c_0 = 9,535$<br>$a : c_0 = 1 : 2,017$<br>3,36 (10)<br>2,644 (8)<br>1,762 (9)<br>1,677 (4)<br>1,499 (4)   | $\lambda$<br>470<br>546<br>589<br>650  | $R_0$<br>12,8<br>12,1<br>12,0<br>11,8 | $R_e$<br>14,5<br>13,9<br>13,7<br>13,6 |
| 295   | Сукулаит<br>(Ta, Nb) <sub>2</sub> Sn <sub>2</sub> O <sub>7</sub><br>(Vorma, Siivola,<br>1967)   | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 47<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 8<br>SnO <sub>2</sub> 40<br>FeO 17<br>MnO 2<br>TiO <sub>2</sub> 1<br>(данные микрозондирования)             | Сингония кубическая.<br>$a_0 = 10,57$<br>3,046<br>2,64<br>1,806<br>(сильная)<br>1,589<br>(сильная)<br>1,524<br>(средняя)   | Выше, чем у касситерита ~13<br>3,4 (в иммерсии)  |                                       |                                       |
| 296   | Торолит<br>Sn(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>   | Теор. состав:<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 74,9<br>SnO <sub>2</sub> 25,1<br>Примеси:<br>P, Bi, V, B,<br>As, Cu, Zr,<br>Zr, Mo, Be,<br>Ga, Ni, Tl,<br>Mg                    | Сингония моноклинная<br>$\alpha_0 = 17,11$<br>$b_0 = 4,85$<br>$c_0 = 5,56$<br>$a_0 : b_0 : c_0 = 3,528 : 1 :$<br>1,146<br>2,85 (10)<br>2,63 (5)<br>1,68 (4)<br>1,422 (4,5)<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) | Для образца из пегматитового месторождения 19,5%<br>(Минералогия редких элементов, т. 2, 1964) |                                       |                                       |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость $\frac{H, \text{кгс/мм}^2}{K_{H_1}; K_{H_2}}$ .<br>Нагрузка P, гс  | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Анизотропен (серый до темно-серого). Двуотражение слабое — от серого до коричневатого-серого                     | 6—7<br>731—1528<br>—; 1,06<br>$P = 150—200$<br>(изменяется в зависимости от содержания примесей Ta и Nb и генетических типов месторождений) | Реактивы не действуют   | Образует включения в сфалерите, галените, арсенопирите; содержит включения колумбита — танталита, рутила, танталита, воджинита, сукулаита, старингита, вольфрамиты, магнетита, гематита, ильменита, рутила. Образует графические сростания с галенитом, буланжеритом, франкеитом |
| Анизотропия заметная (цветные эффекты в различных серых тонах). Двуотражение среднее от светлого до темно-серого | 1033—1187<br>$P = 100$<br>(Burke e. a., 1969)   | Отличается от касситерита только рентгенограммой  | Включения в тапиолите, на контакте тапиолита и воджинита, заключенных в касситерите  |
| Иотропный, маскируется внутренними рефлексами. Двуотражения нет  | Выше, чем у касситерита и воджинита   | —   | Включения в воджините, танталовом касситерите и тапиолите, замещает воджинит   |
| Анизотропен. Обладает двуотражением  | 5 <sup>1/2</sup> —6   | От HF через 20—30 мин. после травления выявляет двойниковую структуру и трещины спайности | —  |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства | Оптические свойства            |  |
|-------|-------------------|--|------------------------------|--------------------------------|--|
|       |                   |  |                              | Отражательная способность R, % |  |

## Минералы

|     |  |   |  |  |  |
|-----|--|---|--|--|--|
| 297 | Тунгستنит<br>WS <sub>3</sub>           | Теор. состав:<br>W 74,16<br>S 25,84   | Сингония гексагональная.<br>$a_0 = 3,157$<br>$c_0 = 12,384$<br>$a_0:c_0 = 1:3,922$<br>$Z = 2$<br>3,098 (9)<br>2,058 (10)<br>1,358 (7)<br>1,252 (8)<br>1,103 (9)<br>1,030 (8)<br>0,9721 (8)<br>(по Римской-Корсаковой и Троянову; Минералы, т. I, 1960) | Желт. 24<br>(Юшко, 1971)<br>При $\lambda$ 589<br>R 50<br>(Graeser, 1964)   |  |
| 298 | Ферберит<br>FeWO <sub>4</sub>          | Теор. состав:<br>FeO 23,65<br>WO <sub>3</sub> 76,35<br>Примеси:<br>Nb, Ta, Sc,<br>In, Ti, V,<br>Mo, группа TR | Сингония моноклинная<br>$a_0 = 4,74 - 4,77$<br>$b_0 = 5,71 - 5,73$<br>$c_0 = 4,96 - 4,97$<br>2,933 (10)<br>2,188 (8)<br>1,765 (8)<br>1,711 (10)<br>1,507 (8)<br>1,371 (7)  | $\lambda$   R'g   R'p<br>450   18,5—17,4—<br>17,4   16,1<br>486   18,4—17,2—<br>17,5   16,2<br>546   18,9—17,2—<br>18,1   16,5<br>590   18,5—17,1—<br>18,1   16,5<br>656   18,6—17,0—<br>18,1   16,4 |  |
| 299 | Вольфрамит<br>(Fe, Mn) WO <sub>4</sub> | Теор. состав.<br>FeO 1,0—22,0<br>MnO 23,0—2,0<br>Примеси: Ta, Nb,<br>Sc, In, Ti, V, Mo,<br>группа TR          | Сингония моноклинная<br>$a_0 = 4,77 - 4,81$<br>$b_0 = 5,72 - 5,75$<br>$c_0 = 4,97 - 4,99$<br>2,917 (10)<br>2,46 (8)<br>2,18 (8)<br>1,758 (6)<br>1,702 (8)<br>1,503 (6)   | $\lambda$   R'g   R'p<br>450   18,9—17,7—<br>17,0   15,4<br>486   18,5—17,4—<br>16,6   15,0<br>546   18,6—17,4—<br>16,6   14,9<br>590   18,2—17,3—<br>16,5   14,5<br>656   17,9—16,7—<br>16,2   14,3 |  |

| в отражательном свете                |                                    | Твердость по Моссу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup><br>$KH_1; KH_2$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|------------------------|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы |   |  |                        |

## вольфрама

|   |  |  |   |  |
|---|--|--|---|--|
| Анизотропия очень сильная. Двуотражение сильное   | Белый  | 2 $\frac{1}{2}$<br>14,6—15,6<br>(Graeser, 1964)  | Очень похож на молибденит; отличается по травлению FeCl <sub>3</sub> и дебаеграмме. От FeCl <sub>3</sub> коричневая побежалость различной интенсивности; от HgCl <sub>2</sub> слабый налет (иногда) | Ассоциирует: галенит, сфалерит, тетраэдрит, вольфрамит, шеелит, рутил, висмут, висутинит, саффорит, скуттерудит  |
| Анизотропен. Зеленовато-желтые до темно-серых цветные эффекты. Двуотражение не наблюдается                          | Серовато-белый   | 5—5 $\frac{1}{2}$<br>300—496<br>—; 1,15<br>P = 50<br>(Максимюк, 1971)<br>387—418<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)   | Не реагирует с кислотами  | Ассоциирует: шеелит, касситерит, сфалерит, стибнит, гетит, халькопирит, арсенипирит и др.  |
| Анизотропен. Цветные эффекты желтые до темно-серых. Двуотражение слабое; по границам зерен и двойников — отчетливое | Серый, серовато-белый. Темно-коричневато-красные внутренние рефлексы | 5—5 $\frac{1}{2}$<br>232—626<br>—; 1,15<br>P = 50<br>(Максимюк, 1971)<br>258—657<br>(Beugnies, 1967,<br>Bowie,<br>Taylor,<br>1958;<br>Uytenbogaardt, Burke,<br>1971; Young,<br>Millman,<br>1964) | Не реагирует с кислотами  | Ассоциирует с халькопиритом, арсенипиритом, молибденитом, висутином, колумбитом, касситеритом, шеелитом, другими W-минералами, танталитом, сфалеритом, станныном и др. |

| № п/п                        | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |      |       |
|------------------------------|--|--|---|--------------------------------|------|-------|
|                              |  |  |   | Отражательная способность R, % |      |       |
| 300                          | Гюбнерит<br>MnWO <sub>4</sub>  | Теор. состав:<br>MnO 23,42<br>WO <sub>3</sub> 76,58<br>Примеси: Nb, Ta,<br>Sc, In, Ti, V, Mo,<br>группа TR | Сингония моноклинная<br>a <sub>0</sub> = 4,81—4,83<br>b <sub>0</sub> = 5,75—5,76<br>c <sub>0</sub> = 4,99<br>2,989 (10)<br>2,497 (7)<br>1,783 (8)<br>1,721 (7)<br>1,441 (7)<br>1,378 (7)                          | λ                              | R'g  | R'p   |
|                              |  |  |   | 450                            | 17,9 | 17,3  |
|                              |  |  |   | 486                            | 17,6 | 16,9  |
|                              |  |  |   | 546                            | 17,2 | 16,5  |
|                              |  |  |   | 590                            | 16,8 | 16,2  |
| 301                          | Шеелит<br>CaWO <sub>4</sub>  | Теор. состав:<br>CaO 19,47<br>WO <sub>3</sub> 80,53  | Сингония тетрагональная.<br>a <sub>0</sub> = 5,246<br>b <sub>0</sub> = 11,349<br>a <sub>0</sub> : c <sub>0</sub> = 1 : 2,165<br>(Система минералогии, 1954)   | λ                              | R'o  | R'e   |
|                              |  |  |   | 470                            | 10,2 | 10,5  |
|                              |  |  |   | 546                            | 10,0 | 10,3  |
|                              |  |  |   | 589                            | 9,9  | 10,1  |
|                              |  |  |   | 650                            | 9,85 | 10,05 |
| (Uytenbogaardt, Burke, 1971) |  |  |   |                                |      |       |
| 302                          | Санмартинит<br>(Zn, Fe, Ca) WO <sub>4</sub><br>(Angelelli, Gordon, 1948) | Теор. состав:<br>ZnO 25,98<br>WO <sub>3</sub> 74,02  | Сингония моноклинная.<br>a <sub>0</sub> = 4,712<br>b <sub>0</sub> = 5,738<br>c <sub>0</sub> = 4,958<br>a <sub>0</sub> : b <sub>0</sub> : c <sub>0</sub> =<br>= 0,8212 : 1 : 0,8641<br>(Система минералогии, 1950) | —                              |      |       |

## Минералы тантала

| № п/п  | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства            |           |     |
|--|---|---|---|--------------------------------|-----------|-----|
|  |   |   |   | Отражательная способность R, % |           |     |
| 303  | Ильменорутил<br>{Ti [(Nb, Ta) ×<br>×Fe <sup>2+</sup> ]}O <sub>2</sub><br>(крайний Ti-<br>член изоморф-<br>ного ряда<br>ильменорутил —<br>стриверит) | Ильменорутил<br>с максимальным<br>содержанием Ti:<br>TiO <sub>2</sub> = 88,37<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 3,59<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2,85<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,36<br>(по Буровой и Чух-<br>рову; Минералы,<br>т. II., вып. II,<br>1965)<br>Примеси: Mn, Sn,<br>V, Cr, Sc | Сингония тетрагональная.<br>a <sub>0</sub> = 4,56—4,64<br>c <sub>0</sub> = 2,95—2,99<br>(Минералы, т. II,<br>вып. II, 1965)<br>3,27 (100)<br>2,509 (25)<br>1,698 (25)<br>(для образца из пег-<br>матитов Сибири:<br>TiO <sub>2</sub> 70,99 %<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 10,18<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 10,05) | λ                              | R'g       | R'p |
|  |   |   |   | 435                            | 24,6—25,3 |     |
|  |   |   |   | 460                            | 23,1—23,8 |     |
|  |   |   |   | 530                            | 21,2—21,7 |     |
|  |   |   |   | 580                            | 20,6—21,1 |     |
|  |   |   |   | 660                            | 20,2—21,1 |     |
|  |   |   |   | 435                            | 21,6—22,8 |     |
|  |   |   |   | 460                            | 20,6—21,4 |     |
|  |   |   |   | 530                            | 18,9—19,5 |     |
|  |   |   |   | 580                            | 18,5—19,0 |     |
| 660  | 18,0—18,7   |   |   |                                |           |     |
| (для образцов с содержанием TiO <sub>2</sub> от 48,87 до 72,90 вес. %) |   |   |   |                                |           |     |

| в отражательном свете   | Твердость по Моосу. Микротвердость Н, кгс/мм <sup>2</sup> . КН <sub>1</sub> ; КН <sub>2</sub> . Нагрузка Р, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |   |
|---|--|--|--|---|
|   |  |  |  | Оптическая анизотропия, двуотражение  |
| Анизотропен<br>Двуотражение<br>заметное                       | Серый. Темно-красно-красные внутренние рефлексы  | 5—5½<br>260—412<br>—; 1,15<br>P = 50<br>(Максимюк, 1971)                                 | Не реагирует с кислотами<br><br>Ассоциирует с пиритом, сфалеритом, касситеритом, молибденитом, стибнитом, различными сульфидами и другими минералами |   |
| Анизотропия<br>не ясна,<br>маскируется внутренними рефлексами | Серый. Желтоватые, бесцветно-прозрачные внутренние рефлексы  | 5<br>392—412<br>—; —;<br>P = 50<br>285—464<br>(Uytenbogaardt, Burke, 1971)               | Не реагирует с кислотами<br><br>Вольфрамит, молибденит, арсенопирит, халькопирит, пирит, касситерит, магнетит, висмутин, золото и др.                |   |
| —   | —  | —  | —<br><br>Продукт изменения шеелита. Парагенезис с виллемитом   |   |
| и ниобия  | Анизотропия<br>сильная; двуотражение слабое  | Цвет серый; внутренние рефлексы от темно-коричневых, грязно-зеленых до темно-бурокрасных | 6—6 1/2<br>800—1100<br>1,05; 1,22<br>P = 100—150<br>(Н понижается с уменьшением TiO <sub>2</sub> )   | Характерны двойники. Стандартными реактивами не травится<br><br>Ассоциирует с колумбитом, турмалином, реже касситеритом, бавенитом, ильменитом, сфеном, перовскитом и др. |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |           |
|-------|---|---|---|--|-----------|
|       |   |   |   | Отражательная способность R, %   |           |
| 304   | Стрюверит<br>([Ta, Nb]<br>Fe <sup>2+</sup> ] Ti) O <sub>2</sub><br>(крайний<br>[Ta, Nb] Fe]-<br>член<br>изоморфного<br>ряда ильменору-<br>тил — стрю-<br>верит) | Стрюверит с минималь-<br>ным содержанием Ti<br>и максимальным<br>содержанием суммы<br>Ta, Nb и Fe <sup>2+</sup> :<br>TiO <sub>2</sub> = 31,13<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 47,04<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 5,46<br>FeO = 12,62<br>Примеси:<br>Mn, Sn<br><br>(Лебедева, 1968)   | Сингония тетраго-<br>нальная.<br>a <sub>0</sub> = 4,62 — 4,64<br>c <sub>0</sub> = 2,97 — 3,00<br>a <sub>0</sub> : c <sub>0</sub> = 1:0,647<br>(Минералы, т. II,<br>вып. II, 1965)<br>3,31 (100)<br>2,528 (23)<br>2,224 (26)<br><br>1,706 (20)<br>(для образца из пег-<br>матитов Калбинского<br>хребта:<br>TiO <sub>2</sub> = 33,04%<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 39,12) | λ  | R'g       |
|       |   |   |   | 435  | 18,2—21,5 |
|       |   |   |   | 460  | 18,0—21,0 |
|       |   |   |   | 530  | 17,0—19,8 |
|       |   |   |   | 580  | 16,5—19,7 |
|       |   |   |   | 660  | 16,4—19,7 |
|       |   |   |   | λ  | R'p       |
|       |   |   |   | 435  | 16,8—20,7 |
|       |   |   |   | 460  | 16,5—19,6 |
|       |   |   |   | 530  | 15,8—18,0 |
|       |   |   |   | 580  | 15,6—17,6 |
|       |   |   |   | 660  | 15,5—17,2 |
|       |   |   |   | (для образцов с со-<br>держанием TiO <sub>2</sub><br>от 33,04 до 48,87%)                         |           |
| 305   | Пирохлор<br>(Na, Ca, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub><br>(O, F, OH)<br>(крайний<br>Nb-член изо-<br>морфного ряда<br>пирохлор —<br>микролит)                      | Общая формула<br>A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> X,<br>где A — Ca, Na, U,<br>TR, Th;<br>B — Nb, Ta, Ti;<br>X — O, F, OH<br>Примеси: Zr, Ba,<br>Pb, Ti и др.<br>Часто присутствует<br>H <sub>2</sub> O и отмечается<br>дефицит катионов<br>группы A<br>Разновидности:<br>уранпирохлор,<br>обручевит, маринь-<br>якит, пандаит,<br>Sr-пирохлор,<br>Pb-пирохлор | Сингония кубическая<br>a <sub>0</sub> = 10,40—10,59<br>Z = 8<br>(Van der Veen,<br>1963); a <sub>0</sub> находится<br>в линейной зависимо-<br>сти от содержания<br>Ti (Сидоренко, 1966)  | 11,2—17,9  |           |
|       |   |   |   | колеблется в зависи-<br>мости от состава и<br>степени метамиктно-<br>сти (Van der Veen,<br>1963) |           |
|       |   |   |   | λ  | R         |
|       |   |   |   | 435  | 12,4      |
|       |   |   |   | 460  | 11,5      |
|       |   |   |   | 530  | 10,4      |
|       |   |   |   | 580  | 10,3      |
|       |   |   |   | 660  | 10,1      |
|       |   |   |   | (для кристалличе-<br>ского образца)  |           |
|       |   |   |   | λ  | R         |
|       |   |   |   | 435  | 10,0      |
|       |   |   |   | 460  | 9,9       |
|       |   |   |   | 530  | 9,7       |
|       |   |   |   | 580  | 9,6       |
|       |   |   |   | 660  | 9,6       |
|       |   |   |   | (для пандаита с BaO=<br>=7,89%; Урал)  |           |

| в отражательном свете  |   | Твердость по Моосу.<br>Микротвер-<br>дость<br>H, кгс/мм <sup>2</sup><br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub><br>Нагрузка P,<br>гс                             | Отличительные<br>особенности.<br>Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--|---|--|--|--|
| Оптическая анизотро-<br>пия, двуотражение  | Цвет, оттенок.<br>Внутренние<br>рефлексы  |  |  |  |
| <b>Анизотропия<br/>сильная с цветным<br/>эффектом: яркие<br/>коричнево-розовые<br/>тона; двуотражение<br/>заметное</b> | Цвет<br>светло-серый<br>с розовато-<br>коричневым<br>оттенком.<br>Внутренних<br>рефлексов<br>нет              | 5 1/2—6 1/2  | От ильменору-<br>тила отличается<br>яркими корич-<br>нево-розовыми<br>эффектами<br>анизотропии и<br>отсутствием<br>внутренних<br>рефлексов   | Ассоциирует в гра-<br>нитных пегматитах<br>с колумбитом, танта-<br>литом, касситеритом;<br>в других образова-<br>ниях — с касситери-<br>том, вольфрамитом,<br>циртолитом, торитом<br>и др.   |
|  |   | 700—1035   |  |  |
|  |   | 1,05; 1,22   | Одноосная<br>оптически поло-<br>жительная<br>схема абсорб-<br>ции. Стандарт-<br>ными реакти-<br>вами не тра-<br>вится  | В отраженном<br>свете по срав-<br>нению<br>с магнетитом —<br>слегка кремо-<br>вый. Минера-<br>графическое<br>определение<br>не может быть<br>диагностиче-<br>ским; от HF —<br>травится мно-<br>венно; при трав-<br>лении смесью<br>NH <sub>4</sub> F + HCl<br>выявляется<br>структура<br>(по Барсанову,<br>Минералы,<br>т. II, вып. III,<br>1967).<br>Показатель<br>преломления<br>N ~ 2,0—2,2 |
|  |   | P = 100—150<br>(H повы-<br>шается<br>в связи<br>с увеличени-<br>ем TiO <sub>2</sub> )  |  |  |
| <b>Изотропен</b>   | Цвет серый.<br>Внутренние<br>рефлексы<br>от бесцветных<br>до желтых,<br>коричневых и<br>оранжево-крас-<br>ных | 5—5 1/2  | В отраженном<br>свете по срав-<br>нению<br>с магнетитом —<br>слегка кремо-<br>вый. Минера-<br>графическое<br>определение<br>не может быть<br>диагностиче-<br>ским; от HF —<br>травится мно-<br>венно; при трав-<br>лении смесью<br>NH <sub>4</sub> F + HCl<br>выявляется<br>структура<br>(по Барсанову,<br>Минералы,<br>т. II, вып. III,<br>1967).<br>Показатель<br>преломления<br>N ~ 2,0—2,2 | В карбонатитах ас-<br>социирует с бадделеи-<br>том, циркелитом, апа-<br>титом, магнетитом и др.<br><br>При вторичных про-<br>цессах образуется по<br>лопариту, колумбиту,<br>самарскиту, ильмени-<br>ту, ильменорутилу; за-<br>мещается ферсмитом,<br>колумбитом и др.   |
|  |   | 593—683<br>(кристалли-<br>ческие<br>пирохлоры)<br>526—635<br>(полумета-<br>миктные)<br>217—577<br>(сильно<br>метамикт-<br>ные разно-<br>сти)<br>P = 70—100 |  |  |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства   |  |
|-------|--|---|---|---|--|
|       |  |   |   | Отражательная способность R, %  |  |
| 306   | Микролит<br>(Ca, Na) <sub>2</sub><br>Ta <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, F)<br>(крайний Та-член изоморфного ряда пироклор — микролит) | Общая формула: A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> X, где A — Ca, Na, U, TR; B — Ta, Nb, Ti; X — O, F<br>Теор. состав по формуле: NaCaTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub> F<br>Na <sub>2</sub> O — 5,74<br>CaO — 10,38<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> — 81,84<br>F — 3,52<br>Разновидности: уранмикролит, пломбомикролит, рейкебурит | Сингония кубическая. a <sub>0</sub> = 10,36—10,51 (Van der Veen, 1963); a <sub>0</sub> находится в линейной зависимости от содержания Ti (Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>2,98 (10)<br>1,836 (9)<br>1,563 (9)<br>(Михеев, 1957) | 11,0—18,4 колеблется в зависимости от состава и степени метамиктности (Van der Veen, 1963)  |  |
| 307   | Бетафит<br>(Ca, U, TR) <sub>2</sub><br>(Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub><br>O <sub>6</sub> (O, F) · nH <sub>2</sub> O                        | Общая формула: A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> X, где A — Ca, U, TR; B — Ti, Nb, Ta; X — O, F<br>обычно присутствует H <sub>2</sub> O; TiO <sub>2</sub> в анализах колеблется в пределах от 12 до 20%.<br>Разновидности: итробетафит, титанбетафит   | Метамиктный (кристаллические разности в природе не встречены; после прокаливания — кубическая сингония: a <sub>0</sub> = 10,27—10,37 (по Сидоренко и Горжевской; Минералы, т. II, вып. III, 1967)                                   | 13,0 (для вишневогорского бетафита, по Чеснокову; [Минералы, т. II, вып. III, 1967)   |  |
| 308   | Тапиолит<br>Fe (Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>  | Теор. состав для FeTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub> : FeO 13,99<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 86,01<br>По химическим анализам: FeO от 10,69 до 16,62;<br>Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> от 62,5 до 83,00;<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> от 1,37 до 21,2<br>Примеси: Mn, Ti, Sn  | Сингония тетрагональная. a <sub>0</sub> 4,75<br>c <sub>0</sub> 9,2<br>3,35 (100)<br>2,58 (90)<br>1,75 (90)<br>(для образца из Скогбеле, по ASTM; Минералы, т. II, вып. III, 1967)   | R <sub>g</sub> = 17,5—18,9<br>R <sub>p</sub> = 15,0—16,9<br>(для образцов из разных месторождений; Минералы, т. II, вып. III, 1967) |  |
| 309   | Фергусонит<br>Y (Nb, Ta) O <sub>4</sub><br>Nb > Ta   | Теор. состав для YNbO <sub>4</sub><br>Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45,95<br>Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 54,05   | α-фергусонит: сингония тетрагональная. a <sub>0</sub> = 5,15—5,18<br>c <sub>0</sub> = 10,77—10,96<br>β-фергусонит: сингония моноклинная.  | Метамиктный образец:<br>R<br>син. 23,2<br>зелен. 18,4<br>желт. 14,2<br>оранж. 14,3  |  |

| в отраженном свете   | Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                                       | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub><br>Нагрузка P, гс                               | Отличительные способности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|--------------------------------------|--|---|---|--|
|  |                                      |  |   |   |  |
| Изотропен  |                                      | Серый. Внутренние рефлексы от бесцветных до желтых, бурых, зеленых       | 5—6<br>Изменяется в зависимости от степени метамиктности: 542—845 (кристаллические и полуметамиктные); 312—563 (сильно метамиктные)<br>P = 70—100 | Показатель преломления N = 2,00—2,11 (Минералы, т. II, вып. III, 1967)  | Ассоциирует с Li-минералами, а также с минералами тантала: торолитом, стибитотанталитом, симпсонитом, тапиолитом и др. |
| Изотропен  |                                      | Серый с буроватым оттенком   | 4—5<br>313—676<br>P = 100<br>(Van der Veen, 1963)   | Показатель преломления N — от 2, 10 до 1,89 и ниже (Минералы, т. II, вып. III, 1967)  | Ассоциирует с эвксенитом, малаконом, ортитом, цирконом, магнетитом и др.   |
| Анизотропия сильная с цветными эффектами: от красновато-бурых до коричневатых и зеленовато-синих; двуотражение сильное |                                      | Серо-белый со слабым голубоватым и сиреневатым оттенком                  | 6—6 1/2<br>796—824<br>(для образца из месторождения Ена, Кольский п-ов);<br>P = 100—200   | От колумбита и танталита отличается наличием двойников; от рутила цветным эффектом анизотропии. Одноосный, отрицательный N <sub>e</sub> = 2,42—2,53; N <sub>o</sub> = 2,27—2,33 | Относительно редок. Встречается в ассоциации с колумбитом, танталитом, бериллом, турмалином и др.                      |
| Кристаллические образцы анизотропны  |                                      | От светло-серого до кремово-серого; внутренние рефлексы светлс-буроватые | 5 1/2—7<br>683—897<br>P = 100—200   | Одноосный, отрицательный N = 2,00—2,19 (в образцах из различных месторождений)  | Распространен в гранитных пегматитах, где встречается в ассоциации с гадолинитом, ортитом, монацитом, ксенотимом и др. |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства  |  | в отраженном свете   |   | Твердость по Моосу. Микро-твердость $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> . $K_{H_1}$ ; $K_{H_2}$ . Нагрузка $P$ , гс                                    | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация  |
|-------|---|--|---|--|--|--|---|--|--|---|
|       |   |  |   | Отражательная способность $R$ , %  |  | Оптическая анизотропия, двуотражение                           | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |  |  |   |
| 310   | Форманит<br>$Y(Ta, Nb)_2O_4$<br>$Ta > Nb$   | Теор. состав для<br>$YTaO_4$<br>$Y_2O_3$ 33,83<br>$Ta_2O_5$ 66,17  | $a_0=5,13$<br>$b_0=10,91$<br>$c_0=5,21$<br>$\beta=91^\circ 50'$<br>(для кристаллических образцов)<br>3,03 (10); 1,876 (9);<br>1,822 (6); 1,627 (8);<br>1,563 (9)<br>(кристаллический образец со Среднего Урала, сингония тетрагональная)<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967) | красн. 13,7<br>(по Грэю и Миллману;<br>Минералы, т. II, вып. III, 1967)  |  | Изотропен<br>(метамиктный)                                     | Серый.<br>Внутренние рефлексы слабые желтоватые   | 6<br>772—870<br>(Young, Millman, 1964)<br>$P=100$  | HF — травится мгновенно.<br>$N=2,15$<br>(для метамиктных образцов)   | Очень редок. Встречен в пегматитах Сибири в ассоциации с монацитом, гадолинитом и др.   |
| 311   | Колумбит<br>(Fe, Mn)<br>$(Nb, Ta)_2O_6$<br>(крайний Nb-член изоморфного ряда колумбит-танталит) | Типовая формула $AB_2X_6$ ; $Nb > Ta$<br>Примеси: Mg, Ti, Sn, TR, U, W<br>Теор. состав: для $FeNb_2O_6$<br>FeO 21,28<br>$Nb_2O_5$ 78,72;<br>для $MnNb_2O_6$<br>MnO 21,07<br>$Nb_2O_5$ 78,93<br>Разновидности: танталоколумбит $Ta_2O_5$ 20—40% ферроколумбит FeO:MnO > 3:1 | Сингония ромбическая.<br>$a_0=5,65-5,78$<br>$b_0=14,15-14,47$<br>$c_0=5,02-5,12$<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967).<br>3,66 (7)<br>2,968 (10)<br>1,735 (7)<br>1,712 (8)<br>1,457 (9)<br>(для образца из пегматитов Калбинского хребта)                                     | $R'_g=14,0-23,9$<br>$R'_p=12,85-19,55$<br>(зависят от соотношений Fe и Mn; Минералы, т. II, вып. III, 1967).<br>$\lambda$   $R'_g$   $R'_p$<br>435   17,6   15,8<br>460   17,3   15,6<br>530   16,9   15,2<br>580   16,6   15,0<br>660   16,4   14,9 |  | Анизотропия слабая; угасание прямое, двуотражение очень слабое | Серо-белый с буроватым оттенком; по сравнению с касситеритом — зеленоватый оттенок. Внутренние рефлексы в чистых колумбитах редки, в содержащих Mn — красновато-бурые | $4\frac{1}{2}-6$<br>240—900<br>1,5; 1,4<br>( $H$ повышается с увеличением Ta)<br>$P=100-150$<br>Колумбит 240—600;<br>танталоколумбит 420—900 | От вольфрамита колумбит отличается прямым угасанием; от танталита и тапиолита — более низкой микротвердостью. В проходящем свете непрозрачный (Mn-члены полупрозрачны) | Встречается в различных ассоциациях: в гранитах с магнетитом, ильменитом, гранатом, касситеритом, цирконом, ксенотимом и др.; в гранитных пегматитах — с касситеритом, стрюверитом, танталитом, бериллом, поллуцитом, а также с ильменорутилом, самарскитом и др. |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
|-------|---|---|--|--|---|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|---|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|--|--|
|       |   |   |  | Отражательная способность R, %   |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 312   | Танталит (Fe, Mn) (Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (крайний Та-член изоморфного ряда колумбит — танталит) | манганоколумбит MnO:FeO > 3:1; магнезиоколумбит FeO < MgO > MnO<br><br>Типовая формула AB <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Ta > Nb<br>Примеси: Mg, Ti, Sn, TR, U, W.<br>Теор. состав: для FeTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub> FeO 13,99; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 86,01; для MnTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub> MnO 13,83; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 86,17.<br>Разновидности: ниоботанталит 20—40% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; ферротанталит FeO:MnO > 3:1; манганотанталит MnO:FeO > 3:1 | Сингония ромбическая.<br>a <sub>0</sub> = 5,72—5,78<br>b <sub>0</sub> = 14,238—14,76<br>c <sub>0</sub> = 5,082—5,14<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>3,64 (7)<br>2,97 (10)<br>1,74 (7)<br>1,72 (9)<br>1,458 (9)<br>(Михеев, 1957) | (для образца из пегматитов Калбинского хребта)<br><br>Танталиты:<br>R'g = 16,45—19,00;<br>Rp = 14,60—16,85<br>Манганотанталиты:<br>R'g = 14,00 = 20,10;<br>Rp = 12,70—16,85<br>(по Рябевой; Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>Данные авторов:<br><table border="1"> <thead> <tr> <th>λ</th> <th>R'g</th> <th>R'p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>435</td><td>17,9</td><td>16,1</td></tr> <tr><td>460</td><td>17,3</td><td>15,6</td></tr> <tr><td>530</td><td>16,1</td><td>14,6</td></tr> <tr><td>580</td><td>16,0</td><td>14,3</td></tr> <tr><td>660</td><td>16,0</td><td>14,4</td></tr> </tbody> </table><br>(для танталита из Калбинского хребта, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 66,45; MnO 11,33; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 12,84; FeO 6,99)<br><table border="1"> <thead> <tr> <th>λ</th> <th>R'g</th> <th>R'p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>435</td><td>15,9</td><td>15,1</td></tr> <tr><td>460</td><td>15,6</td><td>14,8</td></tr> <tr><td>530</td><td>15,1</td><td>14,1</td></tr> <tr><td>580</td><td>14,7</td><td>13,9</td></tr> <tr><td>660</td><td>14,5</td><td>13,6</td></tr> </tbody> </table><br>(для Mn-танталита из Калбинского хребта, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 72,86, Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 11,37, MnO 14,18, FeO 1,70) | λ | R'g | R'p | 435 | 17,9 | 16,1 | 460 | 17,3 | 15,6 | 530 | 16,1 | 14,6 | 580 | 16,0 | 14,3 | 660 | 16,0 | 14,4 | λ | R'g | R'p | 435 | 15,9 | 15,1 | 460 | 15,6 | 14,8 | 530 | 15,1 | 14,1 | 580 | 14,7 | 13,9 | 660 | 14,5 | 13,6 |  |  |
| λ     | R'g   | R'p   |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 435   | 17,9  | 16,1  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 460   | 17,3  | 15,6  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 530   | 16,1  | 14,6  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 580   | 16,0  | 14,3  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 660   | 16,0  | 14,4  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| λ     | R'g   | R'p   |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 435   | 15,9  | 15,1  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 460   | 15,6  | 14,8  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 530   | 15,1  | 14,1  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 580   | 14,7  | 13,9  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 660   | 14,5  | 13,6  |  |  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |
| 313   | Иксолит (Fe, Mn, Ta, Nb, Sn) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>  | Типовая формула A <sub>4</sub> O <sub>8</sub><br>Состав сильно колеблется: Ta > Nb, высокое содержание Sn.<br>Примеси: Ca, W, Zr  | Ромбический.<br>a <sub>0</sub> = 5,70—5,738<br>b <sub>0</sub> = 4,742—4,76<br>c <sub>0</sub> = 5,1—5,163<br>(Хвостова, Максимова, 1963; Nickel e. a., 1963)  | Rg = 14,0<br>Rp = 13,3<br>(вычислен для белого света)  |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |   |     |     |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |     |      |      |  |  |

| в отраженном свете   | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> .<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|---|---|--|
|  |   |   |  |
| Анизотропия ясная; в иммерсии отчетливая; угасание прямое. Двуотражение слабое. Цвет — серо-белый с коричневым оттенком. Внутренние рефлексы красно-бурые до красных (в Mn-танталитах) | 635—1070<br>1,5; 1,4<br>P = 150—200<br>H уменьшается с увеличением Nb: танталит 700—1070; ниоботанталит 635—930       | до прозрачных); от HF — травится<br><br>От вольфрамита отличается прямым угасанием; от колумбита — большей микро-твердостью и наличием внутренних рефлексов; от магнетита — анизотропностью и большей микро-твердостью. Показатель преломления для красного света ~ 2,30<br>От HF травится с трудом (не всегда) | Ассоциации те же, что и у колумбита  |
| Анизотропен  | 6—6 1/2<br>860—947<br>P = 100—200   | Наблюдаются полисинтетические двойники. Диагностируется, главным образом, по дифрактограмме.  | Редок; встречается в гранитных пегматитах в тесной ассоциации с танталитом и уоджинитом, а также с касситеритом, тапислитом, стрюверитом и др. |

| № п/п | Название минерала   | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства  |  |
|-------|---|---|--|--|--|
|       |   |   |  | Отражательная способность R, %   |  |
| 314   | Уоджинит<br>Mn (Ta, Nb, Sn, Fe) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                       | Типовая формула<br>A <sub>3</sub> O <sub>8</sub>  | Сингония<br>моноклинная.<br>a <sub>0</sub> =9,46—9,522<br>b <sub>0</sub> =11,423—11,468<br>c <sub>0</sub> =5,095—5,14<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>Образец прокален при 1000°<br>3,657 (85)<br>2,993 (100)<br>2,955 (90)<br>без прокаливании<br>2,994 (100)<br>2,968 (75)<br>(Первая находка воджинита в СССР, 1966)  | 20<br>(Первая находка воджинита в СССР, 1966)  |  |
| 315   | Самарскит<br>(Y, TR, U, Ca, Fe <sup>2+</sup> ),<br>(Nb, Ta, Fe <sup>3+</sup> , Ti) O <sub>4</sub> | Типовая формула<br>ABX <sub>4</sub><br>Состав сильно варьирует, Nb>Ta; примеси: Th, Mn, Sc, иногда Be, Mg, V и др.<br>Разновидности: хлопинит (~10% TiO <sub>2</sub> ); кальциосамарскит (до 7,5% CaO); ишикаваит (~20% UO <sub>2</sub> ) | Метамиктный; после прокаливания — моноклинный, псевдоромбический:<br>a <sub>0</sub> =4,82<br>b <sub>0</sub> =5,63<br>c <sub>0</sub> =5,15<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967).<br>После прокаливания:<br>2,97 (8)<br>2,89 (10)<br>1,43 (6)<br>(образец из Северной Каролины; Беляева, Попов, 1968).<br>2,99 (10)<br>2,82 (2)<br>1,45 (1)<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967) | λ   R<br>470   22,7<br>520   20,2<br>575   16,6<br>700   15,0<br>(Gray, Millman, 1962) |  |

| в отраженном свете | Твердость по Моосу. Микротвердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>K <sub>H1</sub> ; K <sub>H2</sub> .<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--------------------|--|--|--|
|                    |  |  |  |
| Слабо анизотропен  | 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —6<br>860—1080<br>P=100—200  | Показатель преломления 2,2. Кислоты почти не действуют<br>От колумбита-танталита отличим лишь по дебаеграмме, лучше — по дифрактограмме  | Ассоциирует с литиевыми слюдами, сподуменом, поллучитом, танталитом, иксиолитом, тапидитом, касситеритом и др.                             |
| Изотропен          | 5—6<br>794—897<br>P=100—200  | От колумбита, вольфрамита, ильменорутила отличается изотропностью. Показатель преломления 2,1—2,3 (по Ларсену); растворяется в горячих концентрированных кислотах. Электромагнитен. С помощью электронной оптики в уральских и североамериканских образцах установлена разрозненная глобулярная, реже дендритовая структура и микровключения колумбита | В гранитных пегматитах встречается преимущественно совместно с колумбитом, монацитом, фергусонитом, а также с колумбитом, эвксенитом и др. |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |  |
|-------|--|--|--|---|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, %  |  |
| 316   | Эвксенит<br>Y (Nb, Ti, Ta) <sub>2</sub> (O, OH) <sub>6</sub> | Типовая формула<br>AB <sub>2</sub> X <sub>6</sub><br>Примеси: U, Th, TR, Ca, Mg, Mn, Pb, Sc, Zr, Hf, Ge, B.<br>Разновидности: поликраз (повышенные содержания Ti) танталополикраз и тантэвксенит (повышенные содержания Ta)    | Сингония ромбическая. Минерал преимущественно метамиктный.<br>$a_0=5,52-5,71$<br>$b_0=14,55-14,76$<br>$c_0=5,16-5,21$<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>2,97 (10); 1,888 (7); 1,825 (8); 1,771 (7); 1,728 (8); 1,637 (8); 1,486 (9); 1,158 (7); 1,083 (7); 1,023 (7); 1,017 (8)<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967) | Син. 19,9<br>желт. 14,3<br>зелен. 18,9<br>оранж. 14,4<br>красн. 13,5<br>(Gray, Millman, 1962) |  |
| 317   | Эшинит<br>(Ce, Th) (Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>  | Типовая формула<br>AB <sub>2</sub> O <sub>6</sub><br>Состав непостоянен. Разновидности: ниобозинит (Nb > Ti); танталэшинит (~32% Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ); торозинит (29,5% ThO <sub>2</sub> ); титаноэшинит (Ti > Nb) | Сингония ромбическая. Минерал преимущественно метамиктный.<br>$a_0=5,16-5,405$<br>$b_0=10,95-11,145$<br>$c_0=7,36-7,581$<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>2,98 (10); 2,01 (6); 1,88 (6); 1,596 (9); 1,540 (8)<br>(после прокаливания до 1000°)<br>Минералы, т. II, вып. III, 1967)                                  | Син. 22,5<br>зелен. 19,3<br>желт. 14,5<br>оранж. и красн. 14,0<br>(Gray, Millman, 1962)       |  |
| 318   | Лопарит<br>(Na, Ce, Ca) (Ti, Nb)O <sub>3</sub>               | Типовая формула<br>ABO <sub>3</sub><br>Примеси TR, Sr, K, Th, Ba, Mn, Cr, Ni, V, Cu, U   | Псевдокубический, структура перовскитового типа.<br>$a_0=3,85-3,91$<br>(Минералы, т. II, вып. III, 1967)<br>2,749 (10); 1,936 (9)<br>1,583 (10); 1,373 (9)<br>1,226 (10)<br>(Михеев, 1957)   | $\lambda$   $R$<br>460   17,2<br>530   17,6<br>580   17,8<br>660   16,9                       |  |

| в отраженном свете                       |  | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> .<br>$K_{H_1}; K_{H_2}$<br>Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления  | Минеральная ассоциация   |
|--|--|--|---|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение     | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы                                     |  |   |  |
| Изотропный, участками анизотропный       | Серый, внутренние рефлексы желто-бурые                                 | 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub><br>658—764<br>P=100                     | Показатели преломления от 1,943 (Бельков, 1962) до 2,28 (Соколова, 1959). Растворим в HF + конц. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . В электронном микроскопе обнаруживается глобулярно-ветвистая структура с единичными крупными глобулами со скорлуповатым строением (по И. Д. Беляевой, ИМГРЭ) N 2,1—2,27 | Распространенный минерал гранитных пегматитов. Ассоциирует с ксенотимом, монацитом, фергусонитом, колумбитом, бетафитом и др.  |
| Изотропен. Кристаллический — анизотропен | Серый. Внутренние рефлексы слабые буровато-желтые и красноватые        | 5—6<br>593—734 (танталоэшинит 764)<br>P=100  | Хорошо растворим в фосфорной кислоте. Показатели преломления 2,1—2,27   | Ассоциирует с монацитом, биотитом, цирконом, магнетитом и др. Иттриевый эшинит — с цирконом, колумбитом, ильменитом, гранатом и др. Ниобиевый эшинит — с эгирином, магнетитом, кальцитом, ильменорутилом и др. |
| Изотропен                                | Светло-серый с кремовым оттенком. Внутренние рефлексы буровато-красные | 5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —6<br>734—893;<br>P=100—200  | От перовскита отличается облик кристаллов — звездчатые двойники, прорастания. N=2,26—2,38. Разлагается в HF   | Образование связано, главным образом, со щелочными породами, где ассоциирует с эгирином, арфведсонитом, эвдиалитом, сфеном, TR-апатитом и др.  |

| № п/п | Название минерала  | Химический состав, характерные элементы-примеси, % | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства            |  |
|-------|--|--|--|--------------------------------|--|
|       |  |  |  | Отражательная способность R, % |  |
| 319   | Ниоболопарит<br>(Na, Ce)<br>(Ti, Nb)<br>(O, OH) <sub>3</sub> | Типовая формула<br>$ABO_3$                         | Псевдокубический<br>$a_0=3,905$ ;<br>2,756 (10); 1,951 (6);<br>1,592 (6)<br>(Тихоненков,<br>Казакова, 1957;<br>Минералы, т. II,<br>вып. III, 1967) | —                              |  |

## Эталонные

| № п/п | Название минерала      | Химический состав, характерные элементы-примеси, %   | Кристаллохимические свойства  | Оптические свойства                          |      |
|-------|------------------------|--|---|--|------|
|       |                        |  |   | Отражательная способность R, %               |      |
| 320   | Пирит FeS <sub>2</sub> | Теор. состав:<br>Fe 46,55<br>S 53,45<br>Примеси: Co, Ni,<br>As, Sb, Cu, Au,<br>Ag и др.  | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,4176$<br>$Z=4$<br>(по Керу, Минералы,<br>т. I, 1960)<br>2,696 (8); 2,417 (8);<br>2,206 (7); 1,908 (6);<br>1,629 (10); 1,444 (6)<br>1,103 (5); 1,040 (9)<br>(по Ковалеву;<br>Минералы, т. I,<br>1960)   | $\lambda$                                    | R    |
|       |                        |  |   | 460  | 44,3 |
|       |                        |  |   | 540  | 53,8 |
|       |                        |  |   | 580  | 55,0 |
|       |                        |  |   | 660  | 55,9 |
|       |                        |  |   | 700  | 56,8 |
|       |                        |  | (Определение рудных<br>минералов..., 1973)  | При $\lambda$ 580<br>54,6<br>(Вяльсов, 1973) |      |
| 321   | Галенит PbS            | Теор. состав:<br>Pb 86,60<br>S 13,40<br>Примеси:<br>Ag (до 0,1, реже 1),<br>Zn, Cd, Sb, Bi, Cu,<br>Sn, In, Tl, Au,<br>Pt и др. | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,936$<br>(по Васерштайну,<br>Минералы, т. I,<br>1960)<br>$a_0$ может изменяться<br>в зависимости<br>от примесей Ag, Bi,<br>Se<br>3,442 (9); 2,965 (10);<br>2,093 (10); 1,780 (9);<br>1,707 (8); 1,324 (10);<br>1,209 (8); 1,141 (7)<br>(по Михееву;<br>Минералы, т. I,<br>1960) | $\lambda$                                    | R    |
|       |                        |  |   | 460  | 46,5 |
|       |                        |  |   | 540  | 43,2 |
|       |                        |  |   | 580  | 42,6 |
|       |                        |  |   | 660  | 42,7 |
|       |                        |  |   | 700  | 42,7 |
|       |                        |  | (Определение рудных<br>минералов..., 1973)  | При $\lambda$ 580<br>42,5<br>(Вяльсов, 1973) |      |

| в отраженном свете | Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы | Твердость по Моосу. Микро-твердость H, кгс/мм <sup>2</sup> . $KH_1$ ; $KH_2$ . Нагрузка P, гс | Отличительные особенности. Реакции травления | Минеральная ассоциация |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|------------------------|
|                    |                                      |                                    |   |  |                        |

## минералы

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| Изотропен, некоторые образцы обнаруживают анизотропию | Светло-желтый. Внутренние рефлексы не наблюдаются | $6$ — $6\frac{1}{2}$<br>1144—1374<br>$P=100$ —200<br>913—1524<br>(Uytenbogaardt, 1971)  | От HNO <sub>3</sub> слабо-светло-коричневый, очень незначительное вскипание; сернокислый раствор перманганата дает через 20—60 сек хорошую структуру; конц. HNO <sub>3</sub> , CaF <sub>2</sub> , HCl (1:5) и Zn (порошок) выявляют структуру             | Наиболее распространенный сульфид в земной коре. Встречается в парагенезисе с другими сульфидами — марказитом, халькопиритом, сфалеритом и др.   |
| Изотропен   | Белый. Внутренние рефлексы не наблюдаются         | 2—3<br>64—110<br>$P=10$ —20<br>Твердость изменяется в зависимости от примесей Ag и Bi.<br>56—116<br>(Bowie, Taylor, 1958; Pärnmaa, 1963; Uytenbogaardt, Burke, 1971). | Характерно наличие треугольников выкрашивания, одинаково ориентированных в пределах монокристаллических зерен. От HNO <sub>3</sub> чернеет; от HCl слегка буреет; от FeCl <sub>3</sub> —радикальная побежалость; структура выявляется HCl (1:1) или (1:5) | Один из распространенных сульфидов в гидротермальных месторождениях. Наиболее частый парагенезис со сфалеритом, пиритом, халькопиритом, кроме того образует ассоциации с блеклыми рудами, пираргиритом, стефанитом, буланжеритом и др. |

| № п/п | Название минерала | Химический состав, характерные элементы-примеси, %  | Кристаллохимические свойства   | Оптические свойства   |           |
|-------|-------------------|---|--|---|-----------|
|       |                   |   |  | Отражательная способность R, %  |           |
| 322   | Сфалерит<br>ZnS   | Теор. состав:<br>Zn 67,06<br>S 32,94<br>Примеси: Fe до 26;<br>Mn до 5,81;<br>Cd 0,8—2,47;<br>Ga, Ge 0,001;<br>In 0,01; Hg до 1;<br>Fe до 1;<br>Au, Ag, Sn, Pb,<br>Ni, Cu и др.<br>Разновидности:<br>клейофан, марматит,<br>пршибрамит,<br>брункит | Сингония кубическая.<br>$a_0=5,3985$<br>$Z=4$<br>(по Куллеруду;<br>Минералы, т. I,<br>1960)<br>$a_0$ изменяется<br>в зависимости<br>от содержания<br>изоморфных примесей;<br>3,116—3,13 (7, 10);<br>1,630—1,632 (8);<br>1,408—1,409 (9, 10);<br>1,241—1,245 (4, 8);<br>1,104—1,105 (5, 8)<br>(Минералы, т. I,<br>1960) | $\lambda$   | R         |
|       |                   |   |  | 460   | 16,9—18,6 |
|       |                   |   |  | 540   | 16,1—17,5 |
|       |                   |   |  | 580   | 15,9—17,1 |
|       |                   |   |  | 660   | 15,5—16,9 |
|       |                   |   |  | 700   | 15,5—17,0 |
|       |                   |   |  | (изменяется<br>в зависимости от<br>содержания Fe)<br>(Определение рудных<br>минералов..., 1973)<br>При $\lambda$ 580<br>16,5<br>(Вяльсов, 1973) |           |

| в отраженном свете                   |   | Твердость по Моосу.<br>Микро-<br>твердость<br>$\frac{H}{N, \text{кгс/мм}^2}$<br>$\frac{KH_1}{KH_2}$<br>Нагрузка P,<br>гс   | Отличительные<br>особенности.<br>Реакции травления   | Минеральная ассоциация   |
|--------------------------------------|---|--|--|--|
| Оптическая анизотропия, двуотражение | Цвет, оттенок. Внутренние рефлексы  |  |  |  |
| Изотропен                            | Светло-серый с фиолетовым оттенком. Внутренние рефлексы от бесцветных (клейофан) до густобурых (марматит), реже зеленоватые и красноватые (переходные разности) | $3\frac{1}{2}$ —4<br>153—270<br>P=50<br>Твердость изменяется в зависимости от содержания железа<br>128—276<br>(Bowie, Taylor, 1958; Pärnamaa, 1963; Young, Millman, 1964; Uyttenbogaardt, Burke, 1971) | От HNO <sub>3</sub> не изменяется, иногда тускнеет и слабо буреет; царская водка (пары) выявляет структуру | Один из наиболее распространенных сульфидов гидротермальных месторождениях: в высокотемпературных месторождениях обычен марматит в ассоциации с арсенопиритом, пирротином, халькопиритом, кубанитом и другими; в среднетемпературных — встречается в парагенезисе со сложными сульфидами (буланжеритом, джемсонитом и др.). В свинцово-цинковых месторождениях — с галенитом, халькопиритом, блеклыми рудами и др. |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безсмертная М. С., Логинова Л. А., Соболева Л. Н. Определение теллуридов под микроскопом. М., «Наука», 1969. 175 с.
- Безсмертная М. С., Соболева Л. Н. О вольтинските — новом теллуриде висмута и серебра.— В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М., 1965, с. 129—142.
- Безсмертная М. С., Козеренко С. В., Колпакова Н. И. Зелигманит и синнерит из Эльбрусского полиметаллического месторождения.— В кн.: Исследования в области рудной минералогии. М., 1973, с. 5—14.
- Беляева И. Д., Попов И. М. Исследование метамиктного самарскита в сверхвысоковольтном микроскопе — электронографе.— В кн.: Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 47—56.
- Берман Ю. С., Казаринова Е. И. Первая находка агвиларита в СССР.— Докл. АН СССР, 1968, т. 183, с. 1406—1409.
- Бови С., Тейлор К. Определитель рудных минералов.— «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии», 1959, т. 8, вып. 2, 315 с.
- Бородаев Ю. С., Мозгова Н. Н., Сендерова В. М. О халькостибите из Терекская (Кирг. ССР).— Докл. АН СССР, 1968, т. 178, № 3, с. 675—678.
- Бородаев Ю. С., Мозгова Н. Н., Вьяльсов Л. Н. Изоморфный ряд висмутин — айкинит.— «Вестник МГУ», 1970, № 1, с. 18—31.
- Бородаев Ю. С., Мозгова Н. Н. Изучение микрострастаний сульфосолей с помощью электронного микронзонда.— В кн.: Вопросы однородности и неоднородности минералов. М., 1971, с. 118—127.
- Бородаев Ю. С., Мозгова Н. Н., Свешникова О. Л. Группа сульфосолей состава  $Ag-Cu-Pb-S$ . «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1971, № 4, с. 76—87.
- Бурьянова Е. З., Комков А. И. Новый минерал ферроселит.— «Докл. АН СССР», 1955, т. 105, № 4, с. 812—814.
- Бурьянова Е. З., Ковалев Г. А., Комков А. И. Новый минерал кадмоселит.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1957, ч. 86, вып. 5, с. 626—629.
- Ванадиево-мышьяковый германит.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1968, ч. 97, вып. 3, с. 325—331. Авт.: Н. М. Митряева, М. А. Яренская, Е. А. Косяк, Д. Н. Муратова.
- Васильев В. И. Сауковит (saukovite) — новый цинк — кадмийсодержащий сульфид ртути.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 168, № 1, с. 182—185.
- Васильев В. И. Новые рудные минералы ртутных месторождений Горного Алтая и их парагенезисы.— В кн.: Вопросы металлогении ртути. М., 1968, с. 111.
- Вишневская Л. М., Зак С. Ш., Поплавко Е. М. О рениеносных свинцово-медных рудах Джеккаганского месторождения.— «Геология рудных месторождений», 1961, № 6, с. 112—116.
- Галхит  $HgAsS_2$  — новый минерал из мышьяково-сурьмяно-ртутных месторождений СССР.— «Докл. АН СССР», 1972, т. 205, № 5, с. 1194—1197. Авт.: В. С. Груздев, В. И. Степанов, Н. Г. Шумкова и др.
- Гамянин Г. Н. Сульфотеллуриды висмута из северной Якутии.— «Докл. АН СССР», т. 178, № 3, с. 679—682.

Вяльсов Л. Н. Опыт систематики рудных минералов на основе измерений коэффициентов отражения в видимой области спектра.— «Геология рудных месторождений», 1973, т. XV, № 1, с. 88—97.

Генкин А. Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах Норильского месторождения. М., «Наука», 1968, с. 106.

Генкин А. Д., Басова Г. В. О тетрагональной ферроплатине из Норильского месторождения.— «Тр. Минерал. музея им. А. Е. Ферсмана (АН СССР)», 1965, вып. 16, с. 209—214.

Генкин А. Д., Звягинцев О. Е. Высоцкит — новый сульфид палладия и никеля.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1962, ч. 91, вып. 6, с. 718—725.

Генкин А. Д., Журавлева Н. Н., Смирнова Е. М. Мончент и котульскит — новые минералы и состав майченерита.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1963, ч. 92, вып. 1, с. 33—50.

Генкин А. Д., Муравьева И. В. Индит и джалиндит — новые минералы индия.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1963, ч. 92, вып. 4, с. 445—457.

Генкин А. Д., Муравьева И. В., Тронева Н. В., Звягинцевит — природное интерметаллическое соединение палладия, платины, свинца и олова.— «Геология рудных месторождений», 1966, т. 8, № 3, с. 94—100.

Геология олова.— «Тр. ИГН АН СССР», 1947, вып. 82 (Серия рудные месторождения, № 8), 519 с.

Герценбергит из Депутатского месторождения.— «Докл. АН СССР», 1964, т. 159, № 5, с. 1044—1047. Авт.: Л. Н. Индолев, Б. Л. Флеров, Ю. Ю. Жданов, А. А. Бровкин.

Диагностические свойства рудных минералов. М., «Недра», 1969, 215 с. Авт.: С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева, И. Е. Максимюк.

Дуброва И. В., Филимонова А. А. О сульфоантимонитах свинца из месторождения Северный Кантау (Средняя Азия).— «Геология рудных месторождений», 1962, № 3, с. 106—115.

Елисеев Э. Н. О составе и кристаллической структуре пентландита.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1955, ч. 84, вып. 1, с. 53—62.

Зульфугурлы Н. Д., Эфендиев Г. Х., Логнинова Л. А. Новые минералы медно-мышьякового месторождения.— «Докл. АН Аз. ССР», 1966, т. 22, № 9, с. 29—31.

Индолев Л. Н. Овихит.— «Докл. АН СССР», 1964, т. 154, № 6, с. 1351—1354.

Ирарсит — новый сульфоарсенид иридия, родия, рутения и платины.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1966, ч. 95, вып. 6, с. 700—713. Авт.: А. Д. Генкин, Н. Н. Журавлева, Н. В. Тронева, И. В. Муравьева.

Кляхин В. А. Синтез ферроселита в гидротермальных условиях.— «Докл. АН СССР», 1964, т. 155, № 2, с. 346—348.

Кляхин В. А., Дмитриева М. Т. Новые данные о синтетическом и природном лиллианите.— «Докл. АН СССР», 1968, т. 178, № 1, с. 173—175.

Костов И. Минералогия. М., «Мир», 1971, 584 с.

Кулагов Э. А., Изойтко В. М., Митенков Г. А. Хизлеудит в Талнахских медно-никелевых сульфидных рудах.— «Докл. АН СССР», 1967, т. 176, № 4, с. 900—902.

Кулагов Э. А., Евстигнеева Т. Л., Юшко-Захарова О. Е. Новый сульфид никеля — годлевскит.— «Геология рудных месторождений», 1969, т. 11, № 3, с. 115—121.

Купростибит — новое природное соединение меди и сурьмы.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1969, ч. 98, вып. 6, с. 716—724. Авт.: Х. Соренсен, Е. И. Семенов, М. С. Безмертная, Е. Б. Халезова.

Кэмерон Ю. Н. Рудная микроскопия.— М., «Мир», 1966, 308 с.

Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. М., Изд. АН СССР, 1963, 123 с.

Лебедева С. И. Физические свойства (удельный вес и микротвердость) минералов группы ильменорутила — стрюверита и зависимость их от состава.— В кн.: Физические свойства редкометалльных минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 3—11.

- Ли А. Ф. Теллуристые минералы в Северо-Восточном Прибайкалье.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1957, ч. 86, вып. 1, с. 40—48.
- Магакьян И. Г. Сурьмянистый теллурувисмутит Зодского золоторудного месторождения (Басаргечарский район Армянской ССР).— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1957, ч. 86, вып. 3, с. 343—346.
- Магакьян И. Г. Сурьмянистый теллурувисмутит Зодского месторождения.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1957, серия 2, вып. 3, с. 343—346.
- Максимюк И. Е. Зависимость физических свойств вольфрамитов от химического состава. В кн.: Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. Л., 1971, с. 275—281.
- Максимюк И. Е. Касситериты и вольфрамиты. М., «Недра», 1973, 135 с.
- Максимюк И. Е., Лебедева С. И. Изучение физических свойств касситеритов с целью выяснения форм нахождения в них тантала и ниобия.— В кн.: Физические свойства редкометаллических минералов и методы их исследования. М., 1968, с. 31—43.
- Маркова Э. А. О находке верлита на Чалкуйрюк-Акджалгинском месторождении (северный склон Алайского хребта).— «Докл. АН СССР», 1961, т. 141, № 3, с. 713—715.
- Маркова Э. А. О находке вольтинита в золоторудном месторождении Средней Азии.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1967, ч. 96, вып. 3, с. 324—326.
- Минералы, т. I. Справочник, изд-во АН СССР, М., 1960, 616 с.; т. II, вып. II, «Наука», 1965, 341 с.; т. II, вып. III, «Наука», 1967, 675 с.
- Минералы теллура в сульфидных медно-никелевых рудах Талнахского и Октябрьского месторождений (Норильский район) — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1972, № 11, с. 85—97. Авт.: В. А. Коваленкер, И. П. Лапутина, Л. Н. Вяльсов и др.
- Минералогия редких элементов. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 2, М., «Наука», 1964, 829 с.
- Минцер Э. Ф. Бенжаминит  $(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{Pb}_2\text{Bi}_4, \text{S}_9$ .— «Докл. АН СССР», 1967, т. 174, № 3, с. 675—679.
- Минцер Э. Ф., Мымрин В. А., Исаева К. Г., Жозент А. из Средней Азии.— «Докл. АН СССР», 1968, т. 178, № 2, с. 428—431.
- Митряева Н. М., Муратова Д. Н. Об иорданите в рудах месторождения Бестюбе (Центральный Казахстан).— «Тр. Ин-та геол. наук АН Каз. ССР», 1963, т. 7, с. 193—201.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957, 868 с.
- Михеев В. И., Калинин А. И., Солодау Э. П. Рентгенометрическое исследование платины Норильского месторождения.— «Зап. ЛГИ», 1961, т. 31, вып. 2, с. 99—106.
- Мозгова Н. Н., Бородаев Ю. С., Сендерова В. М. О новой находке гетероморфита.— «Докл. АН СССР», 1967, т. 173, № 6, с. 1418—1421.
- Назирова Р. С. Галенобисмутит и козалит из Чаткальских гор.— «Узб. геол. журнал», 1968, № 12, с. 74—78.
- Натаров А. Г., Свешникова О. Л., Галюк В. А. Первая находка андорита в СССР.— «Докл. АН СССР», 1972, т. 206, № 1, с. 189—192.
- Нечелюстов Г. Н., Лебедев В. С. О первой находке бончевита в СССР.— «Докл. АН СССР», 1967, т. 174, № 3, с. 679—682.
- Новый природный интерметаллид золота, меди и палладия из руд Талнахского месторождения.— «Зап. Всесоюз. Минерал. о-ва», 1971, ч. 100, № 1, с. 66—76. Авт.: Л. В. Разин, А. И. Гомонова, В. П. Быков, В. И. Мещанкин.
- Новый теллурид висмута.  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .— «Докл. АН СССР», 1968, т. 181, № 2, с. 443—446. Авт.: В. С. Аксенов, Ю. А. Косяк, К. Мергенов, Т. К. Рафиков.
- О новой находке цинкениита в Средней Азии.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 166, № 6, с. 1416—1419. Авт.: Н. Н. Мозгова, Ю. С. Бородаев, Ю. С. Нестерова, Г. А. Арапова.
- О новой находке менегинита в Восточном Забайкалье.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 170, № 6, с. 1403—1407. Авт.: Н. Н. Мозгова, Ю. С. Бородаев, Ю. С. Нестерова, Г. А. Арапова.

Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. М., Недра», 1973, с. 22. Авт.: М. С. Безсмертная, Т. Н. Чвилева и др.

Орлова З. В. Сборник химических анализов руд и минералов месторождений полезных ископаемых Северо-востока СССР. Всесоюз. Магадан. науч.-исслед. ин-т, Труды, 1956, т. 2, 76 с.

Первая находка волжинита в СССР.— «Докл. АН СССР», 1966, т. 167, № 5, с. 1135—1138. Авт.: В. А. Хвостова, В. Н. Павлова, В. Б. Александров, Н. В. Максимова.

Первая находка гетчелита в СССР.— В кн.: Минералогические исследования, вып. 2, М., 1972, с. 3—17. Авт.: В. Ю. Волгин, В. С. Иванов, В. П. Мичкарев, В. П. Парфенов.

Платина Алданского щита. М., Изд-во АН СССР, 1962, 119 с. Авт.: И. С. Рожков, В. И. Кицул, Л. В. Разин, С. С. Боришанская.

Полярит—новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1969, ч. 98, вып. 6, с. 708—715. Авт.: А. Д. Генкин, Т. Л. Евстигнеева, Н. В. Тронева, Л. Н. Вьяльсов.

Полушкина А. П., Сидоренко Г. А. Структурная разновидность кобальтина.— «Докл. АН СССР», 1963, т. 153, № 6, с. 1420—1423.

Поплавко Е. М., Марчукова И. Д., Зак С. Ш. Рениевый минерал в рудах Жезказганского месторождения.— «Докл. АН СССР», 1962, т. 146, № 2, с. 433—436.

Пудовкина И. А. Точные методы определения отражательной способности и твердости рудных минералов.— В кн.: Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов. М., 1957, с. 139—183.

Разин Л. В. Платиновая металлоносность Инаглинского массива ультраосновных и щелочных пород (Алданский щит).— Автореф. канд. дис. Изд. МГУ, 1966, 37 с.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962, 1132 с.

Сахарова М. С. Основные вопросы изоморфизма и генезиса блеклых руд.— «Геология рудных месторождений», 1966, т. 8, № 1, с. 23—40.

Сахарова М. С. Минералогия и вопросы генезиса золото-кварцсульфидных месторождений Восточного Забайкалья.— Автореф. докт. дис., Изд. МГУ, 1973.

Свешникова О. Л. Минералогия и химическая конституция сульфосолей серебра (на примере сульфоантимонитов свинца и серебра и красных серебряных руд).— Автореф. канд. дис. Изд. МГУ, 1972, 23 с.

Свешникова О. Л., Ракчеев А. Д. Овихит из Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье).— «Докл. АН СССР», 1965, т. 165, № 5, с. 1164—1167.

Свешникова О. Л., Ракчеев А. Д. О диафорите из месторождения Усть-Теремки (Восточное Забайкалье).— «Вестн. МГУ», 1967, № 6, с. 60—65.

Система минералогии. М., Изд. иностр. лит., 1950, 1951, 1954. Авт.: Дж. Д. Дэна, Э. С. Дэна, Ч. Пэлач и др.

Соболева Л. Н., Мымрин В. А., Шумкова Н. Г. О кобеллитне из месторождения Устарасай.— В кн.: Исследования в области рудной минералогии. М., «Наука», 1973, с. 26—38.

Сравнительное изучение природных и искусственных минеральных фаз платиновых металлов.— «Вопросы прикладной минералогии» (ИМГРЭ), 1973, т. 1, М., 1973, с. ... Авт.: О. Е. Юшко-Захарова, А. Ю. Малевский, С. И. Лебедева, Л. С. Дубакина.

Тимофеевский Д. А. О сульфоантимонитах свинца и серебра группы овихита месторождений Восточного Забайкалья.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1967, ч. 96, вып. 1, с. 30—44.

Тихоненков И. П., Казакова М. Е. Ниоболопарит—новый минерал из группы перовскита.— «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1957, ч. 86, вып. 6, с. 641—644.

Хромченко С. И., Василькова Н. А. Акантит из Восточного Саяна.— «Тр. Иркутского научно-исследоват. ин-та редких и цветных металлов. 1966, вып. 14, с. 87—90.

Чвилева Т. Н. О цинкенте Терекского месторождения. В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М., 1965, с. 162—177.

- Чвилева Т. Н. Минералогическая характеристика и диагностика сульфоантимонитов свинца — Автореф. канд. дис. М., ИМГРЭ, 1968, 28 с.
- Шадлунит — новый сульфид меди, железа, свинца, марганца и кадмия из медно-никелевых руд. — «Зап. Всесоюз. минерал. об-ва». 1973, сер. 2, ч. 102, вып. 1, с. 63—74. Авт.: Т. Л. Евстигнеева, А. Д. Генкин, Н. В. Тронева, А. А. Филимонова, А. И. Ценин.
- Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., «Недра», 1971, 344 с.
- Юшко-Захарова О. Е. Новый минерал — теллурид никеля. — «Докл. АН СССР», 1964, т. 154, № 3, с. 613—614.
- Юшко-Захарова О. Е., Черняев Л. А. Висмутид палладия из мончегорских руд. «Докл. АН СССР», 1966, т. 170, № 1, с. 183—185.
- Юшко-Захарова О. Е., Черняев Л. А. О составе и свойствах нигглиита из медно-никелевых руд Мончегорского месторождения. — «Докл. АН СССР», 1966, т. 170, № 5, с. 1164—1166.
- Юшко-Захарова О. Е., Черняев Л. А. О форме вхождения палладия в состав медно-никелевых руд Талнаха. — «Зап. Всесоюз. минерал. о-ва», 1967, ч. 96, вып. 4, с. 432—434.
- Angelelli V., Gordon S. G. Sanmartinite, a new rinc tungstate from Argentina. — *Notulae Naturae Acad. Nat. Sci. Phila.*, 1948, N 205, 7 p.
- Antun P., Goresy A., Ramdohr P. Ein neuerartiger Typ «hydrothermaler» Cu—Ni—Lagerstätten. — *Mineral. Deposita*, 1966, N 1, 2, S. 113—132.
- ASTM. X-ray Powder Data File. — Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia, 1961.
- Atanassov V., Kirov G. Balkanite  $Cu_9Ag_5HgS_8$ , a new mineral from the Sed-motchislenitsi mine Bulgaria. — *Amer. Miner.*, 1973, v. 58, N 1, 2.
- Berry L. G. Nagyagit. — *Univ. Toronto, Geol. Ser.* 1946, N 50, p. 35—48.
- Berry L. G. New data on lead sulpharsenides from Binnental, Switzerland. — *Amer. Miner.*, 1953, v. 38, p. 330—331.
- Berry L. G., Thompson R. M. X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas — *Geol. Soc. Amer. Mem.*, N. Y., 1962, v. 85, p. 281.
- Beuguies A. Contribution a l'étude des wolframites. — *Ann. Soc. Geologique de Belgique*, 1966—1967, t. 90, bull. 2, p. 173—184.
- Bowie S. H. U., Taylor K. A system of ore mineral identification. — *Mining Mag.*, 1958, v. 99, p. 265—277, 337—345.
- Bradley W. M. Empresite a new silver-tellurium mineral from Colorado. — *Amer. J. Sci.*, 1914, v. 38, p. 163—165.
- Burkart-Baumann I., Ottemann J., Amstutz G. C. Neue Beobachtungen an den röntgenamorphen Sulfiden von Cerro de Pasco, Peru. — *Neues Jahrb. Miner. Monatsh.*, 1966, H. 12, S. 353—361.
- Burke E. A. J., Kieft C., Felius R. O., Adusumilli M. S. Staringite, a new Sn—Ta mineral from north-eastern Brazil. — *Miner. Mag.*, 1969, v. 37, N 288, p. 447—452.
- Burri G., Graeser S., Marumo F., Nowacki W. Imhofit, ein neues Thallium-Arsensulfosalz aus dem Lendenbach (Binnatal, Kanton Wallis). — *Chimia*, 1965, v. 19, N 9, p. 499—500.
- Cabri L. J., Harris D. C., Stewart J. M. Paracostibite ( $CoSbS$ ) and nisbite, new minerals from the Red Lake area, Ontario, Canada. — *Canad. Miner.*, 1970, v. 10, pt. 2, p. 232—246.
- Cabri L. J. The mineralogy of the platinum group elements. — *Minerals Sci. Engng.* 1972, v. 4, N 3, p. 3—29.
- Cabri L. J., Harris D. C. The new mineral insizwaite ( $PtBi_2$ ) and new data on niggliite ( $PtSn$ ). — *Mineral. Mag.* 1972, v. 38, N 3, p. 794—800.
- Cabri L. J., Harris D. C., Gait R. Y. Michenerite ( $PdBiTe$ ) redefined and froodite ( $PdBi_2$ ) confirmed from the Sudbury area. — *Canad. Miner.*, 1973, v. 11, 903—912.
- Caillere S., Anias J., Falqueirettes J. Découverte en Nouvelle-Calédonie d'une minéralisation arsenicale sous forme d'un nouvel arseniure de nickel  $Ni_2As$ . — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 1959, t. 249, N 18, p. 1771—1773.

- Cameron E. N., Threadgold J. M. Vulkanite, a new copper telluride from Colorado, with notes on certain associated minerals.—*Amer. Miner.*, 1961, v. 46, N 3—4, p. 258—268.
- Caye R., Cervelle B. D., Détermination de l'indice de réfraction et du coefficient d'absorption des minéraux non transparents.—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1968, v. 91, p. 284—288.
- Caye R., Laurent Y., Picot P. e. a. La nocartite,  $Ag_2SnFeS_4$ , une nouvelle espèce minérale.—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1968, v. 91, N 4, p. 383—387.
- Caye R., Picot P., Pierrot R., Permingeat F. Nouvelles données sur la verbaite, sa teneur en mercure.—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1967, v. 90, p. 185—191.
- Cervelle B., Levy C., Caye R. Sur l'inversion du signe de la bireflectance de certains minéraux absorbants: cas de la mawsonite.—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1968, v. 91, p. 468—478.
- Challis G. A., Long J. V. P. Wairauite, a new Co—Fe mineral.—*Miner. Mag.*, 1964, v. 33, p. 942—948.
- Chamberlain J. A. Heazlewoodite and awaruite in serpentinites of the Eastern Townships, Quebec.—*Canad. Miner.* 1966, v. 8, p. 519—522.
- Chamberlain J. A., Delabio R. M. Mackinawite and vallerite in the Muscox intrusion.—*Amer. Miner.* 1965, v. 50, p. 682—695.
- Chamberlain J. A., McLeod C. R., Trail R. J., Lachance G. R. Native metals in the Muscox intrusion.—*Can. J. Earth. Sci.*, 1965, v. 2, p. 188—215.
- Cissarz A. N. Allopalladium und Clausthalit von Tilkerode im Harz und das Verhaltnis von Allopalladium zu Potarit.—*Zeitschrift für Kristallographie*, 1930, Bd. 74, N 5—6, S. 501—510.
- Claringbull G. F., Hey M. H. Arsenopalladinite ( $Pd_3As$ ), a new mineral from Itabira.—*Brazil. Mineral. Abstr.*, 1957, v. 13, p. 237.
- Clark A. H. A second occurrence of berndtite: Lagares — do — Estanho, Queiriga, Viseu, Portugal.—*Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.*, 1969, H. 9, s. 426—430.
- Clark A. H. On the natural occurrence of tin sulphides (Berndtite).—*Naturwissenschaften*, 1972, v. 59, N 8, S. 361.
- Clauder O. Die Bestimmung des Tellurs in Form kristallisierten metallischen Tellurs und in Form des Tellurdioxydes.—*Neues Jahrb. Miner. Geol. und Palaontol.*, 1935, Bd. I, S. 152.
- Demirsoy S. Untersuchungen über den Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die spektralen Reflexionsfunktionen und Mikroindurhärten: — im Spinell — Dreistoffsystem unter besonderer Berücksichtigung der Chromspinelle, — im System  $FeS_2$ — $NiS_2$ — $CoS_2$ , an Zonen eines natürlichen Bravoiit.—*Kristalls, Ph. D. Thesis*, Aachen (Germany), 1968, 95 S.
- Demirsoy S. Beitrag zu spektralen Reflexionsfunktionen von Millerit *Neues Jahrb. Mineral., Monatsh.*, 1969, H. 10, S. 477—479.
- Eales H. V. Reflectivity of gold and gold-silver alloys.—*Econ. Geol.*, 1968, v. 62, N 3, p. 412—420.
- Earley J. W. Studies of natural and artificial selenides, Klock mannite,  $CuSe$ .—*Amer. Miner.*, 1949, v. 34, N 5—6, p. 435—440.
- Earley J. W. Description and synthesis of the selenide minerals.—*Amer. Miner.*, 1950, v. 35, N 5—6, p. 337—364.
- Fander H. W. Selenium at Peko and Cobar, Australian Mineral.—*Develop. Lab. Bull.* 1967, N 2, p. 73—75.
- Forman S. A., Peacock M. A. Crystal structure of rickardite  $Cu_{4-x}Te_2$ .—*Amer. Miner.* 1949, v. 34, N 56, p. 441—451.
- Francotte J., Moreau J., Ottenburgs R., Levy C. La briartite  $Cu_2(Fe, Zn)GeS_4$ , une nouvelle espèce minérale.—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1965, v. 88, N 3, p. 432—437.
- Frenzel G., Ottemann J. Über ein neues Ni—As mineral u. eine bemerkenswerte Uranmineralisation von der Anna-Procopi-Grube bei Příbram.—*Neues Jahrb. Miner. Monatsh.*, 1968, H. 11, S. 420—429.
- Frondel C., Honea R. M. Billingslegite, a new silver sulfosalt.—*Amer. Miner.*, 1968, v. 53, N 11—12, p. 1791—1798.

Frueh A. J., Czamanske G. K., Knight Ch. The crystallography of eucairite Cu, Ag, Se.—*Z. Kristallogr.*, 1957, Bd. 108, N 5—6, S. 389—395.

Frueh A. H. The crystallography of petzite  $Ag_3AuTe_2$ .—*Amer. Miner.*, 1959, v. 44, N 7—8, p. 693—701.

Fuchs L. H. Djerfisherite alkali copper-iron sulfide, a new mineral form enstatite chondrites.—*Science*, 1966, v. 153, N 3752, p. 166—167.

Gammon J. B. Some observations on minerals in the system  $CoAsS-FeAsS$ —*Norsk. Geol. Tidsskr.*, 1966, v. 46, p. 405—426.

Giraud R., Picot P., Grammont X., Tollon F. Sur la présence de millérite dans la région de Gèdre (Hautes-Pyrénées).—*Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, 1968, v. 91, p. 279—283.

Giuscà D. Le chimisme de la nagyagite.—*Bull. Soc. Romana geol.*, 1936, N 3, p. 1—7.

Gossner B. Ueber Kristalloform und molekulare Einheit von Nagyagit, *Cbl. Mineral., Geol. und Paläontol.*, 1935, Abt. A, N 11, S. 321.

Graeser S. Über Funde der neuen rhomboedrischen  $MoS_2$ —Modification (Molybdänit—3R) und von Tungstenit in den Alpen.—*Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.*, 1964, Bd. 44, N 1, S. 121—128.

Graeser S. Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales.—*Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt.*, 1965, Bd. 45, N 3, S. 597—795.

Graeser S. Ein Vorkommen von Lorandit ( $TlAs_2$ ) in der Schweiz.—*Beitr. Mineral. Petrogr.*, 1967, N 6, S. 45—50.

Grafenauer S., Gorenc B., Marinković V., Strmole D., Maksimović Z. Physical properties and the chemical composition of sphalerites from Yugoslavia. «*Mineral. Deposita*», 1969, 4, N 3, p. 275—282.

Grönvold F., Rost E. On the sulfides, selenides and tellurides of palladium.—*Acta Chem. Scand.*, 1956, v. 10, p. 1620—1634.

Gray I. M., Millman A. P. Reflection characteristics of ore minerals.—*Econ. Geol.*, v. 57, N 3, 1962, p. 437—466.

Háber M., Stresko V. Ein neues Kobellit—Vorkommen in dem Lips—Gömörer, Erzgebirge.—*Geol. Sbornik (Bratislava)*, 1969, N 20, S. 133—151.

Hak J., Johan Z., Skinner B. J. Kutinaite, a new copper-silver arsenide mineral from Cerny Dul, Czechoslovakia.—*Amer. Miner.*, 1970, v. 55, N 7—8, p. 1083—1087.

Häkli T. A., Vuorelainen Y., Sahama Th. G. Kitkaite ( $NiFeSe$ ), a new mineral from Kuusamo, Northeast Finland.—*Amer. Miner.*, 1965, v. 50, N 5—6, p. 581—586.

Harcourt G. A. Tables for the identification of ore minerals by x-ray powder patterns.—*Amer. Miner.* 1942, v. 27, N 2, p. 63—113.

Harker D. The crystal structure of the mineral tetradymite  $Bi_2Te_2S$ .—*Zeitschrift Kristallogr.*, Bd. 89, H. 2, 1934, 175—181.

Harris D. C., Cabri L. I., Kaiman S. Athabaskaite, a new copper selenide mineral from Martin Lake, Saskatchewan.—*Canad. Miner.*, 1970, v. 10, pt. 2, p. 207—215.

Harris D. C., Jambor J. L., Lachance G. R., Thorpe R. J. Tintinaite, the antimony analogue of kobellite.—*Canad. Miner.*, 1968, v. 9, pt. 3, p. 371—382.

Harris D. C., Nuffield E. W. Bambollaite, a new copper telluro-selenide.—*Canad. Miner.*, 1972, v. 11, pt. 4, p. 738—742.

Hawley J. E., Berry L. G. Michenerite and froodite palladium bismuthidide minerals.—*Canad. Miner.* 1958, v. 6, pt. 2, p. 200—209.

Honea R. M. Empressite and stuetzite redefined.—*Amer. Miner.*, 1964, v. 49, N 3—4, p. 325—338.

Hügi Th., Köppel V., de Quervain F., Rickenbach E. Die Uranvererzungen bei Iserables (Wallis).—*Beitr. Geol. Schweiz., Geotech. Ser.*, 1967, v. 42, p. 88.

Jambor J. L. New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario.—*Mineral Descriptions Canad. Miner.*, 1967, v. 9, pt. 2, pt. 3, p. 191—213; 1968, v. 9, pt. 4, p. 515—521.

Jambor J. L. New lead sulfoantimonides from Madoc, Ontario, Pt. 1.—*Canad. Miner.*, 1967, v. 9, p. 1, p. 7—24.

- Johan Z. Paxite,  $\text{Cu}_2\text{As}_3$ , a new Cu-arsenide from Cerny Dul in the Giant Mts. (Kronose).—Acta Univ. Carolinae, Geol., 1961, p. 77—86.
- Johan Z., Picot P., Pierrot, R., Verbeck Th. L'oosterboshite  $(\text{PdCu})_7\text{Se}_3$ , une nouvelle espèce minérale et la trogralite cupro-palladifère de Musonoi (Katanga).—Bull. Soc. Franç. Minér., Crist., 1970, t. 93, N 4, p. 476—481.
- Karup-Moller S. Gustavite, a new sulphosalt mineral from Greenland.—Canad. Miner., 1970, v. 10, pt. 2, p. 173—190.
- Kato A., Jkunolite, a new bismuth mineral from the Jkuno mine.—Japan. Mineral J. (Tokyo), 1959, v. 2, p. 397—407.
- Kato A. Sakuraiite, a new mineral (in Japanese).—Amer. Miner., 1968, v. 53, N 7—8, p. 1421.
- Kato A. Stannoidite,  $\text{Cu}_5(\text{Fe}, \text{Zn})_2\text{SmS}_8$ , a new stannite-like mineral from the Konjo Mine, Okayama prefecture, Japan.—Bull. Nat. Sci., Museum, 1969, v. 12, N 1, p. 165—172.
- Kingston G. A. The occurrence of platinoid bismuthotelluridgs 2 in the Merensky Reef at Rustenburg platinum mine in the western Bushveld.—Miner. Mag., 1966, v. 35, N 274, p. 815—834.
- Kingston P. W. Studies of mineral sulphosalts: XXI—Nuffieldite, a new species.—Canad. Miner., 1968, v. 9, pt. 4, p. 439—452.
- Kuovo O., Huhma M., Vuorelainen Y. A natural cobalt analogue of pentlandite.—Amer. miner., 1959, v. 44, p. 897—900.
- Kupčik V., Schneider A., Varček C. Chemismus von einigen Bi-Sulfosalzen aus dem Zips—Gömörer, Erz gebirge (CSSR).—Neues Jahrb. für Miner. Monatshefte, 1969, H. 10, S. 435—480.
- Lawrence L. J. Owyheeite from Rivertree, N. S. W.—Miner. Mag. 1962, v. 33, p. 315—319.
- Laurent Y., Picot P., Pierrot R., Permingeat F., Ivanov T., La raguinte,  $\text{Tl FeS}_2$ , une nouvelle espèce minérale et la problème de l'allcharite.—Bull. Soc. franc. miner. crist., 1969, t. 92, N 1, p. 38—48.
- Leonard B. F., Desborough G. A., Page N. Y. Ore microscopy and chemical composition of some laurites.—Amer. Miner., 1969, v. 54, N 9—10, p. 1330—1346.
- Levy C. Contribution a la mineralogie des sulfures de cuivre du type  $\text{Cu}_2\text{X S}_4$ .—Mem. Bur. Rech. Geol. Minières, 1967, v. 54, p. 178.
- Levy C., Picot P. Nouvelles données sur les composés iridium—osmium. Existence de l'osmium natif.—Bull. Soc. Franç. Minér. Crist., 1961, t. 84, N 3, p. 312—317.
- Lopez-Soler A., Bosch-Figueroa J. M. Optical characteristics of some opaque materials. Third Annual Regional Conference, Copenhagen Medd. Dansk. Geol. Foren. 1969, N 19, p. 330—332.
- Machatschki F., Stradner E. Ein Selenidmineral vom Spinelltypes.—Anz. Osterr. Acad. Wiss. Math. Nat. Kl., 1952, Bd. 89, N 13, S. 211—213.
- Markham N. L., Lawrence L. J. Primary ore minerals of the Consols Lode, Broken Hill, New South Wales.—Australasian Inst. Mining Met. Proc., 1962, v. 201, p. 43—80.
- Markham N. L., Lawrence L. J. Mawsonite, a new copper-iron-tin sulfide from Mt. Lyell, Tasmania and Tingha, New South Wales.—Amer. Miner., 1965, v. 50, N 7—8, p. 900—908.
- Marumo F., Burri G. Mowackite, a new copper rinc arsenosulfosalt from Lengenbach (Binnatal, Kanton Wallis).—Chimia, 1965, v. 19, N 9, p. 500—501.
- Marumo F., Nowacki W. The crystal structure of lautite and sinnerite, a new mineral from Lengenbach Quarry.—Schweiz. Miner. Petrogr. Mitt., 1964, Bd. 44, H. 2, S. 439—454.
- Moh G. H., Berndt F. Two new natural tin sulfides,  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  and  $\text{SnS}_2$ .—Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 1964, H. 2, S. 94—95.
- Nickel E. H. The occurrence of native nickel—iron in the serpentine rocks of the Eastern Townships of Quebec Province.—Canad. Miner., 1959, v. 6, p. 307—319.
- Nickel E. H., Rowland J. F., McAdam R.—C., Ixiolite, a columbite substructure.—Amer. Miner. 1963, v. 48, p. 961—979.
- Oen J. S., Burke E. A. J., Kieft C., Westerhof A. B. Westerveldite (Fe, Ni,

Co) As, a new mineral from la Gallerga, Spain.—*Amer. Miner.*, 1972, v. 57, N 3—4, p. 354—363.

Oosterbosch R., Picot P., Pierrot R. La digenite selenifere de Musonoi (Katanga).—*Bull. Soc. Franc. Miner. Crist.*, 1964, t. 87, N 6, p. 613—617.

Pääkkönen V. On the geology and mineralogy of the occurrence of native antimony at Seinäjoki, Finland.—*Bull. comm. geol. Finlande*, N 225, 1966, 70 p.

Pärnamaa E. On the use of Vickers microhardness (VH) in the microscopical identification of ore minerals, especially sulphides of Pb, Bi, Sb.—*Luds Univ. Arsskr.*, N. F., 1963, Adv. 2, v. 59, N 3, p. 51.

Paizak J. Über die Struktur und die Lage der Phasen im System Kupfer—Tellur.—*Z. Metallkunde*, 1956, Bd. 47, H. 6, S. 418—420.

Peacock M. A. On joseite, grünlingite, orueteite.—*Studies Univ. Toronto, ser. geol.*, 1941, N 46, p. 83—105.

Peacock M. A., Berry L. G. Röntgenographic observations on ore minerals.—*Studies Univ. Toronto, ser. geol.*, 1940, N 44, p. 47—69.

Peacock M. A., Thompson R. M. Melonite from Quebec and the crystal structure of NiTe<sub>2</sub>.—*Studies Univ. Toronto, ser. geol.*, 1945, N 50, p. 63—73.

Peacock M. A., Thompson R. M. Montbrayite, a new gold telluride.—*Amer. Miner.*, 1946, v. 31, N 11—12, p. 515—526.

Petruk W., Harris D. C., Stewart J. M. Langisite, a new mineral, and the rare minerals cobalt, pentlandite, siegenite, parkerite and bravoite from the Langis mine, Cobalt—Gowganda area, Ontario.—*Canad. Miner.*, 1969, v. 9, p. 597—616.

Picot P., Vernet J. Un nouveau gisement de Kontekite: le dome du Barrot (Alpes—Maritimes).—*Bull. Soc. Franc. Miner. Crist.*, 1967, t. 90, N 1, p. 82—89.

Quervain F. Das Nickelerzvorkommen val Boschetto im Centovalli (Tessin).—*Schweiz. miner. petrogr. mitt.*, 1967, Bd. 47, S. 633—641.

Rahlf's R. Über die kubischen Hochtemperaturmodifikationen der Sulfide, Selenide und Telluride des Silber und des einwertigen Kupfer.—*Z. phys. Chem.*, B. 31, 1936, S. 157—194.

Ramdohr P., Schmitt M. Vier neue natürliche Kobaltselenide vom Steinbruch Trogtal bei Lautenthal im Harz.—*Neues Jahrb. Miner. Monatsh.*, 1955, H. 6, S. 133—142.

Ramdohr P. Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.—*Academ. Verlag. Berlin*, 1960, 1089 S.

Raub C. J., Wobb G. W. An investigation of the phase diagram palladium-arsenic in connection with superconductivity. *J. less.—common Metals*, 1963, v. 5, p. 271—277.

Robinson S. C., Brooker E. J. A cobalt—nickel—cooper selenide from the Goldfields district, Saskatchewan.—*Amer. Miner.*, 1952, v. 37, N 5—6, p. 542—544.

Rowland J. F., Berry L. G. The structural lattice of hessite.—*Amer. Miner.*, 1951, v. 36, N 5—6, p. 471—479.

Rucklidge J., Frobergite, montbrayite and a new Pb—Bi telluride.—*Can. Miner.*, 1969, v. 9, pt. 5, 709—716.

Rucklidge J. C. Electron microprobe investigations of platinum metal minerals from Ontario.—*Canad. Miner.*, 1969, v. 9, pt. 5, p. 617—628.

Santos E. S. Reflectivity and microindentation hardness of ferroselite from Colorado and New Mexico.—*Amer. Miner.*, 1968, v. 53, 2075—2077.

Singh, Santokh D. Tables for the microscopic identification of tin minerals. *International Tin Council*, London, 1967, 20 p.

Snetsinger K. G. Erlichmanite (OsS<sub>2</sub>), a new mineral.—*Am. Miner.*, 1971, v. 56, N 9—10, p. 1501—1506.

Snetsinger K. G. Osarsite a new osmium—rutenium sulfarsenide from California.—*Amer. Miner.*, 1972, v. 57, N 7—8, p. 1029—1036.

Socolescu M., Superceanu C. Neue Kupfervererzungen mit Domeykit—Algodonit—Whitneyit, bei Intregalde, im Siebenbürgischen Erzgebirge, Rumänien.—*Rev. Miner. (Buharest)*, 1960, p. 451—448.

Spencer L. J. Potarite, a new mineral discovered by the late Sir John Harrison in British Guiana.—*Miner.* 1928, v. 21, N 121, p. 397—406.

Springer G. Electronprobe analyses of stannite and related tin minerals.—*Miner. Mag.*, 1968, v. 36, N 284, p. 1045—1051.

- Springer G., Demirsoy S. Beitrag zur Klärung der Existenz von Klaprothit. — Neues Jahrb. Mineral Monatsh., 1969, H 1, p. 32—37.
- Strunz H. Mineralogische Tabellen. — Auflage, Akademische Verlagsgesells. Geest und Portig, Leipzig, 1966, 560 p.
- Stumpfl E. F. Some new platinoid — rich minerals, identical with the electron microanalyser. — Miner. Mag., 1961, v. 32, N 254, p. 833—847.
- Stumpfl E. F., Clark A. M. Hollingworthite, a new rhodium mineral, identified by electron probe microanalyses. — Amer. Miner., 1965, v. 50, N 7—8, p. 1068—1074.
- Stumpfl E. F., Clark A. M. Electronprobe microanalyses of goldplatinid concentrates from Southeast Borneo. — Trans. Inst. Mining. Metall., 1966, v. 74, p. 933—946.
- Stumpfl E. F., Clark A. M. A natural occurrence of  $\text{Co}_9\text{S}_3$  identified by x-ray microanalysis. — Neues Jahrb. Mineral, Monatsh., 1964, N 8, p. 240—245.
- Stumpfl E. F., Rucklidge J. New data on natural phases in the system Ag-Te. — Amer. Miner., 1968, v. 53, N 9—10, p. 1513—1522.
- Terziev G. Kostovite, a gold — copper telluride from Bulgaria. — Amer. Miner., 1966, v. 51, N 1—2, p. 29—36.
- Thomassen L. Über Kristallstrukturen einiger binärer Verbindungen der Platinmetalle. — Z. Physik, Chem. Abt. B, v. 2, pts. 5/6, 1929, p. 349—379.
- Thompson R. M. Goldfeldite — tellurian tetranedrite — Univ. Toronto Studies, Geol. Ser., v. 50, 1946, p. 77—79.
- Thompson R. M. Frobergite  $\text{FeTe}_2$ , a new member of the marcasite group. — Studies Univ. Toronto, ser. geol., 1947, v. 51, p. 35—40.
- Thompson R. M. The telluride minerals and their occurrence in Canada. — Amer. Miner., 1949, v. 34, N 5—6, p. 342—382.
- Tischendorf G. Über Eskebornit von Tilkerode im Harz. — Neues Jahrb. Mineral. Abhandl., 1960, Bd. 94, H. 2, p. 1169—1182.
- Toubeau G. Mesure de la microdureté Vickers des minéraux opaques et son intérêt en minéralogie. — Bull. Soc. Belge Geol. Paleontol. Hydrol., 1962, t. 71, p. 242—262.
- Tunell G. The atomic arrangement of sylvanite. — Amer. Miner., 1941, v. 26, N 8, p. 457—477.
- Tunell G., Ksanda C. J. The crystal structure of calaverite. — J. Washington Acad. Sci., 1935, v. 25, N 1, p. 32—33.
- Tunell G., Ksanda C. J. The crystal structure of krennerite. — J. Washington Acad. Sci., 1936, v. 26, N 12, p. 507—509.
- Tunell G., Murata K. The atomic arrangement and chemical composition of krennerite. — Amer. Miner., 1950, v. 35, N 11—12, p. 959—985.
- Uytendogaardt W., Burke E. A. Tables for microscopic identification of ore minerals. Elsevier publishing Company, Amsterdam, London, New York, 1971, 430 p.
- Van der Veen A. H. A study of pyrochlore. Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands geologisch mijnbouwkundig genootschap. Geol. serie, dee, 1963, v. 22, p. 188.
- Vaughan D. J. Nickelian mackinawite from Vlakfontein, Transvaal. — Amer. Miner., 1969, v. 54, p. 1190—1193.
- Vorma A. Laitakarite, a new Bi—Se-mineral. — Bull. Comm. Geol. Finlande, 1960, N 188, p. 1—10.
- Vorma A., Siivola J. Sukulaite —  $\text{Ta}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$  — and wodginite as inclusions in cassiterite in the granite pegmatite in Sakula, Tammela in SW Finland. — Bull. Commis geol Finlande, 1967, N 229, p. 173—187.
- Vuorelainen Y., Häkli A. Eräistä uusista Nikkelimineraaleista (in Finnish. Engl. summary). — Geologi, 1964, N 5, p. 53—56.
- Vuorelainen Y., Huhma A., Häkli A., Sederholmite, wilkmanite, kullerudite, mäkienite and trüstedite, five new nickel selenide minerals, Bull. Comm. Geol. Finlande, 1964, N 36, p. 113—125.
- Wang (Gi—Gyn), Ye (Shu—Kin) Biogenic pyrite and siegenite from Szechuan. — Sci. Sinica (Peking), 1963, v. 12, p. 617—620.
- Warren H. V., Peacock M. A. Hedleyite, a new bismut telluride from British Columbia, with notes on wehrlite and some bismuth — tellurium alloys. — Studies Univ. Toronto, ser. geol., 1945, N 49, p. 55—69.

Weissberg B. G. Getchellite,  $\text{AsSbS}_3$ , a new mineral from Humboldt country, Nevada. — Amer. Miner., 1965, v. 50, N 11—12, p. 1817—1826.

Westland A. D., Beamish F. E. Shorter communications, Native palladium from Colombia. — Canad. Miner., 1961, v. 6, N 5, p. 689—691.

Young B. B., Millman A. P. Microhardness and deformation characteristics of ore minerals. — Bull. Instn. Mining and Metallurgy, N 689, «Transactions», 1963—1964, v. 73, N 7, p. 437—466.

Ypma P. Y. M., Evers H. J., Woensdregt C. F. Mineralogy and geology of the Providencia mine (Leon, Spain), type—locality of villamanianite. — Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 1968, N 6, p. 174—191.

Zdenek I., Picot P., Pierrot R. Nouvelles données sur la raguinite. — Bull. Soc. Franç. Miner. Crist., 1969, t. 92, N 2, p. 237.

Zdenek I., Pierrot R., Schubnel H. I., Permingeat F. La picotpaulite  $\text{TlFeS}_3$  une nouvelle espèce minérale. — Bull. Soc. Franç. Minér. Crist., 1970, t. 93, N 5, p. 545—549.

Zdenek I., Picot P., Pierrot R., Verbeek T. L'oosterboschite  $(\text{Pd}, \text{Cu})_7\text{Se}_3$ , une nouvelle espèce minérale et la trogtalite cupro-palladifère de Musonoi (Catanga). — Bull. Soc. Franç. Minér. Crist., 1970, t. 93, N 4, p. 476—481.

## Определитель минералов

В основу определителя положены такие физические свойства минералов, которые непосредственно наблюдаются в полированных шлифах в отраженном свете.

По данным количественного измерения отражательной способности для желтого света минералы сгруппированы в четыре группы: к первой группе относятся минералы с отражательной способностью более 54% (т. е. больше пирита); ко второй группе — минералы с отражательной способностью меньше 54%, но больше 43% (т. е. больше галенита); к третьей группе — минералы с отражательной способностью меньше 43%, но больше 18% (т. е. меньше сфалерита); наконец, к четвертой группе — минералы с отражательной способностью меньше 18%.

По характеру анизотропности и двуотражения минералы каждой из четырех групп сгруппированы в три подгруппы: ясно анизотропные и сильно двуотражающие минералы, анизотропные слабо двуотражающие и изотропные минералы.

По цвету в каждой из подгрупп различают минералы: 1) белые и серые (как галенит и сфалерит); 2) с желтым цветом или оттенком по сравнению с белыми минералами (галенитом); 3) с розовым цветом или оттенком по сравнению с белым минералом (галенитом); 4) минералы голубые или с голубоватым (зеленоватым) оттенком по сравнению с белым минералом (галенитом).

По твердости и микротвердости минералы каждого из последних подразделений делятся на: 1) очень мягкие с твердостью по Моосу 1—2 и микротвердостью 1—60 при оптимальной нагрузке 3—10 гс; 2) минералы мягкие с твердостью по Моосу 2—3 и микротвердостью 2—120 при оптимальной нагрузке 10—20 гс. 3) минералы средней твердости с твердостью по Моосу 3—5 и микротвердостью 120—550 при оптимальной нагрузке 30—100 гс; 4) минералы твердые с твердостью по Моосу 5—7 и микротвердостью 550—800 с оптимальной нагрузкой 100—200 гс; 5) к последней группе отнесены минералы с твердостью по Моосу 7 и выше и микротвердостью более 800 при оптимальной нагрузке 150—200 гс. При этом если минерал обладает анизотропией твердости, то он отнесен в соответствующие по показаниям твердости группы.

Последнее подразделение минералов на группы сделано по характерным химическим элементам, с помощью которых различают минералы со сходными физическими свойствами. Такими характерными химическими элементами для приведенных в диагностических таблицах минералов являются серебро, свинец, медь, висмут, сурьма, мышьяк. Характерные элементы могут быть определены с помощью фазовых микрохимических анализов, электрографического анализа, фазового анализа на коллоидной пленке, пленочного анализа, микроспектрального анализа и с помощью метода рентгеновского микроанализатора.

Минералы с отражательной способностью 54% и выше, анизотропные, ясно двуотражающие\*

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                  |  |                                 |  |                       |                       |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag               | Pb   | Cu                              | Bi   | Sb                    | As                    |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 |   |                  |  |                                 |  |                       |                       |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |                  |  |                                 |  |                       | Лёллингит<br>172      |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Потарит 3   |                  |  |                                 | Мончеит 44<br>Меренскит<br>43                | Сурьма<br>самор. 187  |                       |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |                  | (Pb, Bi) <sub>3</sub> Te <sub>4</sub><br>130 |                                 | (Pb, Bi) <sub>3</sub> Te <sub>4</sub><br>130 | Сурьма<br>самор. 187  |                       |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 | Сысертскит 5  |                  |  |                                 |  |                       |                       |
|               | III            | 550—800 | 5—6                | Сысертскит 5<br>Хастит 88                                 |                  |  |                                 |  |                       |                       |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Калаверит 119   | Сильванит<br>117 |  | Палладиевый<br>купроаурид<br>48 | Котульскит<br>41                             | Парадо-<br>кразит 207 | Парадо-<br>кразит 207 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   | Сильванит<br>117 |  | Вулканит<br>110<br>Костовит 121 | Фрудит 37                                    |                       |                       |

\* Цифры, стоящие после названия минерала, обозначают его порядковый номер в таблице диагностических свойств минералов.

| Цвет, оттенок    | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы                   |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|------------------|----------------|---------|--------------------|---|----|---------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                  | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag | Pb                  | Cu  | Bi                                 | Sb                                 | As                              |
| Розовый          | IV             | >800    | >6                 |   |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Pd <sub>2</sub> Sn 15<br>Нигглиит 17<br>Мелонит 132<br>Станно-палладинит 16 |    | Пломбопалладинит 19 | (Pd, Pt, Cu) <sub>3</sub><br>(Sn, Cu) 14<br>Палладиевый купроаурид 48 | Pt (Sb, Bi) 35<br>Котульскийкит 41 | Pt (Sb, Bi) 35<br>Парадокразит 207 | Никелин 268<br>Парадокразит 207 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                | Мелонит 132   |    |                     |   | Висмут самор. 218                  |                                    |                                 |
| Голубой, зеленый | IV             | >800    | >6                 | Сысертскит 5  |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                | Сысертскит 5  |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                |   |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                |   |    |                     |   |                                    |                                    |                                 |

Минералы с отражательной способностью 54% и выше, анизотропные, слабо двуотражающие и недвуотражающие

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы         |    |               |  |  |                      |   |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|----|---------------|--|--|----------------------|---|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag | Pb            | Cu   | Bi   | Sb                   | As  |
| Белый,<br>серый  | IV             | >800    | >6                    | Невьянскит 6<br>(Ru, Os, Ir) S <sub>2</sub> (?)<br>26             |    |               |  |  |                      | Парарам-<br>мельсбергит<br>272                            |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Невьянскит 6  |    |               |  |  |                      | Раммель-<br>сбергит 271<br>Парарам-<br>мельсбергит<br>272 |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Потарит 3   |    | Полярит<br>20 |  | Полярит<br>20                                    | Сурьма<br>самор. 187 |   |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |   |    |               |  |  | Сурьма<br>самор. 187 |   |
| Желтый           | IV             | >800    | >6                    | (Ru, Os, Ir) S <sub>2</sub> (?)<br>26                             |    |               |  |  |                      |   |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   |   |    |               |  |  |                      |   |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Хизлевудит 256<br>Аллопалладий 2<br>Калаверит 119<br>Миллерит 254 |    |               | Палладиевый<br>купроаурид 48<br>Альгодонит 169 | Pd (Sb, Bi)<br>34                                | Pd (Sb, Bi)<br>34    | Альгодонит<br>169   |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   | Креннерит 118<br>Теллур самор. 109<br>Киткаит 139                 |    |               |  | Фрудит 37<br>Bi <sub>2</sub> Te <sub>5</sub> 124 |                      |   |

| Цвет,<br>оттенок    | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы              |    |    |  |   |                             |                            |
|---------------------|----------------|---------|-----------------------|--|----|----|--|---|-----------------------------|----------------------------|
|                     | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют  | Ag | Pb | Cu   | Bi  | Sb                          | As                         |
| Розовый             | VI             | >800    | >6                    |  |    |    |  |   |                             |                            |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                   |  |    |    |  |   | Стибио-<br>палладинит<br>33 | Раммель-<br>сбергит<br>271 |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                   | Фребольдит 90<br>Ферроплатина 12<br>Монтбрейит 120<br>Индий самор. 145 |    |    | Палладиевый<br>купроаурид<br>48<br>Альгодонит<br>169 |   | PtSb (?)<br>35              | Альгодонит<br>169          |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                   |  |    |    |  | Висмут<br>самор. 218<br>Теллуrowис-<br>мутит 125<br>Стибиотел-<br>луrowисмутит<br>126 |                             |                            |
| Голубой,<br>зеленый | IV             | >800    | >6                    |  |    |    |  |   |                             |                            |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                   | Осмий самор. 4   |    |    |  |   |                             | Саффорит<br>247            |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                   | Осмий самор. 4   |    |    |  |   |                             | Саффорит<br>247            |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                   |  |    |    |  |   |                             |                            |

## Минералы с отражательной способностью 54% и выше, изотропные

| Цвет.<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы  |   |                     |    |              |                                 |                              |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|--|---|---------------------|----|--------------|---------------------------------|------------------------------|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют  | Ag  | Pb                  | Cu | Bi           | Sb                              | As                           |
| Белый,<br>серый  | IV             | >800    | >6                    |  |   |                     |    |              |                                 | Сперрилит 32                 |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Иридий 9<br>Платинистый ири-<br>дий 9  |   |                     |    |              |                                 | Смальтин 249<br>Сперрилит 32 |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Палладий 1<br>Поликсен 11<br>Ферроплатина (м)*<br>12<br>Платина 10<br>Масленниковит 13<br>Никель самор. 250<br>Аварунт 251 |   | Звягинце-<br>вит 18 |    | Инсизваит 38 | Геверсит 36<br>Ульманнит<br>261 |                              |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |  | Серебро<br>самор. 49<br>Кюсте-<br>лит 49<br>Серебро<br>медистое<br>49 | Алтаит<br>123       |    |              |                                 |                              |
| Желтый           | IV             | >800    | >6                    | Пирит 320  |   |                     |    |              |                                 |                              |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Осмирид 7  |   |                     |    |              |                                 | Скуттеру-<br>дит 248         |

\* Здесь и далее (м) — магнитность.

| Цвет, оттенок    | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |             |    |    |               |    |               |
|------------------|----------------|---------|--------------------|---|-------------|----|----|---------------|----|---------------|
|                  | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag          | Pb | Cu | Bi            | Sb | As            |
| Желтый           | II             | 120—550 | 3—5                | Осмирид 7<br>Палладий 1<br>Звягинцевит 18                 |             |    |    |               |    |               |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                | Золото самор. 47  | Электрум 47 |    |    |               |    |               |
| Розовый          | IV             | >800    | >6                 |   |             |    |    |               |    | Кобальтин 241 |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |             |    |    |               |    |               |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Ферроплатина (м) 12<br>Борнхардит 89<br>Индий самор. 145  |             |    |    | Майченерит 42 |    |               |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                |   |             |    |    |               |    |               |
| Голубой, зеленый | IV             | >800    | >6                 |   |             |    |    |               |    | Сперрилит 32  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |             |    |    |               |    | Сперрилит 32  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Ваираунит 234<br>Аварунит 251                             |             |    |    |               |    |               |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                |   |             |    |    |               |    |               |

Минералы с отражательной способностью 43—54%, анизотропные, ясно двуотражающие

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |   |   |                  |                                    |    |                      |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|---|---|------------------|------------------------------------|----|----------------------|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag  | Pb  | Cu               | Bi                                 | Sb | As                   |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 |   |   |   |                  |                                    |    |                      |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |   |   |                  |                                    |    | Лёллингит<br>172     |
|               | II             | 120—550 | 3—5                |   | (Pd, Ag) <sub>3</sub> ×<br>×(Ag, Pb)×<br>×(Te, Se) 40 | (Pd, Ag) <sub>3</sub> ×<br>×(Ag, Pb)×<br>×(Te, Se) 40<br>Галено-<br>бисмутит<br>221 |                  | Галено-<br>бисмутит<br>221         |    | Мышьяк<br>самор. 165 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |   |   |                  |                                    |    | Мышьяк<br>самор. 165 |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 |   |   |   |                  |                                    |    |                      |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |   |   |                  |                                    |    |                      |
|               | II             | 120—550 | 3—5                |   | Аргентопирит<br>53                                    | Бончевит<br>220   | Остербошит<br>46 | Бончевит 220<br>Висмутин 219       |    |                      |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   | Штерибер-<br>гит 52                                   |   |                  | Висмутин 219<br>Гуанахуатит<br>105 |    |                      |

| Цвет,<br>оттенок    | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики химические элементы |                     |   |                    |  |  |                 |
|---------------------|----------------|---------|-----------------------|---|---------------------|---|--------------------|--|--|-----------------|
|                     | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют                                     | Ag                  | Pb  | Cu                 | Bi   | Sb                                       | As              |
| Розовый             | IV             | >800    | >6                    | Ферроселит<br>85                                |                     |   |                    |  |  |                 |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                   |   |                     |   |                    |  |  |                 |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                   | Станнопалла-<br>динит 16                        |                     | Плюмбопал-<br>ладинит 19<br>Паркерит<br>262 | Купростибит<br>189 | Парагуана-<br>хуатит 84<br>Паркерит<br>262 | Брейтгаунит<br>253<br>Купростибит<br>189 | Никелин<br>268  |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                   |   | Штернбер-<br>гит 52 | Паркерит<br>262                             |                    | Парагуана-<br>хуатит 84<br>Паркерит<br>262 |  |                 |
| Голубой,<br>зеленый | IV             | >800    | >6                    |   |                     |   |                    |  |  |                 |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                   |   |                     |   |                    |  |  |                 |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                   | Нигглиит<br>17                                  |                     |   | Коутекит<br>170    |  |  | Коутекит<br>170 |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                   |   |                     |   | Коутекит<br>170    |  |  | Коутекит<br>170 |

Минералы с отражательной способностью 43—54%, анизотропные, слабо и не двуотражающие

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                 |                  |                  |  |    |                      |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|-----------------|------------------|------------------|--|----|----------------------|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag              | Pb               | Cu               | Bi   | Sb | As                   |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 |   |                 |                  |                  |  |    | Арсенопирит<br>173   |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |                 |                  |                  |  |    | Арсенопирит<br>173   |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Герценберgit<br>277                                       | Густавит<br>226 | Густавит<br>226  |                  | Густавит<br>226  |    | Мышьяк<br>самор. 165 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |                 | Рецбаниит<br>231 | Рецбаниит<br>231 | Хедлейит 128<br>Лайтакариит<br>107<br>Рецбаниит<br>231<br>Верлит 127 |    | Мышьяк<br>самор. 165 |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 |   |                 |                  |                  |  |    |                      |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |                 |                  |                  |  |    |                      |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Годлевскит<br>258<br>Хизлевудит<br>256                    |                 |                  |                  | Жозеит<br>B 135  |    |                      |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |                 | Тиллит 289       |                  | Грюнлингит<br>138  |    |                      |

| Цвет, оттенок    | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |               |                               |   |  |   |  |
|------------------|----------------|---------|--------------------|---|---------------|-------------------------------|---|--|---|--|
|                  | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag            | Pb                            | Cu  | Bi   | Sb  | As   |
| Розовый          | IV             | >800    | >6                 |   |               |                               |   |  |   | Арсенопирит 173<br>Глаукокодот 242<br>Лангисит 246 |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                | Брэггит 22  |               |                               |   |  | Стибиопалладинит 33                         | Арсенопирит 173<br>Лангисит 246<br>Маухерит 274    |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Фробергит 131<br>Имгрэит 133                              |               | Нафилдит 232<br>Лиллианит 222 | Нафилдит 232<br>(Pd, Cu) <sub>3</sub> Sb 33 | Нафилдит 232<br>Лиллианит 222                    | (Pd, Cu) <sub>3</sub> Sb 33<br>Pt Sb (?) 35 | (Pd, Ni) <sub>2</sub> As 31                        |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                | Теллур самор. 109   | Волынский 129 | Лиллианит 222                 |   | Волынский 129<br>Лиллианит 222<br>Тетрадимит 134 |   |  |
| Голубой, зеленый | IV             | >800    | >6                 | Брэггит 22  |               |                               |   |  | Паракостибит 239                            |  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |               |                               |   |  |   |  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Высоцкит 23   |               |                               | β-домейкит 168<br>Коутекит 170              | Жозеит А 136                                     |   | β-домейкит 168<br>Коутекит 170                     |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                |   |               |                               | Коутекит 170                                | Жозеит А 136                                     |   | Коутекит 170                                       |

## Минералы с отражательной способностью 43—54%, изотропные

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                               |   |  |                               |               |  |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|-------------------------------|---|--|-------------------------------|---------------|--|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag                            | Pb  | Cu                                     | Bi                            | Sb            | As   |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 | Лаурит 24   |                               |   |  |                               |               | Сперрилит 32<br>Ирарсит 27<br>Холин-<br>гвортит 28 |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |                               |   |  |                               |               | Сперрилит 32                                       |
|               | II             | 120—550 | 3—5                |   |                               |   |  |                               | Ульманнит 261 |  |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   | (Pd,Ag) <sub>4</sub> Te<br>39 | Клау-<br>стали-<br>лит 83<br>Галенит<br>321 |  | (Pd,Ag) <sub>4</sub> Te<br>39 |               |  |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 |   |                               |   |  |                               |               |  |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |                               |   | Карролит 238                           |                               |               |  |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Пентландит 266  |                               |   | Карролит 238<br>$\alpha$ -домейкит 168 |                               |               | $\alpha$ -домейкит 168                             |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |                               |   |  | Грюнлингит 138                |               |  |

| Цвет,<br>оттенок    | Микротвердость |                  | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |    |    |                                |                 |    |  |
|---------------------|----------------|------------------|-----------------------|---|----|----|--------------------------------|-----------------|----|--|
|                     | Группа         | Пределы          |                       | Отсутствуют   | Ag | Pb | Cu                             | Bi              | Sb | As   |
| Розовый             | IV             | >800             | >6                    | Трогталит 87<br>Бравойт 263                               |    |    |                                |                 |    | Кобальтин<br>241<br>Герсдорфит<br>275              |
|                     | III            | 550—800          | 5—6                   | Линнеит 236<br>Зигенит 240<br>Бравойт 263                 |    |    | Карролит<br>238                |                 |    | Герсдорфит<br>275                                  |
|                     | II             | 120—550          | 3—5                   | Линнеит 236<br>Зигенит 240<br>Полидимит 257               |    |    | Тиррелит 77<br>Карролит<br>238 |                 |    |  |
|                     | I              | 1—120            | 1—3                   |   |    |    |                                |                 |    |  |
| Голубой,<br>зеленый | IV             | >800             | >6                    | Лаурит 24   |    |    |                                |                 |    | Сперрилит 32<br>Ирарсит 27<br>Холинг-<br>вортит 28 |
|                     | III            | 550—800          | 5—6                   |   |    |    |                                |                 |    | Сперрилит 32                                       |
|                     | II<br>I        | 120—550<br>1—120 | 3—5<br>1—3            |   |    |    |                                | Жозеит А<br>136 |    |  |

## Минералы с отражательной способностью 18—43%, анизотропные, ясно двуотражающие

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                 |   |    |    |   |  |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|-----------------|---|----|----|---|--|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag              | Pb  | Cu | Bi | Sb  | As   |
| Белый,<br>серый  | IV             | >800    | >6                    | Ильменорутил<br>303                                       |                 |   |    |    |   |  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Торолит<br>296  |                 |   |    |    |   |  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   |   |                 | Тинтинаит<br>197<br>Цинкениит<br>193<br>Геттардит<br>213<br>Сорбит 214<br>Плэйферит<br>209<br>Мэдокит 212<br>Джемсонит<br>205<br>Лонэит 201<br>Гетероморфит 200<br>Плагнионит<br>196<br>Твиннит 210 |    |    | Тинтинаит<br>197<br>Плэйферит<br>209<br>Гетероморфит 200<br>Цинкениит<br>193<br>Мэдокит 212<br>Лонэит 201<br>Антимонит<br>188<br>Геттардит<br>213<br>Джемсонит<br>205<br>Твиннит 210<br>Сорбит 214<br>Плагнионит<br>196 | Сорбит 214<br>Геттардит<br>213<br>Мэдокит<br>212<br>Твиннит<br>210<br>Плэйферит<br>209 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   | Тунгстенит<br>297<br>Селен самор.<br>69                   | Миаргирит<br>59 | Джемсонит<br>205  |    |    | Джемсонит<br>205<br>Миаргирит<br>59<br>Антимонит<br>188   | Реальгар<br>166<br>Аурипигмент<br>167  |

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость $\rho$ |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
|------------------|-----------------------|---------|-----------------------|---|----------------|--|---|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                  | Группа                | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag             | Pb   | Cu  | Bi                                 | Sb                                   | As                                    |
| Желтый           | IV                    | >800    | >6                    |   |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
|                  | III                   | 550—800 | 5—6                   |   |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
|                  | II                    | 120—550 | 3—5                   |   |                |  | Эмплектит<br>227  | Эмплектит<br>227                   |                                      |                                       |
|                  | I                     | 1—120   | 1—3                   |   |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
| Розовый          | IV                    | >800    | >6                    | Стрюверит<br>304  |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
|                  | III                   | 550—800 | 5—6                   | Стрюверит<br>304<br>Брэггит 22                            |                |  |   |                                    |                                      |                                       |
|                  | II                    | 120—550 | 3—5                   |   | Крукесит 76    | Айкиннит 230<br>Плагионит<br>196<br>Баумгауерит<br>182 | Станноидит<br>282<br>Риккардит<br>111<br>Эскеборнит<br>74<br>Люционит 176<br>Крукесит 76<br>Моусонит<br>286<br>Айкиннит 230 | Айкиннит<br>230<br>Висмутин<br>219 | Бертьерит<br>204<br>Плагионит<br>196 | Баумгауерит<br>182<br>Люционит<br>176 |
|                  | I                     | 1—120   | 1—3                   | Пикополит<br>160<br>Берндтит<br>278                       | Крукесит<br>76 |  | Крукесит<br>76  | Висмутин<br>219                    | Бертьерит<br>204                     | Реальгар<br>166                       |

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |   |  |  |    |  |                                  |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|---|--|--|----|--|----------------------------------|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag  | Pb   | Cu   | Bi | Sb   | As                               |
| Голубой          | IV             | >800    | >6                    |   |   |  |  |    |  |                                  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Брэггит 22  |   |  |  |    |  |                                  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Нигглиит<br>17  | Эмпрессит<br>113<br>Овихит<br>67<br>Диафорит<br>64<br>Прустит<br>57<br>Пираргирит<br>60 | Менегинит<br>203<br>Овихит<br>67<br>Диафорит<br>64<br>Дюфренуа-<br>зит 180 | Вейссит<br>112<br>Менегинит<br>203   |    | Менегинит<br>203<br>Овихит<br>67<br>Диафорит<br>64<br>Пираргирит<br>60 | Прустит 57<br>Дюфренуазит<br>180 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |   | Прустит 57<br>Хатчинсонит<br>157<br>Пираргирит<br>60<br>Эмпрессит<br>113                | Хатчинсонит<br>157   | Вулканиит 110<br>Клокманнит<br>70<br>Берцелианит<br>73<br>Хатчинсонит<br>157<br>Атабаскаит<br>71 |    | Пираргирит<br>60   | Прустит 57<br>Хатчинсонит<br>157 |

## Минералы с отражательной способностью 18—43%, анизотропные, слабо и недвуотражающие

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                                  |   |   |  |   |   |  |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|----------------------------------|---|---|--|---|---|--|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag                               | Pb  | Cu  | Bi   | Sb  | As  |  |
| Белый,<br>серый  | IV             | >800    | >6                    | Ильменорутит 303<br>Уоджинит 314                          |                                  |   |   |  |   |   |  |
|                  | III            | 550—80  | 5—6                   |   |                                  |   |   |  |   |   |  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Кадмоселит 81<br>Оттеманит 279                            | Фрейеслебенит 63<br>Густавит 226 | Густавит 226<br>Геровскит 225<br>Веснит 211<br>Иорданит 181<br>Геокронит 216<br>Фрейеслебенит 63<br>Козалит 223<br>Кобеллит 224<br>Цинкенит 193<br>Грейтонит 183<br>Ливейнгит 184<br>Нагиагит 140 | Галлит 141<br>Рокезит 146<br>Халькостит 190<br>Паксит 171<br>Кестерит 284 | Козалит 223<br>Кобеллит 224<br>Геровскит 225<br>Густавит 226 | Веснит 211<br>Ливингстонит 206<br>Халькостит 190<br>Кобеллит 224<br>Геокронит 216<br>Фрейеслебенит 63<br>Цинкенит 193<br>Нагиагит 140 | Геокронит 216<br>Иорданит 181<br>Грейтонит 183<br>Ливейнгит 184<br>Паксит 171<br>Веснит 211 |  |

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |  |  |  |                             |  |                              |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|--|--|--|-----------------------------|--|------------------------------|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag   | Pb   | Cu   | Bi                          | Sb   | As                           |
| Белый, серый  | I              | 1—120   | 1—3                | Тиманнит<br>82  | Гёссит 115<br>Науманнит 78<br>Фрейеслебенит 63<br>Акантит 50<br>Штрмейерит 54<br>Ратит-1 186<br>Балканит 68<br>Штютцит 114 | Геокронит 216<br>Франкеит 290<br>Цилиндрит 291<br>Нагнагит 140<br>Козалит 223<br>Кобеллит 224<br>Фрейеслебенит 63<br>Ратит-1 186<br>Фюлёппит 195 | Балканит 68  | Козалит 223<br>Кобеллит 224 | Фрейеслебенит 63<br>Геокронит 216<br>Ливингстонит 206<br>Нагнагит 140<br>Цилиндрит 291<br>Франкеит 290<br>Кобеллит 224<br>Фюлёппит 195 | Ратит-1 186<br>Геокронит 216 |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 |   |  |  |  |                             |  |                              |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |  |  |  |                             |  |                              |
|               | II             | 120—550 | 3—5                |   | Бенжаминит 233   | Шадлунит 151<br>Бенжаминит 233<br>Сарторит 179   | Шадлунит 151<br>Бенжаминит 233<br>Станнин желтый 281 | Бенжаминит 233              |  | Сарторит 179                 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                | Имхофит 158   |  | Тиллит 289   |  |                             |  |                              |

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |   |   |  |                   |  |   |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|---|---|--|-------------------|--|---|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag  | Pb  | Cu   | Bi                | Sb   | As  |
| Розовый          | IV             | >800    | >6                    |   |   |   |  |                   |  |   |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Куперит 21  |   |   |  |                   |  |   |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   |   | Канфилдит<br>288<br>Аргиродит<br>144<br>Окартит<br>287                              | Сарторит<br>179<br>Зелигманнит<br>185<br>Веенит 211 | Реньерит 143<br>Халькостибит 190<br>Эскеборнит<br>74<br>Энаргит 175<br>Виттихенит<br>228<br>Фаматинит<br>191<br>Лаутит<br>174<br>Синнерит<br>177<br>Зелигманнит<br>185<br>Родостаннин<br>283 | Виттихенит<br>228 | Фаматинит<br>191<br>Халькостибит 190<br>Веенит 211 | Лаутит 174<br>Синнерит<br>177<br>Сарторит<br>179<br>Энаргит 175<br>Зелигманнит<br>185<br>Веенит 211 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |   | Петцит 116<br>Стефанит 61<br>Канфилдит<br>288<br>Эвкайрит 79<br>Штротмей-<br>рит 54 |   | Эвкайрит<br>79   |                   | Стефанит<br>61                                     |   |

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |  |  |  |    |   |   |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|---|--|--|--|----|---|---|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют   | Ag   | Pb   | Cu   | Bi | Sb  | As  |
| Голубой          | IV             | >800    | >6                    |   |  |  |  |    |   |   |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Куперит<br>21   |  |  |  |    |   |   |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   | Кульсонит<br>163  | Пирсеит 56<br>Андорит 65<br>Диафорит<br>64<br>Рамдорит<br>66 | Геокронит<br>216<br>Иорданит<br>181<br>Буланжерит<br>194<br>Андорит 65<br>Диафорит<br>64<br>Бурнонит<br>202<br>Семсейит<br>198<br>Рамдорит<br>66 | Станнин<br>280<br>Пирсеит<br>56<br>Бурнонит<br>202 |    | Геокронит<br>216<br>Андорит 65<br>Семсейит<br>198<br>Диафорит<br>64<br>Бурнонит<br>202<br>Буланжерит<br>194<br>Врбаит 156<br>Рамдорит<br>66 | Геокронит<br>216<br>Пирсеит<br>56<br>Врбаит<br>156<br>Иорданит<br>181 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |   | Полибазит<br>62<br>Агвиларит<br>104<br>Акантит<br>50         | Буланжерит<br>194<br>Геокронит<br>216  | Полибазит<br>62                                    |    | Геокронит<br>216<br>Полибазит<br>62<br>Буланжерит<br>194<br>Гетчелит<br>208   | Геокронит<br>216<br>Лорандит<br>155<br>Гетчелит<br>208                |

## Минералы с отражательной способностью 18—43%, изотропные

| Цвет,<br>оттенок | Микротвердость |         | Твердость<br>по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы          |                |    |                     |    |    |    |
|------------------|----------------|---------|-----------------------|--|----------------|----|---------------------|----|----|----|
|                  | Группа         | Пределы |                       | Отсутствуют  | Ag             | Pb | Cu                  | Bi | Sb | As |
| Белый,<br>серый  | IV             | >800    | >6                    | Ваэсит 255   |                |    |                     |    |    |    |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   | Ваэсит 255   |                |    |                     |    |    |    |
|                  | II             | 120—550 | 3—6                   | Штиллеит<br>80<br>Сфалерит<br>322<br>Индит 147<br>Кадмоселит<br>81 | Кутинант<br>55 |    | Джезказганит<br>154 |    |    |    |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   | Тиманнит<br>82   | Аргентит<br>51 |    |                     |    |    |    |
| Желтый           | IV             | >800    | >6                    |  |                |    |                     |    |    |    |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                   |  |                |    |                     |    |    |    |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                   |  |                |    | Сульванит<br>161    |    |    |    |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                   |  |                |    |                     |    |    |    |

| Цвет, оттенок    | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |                                 |    |  |    |                                     |                  |
|------------------|----------------|---------|--------------------|---|---------------------------------|----|--|----|-------------------------------------|------------------|
|                  | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag                              | Pb | Cu   | Bi | Sb                                  | As               |
| Розовый          | IV             | >800    | >6                 | Каттерит<br>235   |                                 |    |  |    |                                     |                  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |                                 |    |  |    |                                     |                  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Виоларит<br>265   |                                 |    | Тирреллит<br>77<br>Джезказганит<br>154<br>Блокит 100<br>Тетраэдрит<br>192<br>Джерфишерит<br>267<br>Германит 142<br>Колусит 292 |    | Тетраэдрит<br>192<br>Колусит<br>292 | Колусит 292      |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                | Колорадоит<br>122   |                                 |    |  |    |                                     |                  |
| Голубой, зеленый | IV             | >800    | >6                 | Лаурит 24   |                                 |    |  |    |                                     |                  |
|                  | III            | 550—800 | 5—6                |   |                                 |    |  |    |                                     |                  |
|                  | II             | 120—550 | 3—5                | Кульсонит<br>163  | Кутннаит<br>55                  |    | Теннантит<br>178   |    |                                     | Теннантит<br>178 |
|                  | I              | 1—120   | 1—3                |   | Агвиларит<br>104<br>Аргентит 51 |    | Берцелланит<br>73  |    |                                     |                  |

Минералы с отражательной способностью 18% и ниже, анизотропные,  
ясно двуотражающие

| Цвет,<br>оттенок    | Микротвердость |         | Твер-<br>дость<br>по<br>Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |    |    |               |    |    |    |
|---------------------|----------------|---------|-------------------------------|---|----|----|---------------|----|----|----|
|                     | Группа         | Пределы |                               | Отсутствуют   | Ag | Pb | Cu            | Bi | Sb | As |
| Белый,<br>серый     | IV             | >800    | >6                            | Старингит 294   |    |    |               |    |    |    |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                           |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                           | Гибнерит 300  |    |    |               |    |    |    |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                           |   |    |    |               |    |    |    |
| Желтый              | IV             | >800    | >6                            |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                           |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                           |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                           |   |    |    |               |    |    |    |
| Розовый             | IV             | >800    | >6                            | Стрюверит 304<br>Тапиолит 308                             |    |    |               |    |    |    |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                           | Стрюверит 304   |    |    |               |    |    |    |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                           |   |    |    | Риккардит 111 |    |    |    |
|                     | I              | 1—200   | 1—3                           |   |    |    | Умангит 72    |    |    |    |
| Голубой,<br>зеленый | IV             | >800    | >6                            | Тапиолит 308  |    |    |               |    |    |    |
|                     | III            | 550—800 | 5—6                           |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | II             | 120—550 | 3—5                           |   |    |    |               |    |    |    |
|                     | I              | 1—120   | 1—3                           |   |    |    | Клокманнит 70 |    |    |    |

Приложение XI

Минералы с отражательной способностью 18% и ниже, анизотропные,  
слабо и недвуотражающие

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы |    |    |    |    |    |                 |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|----|----|----|----|----|-----------------|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag | Pb | Cu | Bi | Sb | As              |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 | Иксиолит 313<br>Касситерит 293<br>Фергусонит 309          |    |    |    |    |    |                 |
|               | III            | 550—800 | 5—6                | Фергусонит 309<br>Фольфрамит 299                          |    |    |    |    |    |                 |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Вольфрамит 299<br>Шеедит 301<br>Ферберит 298              |    |    |    |    |    |                 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                | Гринокиит 149<br>Ванадинит 164                            |    |    |    |    |    | Аурипигмент 167 |
| Желтый        | IV             | >800    | >6                 |   |    |    |    |    |    |                 |
|               | III            | 550—800 | 5—6                |   |    |    |    |    |    |                 |
|               | II             | 120—550 | 3—5                |   |    |    |    |    |    |                 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |    |    |    |    |    |                 |
| Розовый       | IV             | >800    | >6                 | Танталит 312  |    |    |    |    |    |                 |
|               | III            | 550—800 | 5—6                | Танталит 312<br>Колумбит 311                              |    |    |    |    |    |                 |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Колумбит 311  |    |    |    |    |    |                 |
|               | I              | 1—120   | 1—3                |   |    |    |    |    |    |                 |

Приложение XII

Минералы с отражательной способностью 18% и ниже, изотропные

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы                      |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----------------|---------|--------------------|--|----|----|----|----|----|----|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют  | Ag | Pb | Cu | Bi | Sb | As |
| Белый, серый  | IV             | >800    | >6                 | Лопарит 318<br>Сукулаит 295<br>Фергусонит 309<br>Форманит 310<br>Самарскит 315 |    |    |    |    |    |    |

Продолжение прилож. XII

| Цвет, оттенок | Микротвердость |         | Твердость по Моосу | Характерные для диагностики минералов химические элементы   |    |    |    |    |    |    |  |
|---------------|----------------|---------|--------------------|---|----|----|----|----|----|----|--|
|               | Группа         | Пределы |                    | Отсутствуют   | Ag | Pb | Cu | Bi | Sb | As |  |
| Белый, серый  | III            | 550—800 | 5—6                | Фергусонит 309<br>Форманит 310<br>Микролит (кристаллический и полуметамиктный) 306<br>Пирохлор (кристаллический) 305<br>Эксенит 316<br>Эшинит 317<br>Бетафит 307<br>Лопарит 318 |    |    |    |    |    |    |  |
|               | II             | 120—550 | 3—5                | Бетафит 307<br>Джалиндит 148<br>Микролит (глубокометамиктный) 306<br>Пирохлор (глубокометамиктный) 305  |    |    |    |    |    |    |  |
|               | I              | 1—120   | 1—3                | Монтепонит 152  |    |    |    |    |    |    |  |

Алфавитный список минералов

| Минерал                  | Номер минерала в таблицах и номера приложений | Минерал        | Номер минерала в таблицах и номера приложений |
|--------------------------|---|----------------|---|
| Аваруит                  | 251; III                                      | Вестервелдит   | 270   |
| Агиларит                 | 104; VIII; IX;                                | Вилкманит      | 94  |
| Айкинит                  | 230; VII                                      | Виоларит       | 265; IX                                       |
| Акантит                  | 50; VIII                                      | Висмут самор.  | 218; I; II;                                   |
| Акташит                  | 217   | Висмутин       | 219; IV; VII                                  |
| Алларгентум              | 49  | Висмутовый     | 49  |
| Аллопалладий             | 2; II   | чилениит       |   |
| Алтаит                   | 123; III                                      | Виттихенит     | 228; VIII                                     |
| Альгодонит               | 169; II                                       | Воджинит       | 314; VIII                                     |
| Андорит                  | 65; VIII                                      | Вольфахит      | 260   |
| Анимикит                 | 49  | Вольфрамит     | 299; XI                                       |
| Антимонит                | 188; VII                                      | Вольнскийит    | 129; V  |
| Аргентит                 | 51; IX  | Врбанит        | 156; VIII                                     |
| Аргентопирит             | 53; IV  | Вулканит       | 110; I; VII                                   |
| Аргиродит                | 144; VIII                                     | Высоцкит       | 23; V   |
| Аркверит                 | 49  | Галенит        | 321; VI                                       |
| Арсенопалладинит         | 30  | Галенобисмутит | 221; IV                                       |
| разновидности:           |   | Галлит         | 141; VIII                                     |
| (Pd, Pb) <sub>3</sub> As | 30  | Геверсит       | 36; III                                       |
| (Pd, Ni) <sub>3</sub> As | 30  | Гейерит        | 172   |
| Арсенопирит              | 173; V  | Геокронит      | 216; VIII                                     |
| Арсеносульванит          | 161   | Германит       | 142; IX                                       |
| Атабаскаит               | 71; VII                                       | Геровскит      | 225; VIII                                     |
| Аурипигмент              | 167; VII; XI                                  | Герсдорфит     | 275; VI                                       |
| Ауроосмирид              | 8   | Геттардит      | 213; VII                                      |
| Ашавалит                 | 86  | Герценберgit   | 277; V  |
| Балканит                 | 68; VIII                                      | Гессит         | 115; VIII                                     |
| Бамболлаит               | 75  | Гетероморфит   | 200; VII                                      |
| Баумгауерит              | 182; VII                                      | Гетчелит       | 208; VIII                                     |
| Бенжаминит               | 233; VIII                                     | Глаукодот      | 242; V  |
| Берндтит                 | 278; VII                                      | Глаукопирит    | 172   |
| Бертьерит                | 204; VII                                      | Годлевскит     | 258; V  |
| Берцелианит              | 73; VII;                                      | Грейтонит      | 183; VIII                                     |
| Бетафит                  | 307; XII                                      | Гринокиит      | 149; XI                                       |
| Биллингслеит             | 58  | Грюнлингит     | 138; V; VI                                    |
| Бисмутоаурит             | 47  | Гуанахуатит    | 105; IV                                       |
| Блокит                   | 100; IX                                       | Густавит       | 226; V; VIII                                  |
| Бончевит                 | 220; IV                                       | Гюбнерит       | 300; X  |
| Бордозит                 | 49  | Дадсонит       | 199   |
| Борнхардтит              | 89; III                                       | Дананит        | 173   |
| Бравонит                 | 263; VI                                       | Джалиндит      | 148; XII                                      |
| Брейтгауптит             | 253; IV                                       | Джезказганит   | 154; IX                                       |
| Брэггит                  | 22; V; VII                                    | Джемсонит      | 205; VII                                      |
| Буланжерит               | 194; VIII                                     | Джерфишерит    | 267; IX                                       |
| Бурнонит                 | 202; VIII                                     | Джулукулит     | 243   |
| Ваирауит                 | 234; III                                      | Диафорит       | 64; VII; VIII                                 |
| Ванадинит                | 164; XI                                       | Домейкит β     | 168; V  |
| Ваэсит                   | 255; IX                                       | Домейкит α     | 168; VI                                       |
| Веенит                   | 211; VIII                                     | Дюфренуазит    | 180; VII                                      |
| Вейссит                  | 112; VII                                      | Жозеит А       | 136; V; VI                                    |
| Верлит                   | 127; V  | Жозеит В       | 135; V  |

| Минерал   | Номер минерала в таблицах и номера приложений | Минерал                         | Номер минерала в таблицах и номера приложений |
|---|---|---------------------------------|---|
| Звягинцевит   | 18; III                                       | Крукесит                        | 76; VII                                       |
| Зигенит   | 240; VI                                       | Куллерудит                      | 91  |
| Золото самор.   | 47; III                                       | Кульсонит                       | 163; VIII; IX                                 |
| Зелигманнит   | 185; VIII                                     | Куперит                         | 21; VIII                                      |
| Иксиолит  | 314; XI                                       | Купроаурит                      | 47  |
| Икунолит  | 106   | Купробисмутит                   | 229   |
| Ильменорутит  | 303; VII; VIII                                | Купроплатина                    | 10  |
| Имгрэит   | 133; V  | (Pd,Pt,Cu) <sub>3</sub> (Sn,Cu) | 14; I   |
| Имхофит   | 158; VIII                                     | Купростибит                     | 189; IV                                       |
| Индий самор.  | 145; II; III                                  | Кутинаит                        | 55; IX  |
| Индит   | 147; IX                                       | Кюстелит                        | 49; III                                       |
| Инсизваит   | 38; III                                       | Лайтакариит                     | 107; V  |
| Иорданит  | 181; VIII                                     | Лангисит                        | 246; V  |
| Ирарсит   | 27; VI  | Лаурит                          | 24; VI; IX                                    |
| Иридий самор.   | 9; III  | Лаутит                          | 174; VIII                                     |
| Иридийстая платина                                      | 10  | Лёллингит                       | 172; I; IV                                    |
| Иридийское золото                                       | 47  | Ливейнгит                       | 184; VIII                                     |
| Иридийский осмий (сысертскит)                           | 5; I  | Ливингстонит                    | 206; VIII                                     |
| Кадмоселит  | 81; VIII; IX                                  | Лиллианит                       | 222; V  |
| Калаверит   | 119; I; II                                    | Линнеит                         | 236; VI                                       |
| Канфильдит  | 288; VIII                                     | Лонэит                          | 201; VII                                      |
| Карролит  | 238; VI                                       | Лопарит                         | 318; XII                                      |
| Касситерит  | 293; XI                                       | Лорандит                        | 155; VIII                                     |
| Каттерит  | 235; IX                                       | Люзонит                         | 176; VII                                      |
| Кэстерит  | 284; VIII                                     | Майченерит                      | 42; III                                       |
| Киткаит   | 139; II                                       | Марганцевый шадлуит             | 151   |
| Клаусталит  | 83; VI  | Мариньякит                      | 305   |
| Клокманнит  | 70; VII; X                                    | Масленицковит                   | 13; III                                       |
| Кобальтин   | 241; III; VI                                  | Маухерит                        | 274; V  |
| Кобальтистый лёллингит                                  | 172   | Мелонит                         | 132; I  |
| Кобальтовые минералы:                                   |   | Мекиненит                       | 99  |
| Co <sub>9</sub> S <sub>8</sub>                          | 237   | Менегинит                       | 203; VII                                      |
| (Co <sub>1,09</sub> Ni <sub>0,71</sub> )                | 244   | Меренскит                       | 43; I   |
| Fe <sub>0,20</sub> ×                                    |   | Миаргирит                       | 59; VII                                       |
| × (As <sub>1,98</sub> S <sub>1,2</sub> ) <sub>3</sub>   |   | Микролит                        | 306; XII                                      |
| (Co <sub>2,37</sub> Ni <sub>1,63</sub> ) <sub>4</sub> × | 245   | Миллерит                        | 254; II                                       |
| × (S <sub>6,07</sub> As <sub>4,83</sub> ) <sub>11</sub> |   | Монтбрейит                      | 120; II                                       |
| Кобеллит  | 224; VIII                                     | Монтепонит                      | 152; XII                                      |
| Козалит   | 223; VIII                                     | Мончеит                         | 44; I   |
| Колорадонит   | 122; IX                                       | Моусонит                        | 286; VII                                      |
| Колумбит  | 311; XI                                       | Мышьяк самор.                   | 165; IV; V                                    |
| Колусит   | 292; IX                                       | Мэдокит                         | 212; VII                                      |
| Коутекит  | 170; IV; V                                    | Нагиагит                        | 140; VIII                                     |
| Консбергит  | 49  | Нафиллит                        | 232; V  |
| Костовит  | 121; I  | Науманнит                       | 78; VIII                                      |
| Котульскит  | 41; I   | Невьянскит                      | 6; II   |
| Креннерит   | 118; II                                       | Нигглиит                        | 17; I; IV; VII                                |
|   |   | Никелевые минералы:             |   |
|   |   | (Fe, Ni) <sub>2</sub> S         | 264   |
|   |   | Ni — As                         | 269   |

| Минерал  | Номер минерала в таблицах и номера приложений | Минерал                                       | Номер минерала в таблицах и номера приложений |
|--|---|---|---|
| Никелин  | 268; I; IV                                    | Pd(Sb, Bi)                                    | 34; II  |
| Никель самор.  | 250; III                                      | (Pd, Ag) <sub>3</sub> X                       | 40; IV  |
| Никелистая платина   | 10  | X(Ag, Pb)X                                    |   |
| Никелистый меренскит   | 43  | X(Te, Se)                                     |   |
| Нюболопарит  | 319   | (Pd, Hg) <sub>x</sub> X                       | 45  |
| Овихинит   | 67; VII                                       | X(Te, Bi) <sub>y</sub>                        |   |
| Окартит  | 287; VIII                                     | Платиновые минералы:                          |   |
| Орселит  | 273   | Pt, Sb (?)                                    | 35; II; V                                     |
| Осарсит  | 29  | разновидность:                                |   |
| Осмий самор.   | 4; II   | Pt(Sb, Bi)                                    | 35; I   |
| Осмирид  | 7; III  | Плейферит                                     | 209; VII                                      |
| Осмистый иридий (невьянскит)                                     | 6; II   | Плюмбомикролит                                | 306   |
| Остербошит   | 46; IV  | Плюмбопалладинит                              | 19; I; IV                                     |
| Отавит   | 153   | Полибазит                                     | 62; VIII                                      |
| Отеманит   | 279; VIII                                     | Полидимит                                     | 257; VI                                       |
| Паксит   | 171; VIII                                     | Поликсен                                      | 11; III                                       |
| Палладий   | 1; III  | Полярит                                       | 20; II  |
| Палладиевый купроаурид   | 48; I; II                                     | разновидность: Pd(Pb, Te, Bi)                 | 20  |
| Палладистая платина  | 10  | Порпецит                                      | 47  |
| Парагуанахуатит  | 84; IV  | Потарит                                       | 3; I; II                                      |
| Парадокразит   | 207; I  | Прустит                                       | 57; VII                                       |
| Паракостибит   | 239; V  | Рагинит                                       | 159   |
| Параммельсбергит   | 272; II                                       | Рамдорит                                      | 66; VIII                                      |
| Паркерит   | 262; IV                                       | Раммельсбергит                                | 271; II                                       |
| Патронит   | 162   | Ратит — I                                     | 186; VIII                                     |
| Пентландит   | 266; VI                                       | Реальгар                                      | 166; VII                                      |
| Петцит   | 116; VIII                                     | Рейкебурит                                    | 306   |
| Пикополит  | 160; VII                                      | Реньерит                                      | 143; VIII                                     |
| Пираргирит   | 60; VII                                       | Решбанит                                      | 231; V  |
| Пирит  | 320; III                                      | Риккардит                                     | 111; VII; X                                   |
| Пирохлор   | 305; XII                                      | Родистая платина                              | 10  |
| Пирсеит  | 56; VIII                                      | Родит   | 47  |
| Плагнионит   | 196; VII                                      | Родостаннин                                   | 283; VIII                                     |
| Платина самор.   | 10; III                                       | Рокезит                                       | 146; VIII                                     |
| Платинистое золото   | 47  | Рутенневый минерал (Ru, Os, Ir)S <sub>2</sub> | 26; II  |
| Платинистый иридий   | 9; III  | Сакураит                                      | 285   |
| Платинит   | 108   | Самарскит                                     | 315; XII                                      |
| Плюмбопалладинит   | 19; I; IV                                     | Санмартинит                                   | 302   |
| Палладиевые минералы (Pd, Ni) <sub>2</sub> As Pd <sub>2</sub> Sn | 31; V<br>15; I                                | Сарторит                                      | 179; VIII                                     |
|  |   | Саффорит                                      | 247; II                                       |
|  |   | Седахольмит                                   | 98  |
|  |   | Селен самор.                                  | 69; VII                                       |
|  |   | Селеневые минералы:                           |   |
|  |   | NiSe <sub>2</sub>                             | 92  |
|  |   | Ni <sub>3</sub> Se <sub>4</sub>               | 95  |

| Минерал                                 | Номер минерала в таблицах и номера приложений | Минерал              | Номер минерала в таблицах и номера приложений |
|---|---|----------------------|---|
| $Ni_{1-x}Se_x$                          | 96  | Теллур самор.        | 109; II; V                                    |
| $\times (Ni_{0,5}Se - Ni_{0,7}Se)$      |   | Теллуrowые минералы: |   |
| NiSe                                    | 97  | $Bi_2Te_5$           | 124; II                                       |
| NiTeSe                                  | 101   | $(Pb, Bi)_2Te_4$     | 130; I  |
| $Ni_3(S, Se)_4$                         | 102   | Теллуrowисмутит      | 125; II                                       |
| Семсейит                                | 198; VIII                                     | Теннантит            | 178; IX                                       |
| Серебро самор.                          | 49; III                                       | Теремковит           | 67  |
| Серебро медистое                        | 49; III                                       | Тетрадимит           | 134; V  |
| Сильванит                               | 117; I  | Тетраэдрит           | 192; IX                                       |
| Синнерит                                | 177; VIII                                     | Тиллит               | 289; V; VIII                                  |
| Скунолит                                | 103   | Тиманнит             | 82; VIII; IX                                  |
| Скуттерудит                             | 248; III                                      | Тинтиннит            | 197; VII                                      |
| Смальтин                                | 249; III                                      | Тиррелит             | 77; VI; IX                                    |
| Сорбит                                  | 214; VII                                      | Титанбетафит         | 307   |
| Сперрилит                               | 32; III; VI                                   | Торолит              | 296; VII                                      |
| разновидности:                          |   | Трогталит            | 87; VI  |
| (Pt, Ir)As <sub>2</sub>                 | 32  | Трюстедтит           | 93  |
| Pt(Ir, Os) <sub>2</sub> As <sub>4</sub> | 32  | Тунгстенит           | 297; VII                                      |
| Станнин                                 | 280; VIII                                     | Ульманиит            | 261; III; VI                                  |
| Станнин желтый                          | 281; VIII                                     | Умангит              | 72; X   |
| Станноидит                              | 282; VII                                      | Уджинит              | 314; VIII                                     |
| Станнопалладинит                        | 16; I; IV                                     | Фаматинит            | 191; VIII                                     |
| Старингит                               | 294; X  | Ферберит             | 298; XI                                       |
| Стеррит                                 | 215   | Фергусонит           | 309; XI; XII                                  |
| Стефанит                                | 61; VIII                                      | Ферроплатина         | 12; II; III                                   |
| Стибиолоционит                          | 176   | Ферроселит           | 85; IV  |
| Стибиопалладинит                        | 33; II; V                                     | Физелиит             | 66  |
| разновидность:                          |   | Форманит             | 310; XII                                      |
| (Pd, Cu) <sub>3</sub> Sb                | 33; V   | Франкеит             | 290; VIII                                     |
| Стибиотеллуrowисмутит                   | 126; II                                       | Фребольдит           | 90; II  |
| Стибиоэнаргит                           | 175   | Фрейслебенит         | 63; VIII                                      |
| Стрюверит                               | 304; VII; X                                   | Фробергит            | 131; V  |
| Сульванит                               | 161; IX                                       | Фрудит               | 37; I; II                                     |
| Сукулаит                                | 295; XII                                      | Фюлэппит             | 195; VIII                                     |
| Сурьма самор.                           | 187; I; II                                    | Халькостибит         | 190; VIII                                     |
| Сурьмяный лиллианит                     | 222   | Хастит               | 88; I   |
| Сфалерит                                | 322; IX                                       | Хатчинсонит          | 157; VII                                      |
| Сысертскит                              | 5; I  | Хедлейит             | 128; V  |
| Таполит                                 | 308; X  | Хизлеудит            | 256; II; V                                    |
| Тангалит                                | 312; XI                                       | Хлоантит             | 268a; III                                     |
| Твиннит                                 | 210; VII                                      | Холингвортит         | 28; VI  |
| (Pd, Ag) <sub>4</sub> Te                | 39; VI  | Хоулит               | 150   |
|   |   | Чиклованит           | 137   |
|   |   | Цилиндрит            | 291; VIII                                     |
|   |   | Цинкениит            | 193; VII; VIII                                |
|   |   | Шадлуниит            | 151; VIII                                     |

## Продолжение

| Минерал     | Номер минерала<br>в таблицах и номе-<br>ра приложений | Минерал    | Номер минерала<br>в таблицах и номе-<br>ра приложений |
|-------------|---|------------|---|
| Шандит      | 259   | Эвксенит   | 316; XII  |
| Шеедит      | 301; XI   | Электрум   | 47  |
| Шрейберзит  | 252   | Эмплектит  | 227; VII  |
| Штернбергит | 52; IV  | Эмпрессит  | 113; VII  |
| Штиллит     | 80; IX  | Энаргит    | 175; VIII   |
| Штроейерит  | 54; VIII  | Эрлихманит | 25  |
| Штютцит     | 114; VIII   | Эскеборнит | 74; VII; VIII   |
| Эвкайрит    | 79; VIII  | Эшинит     | 317; XII  |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   | Стр. |
|---|------|
| Введение  | 3    |
| Основные методы исследования минеральных микровключений в отраженном свете          | 5    |
| Микрорентгеноспектральный анализ. <i>О. Е. Юшко-Захарова</i>                        | 5    |
| Микроспектральный анализ <i>С. И. Лебедева</i>                                      | 11   |
| Микрорентгенометрический анализ. <i>С. И. Лебедева</i>                              | 14   |
| Оптические методы исследования. <i>О. Е. Юшко-Захарова</i>                          | 17   |
| Электронная микроскопия. <i>И. Д. Беляева</i>                                       | 24   |
| Количественный метод измерения твердости по микровдавливанию. <i>С. И. Лебедева</i> | 28   |
| Магнитная порошкография. <i>С. А. Юшко</i>  | 40   |
| Электрические свойства. <i>И. Е. Максимюк</i>                                       | 42   |
| Фазовый микрохимический анализ. <i>С. А. Юшко</i>                                   | 45   |
| Таблицы диагностических свойств рудных минералов                                    | 51   |
| Минералы платиновых металлов. <i>О. Е. Юшко-Захарова</i>                            | 54   |
| Минералы золота и серебра. <i>С. И. Лебедева</i>                                    | 74   |
| Минералы селена. <i>О. Е. Юшко-Захарова, И. Е. Максимюк</i>                         | 90   |
| Минералы теллура. <i>О. Е. Юшко-Захарова, И. Е. Максимюк</i>                        | 112  |
| Минералы галлия. <i>С. И. Лебедева</i>  | 132  |
| Минералы германия. <i>С. И. Лебедева</i>  | 134  |
| Минералы индия. <i>С. И. Лебедева</i>   | 136  |
| Минералы кадмия. <i>С. И. Лебедева</i>  | 138  |
| Минералы рения. <i>С. И. Лебедева</i>   | 142  |
| Минералы галлия. <i>С. И. Лебедева</i>  | 142  |
| Минералы ванадия. <i>С. И. Лебедева</i>   | 146  |
| Минералы мышьяка и сурьмы. <i>С. И. Лебедева</i>                                    | 148  |
| Минералы висмута. <i>С. И. Лебедева</i>   | 182  |
| Минералы кобальта. <i>И. Е. Максимюк</i>  | 192  |
| Минералы никеля. <i>И. Е. Максимюк</i>  | 198  |
| Минералы олова. <i>И. Е. Максимюк</i>   | 212  |
| Минералы вольфрама. <i>И. Е. Максимюк</i>   | 224  |
| Минералы тантала и ниобия. <i>С. И. Лебедева</i>                                    | 226  |
| Эталонные минералы. <i>И. Е. Максимюк</i>   | 240  |
| Список литературы   | 244  |
| Приложения. Определитель минералов. <i>С. А. Юшко и др.</i>                         | 254  |
| Алфавитный список минералов   | 279  |

*Софья Авраамовна Юшко,  
Оксана Евгеньевна Юшко-Захарова,  
Серафима Ивановна Лебедева,  
Инна Евгеньевна Максимюк*

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Редактор издательства А. М. Антокольская  
Переплет художника С. Я. Смирновой  
Технические редакторы Л. В. Дунаева,  
Л. Г. Лаврентьева  
Корректор Т. Ю. Шульц

---

Сдано в набор 29/1 1974 г. Подписано в печать  
12/V 1975 г. Т-06337 Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага № 1  
Печ. л. 18 Усл. п. л. 23,4 Уч.-изд. л. 21,31  
Тираж 4300 экз. Заказ 800/4751 — 14 Цена 1 р. 31 к.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,  
Третьяковский проезд, 1/19

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете Совета  
Министров СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли,  
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая улица, 24.

## **УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!**

**В издательстве „Недра“**

**готовятся к печати**

**новые книги**

**ГОДОВИКОВ А. А. Минералогия. 40 л. 4 р. 35 к.**

В книге дано систематическое описание главнейших минералов, имеющих значение в качестве полезных ископаемых или являющихся породообразующими. Большое внимание обращено на характеристику важнейших групп, семейств, классов и типов минералов. Рассмотрены самородные элементы, сульфиды, окислы и гидрокислы, силикаты, бораты, фосфаты, карбонаты, вольфраматы и молибдаты, сульфаты и галогениды. Для каждого минерала приведены структура, особенности химического состава, основные свойства, условия образования и изменения. Описание минералов составлено на уровне современных знаний в области минералогии и смежных с ней наук (кристаллографии, физической химии, синтеза минералов и др.). Особое внимание уделено новейшим данным по кристаллохимии, химизму минералов, связи свойств минералов с их составом и структурой.

Книга рассчитана на минералогов, петрографов, геохимиков и других специалистов, занимающихся изучением или использованием минерального сырья. Она может быть также рекомендована студентам геологических факультетов и вузов.

**МАРФУНИН А. С. Спектроскопия, люминесценция  
и радиационные центры в минералах. 30 л. 3 р. 42 к.**

В книге впервые рассмотрены минералого-геохимические аспекты новейших методов исследования — мессбауэровской, рентгеновской и рентгеноэлектронной спектроскопии. Описаны основы и применение в минералогии и геохимии радиоспектроскопии — электронного парамагнитного, ядерного магнитного и ядерного квадрупольного резонанса. На основе последних достижений физики твердого тела изложены методы люминесценции и термолюминесценции. Подробно освещены спектры редких земель и типы люминесцирующих систем в минералах. Детально разобрано открытие радиационных центров (свободных радикалов) в минералах и их значение для кристаллохимических, минералого-геохимических, петрографических и космохимических исследований. Дана систематизированная библиография по рассматриваемым вопросам.

Книга рассчитана на минералогов, петрографов и геохимиков. Кроме того, она представляет интерес для специалистов по материаловедению, неорганической химии и физике твердого тела.

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

317 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект 61  
359 — 127412, Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

10  
1 р. 31 к.

1737

НЕДРА