СПРАВОЧНИК-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

СПРАВОЧНИК

СПРАВОЧНИК-

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

4951



МОСКВА "НЕДРА" 1988



ББК 26303
С 74
УДК 549.21+549.5

Авторы: **Т. Н. Чвилёва, М. С. Безсмертная, Э. М. Спиридонов, А. С. Агроскин, Г. В. Папаян, Р. А. Виноградова, С. И. Лебедева, Е. Н. Завьялов, А. А. Филимонова, В. К. Петров, Л. П. Раутиан, О. Л. Свешникова**

Рецензент д-р геол.-минер. наук *Т. Н. Шадлун*

С 74 **Справочник-определитель** рудных минералов в отраженном свете/Т. Н. Чвилёва, М. С. Безсмертная, Э. М. Спиридонов и др.— М.: Недра, 1988.— 504 с.

ISBN 5—247—01226—7

Приведены систематическое описание 505 рудных минералов, таблицы и графики для их определения. Особое внимание уделено редким и новым минералам. Помимо общих сведений для каждого минерала даны спектры отражения, двуотражение, параметры цвета, микротвердость, рентгенограмма. Все главные свойства минералов сведены в цветную таблицу-определитель. Предлагается разработанная авторами система автоматизированной диагностики; охарактеризована использованная аппаратура, приведены банк данных и ряды рудных минералов, ранжированных по степени сходства спектральных кривых.

Для минералогов, геологов, обогатителей и других специалистов, занимающихся изучением и диагностикой рудных минералов.

С $\frac{1904020000—083}{043(01)—88}$ —67—87 ББК 26 303

ISBN 5—247—01226—7

© Издательство «Недра», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем издании приведены результаты начатых авторами много лет назад работ по изучению рудных минералов. Главной целью проводившихся исследований было совершенствование приемов диагностики рудных минералов в полированных шлифах и внедрение количественных методов изучения минералов в практику производственных минералогических лабораторий. После выхода в свет работы [23] накопилось много новых сведений, уточнены полученные ранее данные, расширился круг изученных минералов.

В Справочнике приведены материалы по различным аспектам изучения рудных минералов: 1) результаты исследования химических составов и зависимости «состав — свойство»; 2) количественные характеристики главных оптических свойств в полированных шлифах — анизотропии (двуотражения) и цвета минералов; 3) разработанная авторами система автоматизированной диагностики, основанная на анализе спектральных кривых отражения; 4) новый наглядный определитель в форме цветной таблицы на трех листах, включающий данные для 450 минералов.

Основной объем Справочника составляют результаты, полученные авторами на изученных ими образцах минералов. Эти материалы сопоставлены с публикациями по 1984 г. включительно.

В процессе подготовки Справочника к печати работа в авторском коллективе распределялась следующим образом. Структура книги разработана М. С. Безсмертной, Т. Н. Чвилёвой и Э. М. Спиридоновым; ими же при участии С. И. Лебедевой осуществлялось общее руководство в работе над определителем. Т. Н. Чвилёвой исследовано отражение изученных минералов, проанализированы спектры отражения и параметры цвета в сопоставлении с визуальными образами, проведено сравнение полученных данных с материалами, имеющимися в опубликованной отечественной и иностранной литературе, составлены сравнительные графики спектров отражения и (при участи М. С. Безсмертной) цветная таблица главных диагностических свойств рудных минералов (на основе систематики по отражению), кроме того, написаны предисловие, введение, раздел по методике оптических исследований, пояснения к определителю и описанию минералов, составлены сводные таблицы фактических материалов по исследованию отражения всех минералов. Исследование отражения минералов проводилось совместно с сотрудниками Лаборатории микроскопии Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (Л. С. Агроскиным, Г. В. Папаяном, Л. П. Раутиан, В. К. Петровым). Э. М. Спиридоновым выполнен основной объем исследований химических составов минералов на рентгеноспектральном микроанализаторе, написан раздел по методике микрозондовых исследований, составлены описания минералов. М. С. Безсмертной составлены опи-

сания минералов. Т. Л. Евстигнеевой написан раздел по методике рентгеновского анализа, подобрана значительная часть данных по *межплоскостным расстояниям минералов. С. И. Лебедевой измерена* микротвердость большей части минералов, составлены соответствующие таблицы и графики, написан раздел по методике изучения микротвердости. Л. С. Агроскиным, Г. В. Папаяном, В. К. Петровым и Л. П. Раутиан выполнены работы по автоматизации приемов оценки спектров отражения, при участии Т. Н. Чвилёвой создан банк данных эталонных спектров всех минералов, приведенных в Справочнике, *составлены ряды минералов, ранжированных по степени сходства* спектров отражения.

Во всех видах работ при подготовке рукописи к печати авторы пользовались помощью М. Ф. Чурсиной и Н. Ф. Соколовой; при выполнении графиков, составлении таблиц и подготовке материалов к расчетам цвета большая помощь оказана Т. М. Шипуновой; расчеты цвета выполнены в математической группе ИМГРЭ под руководством В. С. Воронова; подготовка цветной таблицы к типографскому набору осуществлена в картографическом бюро ИМГРЭ В. К. Бариновой и З. И. Песковой. Всем перечисленным выше лицам, а также исследователям, предоставившим образцы для изучения отражения, авторы глубоко признательны.

Вторая часть книги (описание рудных минералов) составлена М. С. Безсмертной, Э. М. Спиридоновым, Т. Л. Евстигнеевой, Р. А. Виноградовой, Е. Н. Завьяловым, А. А. Филимоновой, О. Л. Свешниковой, Т. Н. Чвилёвой.

М. С. Безсмертная — агвиларит, акантит, алабандин, алларгентум, альгодонит, англезит, андрадит, анилит, анимикит, антимонит, арамайоит, аргиродит, ардаит, аркубисит, атабаскаит, аурипигмент, ащавалит, ашамальмит, бамболлаит, барит, баумгауерит, беллидоит, бенавидесит, бенжаминит, бертьерит, берцелианит, бетехтинит, биллингслеит, буланжерит, бурнонит, бурсаит, валлисит, вейбуллит, вейссбергит, викингит, витнеит, виттихенит, врбаит, вулканит, вюртцит, галеновисмутит, галхаит, гаравеллит, гатчит, гетероморфит, *геокронит, гетчелит, гиперциннабарит, гиссенит, гирит, гортдрамит,* грейтонит, гринокит, густавит, гутчинсонит, дадсонит, делафоссит, дервиллит, джарлеит, джезказганит, джемсонит, дигенит, диморфит, диопсид, дискразит, доломит, домейкит, дрисдаллит, дюранусит, дюфренуазит, жеффроит, зелигманнит, идаит, ильваит, имхофит, иодаргирит, иордизит, кадмоселит, кальцит, канниццарит, канфильдит, карлинит, кастаньит, кварц, кермезит, киноварь, клаусталит, клокманнит, *кобеллит,* ковеллин, козалит, колымит, коутекит, крутаит, ксантоконит, купровисмутит, купропавонит, купростибит, кутинаит, лазаревичит, ларозит, лаутит, лаффитит, ленгенбахит, ливейнгит, ливингстонит, лиллианит, лонэит, лорандит, маккинстриит, матильдит, маррит, менегинит, метастибнит, метациннабарит, михараит, молибденит, морозевичит, мусковит, мышьяк, науманнит, нисбит, новакит, новацкиит, нордстремит, нукундамит, оливин, оурейит, павонит, паксит, парадокразит, парашахнерит, петровицит, плагионит, пиростильпнит, плейферит, плюмозит, полковичит, полхемусит, пяккёненит,

ратит, реальгар, ребулит, риккардит, рутьеит, сабатьерит, самсонит, сарторит, свинец, сейняйокит, селен, сера, сидерит, синнерит, симонит, скиннерит, смитит, смитсонит, спионкопит, стерриит, стибарсен, сурьма, твалчрелидзеит, тиманнит, титанит, трехманнит, тремолит, трёжерит, тугариновит, тунгстенит, турмалин, умангит, ферроселит, франкеит, фридрихит, флюорит, фурутобеит, халькозин, халькостибит, хенриит, хейровскиит, ходрушит, хоробетсуит, хоулиит, христит, церуссит, цилиндрит, цинкенит, циркон, шабурнеит, шамеанит, шахнерит, ширмерит, штиллеит, штромейерит, эвкайрит, эллисит, эмплектит, эскеборнит, эскимоит, ялпаит, ярроуит.

Р. А. Виноградова — аллоклазит, блокит, борнхардтит, ваэсит, вестервелдит, вилкманит, вилламанинит, виллиамит, виоларит, вожминит, герсдорфит, глаукодот, грейгит, гудмундит, зигенит, карролит, каттьерит, клиносаффлорит, кобальтин, костибит, крутовит, куллерудит, лангисит, лёллингит, линнеит, маухерит, мёкиненит, миллерит, моддерит, никелин, никель, никельскуттерудит, орегонит, орселит, паракостибит, параграммельсбергит, полидимит, раммельсбергит, саффлорит, седерхолмит, скуттерудит, тиррелит, трогталит, трюстедтит, ульманит, флетчерит, фребольдит, хастит, хизлевудит, хлоантит, шмальтин.

Е. Н. Завьялов — алексит, богдановичит, вейбуллит, висмут, волынскит, гуанахуатит, жозеит А, жозеит В, икунолит, ингодит, кавацулит, лайтакариит, мгриит, невскит, парагуанахуатит, пильзенит, платинит, поубаит, раклиджит, соучекит, сульфоцумоит, теллур, теллуровисмутит, тетрадимит, хедлейит, цумоит.

О. Л. Свешникова — андорит, аргентопирит, арсенополибазит, балканит, диафорит, миаргирит, накасеит, овихиит, пираргирит, пирсеит, полибазит, прустит, рамдорит, стефанит, стибиопирсеит, учукчакуаит, физелиит, фрейслебенит, штернбергит.

Э. М. Спиридонов — аварунт, айкинит, айтенбогардтит, акташит, алексит, алмаз, алтаит, альфа—сульфид As, амальгама Au, аннивит, аргентопентландит, аргентотеннантит, аргентотетраэдрит, арсенопирит, аурикуприт, ауростибит, безсмертновит, берриит, билибинскит, богдановит, брейтгауптит, вайрауит, вакабаяшилит, веенит, вейссит, верлит, висмутин, виттит, вольфрамит, галенит, гематит, герсдорфит, герцинит, гессит, гётит, геттардит, гладит, голдфилдит, графит, груздевит, гунгаррит, джайпурит, джуноит, железо, жиродит, золото, ильменит, имгрэит, иорданит, калаверит, камасит, касситерит, киткаит, кобальтин, когенит, колорадоит, колумбит, колусит, костовит, креннерит, круксит, крупкаит, кулсонит, куприт, купроаурит, купропентландит, кюстелит, линдстрёмит, лиюджинюйнит, маггемит, магнетит, мальдонит, марказит, маттагамит, медь, мелонит, минерал Au_3Cu, монтбрейит, мошельландсбергит, мутманнит, мэдокит, нагиагит, наффилдит, нейит, олово, парареальгар, пекоит, пенжинит перминжатит, петцит, пирит, рейит, робинсонит, рожковит, рутил, семсейит, серебро, сильванит, сорбиит, сфалерит, твиннит, теллурантимонит, теллурит, теллуровисмутит, теннантит, тетрааурикуприт, тетраэдрит, тинтинаит, титаномагнетит, тэнит, фалькманит, фишессерит, франклинит, фрейбергит, фробергит, фукучилит, фюлёп-

пит, хакит, халькопирротин, хаммарит, хромит, цинкит, швацит, шеелит, шпинель, штютцит, шульцит, электрум, эмпрессит. При участии *Т. Л. Евстигнеевой* — аргентопентландит, арсеногаухекорнит, бартонит, берндтит, буковит, валлериит, великит, висмутогаухекорнит, галлит, гаухекорнит, гексастаннин, германит, герценбергит, годлевскит, джерфишерит, изостаннин, индит, кёстерит, киддкрикит, кобальтпентландит, колусит, курамит, люцонит, макинавит, манганшадлунит, моусонит, мохит, мурунскит, некрасовит, окартит, оттеманит, парапьерротит, паркерит, патронит, пьерротит, пикополит, пиркитасит, рагинит, расвумит, реньерит, родостаннин, рокезит, рохаит, сакураит, смайтит, станнин, станноидит, стистаит, сульванит, талкусит, талфенисит, теллургаухекорнит, тиллит, точилинит, тучекит, фаматинит, хаапалаит, халькоталлит, хемусит, чаткалит, черниит, шадлунит, энаргит, эрдит, юшкинит.

А. А. Филимонова — борнит, кубанит, пентландит, пирротин моноклинный, пирротин промежуточный, путоранит, талнахит, троилит, халькопирит, моихукит, хейкокит.

Т. Н. Чвилёва — написала микроскопию большей части перечисленных выше минералов.

ВВЕДЕНИЕ

Практика изучения руд и продуктов обогащения показывает, что главными объектами исследований все чаще становятся сложные, тонкие срастания и минералы, встречающиеся в природе в форме мельчайших рассеянных выделений. Определение подобных образований чрезвычайно затруднительно и неосуществимо обычными классическими аналитическими методами, поэтому диагностика рудных минералов остается актуальной проблемой современной минералогии.

В последние годы наиболее эффективным направлением в арсенале современных методических приемов минераграфии Международной минералогической ассоциацией признано исследование отражения количественными методами. Категория отражения представляет функцию состава и внутренней структуры вещества; поэтому расшифровка спектров отражения позволяет вскрывать корреляционную зависимость оптических свойств от состава, кристаллической структуры, природы химической связи. Исследования отражения в теоретических разработках физики твердого тела сулят заманчивые перспективы, однако в настоящее время эти стороны изучения светопоглощающих объектов еще далеки от практики минераграфии, использующей отражение пока, главным образом, лишь в диагностических целях.

Во всех ведущих лабораториях мира в последние годы продолжают разрабатываться и совершенствоваться методики количественной оценки оптических свойств в отраженном свете, и прежде всего приемы измерения отражения в интервале видимой области; совершенствуются оптическая аппаратура и эталоны; накапливается фактический материал по изучению отдельных минералов и изоморфных рядов; выявляются зависимости отражения минералов от изменения состава; определяются возможности и ограничения метода при изучении конкретных групп минералов; определяются источники и пределы погрешностей и влияние их на достоверность получаемых результатов; предпринимаются попытки автоматизации процесса диагностики. Особенно интенсивные исследования за рубежом проводятся в Великобритании (С. Бови, П. Симпсон, Р. Филлипс), Франции (К. Леви, П. Пико, Р. Кайе), США (Б. Леонард), Испании (А. Лопес-Солер), Нидерландах (Е. Бурке), ФРГ (Х. Пиллер). В Советском Союзе большие работы по исследованию отражения применительно к целям минераграфии проводятся Л. Н. Вяльсовым (ИГЕМ), Н. И. Шумской (ВСЕГЕИ), Т. Н. Чвилёвой, М. С. Безсмертной, О. Е. Юшко-Захаровой, Д. К. Щербачевым (ИМГРЭ). Накопленный к настоящему времени опыт свидетельствует, что спектры отражения в видимой области являются важной количественной характеристикой, надежно определяющей подавляющее большинство рудных минералов, и, следовательно, с успехом могут использоваться в диагностике. Роль и значение в практике минераграфии спектров отражения

в УФ- и ИК-областях недостаточно ясны из-за малочисленности соответствующих данных. Не вышли из стадии поисков и накапливания материала также работы по определению показателей преломления n и коэффициентов поглощения K, и эти фундаментальные характеристики кристаллического вещества еще далеки от практического использования их в минераграфии.

Решению конкретных практических задач микродиагностики рудных минералов была подчинена многолетняя работа авторского коллектива, и такая направленность исследований определила содержание настоящего Справочника. Авторы не рассматривают теоретических вопросов и перспектив исследований рудных минералов в отраженном свете, а все содержание его подчиняют чисто прикладным целям — практической диагностике микровыделений минералов в полированных шлифах.

В Справочнике систематизированы результаты исследования отражения и твердости около 500 рудных и жильных минералов по состоянию на конец 1984 г.: самородных металлов, интерметаллических соединений, теллуридов, селенидов, сульфидов, сульфосолей, некоторых оксидов и других кислородных соединений. Из них около 300 минеральных видов детально изучены авторами. Не рассматриваются минералы марганца и элементов платиновой группы. Все изученные авторами минералы были надежно диагностированы комплексом методов. Для всех образцов получены дебаеграммы (часть из микропроб, заключенных в шарик из резинового клея), для большей части определены химические составы методом рентгеноспектрального микроанализа и измерена твердость по микровдавливанию. Отражение исследовано в видимой области, для 100 минералов — также в ближнем УФ. Параметры цвета рассчитаны для всех минералов, изученных авторами, а также для большей части минералов, спектры отражения которых приводятся по литературным источникам.

Для сопоставления результатов по исследованию отражения использованы сведения, приведенные в монографиях [10, 43, 50, 35], а также публикации в периодической отечественной и зарубежной печати до 1984 г. Однако сопоставление с материалами Л. Н. Вяльсова, П. Пико и Н. И. Шумской не всегда может быть строгим из-за отсутствия в этих работах сведений о составе изученных образцов, и поэтому причины расхождений не находят достаточного объяснения. Для минералов, отсутствовавших у авторов или изученных ими недостаточно детально, сведения приводятся по литературным источникам.

Отобранные в результате анализа и сопоставлений наиболее надежные и достоверные данные по отражению использованы при составлении цветной таблицы-определителя (прилож. 1), в автоматизированной системе диагностики и в качестве справочного материала вместе с микротвердостью приведены в прилож. 2—10.

СОКРАЩЕНИЯ И ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

a, b, $c = a_0$, b_0, c_0 — параметры элементарной ячейки
α, β, γ — углы между кристаллографическими осями
(nkl) — простые оси и грани, индексы отражений на рентгенограмме
Z — число формульных единиц в элементарной ячейке
I — интенсивность линий порошкограммы
R — отражение анизотропных недвуотражающих минералов
R — отражение изотропных минералов (кубической сингонии)
$\overline{R_0}$, R_e — отражение одноосных минералов
R_g, R_m, R_p — отражение двуосных минералов
R_1, R_2 ($R_1 = \min$, $R_2 = \max$ при $\lambda = 550$ нм) — отражение минералов, изменяющих оптический знак в видимой области
λ — длина волны монохроматического излучения
ассоц.— ассоциация, ассоциирует
ат. % — атомное содержание элемента в минерале или в синтетической фазе
бл.— блеск
в. р.— внутренние рефлексы
выч.— вычисленный
гекс. с.— гексагональная сингония
гр.— группа
дв.— двойники, двойниковые
двуотраж.— двуотражение
изуч.— изученный материал (название раздела)
ИК — инфракрасный
колл.— коллекция
куб. с.— кубическая сингония
микр.— микроскопия (название раздела)
микр.^{м} — минерал наблюдался только под микроскопом, в шлифах
микротв.— микротвердость
м-ние — месторождение
монокл. с— моноклинальная сингония
нахожд.— нахождение (название раздела)
обр.— образец (образцы)
отл.— отличие (название раздела)
отраж.— отражение
отт.— оттенок
полир. шлиф — полированный шлиф
полисинт.— полисинтетический
прох. св.— проходящий свет
рентген.— рентгенограмма (название раздела)
ромб. с.— ромбическая сингония
р-к — рудник
синт.— синтетический
сп.— спайность
сов. сп.— совершенная спайность
сп.-275 — номер спектра отражения (в рубрике изученный материал), соответствующий номеру спектра отражения (и номеру минерала), приведенному в прилож. 3, 4, 9 и 10
ср.— средний
тв.— твердость
теор.— теоретический (состав)
$T_{пл}$ — температура плавления
тетр. с.— тетрагональная сингония
триг. с.— тригональная сингония

трикл. с.— триклинная сингония
УФ — ультрафиолетовый
ф. е.— формульная единица
хим.— химический состав (название раздела); анализы, выполненные на рентгеновском микроанализаторе (зонде), обозначены индексом «мз» у суммы ($\Sigma 99{,}6^{мз}$); аналитики: БВД — В. Д. Бегизов, БЮС — Ю. С. Бородаев, ДМД — Д. М. Дашевская, ЛИП — И. П. Лапутина, ЛЮГ — Ю. Г. Лаврентьев, МВС — М. С. Маслов, НЛЕ — Л. Е. Новороссова, ПАИ — А. И. Покровская, РНС — Н. С. Рудашевский, ССМ — С. М. Сандомирская, СЛН — Л. Н. Соболева, СЭМ — Э. М. Спиридонов, СНЕ — Н. Е. Сергеева, ТНВ — Н. В. Тронева, ЦАИ — А. И. Цепин, ЧВМ — В. М. Чубаров, ШНГ — Н. Г. Шумкова
цв.— цвет
цв. эфф.— цветной эффект
H — относительный рельеф
VHN — твердость по микровдавливанию, в нижнем индексе — использованная нагрузка

Многократно повторяющиеся общепринятые обозначения размерности числовых величин следующих категорий свойств в тексте опущены: температура — в градусах Цельсия, результаты химических анализов — в массовых долях, %.

На рисунках кривые, построенные по результатам измерений отражения, полученным авторами, изображены сплошными линиями, по данным других исследователей — пунктирными.

Номер, стоящий на некоторых рисунках после названия минерала, соответствует номеру спектра, приведенному в прилож. 3, 4, 9 и 10 и воспроизведенному в виде кривой на рисунке.

Часть первая

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ В ПОЛИРОВАННЫХ ШЛИФАХ

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДИКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ

О рентгеноспектральном микроанализе с помощью электронного микрозонда

В последние два десятилетия в рудной минералогии широко применяется рентгеноспектральный микроанализ с помощью электронного микрозонда (МРСА), иначе электронное микрозондирование или просто микрозондирование. Применение электронного микрозонда дало возможность экспрессного определения качественного и количественного химического состава любых минералов размером до первых микрометров, изучения их тонкой зональности и т. п. Общая характеристика микрозондового метода исследования, включая описания основных типов приборов, дана в работе [6], поэтому здесь приведены некоторые особенности МРСА.

Прежде всего следует отметить, что абсолютными (точнее, приближающимися к абсолютным) являются объемные и близкие к ним методы количественного химического анализа. МРСА представляет собой относительный (!) метод, основанный на сравнении интенсивностей характеристического рентгеновского излучения образца и эталона. Возможными источниками погрешностей являются: недостаточное качество полировки, различное напыление на образце и эталоне, разная матрица для образца и для эталона, дрейф параметров электронного пучка в процессе измерений, негомогенность или (и) недостаточная точность определения состава эталонов и т. п.

Чувствительность МРСА для большинства элементов составляет около 0,1—0,5 %, для ряда элементов (при тщательном контроле за уровнем фона и за отсутствием наложения аналитических линий) — около 0,01 %. Точность рядовых анализов составляет обычно около 3 % (для концентраций более 10 %) и около 10 % (для концентраций менее 5 %); при использовании эталонов, состав которых близок к исследуемому образцу, точность может достичь 1 % (для концентраций более 10 %) и порядка 5 % (для концентраций 1—5 %). Абсолютизировать МРСА нельзя, например делать выводы о тонкой нестехиометрии минералов на основе химических анализов, выполненных с помощью электронного микрозонда.

Основа успешного применения МРСА — использование серии эталонов, состав которых максимально близок к составу исследуемых минералов. Например, при определении Ag в самородном золоте в качестве эталона нужно использовать Au-Ag сплавы известного состава. Применение чистого серебра недопустимо, так как большие

погрешности в этом случае нельзя устранить при машинной обработке. Аналогично при определении Fe в сульфидах нельзя использовать в качестве эталона оксиды Fe (и наоборот). При определении S в блеклых рудах нельзя использовать в качестве эталона гринокит CdS, так как при этом оценки содержаний серы в блеклой руде получаются сильно заниженными.

Приведем еще один пример по анализу блеклых руд. М. Шарль и К. Леви в 1974 г. при МРСА блеклых руд, богатых Sb, As и Ag соответственно, использовали в качестве эталонов химически анализированные образцы тетраэдрита, теннантита и фрейбергита. Были получены анализы высокого качества, свидетельствующие о стехиометричном составе блеклых руд. Использование эталонов, состав которых резко отличен от состава блеклых руд, приводит зачастую к иным результатам, а именно к нестехиометричным составам блеклых руд (данные Н. Н. Мозговой и А. И. Цепина, полученные в 1983 г). При невозможности подбора эталонов близкого состава рекомендуется применять в их качестве вещества с близкой средней атомной массой. Так, при определении S в платиновых минералах можно использовать WS_2 или PbS, но не пирит.

Идеальной для анализа ситуацией является та, при которой исследуемые образцы и эталоны смонтированы в одном препарате близко друг к другу и анализ протекает по схеме «эталон—образец—эталон». Эталоны прежде всего должны быть однородными по составу, что легче достигается для синтетических препаратов. При монтировке образцов широко используются: 1) сплав Вуда (недопустимо при исследовании рудных минералов, содержащих Pb, Bi, Cd, Tl); 2) проводящее покрытие — краска на основе коллоидного серебра (недопустимо при изучении серебросодержащих минералов, в этом случае следует применять краску на основе тонкодисперсного алюминия).

Для проведения МРСА значительную трудность представляют те минералы, которые горят под электронным зондом, и те, у которых резко (до нескольких тысяч раз) колеблется электропроводность в различных кристаллографических направлениях (это прежде всего минералы серебра, некоторые минералы ртути, селена, таллия и др.). Одним из способов преодоления таких явлений может быть использование сильного (до очень сильного) напыления графитом. Для анализа пористых образцов силикатов и оксидов можно рекомендовать напыление золотом, что создает почти идеальные условия для МРСА. Расход золота для напыления ничтожен — около 1 мг на многие десятки шашек.

При проведении МРСА нужно все время следить за возможностью наложения линий различных элементов. Нередки случаи, когда Pb определялся как As и, наоборот, в самородном золоте «открывали» значительные концентрации селена и т. п. Особенно это касается тех случаев, когда определяют микропримеси [6].

На микропримесях следует остановиться особо, так как это важно для выявления типоморфизма таких ведущих рудных минералов, как пирит, галенит, золото и др. Считается, что поскольку локальность электронного зонда составляет около 1 мкм и менее, то можно

определять микропримеси любых элементов в зернах размером более 5 мкм в любой минеральной среде. Это мнение ошибочно, так как, во-первых, диаметр электронного пучка обычно составляет не менее 1,5 мкм; во-вторых, сфокусированный пучок сопровождается пучком слабого рассеянного излучения диаметром 50 мкм и более. Этого рассеянного излучения достаточно для невозможности сколько-нибудь надежного определения, например, примеси, Cu в золотине размером менее 30—50 мкм, включенной в халькопирите; Ni в зерне пирротина размером менее 30 мкм, включенном в пентландите, и т. д.

Одним из доказательств присутствия элементов-примесей в минерале считается равномерность (или правильная зональность) в их распределении по площади зерен и (или) наличие зависимостей «состав—свойства». В этой связи нужно заметить, что нередко размер минеральных зерен в десятки и сотни раз менее 1 мкм, т. е. меньше, чем локальность электронного пучка и разрешающая способность оптического микроскопа. Необходима проверка данных МРСА другими независимыми методами: микроспектральный анализ из небольших объемов, извлеченных из шлифов; спектральный анализ образцов руд; исследования с помощью электронного микроскопа и т. д.

Так, например, в последнее время электронно-зондовым микроанализом установлены блеклые руды с 10—11 %-ным содержанием Au и почти однородным распределением в них золота, выявлена зависимость «состав—отражение» (данные В. А. Коваленкера с соавторами). Однако рентгенометрический анализ показал, что это тонкие минеральные смеси блеклой руды и теллурида золота. В 1980 г. с помощью МРСА были изучены магнетиты Коршуновского м-ния Восточной Сибири и ошибочно установлены в них весьма значительные примеси кремния и магния; и тот и другой примесные компоненты статистически распределены совершенно равномерно; по оптическим свойствам — это тонкокристаллический агрегат магнетита (данные С. А. Щеки с соавторами). Однако параметры элементарной ячейки и термомагнитные характеристики данного магнетита отвечают практически чистому $FeFe_2O_4$, рентгенофазовый анализ показал наличие значительного количества тончайших вростков магнезиального хлорита, в котором и содержится весь Si и Mg (данные Д. М. Дашевской, полученные в 1978 г.). Эти примеры свидетельствуют о том, что необходимо соблюдать осторожность в выводах о наличии примесей (особенно необычных), полученных с помощью МРСА.

При изучении тонких минеральных срастаний удобно проводить микроанализ в точке с помощью телеэкрана. Одним из надежных методов изучения таких срастаний является изготовление серии фотографий, включающих изображение в обратно отраженных электронах (светлота фона прямо пропорциональна средней атомной массе минералов) и изображение площадного (и профильного) сканирования в характеристическом рентгеновском излучении большого числа химических элементов. Рассмотрение серии фотографий позволяет уверенно опознавать те или иные минералы, изучать их соотношения и т. д. В дальнейшем с помощью этих фотографий значительно легче провести дополнительные прицельные микрозондовые анализы.

Наиболее значительные погрешности характерны для МРСА многокомпонентных минералов зонального и сложнозонального строения. В имеющихся приборах максимальное число спектрометров четыре (чаще три), т. е. одновременно можно вести анализ не более чем на три-четыре элемента. Для изучения состава таких минералов, как блеклые руды, сульфосоли Ag и Sn, хромшпинелиды и многие другие нужно определять 10—15 и более химических элементов. Для однородных по составу зерен микроанализ не представляет особых трудностей. В случае же сложнозональных зерен очень трудно попасть вновь точно в тот же участок. Часто при этом в результаты анализов попадают данные, не относящиеся точно к одному участку. Чтобы преодолеть эти трудности, приходится при микроанализе сложнозональных минералов измерять при всех его циклах один или два элемента, определяющих зональность (например, золото в самородном золоте, теллур и сурьму в тетраэдрите — голдфилдите), и, следовательно, определять за один цикл не три-четыре элемента, а один-два, т. е. существенно удлинять время проведения анализов.

О рентгеновском анализе

Одна из важнейших характеристик минералов, являющихся природными химическими соединениями — структура. Структурные параметры минерала включают как геометрию и размеры элементарной ячейки, так и в ряде случаев координаты атомов, слагающих минералы. Для получения структурных параметров обычно используется широко и повсеместно распространенный метод рентгеновского анализа. Первый этап — *рентгенофазовый анализ* — позволяет получить: 1) набор межплоскостных расстояний d_α, отражающий геометрию и метрику элементарной ячейки; 2) установить структурный тип, в котором кристаллизуется минерал, и 3) определить изменение параметров элементарной ячейки в связи с изоморфными замещениями. Второй этап — *собственно рентгеноструктурный анализ* — позволяет установить координаты атомов в структуре минерала и уточнить его кристаллохимическую формулу.

Неоднородность состава, небольшой размер и поликристалличность выделений рудных минералов очень затрудняют их рентгеновское изучение. Именно поэтому наиболее распространенный при изучении силикатов дифрактометрический метод при исследовании рудных минералов используется гораздо реже, в основном применяется обычный дебаевский фотометод [28].

Существуют некоторые особенности, касающиеся способа приготовления образца для съемки рудных минералов и связанные с недостаточностью материала для исследования. В настоящее время наиболее широко распространен так называемый метод *резинового шарика*: образец представляет собой шарик из резинового клея, ($d \leqslant 0{,}2$ мм) с закатанным в него порошком минерала. Предварительный рентгенометрический контроль резинового клея обеспечивает уверенность в принадлежности всех отражений на полученной рентгенограмме именно исследуемому минералу. Сложность обычно заклю-

чается в том, что, во-первых, необходимо извлечь максимально чистый от примесей минерал, во-вторых, сформировать резиновый шарик небольшого размера (до 0,25 мм) *, но содержащий достаточно порошка минерала для получения четкой рентгенограммы. Чистоту отбора материала можно обеспечить только при визуальном контроле процесса извлечения. Лучше всего отбирать минерал непосредственно с поверхности полированного шлифа под микроскопом (или при определенном навыке под бинокуляром). Порошок минерала извлекается из выбранного для анализа участка с помощью обыкновенной острозаточенной стальной иглы или какого-нибудь специального приспособления. Некоторые исследователи используют для этой цели алмазную пирамидку микротвердомера. В настоящее время существуют и более совершенные устройства — «пробоотборники». Например, пробоотборник конструкции Л. Н. Вяльсова, использующийся в Лаборатории минераграфии ИГЕМ АН СССР, позволяет извлекать на анализ зерна минералов размером от 15 до 20 мкм **.

После получения рентгенограммы (дифрактограммы или дебаеграммы) обычным путем производят расчет межплоскостных расстояний по формуле Брэгга—Вульфа ($2d \sin\theta = n\lambda$). Дальнейший анализ ведется с учетом состава, сопоставления с данными по синтетическим аналогам, эмпирических закономерностей и т. д. Набор межплоскостных расстояний является необходимой характеристикой каждого рудного минерала, поэтому для каждого минерала в настоящем Справочнике приводятся наиболее сильные линии. Если известны параметры элементарной ячейки, то рентгенограмма может быть проиндицирована и определены (*hkl*) для каждого отражения. Используя параметры элементарной ячейки, можно рассчитать рентгеновскую плотность для определенного состава минерала и сопоставить эту величину с измеренной. В некоторых случаях авторам представлялось интересным поместить некоторые данные о структуре минералов.

Все изложенное выше относится к тем минералам, которые вследствие хрупкости достаточно легко поддаются истиранию при изготовлении препарата для съемки. Однако среди рудных минералов достаточно бо́льшая часть обладает пластичностью и ковкостью (самородные элементы, интерметаллиды и др.), что затрудняет получение стандартной рентгенограммы. Другой сложной задачей, стоящей перед исследователем, является ограниченное количество материала для изучения — одно-два зерна размером не более 100—150 мкм. Еще несколько лет тому назад в подобных случаях оказывалось навозможным провести полное исследование такого материала с получением набора межплоскостных расстояний — необходимой характеристики минерала. Создание камеры Гандольфи позволило в ряде случаев

---

* *При образце большего диаметра получаются дебаеграммы худшего качества.* Кроме того, усложняется расчет.

** В последние годы при исследовании рудных минералов получает распространение метод дифракции электронов, который с помощью современных электронных микроскопов позволяет определять симметрию и размеры элементарной ячейки (а в ряде случаев и структуру) на очень мелких (до 10 мкм) зернах рудных минералов.

почти снять ограничения метода рентгенографии, вызванные недостатком материала. В этой камере можно получать рентгенограммы с одного зерна минерала размером менее 150 мкм, не разрушая его. После рентгеновского исследования зерно можно запрессовать в шашку из полистирола и отполировать. Таким образом, открылась возможность получить с одного и того же зерна минерала и рентгенограмму, и оптическую характеристику, и состав, и т. д. Оригинальная конструкция камеры Гандольфи обеспечивает съемку рентгенограмм весьма пластичных минералов без деформации кристаллов, что обеспечивает очень хорошее качество пленок и позволяет с необходимой точностью рассчитывать параметры кристаллических решеток и выявлять влияние примесей на их изменение.

Несомненно, следует помнить, что метод Гандольфи имеет и недостатки — при совпадении оси держателя образца с кристаллографической осью зерна минерала соотношение интенсивностей линий на рентгенограмме изменяется, причем иногда очень существенно. Поэтому, чтобы избежать погрешностей, особенно при исследовании нового минерала, следует производить съемку рентгенограммы несколько раз, переклеивая образец на держателе камеры таким образом, чтобы добиться его разной ориентировки. В случае съемки поликристаллических агрегатов с разной ориентировкой зерен этот недостаток камеры не оказывает никакого влияния.

Количественные методы изучения оптических свойств

Методические аспекты оптического исследования рудных минералов обширны и многообразны. Они включают и теоретические вопросы отраженного света, и прикладное использование их в практике минераграфии. Авторы справочника не ставили перед собой цели дать исчерпывающее и последовательное освещение всех этих вопросов. Теоретические разработки в области оптики отраженного света, начатые в 30-х годах М. Береком, в настоящее время получили дальнейшее развитие и с достаточной полнотой изложены в монографиях И. С. Волынского, Ю. Н. Кэмерона, Р. Галопена, Н. Генри, Дж. Крейга, Д. Вогана и др. В работах этих авторов [8, 12, 18, 51], а также в других методических пособиях [11, 26, 34, 53] приводятся практические рекомендации по диагностике минералов в отраженном свете. Поэтому в данном определителе обращается внимание исследователей руд лишь на некоторые приемы работы по изучению количественных характеристик оптических свойств минералов в полированных шлифах. Более обстоятельно освещается вопрос о роли и месте визуальной рудной микроскопии в комплексе современных количественных методов.

Исследование отражения

Основной количественный метод изучения оптических свойств рудных минералов при современном методическом состоянии минераграфии — измерение отражения. Другие важные оптические ха-

рактеристики (сила двуотражения, цвет минерала в отраженном свете) получают количественное выражение путем несложных расчетов из результатов измерения отражения.

Успешное проведение исследований по изучению отражения минералов зависит от корректной подготовки к работе трех основных узлов: прибора для измерения R, эталонов и исследуемого объекта.

Для исследования отражения в видимой области авторы использовали двухлучевой микроспектрорефлектометр «Блеск» конструкции ГОИ. Исследование отражения в ближней УФ-области проводилось на двух приборах—фирмы «Оптон» и на установке, сконструированной в Лаборатории микроскопии ГОИ. Оптические схемы приборов и все вопросы, связанные с работой на приборах, обсуждаются ниже.

Эталоны для измерения отражения. Измерение отражения на современных микроскопах-фотометрах проводится относительным методом с помощью эталонов сравнения. В двухлучевом микроспектрорефлектометре «Блеск» эталон используется для настройки и периодической проверки режима работы прибора. Поэтому одним из основных условий получения хороших результатов по отражению минералов является использование при измерениях точно аттестованных эталонов. Аттестация эталона должна производиться на приборах более высокого класса прямым методом. Полезно иметь несколько эталонов; чтобы уменьшить погрешности, возникающие за счет вторичных бликов, нужно использовать тот эталон, значения отражения которого наиболее близки и по уровню отражения и по характеру дисперсии к отражению исследуемого минерала. Основные требования, которым должны удовлетворять эталоны, и целесообразность применения нескольких эталонов обсуждались неоднократно. Обстоятельно проблема эталонов рассмотрена в работах [11, 12, 51]. Этим вопросом занимается и Комиссия по рудной микроскопии (КРМ) при Международной минералогической ассоциации. В последние годы КРМ в качестве эталонов для измерения отражения утверждены четыре международных эталона: карбид вольфрама и титана WTiC ($R_{546} \sim 50$ %), карбид кремния SiC ($R_{546} \sim 20$ %), черное стекло ($R_{546} \sim 4{,}5$ %) и металлический кремний высокой чистоты, так как именно эти вещества наилучшим образом удовлетворяют необходимым требованиям. В предыдущие годы по рекомендациям КРМ использовались также кристаллы пирита Березовского месторождения (Урал) и карборунд. В Советском Союзе международные эталоны WTiC и SiC имеются далеко не во всех минераграфических лабораториях. В большинстве лабораторий и производственных организаций в качестве рабочих эталонов используются пирит, металлический кремний, специальные теллуровые стекла и алмаз. Для измерения R в ультрафиолетовой области общепринятые эталоны отсутствуют.

Авторы настоящего Справочника в качестве эталонов сравнения использовали WTiC, SiC, металлический кремний, аттестация которого согласована с WTiC и SiC и периодически проверялась. Измерения в УФ области осуществлялись по хромовому и родиевому зеркальным напылениям, аттестованным в ГОИ. Значения R (в %) использованных эталонов приведены в табл. 1.

4951

Таблица 1

Длина волны, нм	SiC		WTiC		Si (воздух)	Пирит (воздух)	Rh-зеркало (воздух)	Длина волны, нм	Rh-зеркало (воздух)	Длина волны, нм	Rh-зеркало (воздух)
	воздух	масляная иммерсия	воздух	масляная иммерсия							
400	22,0	8,16	43,5	29,6	47,7		75,2	240	56,6	720	81,0
20	21,7	8,02	43,9	29,9	45,1	38,6	74,6	60	61,9	40	81,3
40	21,4	7,88	44,3	30,3	42,9	41,0	74,7	80	65,8	60	81,5
60	21,2	7,77	44,7	30,7	41,2	44,3	74,8	300	68,7	80	81,9
80	21,0	7,66	45,1	31,2	39,9	48,4	75,2	20	72,5	800	82,0
500	20,8	7,56	45,6	31,7	38,8	51,0	75,9	40	73,4	20	82,3
20	20,6	7,47	46,2	32,3	37,9	52,5	76,6	60	74,5	40	82,5
40	20,5	7,38	46,8	32,9	37,1	53,8	77,4	80	75,2	60	82,7
60	20,3	7,31	47,5	33,6	36,5	54,5	78,0	—	—	80	82,9
80	20,2	7,25	48,2	34,4	35,9	54,9	78,5	—	—	900	83,2
600	20,1	7,18	48,9	35,3	35,5	55,1	79,1	—	—	20	83,3
20	20,1	7,18	49,7	36,2	35,1	55,2	79,7	—	—	40	83,5
40	20,0	7,17	50,5	37,1	34,7	55,5	79,7	—	—	60	83,7
60	20,0	7,16	51,3	38,0	34,4	55,9	79,7	—	—	—	—
80	19,9	7,15	52,1	38,9	34,2	56,3	80,1	—	—	—	—
700	19,9	7,15	53,0	39,8	34,0	56,8	80,6	—	—	—	—

Примечание. Погрешность аттестации эталонов составляет в относительных величинах ±1,5 %.

Исследование спектров отражения и обработка результатов. Для измерения отражения прибор должен быть приведен в рабочее состояние, а шлиф — детально изучен на обычном рудном микроскопе и хорошо отполирован. Практические рекомендации по подготовке приборов и процедуре измерений содержатся в монографиях авторов Справочника, И. С. Волынского [8], Н. И. Шумской и др. [35], Р. Галопена Н. Генри [12], Л. Н. Вяльсова [11], Х. Пиллера [51], Ю. Камерсона, а также в работе [23], инструкциях и каталогах фирм-изготовителей. Поэтому здесь ограничимся лишь перечислением необходимых проверок прибора и некоторыми практическими советами по использованным нами методическим приемам измерений и обработки результатов.

Для определения готовности прибора к работе выполняются следующие операции: 1) проверка стабильности показаний и дрейфа нуля; 2) проверка перпендикулярности плоскости симметрии микроскопа к плоскости предметного столика; 3) проверка установки поляризатора; 4) центрировка полевой и апертурной диафрагм; 5) настройка освещения, 6) центрировка объектива; 7) проверка состояния пресса и перпендикулярности установки шлифа к оптической оси микроскопа; 8) проверка состояния эталонов — путем измерений эталона по эталону; 9) уточнение ширины раскрытия щели монохроматора.

Для ускорения работы по измерению отражения минералов полезно зарисовать общую ситуацию в шлифе (при исследовании шлифа на обычном рудном микроскопе) и отметить участки (сечения зерен), которые в дальнейшем будут использованы для измерений. В случае

изотропных объектов выбор сечения определяется только качеством полированной поверхности; при изучении анизотропных минералов отыскивается несколько сечений с максимальным двуотражением (и без дефектов полировки).

Сама процедура состоит в следующем. Детально изученный и подготовленный к измерениям шлиф устанавливается на столик микроскопа-фотометра. Выбранный для измерений участок подводится к центру поля зрения и ставится под измерительный зонд, рабочий участок шлифа проверяется на перпендикулярность оптической оси микроскопа. В случае измерения изотропного минерала, при достаточно точной установке шлифа и хорошем качестве поверхности, отклонения в показаниях регистрирующего блока при вращении столика микроскопа на 360° либо не наблюдаются совсем, либо они незначительны. При заметных отклонениях зерно оставляется и проверяется следующее. Если и следующее зерно не удовлетворяет необходимой точности, то шлиф снимается со столика, заново монтируется на предметном столике и вновь проверяется на перпендикулярность оптической оси микроскопа. Неперпендикулярность измеряемого участка не может быть устранена таким способом в случае местных локальных дефектов полировки: мягкий минерал находится в твердом и шлиф переполирован; плохая подготовка шлифов минералов слоистой структуры с весьма совершенной спайностью (молибденит, графит, теллуриды висмута и т. п.); при исследовании отражения минералов высокой твердости, вкрапленных в минералы низкой твердости, когда размер измеряемых зерен твердого минерала соизмерим с диаметром минимального размера светового зонда. Шлифы с такими дефектами для измерения отражения непригодны.

Измерение отражения изотропного минерала авторы всегда проводили в положении с максимальным отсчетом на регистрирующем блоке. Кривые дисперсии строились отдельно для каждого измеренного зерна или сравнивались путем наложения двух спектров и просмотром их на просвет. Число измеренных зерен изотропного минерала не должно быть меньше 3—5 при хорошем совпадении результатов; для характеристики отражения минерала избиралась кривая с самыми высокими значениями R.

При работе с анизотропными минералами для определения кривых дисперсии R_g и R_p, R_o и R_e авторы использовали сечения с наиболее резко выраженным двуотражением. Поэтому при предварительном детальном исследовании шлифа на обычном рудном микроскопе основное внимание обращалось на выявление наиболее сильно двуотражающих сечений минерала. Так же как и при измерении изотропных минералов, исследуемый участок проверялся на перпендикулярность оптической оси микроскопа. Измерения проводились только на тех сечениях, у которых при вращении столика на 360° максимальный и минимальный отсчеты повторялись через 180°. Положения обоих R_{max} и обоих R_{min} запоминают (или записывают) и последовательно измеряют. Мы предпочитали начинать измерения с R_{max}. Шлиф вращением столика микроскопа приводят в положение наилучшего максимума, столик микроскопа закрепляют и производят измерение (за-

пись) одного из главных положений; затем, также вращая столик микроскопа, шлиф (исследуемое сечение) поворачивают на 90° сначала в одну сторону и записывают R'_{min}, затем в другую (на 90°) и записывают второй R''_{min}. Главные отражения сечения могут быть определены и другим способом — по наиболее полному погасанию в скрещенных николях, когда одно из главных направлений в минерале совмещается с направлением колебаний поляризатора.

При исследовании спектров анизотропных минералов авторы измеряли не менее трех—пяти сечений. В зависимости от полученных результатов и сложности спектральных кривых, число измеренных сечений увеличивали. Из полученных нескольких пар кривых (максимум и минимум) или троек (один максимум и два минимума) для характеристики спектров с максимальными и минимальными значениями отражения выбирали сечение с самым сильным двуотражением, в котором было определено и самое высокое значение R_{max}. Такой выбор спектров гарантирует от занижения величины R_{min} вследствие недостаточно точной установки шлифа на столике микроскопа или за счет локальных дефектов на измеряемой поверхности минерала.

Кроме наиболее резко двуотражающих, полезно исследовать также слабо двуотражающие и изотропные сечения анизотропных минералов; таким способом осуществляется контроль правильности определения постоянной величины отражения, присутствующей в каждом сечении одноосного минерала (R_o), и выявляется положение кругового сечения минерала двуосного (R_m).

Исследование спектров отражения, помимо непосредственных измерений R, включает и приемы обработки результатов измерений; в случае изучения анизотропных минералов для правильного представления об индикатрисе коэффициентов отражения важное значение имеет интерпретация полученных спектров.

Первичная обработка результатов измерения R заключается в построении кривых дисперсии отражения в нужном масштабе. По полученным результатам строится кривая дисперсии R в системе координат: длина волны (λ, нм) — отражение (R, %). В последнее время наиболее широко используется масштаб, при котором равным отрезкам на осях абсцисс и ординат отвечают соответственно 10 нм и 1 %; таким соотношением осей пользуются Ж. Орсель, И. С. Волынский, К. Гелен и Х. Пиллер; в этом же масштабе построены и все кривые, полученные авторами.

При работе на приборе «Блеск» со спектральной кривой, записанной прибором, снимались значения R, по которым затем строилась новая кривая в принятом масштабе.

Систематизация спектров отражения и взаимозависимость оптических свойств рудных минералов

К настоящему времени спектры отражения в видимой области известны приблизительно для 500 рудных непрозрачных минералов (в это число не входят минералы марганца и элементов платиновой группы). Чтобы эти новые количественные данные могли быть эффек-

тивно использованы при диагностике, необходима систематизация кривых по каким-то общим для выделяемых групп особенностям.

Если не рассматривать причинной сущности оптических эффектов, а принять во внимание только чисто внешнюю, геометрическую картину спектров отражения, то все множество спектров по форме можно разделить на несколько больших групп (рис. 1): 1) кривые с аномальной дисперсией; 2) кривые с нормальной дисперсией (и в той и в другой группе следует выделить еще по две подгруппы кривых, в профиле которых имеются локальные осложнения в виде максимумов — выпуклостей или минимумов — вогнутостей в различных, характерных для каждого минерала участках спектра); 3) кривые, близкие к горизонтальным с очень слабой нормальной или аномальной дисперсией; 4) кривые сложного профиля с заметным прогибом (минимумом) на значительной части видимого спектра.

Такое подразделение кривых достаточно для анализа цвета изотропных и недвуотражающих анизотропных минералов, т. е. минералов, имеющих один спектр отражения. Различия в оптических свойствах анизотропных двуотражающих минералов могут быть правильно истолкованы только при одновременном рассмотрении формы спектров R_g, R_m и R_p (или R_o и R_e) и взаимного их расположения на графиках R—λ. В зависимости от взаимного расположения спектров R_g, R_p, R_o, R_e в главных сечениях, все анизотропные двуотражающие минералы целесообразно разделить на три группы: с параллельными, непараллельными и пересекающимися в видимой области спектрами отражения (рис. 2).

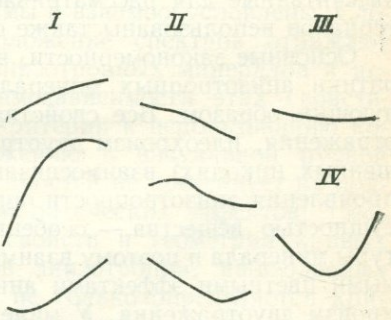
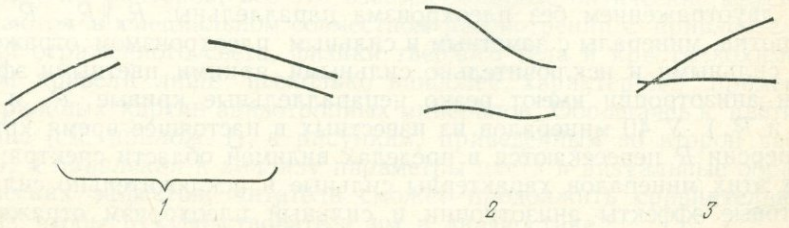


Рис. 1. Типы спектров отражения рудных минералов по форме:

I—IV — группы кривых (*I* — с аномальной дисперсией *II* — с нормальной дисперсией; *III* — с очень слабой аномальной или нормальной дисперсией; *IV* — сложного профиля с заметным минимумом на значительной части видимого спектра)

Рис. 2. Схематическая группировка двуотражающих минералов по взаимному расположению кривых R_{max} и R_{min} на графиках R—λ:

1—3 — группы минералов (*1* — $R_{max} \parallel R_{min}$; *2* — $R_{max} \nparallel R_{min}$; *3* — R_{max} и R_{min} пересекаются в видимой области)



Такое рассмотрение анизотропных минералов выявляет связь главных оптических свойств, помогает понять и эффективно использовать эту взаимосвязь при диагностике.

О взаимозависимости оптических свойств рудных минералов. *На* взаимозависимость оптических свойств рудных минералов более 30 лет назад впервые обратил внимание И. С. Волынский [9], придавая этой зависимости большое теоретическое и практическое значение. Им были рассмотрены: 1) зависимость между уровнем отражения и степенью просвечивания минералов; 2) зависимость между цветом минералов и цветом внутренних рефлексов; 3) закономерность распределения минералов разного цвета в систематике; 4) влияние иммерсии на выражение взаимозависимости оптических свойств. К сожалению, эта одна из интересных последних работ И. С. Волынского осталась незамеченной и не оказала должного влияния на развитие и совершенствование визуальной рудной микроскопии. В настоящее время, когда более чем для 500 рудных минералов известны спектральные кривые в пределах видимой области, взаимозависимость приобретает особый, более глубокий смысл — строгому анализу становится доступной анизотропность кристаллического вещества, которая в отраженном свете выражена в проявлении таких свойств, как двуотражение, плеохроизм двуотражения, эффекты анизотропии в скрещенных николях. Нами проведен сравнительный анализ спектров и визуальных образов оптических свойств всех рудных минералов (за исключением марганцовых и платиновых), для которых к настоящему времени известно отражение в видимой области; в анализ, помимо спектров отражения, были вовлечены и параметры цвета, рассчитанные для рассматриваемых кривых. Кроме собственных материалов использованы также сведения, имеющиеся в литературе.

Основные закономерности, выявленные нами в результате анализа оптики анизотропных минералов, могут быть сформулированы следующим образом. Все свойства анизотропных минералов (сила двуотражения, плеохроизм двуотражения, эффекты анизотропии в скрещенных николях) взаимосвязаны, взаимообусловлены; эти различные проявления анизотропности определяются одной и той же внутренней сущностью вещества — особенностями состава и внутренней структуры минерала и поэтому взаимоконтролируемы. Все минералы с сильными цветными эффектами анизотропии имеют и отчетливый плеохроизм двуотражения. У минералов с анизотропией в блеклых тонах и двуотражение без плеохроизма (только с изменением яркости). Спектры отражения минералов с блеклыми эффектами анизотропии и с двуотражением без плеохроизма параллельны: $R_g \| R_p$, $R_o \| R_e$; напротив, минералы с заметным и сильным плеохроизмом отражения и с сильными и исключительно сильными яркими цветными эффектами анизотропии имеют резко непараллельные кривые R_g и R_p, (R_o и R_e). У 40 минералов из известных в настоящее время кривые дисперсии R пересекаются в пределах видимой области спектра; для всех этих минералов характерны сильные и исключительно сильные цветовые эффекты анизотропии и сильный плеохроизм отражения. В цветовой гамме плеохроизма отражения и эффектов анизотропии

минералов с непараллельными кривыми дисперсии R_g и R_p (R_o и R_e) V-образной формы (риккардит, купростибит) присутствуют только красно-фиолетовые и фиолетово-розовые разной интенсивности цвета пурпурного спектра. Для минералов, у которых одна кривая V-образной формы, а другая — сложного, но преимущественно аномального профиля (билибинскит, богдановит, нукундамит, тугариновит), наряду с пурпурными цветами характерны бежевые, бежево-оранжевые, золотисто-желтые тональности в цветах плеохроизма и огненно-оранжевые, красно-оранжевые в цветных эффектах анизотропии. Минералы с аномальными профилями кривых, осложненными выпуклостями в центральной желто-зеленой области спектра (R_g марказита, R_2 эвкайрита), имеют отчетливый зеленоватый оттенок цвета в сечениях соответствующего кристаллографического направления и густые зеленые цвета в эффектах анизотропии в сечениях этой ориентировки. Для минералов с кривыми дисперсии, близкими к горизонтальным, но противоположными по профилю и пересекающимися в пределах видимой области (арсенопирит, аллоклазит, леллингит, саффлорит, парараммельсбергит), характерны пастельные полутональные цвета в схемах плеохроизма в кремово-розоватых, серовато-синеватых, серовато-голубоватых тонах и аналогичные цветовые эффекты, но большей интенсивности при скрещенных николях.

Таким образом, из изложенного можно сделать основной вывод. Цветовые гаммы двуотражения и эффектов анизотропии предопределены селективным и для каждого минерала индивидуальным характером отражения. Поэтому профили и взаимное расположение кривых дисперсии R_g, R_p, R_m и R_o, R_e анизотропных минералов, с одной стороны, и сила, цветовая палитра эффектов двуотражения и анизотропии, с другой — взаимосвязаны, взаимозависимы и взаимообусловлены. Следовательно, форма и взаимное расположение спектров отражают особенности всех оптических свойств анизотропных минералов и являются графическим выражением взаимозависимости этих свойств. Анализ этих зависимостей дает новые критерии к использованию количественных характеристик по отражению в визуальной рудной микроскопии. Наше рассмотрение зависимостей не претендует на полноту и не вскрывает причинных связей оптических эффектов; здесь показаны лишь главные зависимости свойств и геометрии кривых дисперсии. Природа цветных эффектов анизотропии, наблюдаемых в скрещенных николях, сложная. Она не только определяется кривыми R_{max} и R_{min} минерала, но и зависит от угла вращения плоскости поляризации, от дисперсии эллиптичности и дисперсии погасания и от других факторов; все эти взаимосвязанные оптические эффекты нуждаются в специальном совместном рассмотрении с привлечением теории отраженного света, физики твердого тела и кристаллохимии.

Мы привели лишь несколько наиболее характерных примеров спектральных картин анизотропных минералов. Обращаясь к цветной таблице (см. прилож. 1), к рисункам, приведенным во второй части книги, и привлекая к анализу параметры цвета и визуальные образы оптических эффектов, читатель сможет продолжить сравнительный анализ, чтобы руководствоваться им в диагностике.

Цветная таблица-определитель, в которой сведены главные диагностические свойства минералов в отраженном свете, может быть использована, во-первых, при работе в комплексе с микроспектрофотометром и, во-вторых, при визуальной диагностике, т. е. в повседневной работе минералогов производственных лабораторий, которые не располагают измерительной аппаратурой. Определение минерала без измерения отражения является задачей нелегкой, и успех в этой работе во многом зависит от опыта исследователя. Минералог визуально оценивает отражение, цвет, а у анизотропных минералов — эффекты двуотражения и анизотропии, по визуальным образам свойств должен представить возможную здесь картину спектров; далее, обращаясь к определенному участку цветной таблицы и к описанию минералов, уточняет сделанное определение по сумме всех свойств, принимая во внимание и ассоциацию. При наличии микроспектрофотометра работа по диагностике значительно облегчается. Исследователь измеряет спектры отражения определяемого минерала по возможности в главном сечении; ЭВМ сравнивает полученные спектры с эталонными спектрами банка данных и выдает результат, называя минерал или список минералов, ранжированных по степени сходства; далее исследователь обращается к определенному участку цветной таблицы, а также к описанию минералов, привлекает дополнительные сведения по оптическим свойствам и микротвердости и уточняет диагностику.

Краткий обзор литературных данных по отражению минералов

Следует обратить внимание на те трудности, с которыми встретились авторы при формировании банка эталонных спектров минералов и при определении границ «разброса» спектральных кривых. При современном состоянии методики достигнут значительный прогресс в измерении отражения и для бо́льшей части минералов получена хорошая согласованность в результатах различных авторов; однако все же имеется достаточно большое число минералов, расхождения по которым сильно превышают допустимые методические погрешности. Перечислим минералы, по которым имеются наиболее существенные расхождения: 1) самородные минералы низкой твердости (золото, кюстелит, серебро, медь); 2) минералы низкой твердости со слоистой структурой и весьма совершенной спайностью (теллуриды и сульфотеллуриды висмута, тунгстенит, молибденит, валлериитоподобные минералы); 3) минералы с пересекающимися спектрами из группы арсенидов и сульфоарсенидов железа, кобальта, никеля (аллоклазит, арсенопирит, глаукодот, гудмундит), а также буковит, грейтонит; 4) многие сульфосоли висмута. Очевидно, результатом случайных погрешностей, не имеющих прямого отношения к методике, являются расхождения и в сторону завышения и в сторону занижения R до 20 % в спектрах у разных авторов по следующим минералам: андориту, антимониту, бетехтиниту, буланжериту, виттиту, виолариту, диафориту, менегиниту, миаргириту, овихииту, рамдориту, робинсониту, физелииту, фюлёппиту, расвумиту, пруститу, пираргириту, эмплектиту; ошибкам в диагностике обязаны расхождения по науман-

ниту (в работе [43] под науманнитом приведен спектр круксита) аргентиту (в той же работе под аргентитом приведен спектр серебросодержащего тетраэдрита), баумгауериту [35, 50].

К минералам, по которым в литературе обнаружились серьезные расхождения, при исследовании отражения авторы относились особо внимательно. При формировании банка эталонных спектров отдавалось предпочтение материалам, полученным на надежно диагностированных и детально изученных образцах минералов: из 495 образцов, для которых в Справочнике сообщаются полные спектры, 347 образцов даны по материалам авторов.

Затруднительное положение возникло при рассмотрении некоторых анизотропных минералов, для которых сведения по отражению содержатся лишь в одном источнике, а визуальная характеристика, приводимая там же, расходится с картинами спектров: очевидно, не главные сечения измерены для висмуто-, арсен-, и теллурогаухекорнита, викингита, лангисита, орселита, паракостибита, петровицита, полковичита, поубаита, самсонита; для вейссита, сейняйокита приводится по одной кривой и в то же время отмечаются плеохроизм и цветная анизотропия; минералы с такими оптическими эффектами имеют две непараллельные (а чаще пересекающиеся) кривые; спектры перечисленных выше минералов нуждаются в уточнении.

Границы разброса определялись на основании фактических данных, имеющихся в литературе, с учетом твердости, структурных особенностей каждого минерала и собственного опыта; в рассмотрение не включались спектры со случайными грубыми погрешностями и ошибками диагностики.

Банк эталонных спектров заложен в программу ЭВМ и приведен в прилож. 3; эталонные спектры в графической форме показаны в цветной таблице-определителе, а также на рисунках, помещенных во второй части книги.

Количественное выражение цвета рудных минералов

Цвет рудных минералов в отраженном свете представляет важную оптическую характеристику. Это наиболее очевидное свойство, которое, наряду с общим уровнем отражения, оценивается прежде других свойств при изучении светопоглощающих минералов под микроскопом. Однако до последнего времени в минераграфии цвет не имел количественного выражения. В самые последние годы была показана возможность и целесообразность выражения цвета минералов в отраженном свете через категории, используемые в колориметрии. В настоящее время методике количественного определения цвета рудных минералов посвящен целый ряд публикаций, в которых обсуждаются различные стороны этого нового и важного для минераграфии метода изучения рудных минералов [32, 34, 51]. Сущность метода и чисто техническая сторона расчета параметров цвета заключаются в следующем.

Современная теория цвета основана на идее о трехкомпонентности цветового зрения, поэтому для точного и однозначного выражения

цвета излучения (или цвета отражающей поверхности) необходимо и достаточно знание трех параметров.

Физиологическое ощущение цвета складывается из трех категорий свойств: цветового тона λ, чистоты цвета p и яркости B. Первые два свойства характеризуют качество цвета и составляют понятие *цветности цвета*. Цветовой тон — это длина волны конкретного монохроматического спектрального излучения, эквивалентного определяемому цвету. Под чистотой цвета, выражаемой в процентах, понимается степень заметности цветового тона в определяемом цвете (или степень разбавленности чистого спектрального цвета белым светом). Яркость характеризует количественную сторону понятия *цвет*, т. е. общую светлоту цвета, зависящую от силы светового потока, испускаемого или отражаемого объектом.

В колориметрии в числовой форме цвет может быть выражен несколькими способами: 1) через трехцветные коэффициенты (координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$), которые определенной математической зависимостью связаны с работой трех цветоразличительных центров нашего глаза; 2) через координаты цветности x, y, z и яркость B; 3) через излучение *одной длины волны*, т. е. через λ, p и B.

В настоящее время для расчета цвета общепринята международная колориметрическая система X, Y, Z; расчет цвета по этой системе производится с помощью следующих формул:

$$\bar{x} = \sum_{\lambda 400}^{\lambda 700} \bar{x}(\lambda) \cdot I_A \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$\bar{y} = \sum_{\lambda 400}^{\lambda 700} \bar{y}(\lambda) \cdot I_A \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$\bar{z} = \sum_{\lambda 400}^{\lambda 700} \bar{z}(\lambda) \cdot I_A \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ — искомые координаты цвета; $x(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ — удельные координаты цвета (приводятся в форме таблиц в руководствах по колориметрии); I_A — спектральная интенсивность источника белого света, относительно которого производится расчет цвета; $R(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения поверхности минерала. Расчеты составлены таким образом, что значение координаты $\bar{y}$ соответствует видимой яркости излучения, т. е. в нашем случае величине отражения в желтом свете $\lambda \sim 550$ нм. Координаты $\bar{x}$ и $\bar{z}$ очевидного физического смысла не имеют. Поэтому такое выражение цвета недостаточно наглядно — не создает зрительного образа. Зная координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, легко перейти к другому способу выражения цвета — в системе B, λ, p, параметры которой соответствуют категориям *визуальной оценки цвета*. Этот переход после небольших математических преобразований (табл. 2) осуществляется с помощью цветовых графиков, представляющих собой диаграмму, совмещающую две системы координат — прямоугольную систему и систему типа полярной (рис. 3). В прямоугольной системе положение цветности определяется значениями координат x и y; положение той же точки по системе «полярных» координат — значениями цветового тона λ и чистоты цвета p, которые снимаются с графика. Все поле реальных и

Таблица 2

Способ выражения цвета и вспомогательные расчеты	Цветовая характеристика минералов (относительно источника C)			
	Золото	Пирит	Галенит	Алтаит
1. Через координаты цвета:				
$\bar{x}$	73,174	51,912	43,046	67,644
$\bar{y}$	74,641	53,676	43,193	69,836
$\bar{z}$	45,198	51,625	55,335	82,268
2. Через координаты цветности:				
$x = \bar{x}/m$*	0,379	0,330	0,304	0,308
$y = \bar{y}/m$	0,387	0,341	0,305	0,318
$z = \bar{z}/m$	0,234	0,328	0,391	0,374
3. Через систему B, λ, p:				
$B = \bar{y}$, %	74,6	53,7	43,2	69,8
λ, нм	577	574	460	502
p, %	48,0	18,0	0,7	1,5

* m — цветовой модуль ($m = \bar{x} + \bar{y} + \bar{z}$), равный для золота 193,013, пирита 157,213, галенита 141,578, алтаита 219,748.

пурпурных цветов на цветовом графике покрыто линиями двух видов: 1) радиальными прямыми, исходящими из точки белого света и пересекающими линию спектральных цветов через равные промежутки длин волн; 2) кривыми равной чистоты, проведенными через определенные интервалы чистоты от нуля (точка белого света) до 100 % (линия спектральных цветов — локус). Чтобы определить цветовой тон и чистоту цвета, на графике находят место точки исследуемого цвета с координатами цветности x и y и снимают значения λ и p с пересекающихся в этой точке радиальной прямой и кривой чистоты цвета.

Приведенные в табл. 2 примеры с конкретными минералами показывают преимущества выражения цвета через параметры системы B, λ, p; такое выражение дает возможность сопоставлять числовые величины с визуальным образом цвета и оценивать рассчитанные цвета.

Авторы определителя по результатам личных исследований отражения и по данным полных спектров, содержащихся в литературе, рассчитали координаты цвета приблизительно 400 рудных минералов относительно двух стандартных источников белого света — A и C; в прилож. 1 параметры цвета приведены относительно источника C в системе B, λ, p. Анализ большого фактического материала по расчету цвета вскрывает интересные закономерности: 1) точки цветностей рудных минералов находятся в основном в двух спектральных областях — фиолетово-голубой и желто-оранжевой (рис. 4); 2) бо́льшая часть рудных минералов имеет низкие (< 2) значения чистоты цвета; подавляющее число минералов со значительной чистотой цвета принадлежит желто-оранжевой области; 3) у минералов фиолетово-го-

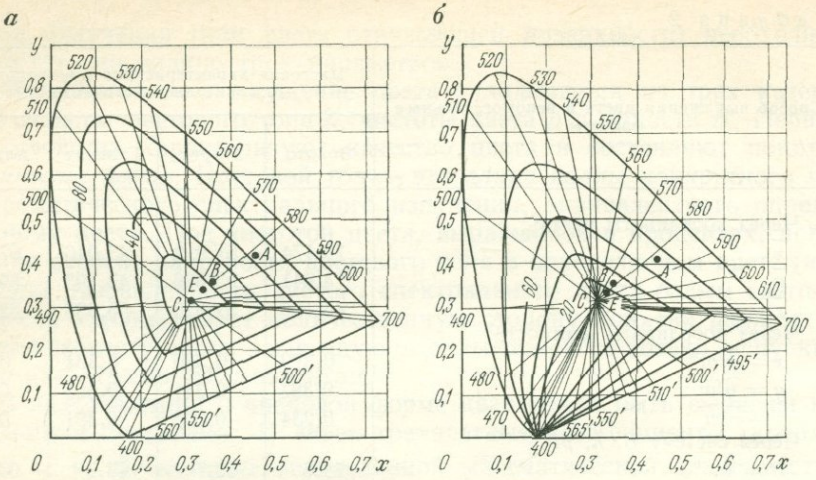


Рис. 3. Графики для перехода от трехцветных коэффициентов $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ к цветовому тону λ и чистоте цвета p при источнике C (*а* — по А. Харди; *б* — по М. М. Гуревичу)

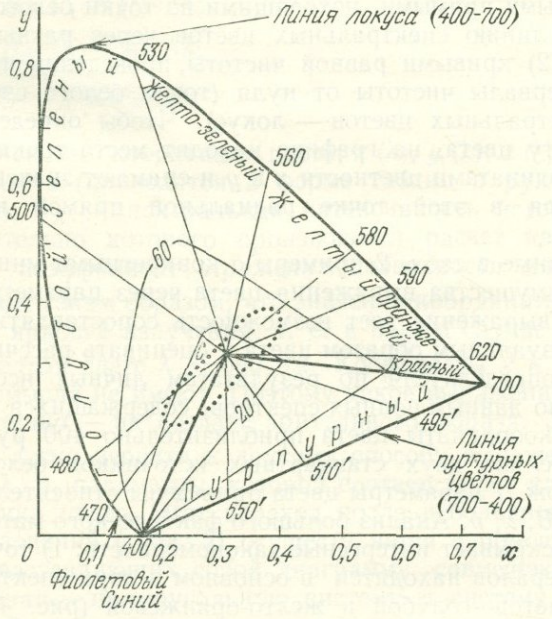


Рис. 4. Расположение точек цветности рудных минералов на цветовом графике относительно источника C (границы спектральных цветов даны по В. В. Шаронову)

лубой тональности чистота цвета заметно выше при источнике *A*, при этом цветовой тон сдвинут на 15—30 нм в более длинноволновую область; эта закономерность является выражением трансформации цвета под влиянием условий наблюдения, которые резко отличаются от строго стандартных условий колориметрирования и расчета цвета.

Категории визуального восприятия оптических свойств рудных минералов в отраженном свете

В настоящее время, в период бурного развития точных, количественных методов исследования, на визуальную рудную микроскопию не обращают должного внимания. В то же время категории визуального восприятия оптических свойств имеют большое значение в практике минераграфии. Интерпретация визуальных образов является одним из основных способов выражения непосредственных наблюдений, которыми широко пользуются в повседневной работе все минералоги, занимающиеся исследованием руд, продуктов обогащения и продуктов технологической переработки. И даже при самых благоприятных условиях, когда исследования проводятся в хорошо оснащенных современной аппаратурой лабораториях, лишь небольшая часть руды может быть изучена количественными методами, а основной объем исследований вещества всегда приходится на визуальные наблюдения. Без анализа визуальных образов немыслимо также изучение основ минераграфии студентами и аспирантами. Однако, несмотря на значительный прогресс в количественных приемах исследования отражения, визуальная рудная микроскопия осталась на уровне 30-х годов — до сих пор категории визуального восприятия оптических свойств выражаются в недостаточно определенной словесной форме. На необходимость совершенствования визуальных приемов исследования рудных минералов неоднократно обращал внимание Ж. Орсель. Высоко оценивая роль и значение современных достижений в области количественных методов в минераграфии, он в то же время предостерегал от чрезмерного увлечения ими и от недооценки непосредственных наблюдений. Ж. Орсель, положивший начало исследованию спектров отражения и являющийся родоначальником современной минераграфии, считал вместе с тем, что методы количественного анализа не могут заменить глаза опытного наблюдателя [12]. Развитию и совершенствованию визуальной рудной микроскопии были посвящены многочисленные работы И. С. Волынского [8, 9]. В настоящее время достижения в области фотометрирования создали условия, при которых на объективную количественную основу может быть поднята и визуальная рудная микроскопия. Количественные характеристики отражения дают возможность в числовой форме охарактеризовать и другие свойства, функционально связанные с отражением,— двуотражение, цвет. Наблюдение и анализ оптических эффектов в минераграфии осуществляются через образы, которые способен воспринимать и оценивать глаз. В силу своих физиологических особенностей глаз человека анализирует оптические эффекты не в абсолютном выражении, а в сравнении, т. е. через отно-

сительные контрасты. Поэтому в визуальной рудной микроскопии *основную роль при оценке оптических свойств — отражения, двуотражения*, цвета — играют категории относительных величин: при этом абсолютные значения R, получаемые в результате фотометрических измерений, будут служить основным исходным материалом, с помощью которого можно также количественно выразить и те образы, которые видит глаз. К разряду таких свойств минералов относятся различия в отражении, оптическая анизотропия, цвет.

Отражение. Визуальные образы отражения и двуотражения, формирующиеся в нашем зрительном сознании, основаны на способности глаза воспринимать и оценивать различия в отражении объектов, находящихся в контакте. Так, если в поле зрения микроскопа находятся одновременно три минерала — галенит, блеклая руда и бурнонит, глаз уверенно различает, что по сравнению с галенитом блеклая *руда заметно темнее, чем бурнонит, т. е. оптический контраст* галенит — блеклая руда сильнее, чем оптический контраст галенит—бурнонит; если в шлифе одновременно наблюдаем антимонит и халькостибит, то отчетливо различаем, что двуотражение антимонита значительно сильнее, чем халькостибита. Способность глаза оценивать и сравнивать оптические контрасты и хранить эти образы в нашей зрительной памяти является той удивительной особенностью зрения человека, на которую опирается визуальная рудная микроскопия.

Разность в отражении (светлоте) двух минералов (R_1 и R_2) может быть выражена двумя способами: 1) через абсолютную величину, представляющую собой арифметическую разность $\Delta R_{абс} = R_1 - R_2$ и 2) через относительную величину, вычисляемую по формуле И. С. Волынского:

$$\Delta R_{отн} = \frac{R_1 - R_2}{R_1}, \quad \text{при} \quad R_1 > R_2.$$

Существует и третий способ — словесная форма выражения визуального образа этого оптического эффекта.

В табл. 3 сопоставлены все три способа выражения оптического контраста по светлоте для нескольких, наиболее часто встречающихся в шлифах пар минералов. Как следует из данных, приведенных в табл. 3, абсолютная величина разности в отражении $\Delta R_{абс}$ не передает меры зрительной оценки эффекта, в то время как $\Delta R_{отн}$ находится в хорошем соответствии с визуальным образом контраста. Это и понятно, так как абсолютная разность в отражении — величина абстрактная, относительная величина несет в себе определенный конкретный смысл. Так, *абсолютная разность в отражении таких пар* минералов, как ульманит—галенит, блеклая руда—станнин, магнетит—сфалерит и андрадит—диопсид, одинаковая и равна двум (у андрадита—диопсида трем); в то же время значения $\Delta R_{отн}$ соответственно равны 0,04; 0,07; 0,10; 0,27, что согласуется и с визуальной оценкой контрастов: в паре ульманит—галенит контраст по отражению не заметен, в паре блеклая руда—станнин — слабый, у магнетита — сфалерита — отчетливый, у андрадита — диопсида — очень сильный. Рассмотрим другой пример. Абсолютная разность в отра-

Таблица 3

Минерал	R, %	Контрасты по отражению		
		по результатам измерения R		Визуальная оценка
		$\Delta R_{абс}$	$\Delta R_{отн}$	
Ульманит Галенит	46 44	2	0,04	Не заметен
Блеклая руда Станнин	30 28	2	0,07	Слабый
Магнетит Сфалерит	20 18	2	0,10	Отчетливый
Бурнонит Блеклая руда	36 30	6	0,16	Сильный
Галенит Бурнонит	44 36	8	0,18	То же
Халькопирит Кубанит	49 40	9	0,18	»
Барит Кварц	6 4,7	1,3	0,22	»
Андрадит Диопсид	11 8	3	0,27	Очень сильный
Галенит Блеклая руда	44 30	14	0,30	То же
Кварц Флюорит	4,7 3	1,7	0,36	»
Пентландит Пирротин	53 33	20	0,38	»
Блеклая руда Сфалерит	30 18	12	0,40	»
Галенит Сфалерит	44 18	26	0,60	»

жении пар минералов галенит — блеклая руда и кварц — флюорит резко различная: 1,7 % у пары кварц — флюорит и 14 % у пары галенит — блеклая руда; в то же время, $\Delta R_{отн}$ у этих пар минералов имеют один порядок (у кварц—флюорита 0,36, у галенита—блеклой руды 0,30). Это означает, что абсолютная разность в отражении сравниваемых минералов составляет приблизительно 1/3 от величины R более светлого минерала в паре. Контрасты по яркости у этих двух пар минералов очень резкие. Более слабые различия между галенитом и бурнонитом, бурнонитом и блеклой рудой соответствуют величинам $\Delta R_{отн}$, равным 0,18 и 0,16. Таким образом, используя результаты фотометрических измерений R и категорию относительной величины контраста, можно словесный визуальный образ охарактеризовать строго количественно. Такая форма выражения степени кон-

траста очень удобна, так как, во-первых, избавляет от неопределенности словесной характеристики эффекта, во-вторых, помогает при диагностике, когда появляется необходимость в визуальном определении отражения неизвестного минерала.

Опытом установлено, что наименьшая относительная величина оптического контраста, который может быть замечен нашим глазом в воздухе, составляет приблизительно 0,05. Контрасты, равные, 0,05—0,10,— слабозаметные, 0,10—0,20 — заметные, отчетливые, $>$ 0,20 — резкие и очень резкие. Наиболее чувствительно глаз работает в области слабых контрастов, поэтому оценка отражения неизвестного минерала не инструментальным способом, а визуальными приемами более точно может быть осуществлена при небольших различиях в отражении сравниваемых минералов. Наиболее благоприятны соотношения, когда в шлифе имеются два минерала-«эталона», отражение одного из которых выше, а другого — ниже, чем R определяемого минерала. В случае, когда приходится сравнивать отражение минералов разного цвета, необходимо работать в монохроматическом свете, используя нужные светофильтры — это снимает мешающий оценке отражения эффект цветовых различий.

Оптическая анизотропия. Эффекты оптической анизотропии минералов, наблюдаемые в поляризованном свете при одном николе, проявляются в изменении двух параметров — интенсивности отражения (яркости) и цветности. Под термином *двуотражение* понимается только изменение яркости в разных направлениях главного сечения анизотропного минерала; цветовые эффекты, которые наблюдаются при двуотражении у многих минералов, целесообразно анализировать самостоятельно.

Двуотражение представляет важную оптическую характеристику анизотропных минералов. Это свойство находится в прямой связи с силой эффекта анизотропии при скрещенных николях, легко наблюдается и оценивается. Сила эффекта двуотражения у бо́льшей части минералов невелика, и лишь у очень сильно двуотражающих, таких, как антимонит, молибденит, ковеллин, графит и у им подобных, визуальное наблюдение этого явления возможно на изолированных монокристаллах при вращении столика микроскопа. В большинстве случаев двуотражение обнаруживается в поликристаллическом агрегате по различию отражения у контактирующих различно ориентированных кристаллических зерен минерала. Из большого числа смежных зерен выбирается пара зерен с наиболее резко выраженным оптическим контрастом двуотражения, который и принимается (с некоторой осторожностью) при визуальных наблюдениях за меру этого эффекта в главном сечении минерала.

Для числовой (количественной) характеристики двуотражения минералов многие исследователи используют абсолютные значения разности между R_g и R_p ($\Delta R_{абс} = R_g - R_p$). Однако эта категория не выразительна, так как не передает меры зрительной оценки эффекта. Опыт показывает, что физическому смыслу визуального образа эффекта двуотражения соответствует только относительная величина двуотражения, которая, аналогично оптическому контрасту

по светлоте (яркости) между двумя минералами, может быть выражена формулой

$$\Delta R_{отн} = \Delta R_{абс}/R_g.$$

В табл. 4 сопоставлены числовые значения $\Delta R_{абс}$, $\Delta R_{отн}$ и визуальная оценка эффекта двуотражения для нескольких широко известных минералов (в белом свете, $\lambda = 550$ нм). Из данных, приведенных в табл. 4, видно преимущество использования в диагностике категории $\Delta R_{отн}$; приведенные примеры дают реальное представление о соответствии зрительной (визуальной) оценки силы двуотражения числовому выражению ее в относительных величинах и показывают, что ΔR в абсолютном выражении не содержит информации о силе этого оптического эффекта. Так, у геокронита и кальцита абсолютная разность в двуотражении одинакова и составляет 2 %; в то же время каждый минералог знает, что по силе двуотражения эти минералы различаются очень сильно: относительная величина двуотражения геокронита (0,05), кальцита (0,37) достаточно хорошо характеризует визуальный образ: слабое у геокронита и очень сильное у кальцита. У буланжерита и валлериита величины $\Delta R_{абс}$ одинаковы и равны 8, в то же время относительные величины — 0,17 (у буланжерита) и 0,39 (у валлериита) хорошо согласуются с умеренно сильным двуотражением буланжерита и очень сильным — валлериита.

Количественная оценка относительного оптического контраста двуотражения при некотором навыке не представляет особых трудностей. У опытного исследователя, систематически работающего с микроскопом, оптические образы относительной силы двуотражения таких опорных, широко распространенных минералов, как молибденит, антимонит, кальцит, буланжерит, бурнонит, гематит и некоторые другие, сохраняются в зрительной памяти и служат необходимой «точкой отсчета» при анализе силы двуотражения у неизвестного,

Таблица 4

Минерал	R_g (R_p), %	$\Delta R_{абс}$	$\Delta R_{отн}$	Визуальная оценка
Барит	6,0 (5,9)	0,14	0,02	Не заметный
Геокронит	41 (39)	2	0,05	Слабый
Кальцит	6 (4)	2	0,37	Очень сильный
Раммельсбергит	60 (57)	3	0,05	Слабый
Пираргирит	31 (28)	3	0,09	Заметный
Ильменит	20 (17)	3	0,15	Умеренно сильный
Сильванит	60 (50)	10	0,17	То же
Буланжерит	44 (36)	8	0,17	»
Миаргирит	*37 (30)*	7	*0,18*	»
Киноварь	30 (25)	5	0,17	»
Антимонит	47 (31)	16	0,34	Очень сильный
Валлериит	22 (14)	8	0,39	То же
Молибденит	48 (23)	25	0,52	Исключительно сильный
Графит	21 (7)	14	0,67	То же
Ковеллин	23 (6)	17	0,74	»

определяемого минерала. Начинающим исследователям, а также студентам, чтобы приобрести необходимый опыт количественной оценки силы двуотражения, полезно время от времени просматривать эти минералы один за другим, постоянно сопоставляя визуальные образы с их количественным выражением через $\Delta R_{\text{отн}}$.

Относительная величина двуотражения рассматриваемых в данном Справочнике минералов при $\lambda = 550$ нм показана в цветной таблице числовым значением при символе A; для всего видимого спектра, $\Delta R_{\text{отн}}$ приведены в прилож. 3 и 4.

Оптические контрасты отражения, двуотражения и цвета усиливаются при наблюдении минералов в масляной и йод-метиленовой иммерсиях. Это явление также связано с восприятием нашим глазом именно относительных величин — в иммерсии снижаются значения отражения R_g и R_p, что обусловливает возрастание относительной разности между ними, и эффект двуотражения начинает восприниматься глазом со значений 0,02—0,03.

Цвет. Большое значение категории относительных величин имеют при визуальном восприятии цвета. Количественное определение цвета минералов в отраженном свете представляет новую область приложения классической колориметрической методики, разработанной Международной комиссией по освещению (МКО) в 30-е годы для макрообъектов. Визуальное восприятие цвета в рудном микроскопе имеет свои особенности, отличающие эту процедуру от колориметрирования макрообъектов.

В классической колориметрии цветовые соотношения изучаются в строго стандартных, «стерильных» условиях: при определенной яркости измеряемого цвета, нулевой яркости фона, в отсутствие других объектов в поле колориметра. При таких условиях колориметрирование и расчет дают точное и однозначное выражение цвета, изолированного от внешних влияний. Ни одно из этих условий не соблюдается при наблюдении минералов в шлифе.

Рудная микроскопия представляет новую, особую область чрезвычайно тонкой визуальной колориметрии, объектами которой являются многокомпонентные минеральные агрегаты с цветами в большинстве случаев низкой насыщенности. Эти условия, при которых происходит визуальное восприятие цвета в микроскопе, резко отличаются от условий классической макроколориметрии. При многокомпонентности минеральных агрегатов в поле зрения микроскопа обычно находится несколько объектов, различных по цвету и яркости. Поэтому на визуальное восприятие цвета минералов большое влияние оказывают: 1) оптический эффект, называемый в колориметрии одновременным цветовым контрастом, и 2) яркость (уровень отражения минерала и относительные яркости минералов, находящихся в поле зрения микроскопа).

Одновременный цветовой контраст играет исключительно важную роль в минераграфии. Только при наличии контакта с другими минералами становится возможным определение цвета минералов со слабой насыщенностью, которые в изолированных выделениях могут быть приняты (и, как правило, принимаются) за бесцветные. Приведем

некоторые примеры из практики минераграфии. В изолированных выделениях теллуровисмутит и тетрадимит воспринимаются как высокоотражающие бесцветные минералы; в контакте же отчетливо проявляется нежный розоватый цвет теллуровисмутита и тоже слабый, но отчетливо желтовато-зеленоватый у тетрадимита. Сульфоантимониты свинца практически бесцветные в изолированных выделениях, в контакте с галенитом, а также золотом, пиритом имеют нежный голубовато-зеленоватый тон. Нежный пурпурно-розоватый цвет бертьерита лучше заметен в контакте с антимонитом, сам же антимонит рядом с бертьеритом воспринимается слегка зеленоватым. Швацит в контакте с киноварью отчетливо желтоватый, цвет киновари рядом с швацитом заметно голубоватый.

Влияние второго фактора — относительных яркостей минералов на визуальное восприятие цвета — особенно очевидно на примере широко известных халькопирита и галенита. Халькопирит в ассоциации со сфалеритом и галенитом воспринимается как светлый, отчетливо желтый минерал; рядом с самородным золотом цвет халькопирита кажется темным, серовато-зеленовато-желтым. Галенит в контакте со сфалеритом светлый, ярко белый, в ассоциации же с алтаитом выглядит светло-серым с легким сиреневым оттенком.

Непостоянство визуального образа цвета некоторых минералов под микроскопом послужило причиной появления мнения, разделяемого некоторыми минералогами и в Советском Союзе, и за рубежом, о субъективности цветовых впечатлений в минераграфии. Однако строгий анализ цветовых соотношений вскрывает несостоятельность этого мнения. Рассмотренные, а также многочисленные другие примеры с минералами подтверждают установленные опытом закономерности, имеющие место и при визуальном восприятии цвета макрообъектов. Все эти факты показывают особенности цветового зрения, присущие каждому человеку и одинаково проявляющиеся в реальных конкретных условиях. Анализируя результаты расчета и сопоставляя их со зрительным впечатлением, авторы убедились, что наблюдаемые в микроскопе цветовые изменения строго закономерны и могут быть предугаданы, направление их совершенно определенное и не зависит от наблюдателя. Приведем также несколько примеров «изменчивости» визуального образа цвета в конкретных минеральных ассоциациях: 1) ульманит в ассоциации с галенитом чисто нейтрально-белый, и неотличим от галенита ни по цвету, ни по яркости, а в ассоциации с пиритом — темнее, нежный, отчетливо сиреневатый; 2) тетрадимит в контакте с теллуровисмутитом желтовато-зеленоватый, в контакте с алтаитом — отчетливо кремовый; 3) халькозин бесцветный в изолированных выделениях, в ассоциации с борнитом отчетливо голубоватый; 4) гринокит бесцветный в изолированных выделениях и заметно зеленоватый в контакте со сфалеритом.

Относительность цветовых впечатлений под микроскопом постоянно используется в минераграфии. Так, П. Рамдор [26] качественную оценку цвета всех минералов дает в сравнении с галенитом или другими распространенными минералами, встречающимися в ассоциации.

Таким образом, разнообразие сочетаний минералов в рудном агрегате создает в каждом конкретном случае свой определенный фон, относительно которого и происходит зрительное восприятие цвета. Поэтому так велика роль относительных величин в визуальных цветовых восприятиях *. Под влиянием условий, резко отличающихся от условий классического колориметрирования, некоторые цвета в шлифе воспринимаются не совсем такими, какими их дает расчет; результат влияния новых условий выражается в изменении цветового тона и чистоты (насыщенности) цвета. В колориметрии изменение цвета под влиянием условий визуального восприятия принято называть *трансформацией*. Сложность оценки визуальных образов цвета состоит в том, что трансформация цвета в классической колориметрии не получила количественного выражения. Если же ограничить задачу только узкой областью рудной микроскопии, то оказывается возможным наметить пути решения этой задачи. Наблюдения минералов в отраженном свете при одном николе всегда проводятся с синим светофильтром. Эти условия освещения ближе всего соответствуют источнику белого света *C*; поэтому и результаты расчета, полученные относительно этого источника, в общем близки к визуальному образу цвета. Но значительная часть минералов, главным образом сине-зеленой тональности с низкой насыщенностью цвета, при наблюдении с синим светофильтром выглядит так, как это дает расчет относительно источника *A*. Это и есть результат трансформации под влиянием одновременного цветового контраста. Каким же образом реализуется этот оптический эффект в микроскопе?

В шлифе часто присутствуют насыщенно-желтые, кремовые, розовые минералы; среди рудных минералов они составляют значительную часть — это золото, медь, пирит, халькопирит и им подобные. Находясь в поле зрения микроскопа вместе с сине-зелеными, они являются для последних дополнительным источником освещения. Имея распределение энергии, аналогичное источнику *A*, и отражая в большинстве случаев более половины падающего на них света, насыщенно-желтые и им подобные минералы создают в микроскопе дополнительные условия освещения, близкие к освещенности источником *A*. Излучение, поступающее в наш глаз от ярких насыщенно-желтых минералов, одновременно с излучением от сине-зеленых минералов трансформирует цвет последних и приближает его к такому, какой дает расчет с источником *A*. В спектральном распределении энергии в излучениях источников *A* и *C* наблюдаются наибольшие различия из имеющихся для стандартов белого света, поэтому можно считать, что различия в характеристиках цвета, полученные относительно источников *A* и *C*, представляют предельное выражение контрастов, которые возможны в рудном микроскопе. Из изложенного, очевидно, что, во-первых, цвет следует рассчитывать с двумя источ-

---

* Некоторые расхождения в визуальных оценках цвета различными исследователями вызваны также неидентичностью условий наблюдения, возникающей из-за несовершенства оптических систем микроскопов (прежде всего нестандартностью поляризаторов и источников света).

никами белого света A и C, чтобы результаты расчета с источником C скорректировать на визуальное восприятие; во-вторых, расчет цвета относительно гипотетического равноэнергетического источника E, не учитывающего относительности цветовых восприятий, в минерафии практического смысла не имеет.

Большое значение в приближении результатов расчета к визуальному образу цвета имеет также правильный выбор графиков, с помощью которых осуществляется переход от координат $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ к параметрам B, λ, p. За рубежом используют графики (см. рис. 3, *а*). на которых линии чистоты p построены по законам формальной логики без учета особенностей визуального восприятия цветов разного спектрального состава. В Советском Союзе приняты графики (см. рис. 3, *б*), на которых линии параметра p характеризуют колориметрическую чистоту, определяемую в визуальной колориметрии с учетом цветоразличительных особенностей человеческого глаза в разных участках спектра. Наибольшие различия в значениях параметра p, снятых для одних и тех же цветностей (x и y) минералов с разных графиков, наблюдаются у минералов сине-зеленой и пурпурно-синей тональностей (табл. 5). Так, для таких минералов, как ковеллин, вулканит, риккардит, значения параметра p, снятые с разных графиков, отличаются на 15—20 %. Влияние яркостных контрастов в формировании визуального образа цвета в этих участках спектра наиболее сильное. Отсюда ясно, что для рудной микроскопии пригодны только графики с колориметрической чистотой. Формально можно рассчитывать цвет относительно любого источника света и преобразовывать результаты расчета, пользуясь любыми графиками. Однако, чтобы приблизить результаты расчета к визуальным образам, необходимо считаться с особенностями зрительного восприятия.

В заключение приведем несколько практических рекомендаций по визуальному наблюдению оптических свойств.

1. Погрешности при визуальной оценке отражения могут быть обусловлены некачественной полировкой шлифа. Минералы плохо отполированные будут казаться слабее отражающими, чем хорошо отполированные, хотя их отражение в действительности может быть одинаковым. Поэтому высокое качество полировки — необходимое условие успешной работы не только при количественных измерениях отражения, но и при визуальных наблюдениях. Влияние «наклепа» на отражение минералов слоистой структуры рассматривается при описании молибденита.

2. Наблюдению различий в цвете и плеохроизме отражения минералов с низкой чистотой цвета мешает очень яркий свет — излишняя освещенность ослепляет колбочковый аппарат, осуществляющий цветное зрение. Тонкие оттенки цвета и плеохроизма отражения, особенно у минералов высокоотражающих, могут быть не замечены при очень ярком освещении объекта. Лишний свет и появляющуюся при этом световую вуаль следует убирать уменьшением напряжения трансформатора и прикрытием полевой и апертурной диафрагм. Второе важнейшее условие для выявления цвета и плеохроизма отраже-

Таблица 5

Минерал	Символ	Значения параметров цвета относительно источника света *C*			
		по графику, приведенному на рис. 3, *а*		по графику, приведенному на рис. 3, *б*	
		λ, нм	*p*, %	λ, нм	*p*, %
Антимонит	R_g	480	6,2	480	3,0
	R_p	490	1,0	490	0,9
Борнит	R	589	15,0	589	18,0
Брейтгауптит	R_o	603	6,0	605	7,0
	R_e	497′	8,0	497′	5,0
Валлериит	R_2	579	26,0	579	35,0
	R_1	592	1,0	592	1,2
Вулканит	R_2	578	35,2	578	46,0
	R_1	474	21,0	472	5,5
Джерфишерит	$\overline{R}$	579	15,0	579	22,0
Золото	$\overline{R}$	577	37,5	577	48,0
Ковеллин	R_e	477	14,0	477	4,7
	R_o	478	44,2	481	32,5
Купростибит	R_e	450	9,0	450	0,8
	R_o	563′	11,0	562′	1,4
Маггемит	$\overline{R}$	440	5,0	440	0,3
Пентландит	$\overline{R}$	577	15,0	577	22,0
Пирит	$\overline{R}$	574	12,0	574	18,0
Риккардит	R_o	470	22,0	468	4,5
	R_e	552′	27,0	552′	7,5
Талнахит	$\overline{R}$	576	30,0	576	41,0
Тиманнит	$\overline{R}$	470	6,0	470	1,7
Умангит	R_e	468	10,0	467	2,2
	R_o	563′	15,0	563′	2,2
Халькопирит	R	573	22,0	573	32,5
Штромейерит	R_g	467	9,5	465	1,9
	R_p	458	5,0	455	0,7

ния — высокое качество полированной поверхности минерала. При плохой полировке (шероховатости) происходит рассеяние света и тонкие различия в цвете становятся незаметными. Необходимо отметить, что недостаточное совершенство зеркальной поверхности минерала при количественном измерении отражения может привести не только к снижению уровня отражения, но и к искажению формы кривой; наибольшее искажение происходит в коротковолновой части из-за низкой чувствительности в этом участке спектра фотоумножителей и, следовательно, низкого фотосигнала. Поэтому наибольшие расхождения в величинах отражения и форме кривых дисперсии минералов, по данным различных авторов, наблюдаются именно в коротковолновой части видимого спектра.

3. Наблюдение цветных эффектов анизотропии при скрещенных николях — очень тонкая и осторожная процедура. Диагностическое

значение имеют только те цветные эффекты, которые характерны для главных сечений, т. е. сечений с максимальным двуотражением и наиболее отчетливым плеохроизмом отражения, так как три этих эффекта взаимосвязаны и взаимообусловлены; оценка цветных эффектов анизотропии должна проводиться при строго скрещенных николях. Для обнаружения анизотропии у минералов со слабым проявлением этого эффекта, чтобы избежать мешающего влияния анизотропии других минералов, окружающих определяемый, полезно оставить столик (т. е. шлиф) неподвижным и незначительно покачивать анализатор около «скрещенного» положения. Для более уверенного распознавания слабых эффектов анизотропии следует увеличивать интенсивность освещения, использовать иммерсию и проводить наблюдения на агрегатах равноориентированных зерен; следует также помнить, что дефекты полировки снижают эффект анизотропии (и двуотражения). В то же время ложный эффект анизотропии и двуотражения могут создать тонкие параллельные царапины, остающиеся на поверхности очень мягких минералов (золота, серебра, меди и т. п.) в результате несовершенной полировки.

Количественный метод измерения твердости по микровдавливанию (микротвердости)

Твердость минералов — сложное интегральное свойство, зависящее как от кристаллохимических и физико-химических (тип кристаллической структуры минерала, валентность, химические связи и пр.), так и от механических (упругость, хрупкость, пластичность и др.) факторов, присущих любому твердому телу.

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), но и количественно — инструментальными методами путем микровдавливания в минерал алмазного наконечника (индентора) под определенными нагрузками. В международной практике широко применяется статический метод вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями, равным 136°. Первый прибор с такой пирамидой был выпущен фирмой «Виккерс», поэтому сам метод в литературе часто называют измерением твердости по Виккерсу, а измеренную на приборах величину твердости минерала обозначают числом VHN *. Число твердости по Виккерсу (VHN) классифицируют как *твердость вдавливания* или *твердость по микровдавливанию*, а также как *микротвердость*, оно определяется как отношение массы груза на индентор к контактной площади отпечатка.

---

* VHN — число твердости по Виккерсу, обозначение которого принято Комиссией по рудной микроскопии Международной минералогической ассоциации.

Аппаратуру для определения микротвердости, выпускаемую в настоящее время у нас и за рубежом, можно разделить на две категории: специальные приспособления к серийным микроскопам, как, например, MeF к микроскопу фирмы «Райхерт» (Австрия), и самостоятельные приборы-микротвердометры (ПМТ-3, СССР; MVK, Япония, и др.). Все они основаны на едином принципе статического вдавливания в минерал алмазной пирамиды, поэтому получаемые данные при выполнении стандартных условий измерения достаточно сопоставимы.

Метод микровдавливания позволяет уточнять диагностику минерала, его разновидности, изучать типоморфизм минералов, выявлять зависимость между твердостью минерала и его химическим составом и на этом основании определять основной химический состав минерала или элементов-примесей в них, изучать анизотропию твердости в монокристаллах минералов, а также проводить другие, более тонкие исследования. Первые диагностические измерения микротвердости рудных минералов произвели С. Д. Дмитриев, И. А. Пудовкина, Ф. Накла, С. Бови и К. Тэйлор (1949—1958 гг.).

В 1963 г. было издано первое методическое руководство по микротвердости минералов с диагностическими таблицами для 254 минералов, второе издание вышло в 1977 г. [20]. За последние двадцать лет вышло большое число справочников и руководств по минераграфии [15, 18, 23], где в комплексе с данными по отражению используются и числовые характеристики микротвердости рудных минералов.

Методика определения микротвердости минералов

Отбор материала и подготовка его для исследования, монтировка аншлифов и кристаллов. Отбор материала на исследование определяется задачами, для которых будут использованы данные по микротвердости. Наиболее объективные результаты получаются в тех случаях, когда исследуются хорошо ограненные кристаллы с развитыми основными гранями или специально ориентированные зерна в аншлифах или брикетах. Часто в практике минералогов-рудников такой материал подобрать трудно. В этих случаях надежные результаты по твердости можно получить на полированных брикетах, приготовленных из дробленых фракций (0,25—2 мм) минерала. Измеренная на них микротвердость и статистически обработанные результаты дают полную и надежную характеристику твердости минерала. Кроме того, для измерений микротвердости пригодны прозрачно-полированные шлифы, а также обломки кристаллов с гладкими гранями. При необходимости микротвердость можно определить и на одном зерне, запрессованном в брикет, при этом оно сохраняется и его легко извлечь (разбить брикет в чугунной ступке) для других исследований. Полированный шлиф или кристалл устанавливают так, чтобы измеряемая поверхность была строго горизонтальна. Мелкие кристаллы лучше монтировать на эпоксидной смоле.

Измерение микротвердости на приборе ПМТ-3 состоит из следующих операций.

Регулировка прибора по контрольному эталону. После установки микротвердометра, согласно приложенной инструкции, необходимо проверить систему уравновешивания механизма нагружения (индентора) с оптической системой. Для подобной регулировки прибора предложен способ контрольных брусков, состоящий в получении на всех приборах одного значения микротвердости для одинаково обработанного материала. Такие измерения рекомендуется проводить на плоскостях спайности (свежем сколе) прозрачных кристаллов каменной соли. Делают пять отпечатков и измеряют обе диагонали каждого отпечатка. Среднее арифметическое из результатов измерений должно соответствовать 19—22. Все измерения проводят при нагрузках 7—10 г.

Установка исследуемого образца на столике прибора. Образец минерала (аншлиф, кристалл или брикет), смонтированный под прессом со строго горизонтальной исследуемой поверхностью, помещают на столик микротвердометра под объективом и закрепляют прижимными лапками. Минерал ориентируют относительно нитей креста и вертикального штриха окуляр-микрометра параллельно, вертикально или под углом 45° к направлению удлинения минерала или направлению спайности.

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 20—25 мкм в зависимости от хрупкости минерала и размеров его выделений; для хрупких минералов могут быть небольшие (до 15 мкм) отступления. При исследовании микровключений размер диагонали отпечатков может быть значительно меньшим (8—12 мкм). В этих условиях измеренная микротвердость должна восприниматься как ориентировочная из-за большой погрешности измерения, а также вследствие того, что у большей части твердых минералов микротвердость несколько увеличивается при уменьшении нагрузки. Величины нагрузки и диагонали фиксируют в журнале. Статическое давление алмазной пирамиды под действием гири производят в течение 10—15 с, для хрупких минералов от 3—5 до 1—2 с. При выборе нагрузки можно ориентировочно руководствоваться данными, приведенными в табл. 6.

Измерение отпечатка и вычисление микротвердости. После снятия нагрузки измеряют диагонали отпечатка с помощью винтового окуляра-микрометра: если отпечаток квадратный, то измеряют одну горизонтальную диагональ, если искаженный, «ромбовидный»,— обе диагонали. Для уменьшения субъективной погрешности рекомендуется для одного отпечатка измерять диагонали три раза и брать среднее из трех измерений. 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: выпукло-вогнутый, прямосторонне-сигмоидальный и т. д. [20].

Таблица 6

Класс твердости	Твердость по Моосу	Микротвердость VHN	Оптимальная масса груза, г
I. Очень мягкие	$1-1\frac{1}{2}$*	7—30*	3—5
	$1\frac{1}{2}-2$	30—60	5—10
II. Мягкие	2—3	60—120	10—20
III. Средней твердости	3—4	120—200	20—30
	$4-4\frac{1}{2}$	200—350	30—50
	$4\frac{1}{2}-5$	350—550	50—100
IV. Твердые	5—6	550—800	100—150
	6—7	800—1100	100—200**
V. Очень твердые	>7	>1100	150—200

* Все интервалы приблизительны.
** Для очень хрупких минералов берут нижние значения нагрузок.

Под действием вдавливания алмазной пирамиды кроме пластично-упругих свойств в подавляющем большинстве минералов наблюдается проявление хрупких свойств, т. е. нарушение сплошности в образце. Разные типы трещин и разрушений, образующихся вокруг отпечатка, были подразделены исследователями на различные категории. Рациональной представляется следующая группировка:

а) трещины разрыва (обычно радиальные) начинаются либо от сторон, либо от углов отпечатка;

б) трещины спайности — различные системы прямых параллельных трещин, идущих вдоль следов спайности;

в) 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.

Систематические исследования показывают, что для ряда минералов характер отпечатка, наряду с числовым значением микротвердости, может являться дополнительным диагностическим признаком. Кроме того, по форме и характеру отпечатка можно распознавать либо символ граней, либо сечение, определенным образом ориентированное относительно осей в одном минерале.

Величину микротвердости минерала находят по формуле [20]: $VHN = 1854\ P/d^2$ (где P — масса груза, г; d — длина диагонали, мкм).

Для удобства и ускорения вычислений рассчитаны таблицы (см. прилож. 7), позволяющие быстро находить искомое значение VHN по величине P и длине диагонали d.

Об анизотропии твердости

Ранее одним из авторов данного Справочника [20] были выявлены два типа анизотропии твердости в кристаллических минералах: I и II рода. Анизотропия твердости I рода — различная твердость по разным кристаллографическим направлениям в пределах одной плоскости кристалла (грани, сечения); анизотропия твердости II рода — различная твердость граней или семейств граней, а также срезов, параллельных или перпендикулярных к кристаллографическим осям в одном кристалле, зависящая главным образом от их атомной (ретикулярной) плотности.

Для количественной оценки степени анизотропии твердости в минералах в 1961 г. впервые был предложен, а затем в 1963 г. уточнен коэффициент анизотропии твердости минерала, который рассчитывается по формуле [20]:

$$K_{VHN} = VHN_{max}/VHN_{min},$$

где VHN_{max} и VHN_{min} — соответственно максимальное и минимальное значения микротвердости, полученные для данного минерала на различных сечениях и гранях или по различным направлениям в одном сечении. При таком расчете коэффициент анизотропии твердости — величина относительная, всегда больше единицы.

В развитие этого направления и для более широкого использования коэффициентов анизотропии твердости при корреляции их со структурными особенностями минералов все минералы были условно разделены на три гомологических типа [30]. К I гомологическому типу отнесены минералы кубической и триклинной сингоний, для которых обычно характерен один, численно самый низкий коэффициент анизотропии II рода (K_{VHN_2} в пределах от 1 до 1,12). Во II гомологическую группу объединены минералы средних сингоний (три-, тетра- и гексагональной) с одним единичным направлением в кристаллах. Они, как правило, обладают двумя коэффициентами анизотропии K_{VHN_1} и K_{VHN_2} в пределах 1,12—1,5. К III гомологическому типу относятся минералы низшей категории: ромбической и моноклинной систем с тремя и более коэффициентами анизотропии твердости $K_{VHN_{1,2,3}} > 1{,}50$. Эти минералы имеют три и более единичных направлений в кристаллах.

Обработка результатов и стандартизация условий измерения

Твердость каждого минерала, измеренная методом микровдавливания (микротвердости), не может быть выражена одним числом. Она должна быть охарактеризована определенным комплексом чисел: пределами колебаний микротвердости VHN, средним арифметическим или наиболее вероятным статистическим числом $VHN_{ср.1}$ и $VHN_{ср.2}$ и коэффициентами анизотропии твердости K_{VHN} (может быть также K_{VHN_1}, K_{VHN_2}, K_{VHN_3}).

В зависимости от коэффициента анизотропии K_{VHN} минерала, характера подготовки образца для исследования (аншлифы, кри-

сталлы, полированные брикеты из дробленых фракций) и методики измерения обработать полученные результаты можно двумя путями: нахождением среднего арифметического из нескольких значений микротвердости и наиболее вероятного значения, исходя из законов математической статистики.

1. Способ обработки результатов путем нахождения среднего арифметического ($VHN_{ср}$) из нескольких результатов измерения микротвердости наиболее распространен. Однако при исследовании минералов его можно эффективно и достоверно использовать при следующих обстоятельствах:

а) при измерении твердости 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.) и по ним вычисляют несколько средних арифметических ($VHN_{ср\ 1}$, $VHN_{ср\ 2}$ и т. д.);

б) при исследовании минералов со средневыраженной анизотропией твердости (K_{VHN} в пределах 1,12—1,2) можно вычислять, $VHN_{ср}$ только в том случае, если произведено не менее 9—13 замеров, и по возможности на различных зернах (срезах) одного минерала. Наилучшими препаратами для данного случая являются искусственные полированные брикеты из дробленых (0,25—1 мм) зерен минерала.

2. Если минерал существенно анизотропен по твердости ($K_{VHN} > 1{,}2$) и представлен поликристаллическим агрегатом, то необходимо применять методику массовых измерений микротвердости (не менее 30—35). Для исследования твердости лучше готовить полированные брикеты из дробленой (0,25—1 мм) фракции. При обработке результатов следует использовать различные методы математической статистики, в частности, способы построения вариационных кривых или гистограмм [20].

Стандартизация условий измерения. Международная комиссия по рудной микроскопии ранее рекомендовала в качестве стандартной нагрузку 100 г. В 1966 г. на V сессии Международной минералогической ассоциации в г. Кембридже С. И. Лебедевой было внесено предложение о том, что при измерениях микротвердости минералов стандартизировать следует не нагрузку, а размер отпечатка, получаемый при микровдавливании. При таком подходе принцип измерения «переменная нагрузка — постоянный отпечаток» открывает возможность более объективного сравнения измеряемой микротвердости всех минералов независимо от класса твердости в одинаковых, т. е. стандартных, микрообъемах. В качестве стандартного предлагается принять размер диагонали отпечатка, равный 15—22 мкм.

Учитывая изложенное, были разработаны следующие стандартные условия измерения микротвердости минералов [20]:

1) нагрузку подбирать в соответствии с классом твердости и размерами зерен минералов, а в публикациях указывать ее массу;

2) стандартным считать не массу приложенной нагрузки, а размер диагонали отпечатка, который должен по возможности находиться

в пределах 20—25 мкм (для хрупких минералов нижний предел может быть снижен до 15 мкм);

3) число измерений на одном минерале не строго регламентировано: для анизотропных — в зависимости от величины коэффициента анизотропии K_{VHN} от 7 до 15 и более;

4) время опускания алмазной пирамиды и выдержки нагруженной пирамиды на образце во время вдавливания должно быть по 15 с (в соответствии с предложениями Международной комиссии). Однако для хрупких минералов время выдержки может быть сокращено до 5 с.

Микротвердометрия как метод анализа природных минеральных систем

В результате систематических исследований микротвердости минералов в зависимости от изменения их химического состава установлено, что твердость минералов является не только функцией их со-

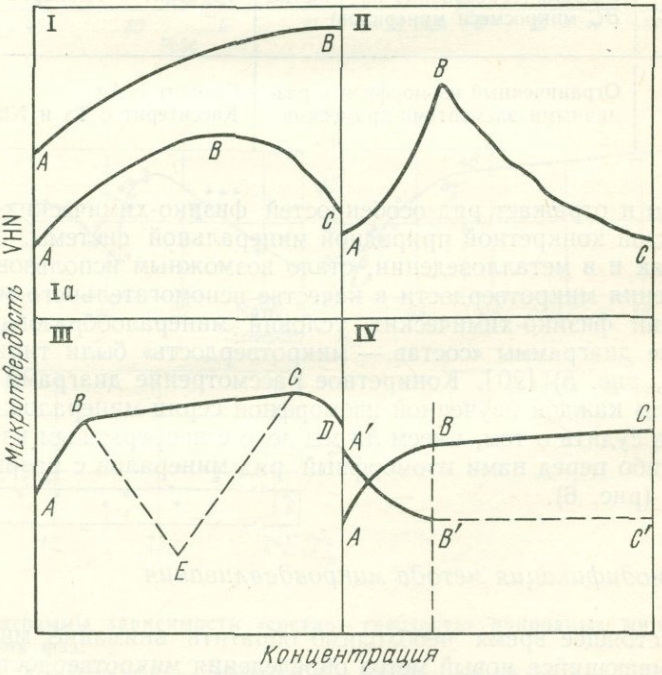


Рис. 5. Схематическая типизация диаграмм зависимости «состав—твердость» природных минеральных систем:

I — непрерывный изоморфный ряд минералов; Ia — непрерывный ряд твердых растворов; II — изоморфный ряд с разрывом смесимости в точке B; III — изоморфный ряд с разрывом смесимости и образованием в сингулярной области *BEC* микросмеси двух минеральных фаз; IV — диаграммы зависимости VHN от содержания элементов-примесей с ограниченным изоморфным вхождением (на участках *BC* и *B′C′* элементы-примеси образуют собственные минеральные микровключения)

Таблица 7

Тип диаграммы	Характеристика изоморфных минеральных систем (рядов)	Примеры изученных изоморфных рядов минералов и групп
I	Непрерывный изоморфный ряд	Тетраэдрит-теннантит Стрюверит — ильменорутил NiTe — $NiTe_2$ (синтетические)
Ia	Непрерывный ряд твердых растворов	Золото — серебро PbS—PbSe (синтетические)
II	Изоморфный ряд с разрывом смесимости (возможность образования в точке *B* нового соединения *AB*)	Платина — поликсен — ферроплатина Клейофан — марматит
III	Изоморфный ряд с разрывом смесимости (образование на участке *BC* микросмеси минералов)	Колумбит — танталит Ферберит — гюбнерит
IV	Ограниченный изоморфизм с различными элементами-примесями	Галенит с Ag Касситерит с Ta и Nb

става, но и отражает ряд особенностей физико-химических равновесий каждой конкретной природной минеральной системы. В минералогии как и в металловедении, стало возможным использовать метод определения микротвердости в качестве вспомогательного метода при выяснении физико-химических условий минералообразования. Для этого все диаграммы «состав — микротвердость» были типизированы (табл. 7, рис. 5) [20]. Конкретное рассмотрение диаграмм «состав—твердость» каждой изученной изоморфной серии минералов позволяет косвенно судить о том, имеем ли мы дело с непрерывным изоморфным рядом либо перед нами изоморфный ряд минералов с разрывом смесимости (рис. 6).

Новая модификация метода микровдавливания

В настоящее время необходимо обратить внимание минералогов на развивающийся новый метод определения микротвердости по глубине отпечатка, разрабатываемый Е. С. Берковичем, В. П. Алехиным, Г. Н. Калеем, А. С. Поваренных, А. Ю. Герасимовым [26] и другими исследователями. В СССР созданы приборы, основанные на новом принципе — записи диаграмм вдавливания непосредственно в момент внедрения индентора с алмазной пирамидой в образец. На одном из таких приборов [20] С. И. Лебедевой были проведены методические

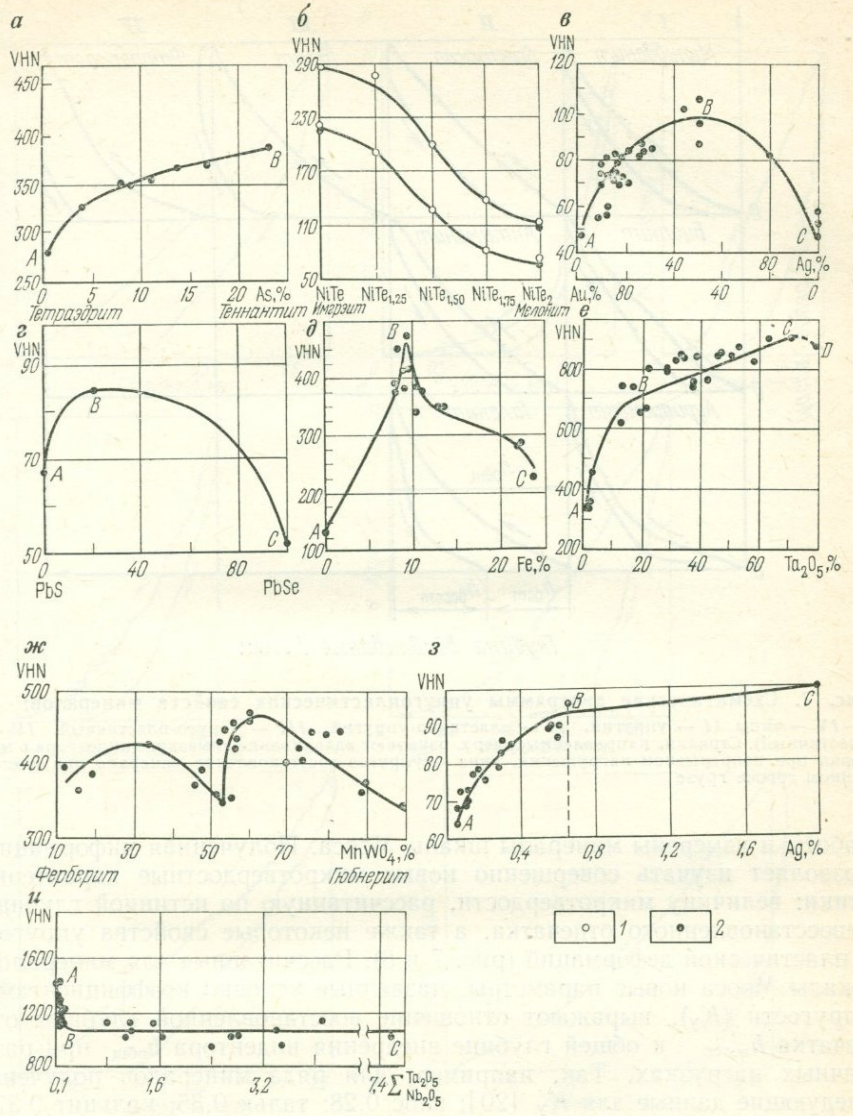


Рис. 6. Диаграммы зависимости «состав—твердость» природных минералов и синтетических фаз:

а—б — тип I (*а* — тетраэдрит — теннантит, *б* — имгрэит — мелонит); *в—г* — тип Ia (*в* — золото—серебро, *г* — галенит—клаусталит); *д* — тип II (платина — поликсен — ферроплатина); *е —ж* — тип III (*е* — колумбит—танталит, *ж* — ферберит—гюбнерит); *з—и*—тип IV (*з* — галенит с примесью серебра, *и* — касситерит с примесью тантала и ниобия); *1* — синтетические фазы; *2* — природные минералы

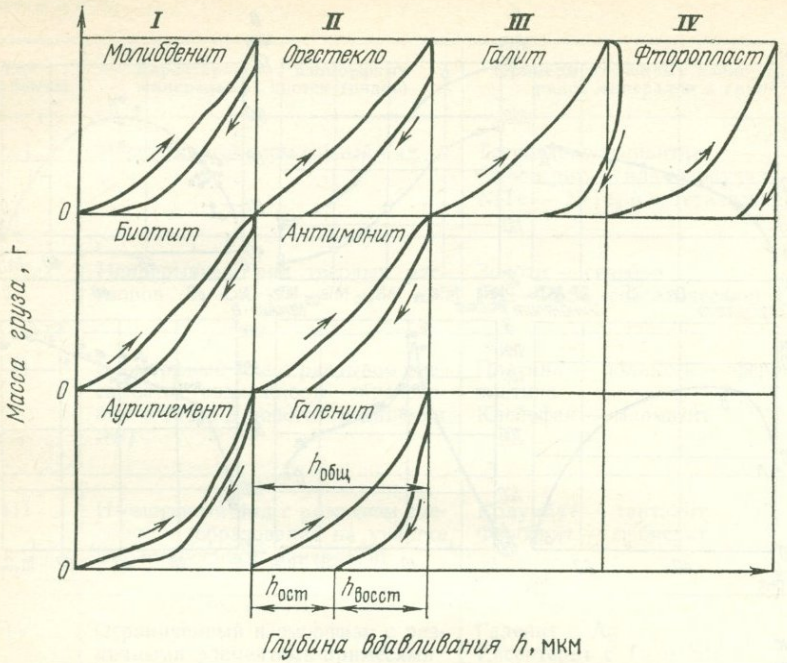


Рис. 7. Схематические диаграммы упругопластических свойств минералов:
I—IV — типы (*I* — упругий, *II* — пластично-упругий, *III* — упруго-пластичный, *IV* — пластичный). Стрелки, направленные вверх, означают вдавливание алмазного индентора в минерал при непрерывном нагружении, вниз — упругое восстановление минерала при постепенном сбросе груза

работы и измерены минералы шкалы Мооса. Полученная информация позволяет изучать совершенно новые микротвердостные характеристики: величину микротвердости, рассчитанную по истинной глубине невосстановленного отпечатка, а также некоторые свойства упругой и пластической деформаций (рис. 7 и 8). Рассчитанные для минералов шкалы Мооса новые параметры, названные условно коэффициентами упругости ($K_у$), выражают отношение восстановленной глубины отпечатка $h_{восст}$ к общей глубине внедрения индентора $h_{общ}$ при различных нагрузках. Так, например, для ряда минералов получены следующие данные для $K_у$ [20]: гипс 0,28; тальк 0,35; кальцит 0,37; полевой шпат 0,39; флюорит 0,42; кварц 0,43 (для базального сечения) и 0,39 (для грани призмы); топаз 0,53.

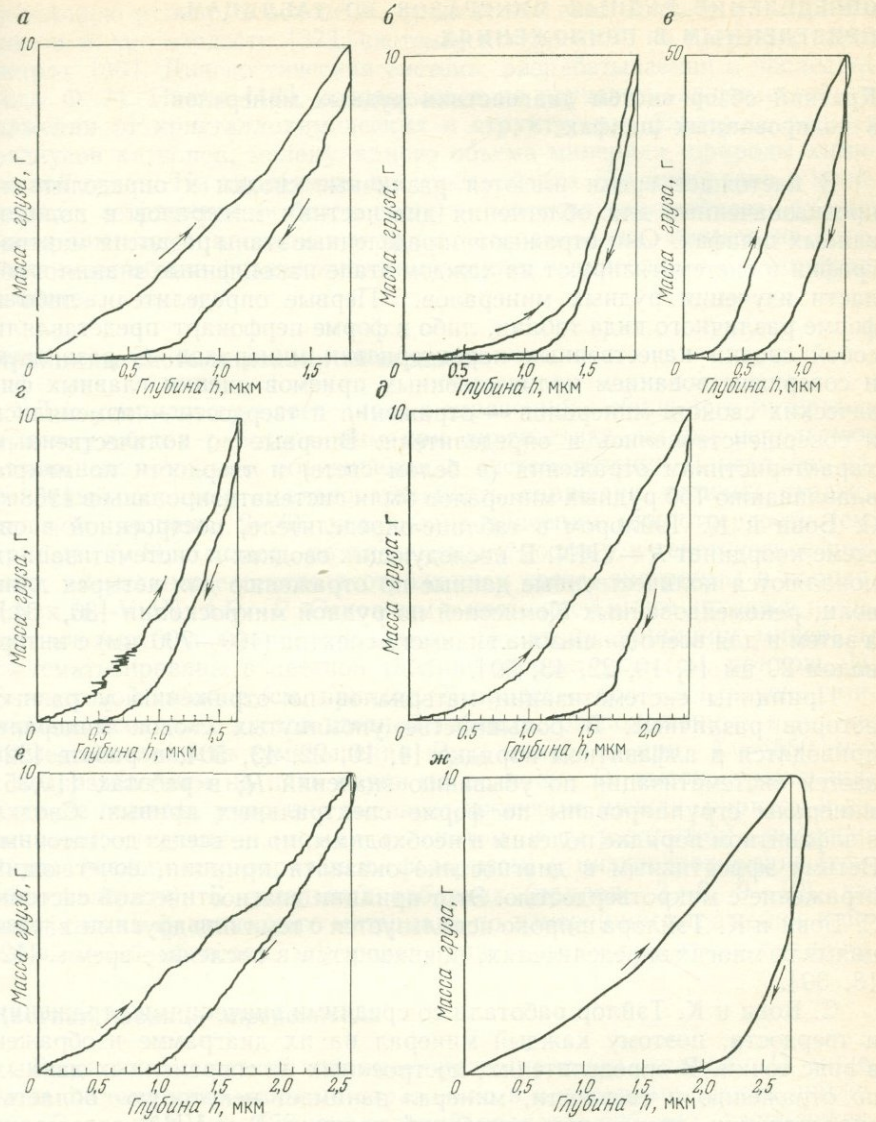


Рис. 8. Диаграммы упругопластических свойств некоторых минералов — представителей различных типов упругости—пластичности, записанные на приборе УПМ-1:

а—б — тип *I* (*а* — молибденит, *б* — аурипигмент, *в* — пирит); *г—е* — тип *II* (*г* — антимонит, *д* — галенит, *е* — биотит); *ж* — тип *III* (галлит)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ ПО ТАБЛИЦАМ, ПРИВЕДЕННЫМ В ПРИЛОЖЕНИЯХ

Краткий обзор систем диагностики рудных минералов в полированных шлифах

В настоящее время имеются различные сводки и определители, предназначенные для облегчения диагностики минералов в полированных шлифах. Они отражают определенные этапы развития минераграфии и систематизируют на каждом этапе накопленные знания в области изучения рудных минералов. Первые определители либо в форме различного вида таблиц, либо в форме перфокарт представляли собой сводки качественных характеристик минералов. С развитием и совершенствованием количественных приемов оценки главных физических свойств минералов — отражения и твердости — изменялись и совершенствовались и определители. Впервые по количественным характеристикам отражения (в белом свете) и твердости по микровдавливанию 150 рудных минералов были систематизированы в 1958 г. С. Бови и К. Тэйлором в таблице-определителе, построенной в системе координат R—VHN. В последующих сводках и систематизациях появляются количественные данные по отражению для четырех длин волн, рекомендованных Комиссией по рудной микроскопии [30, 54], а затем и для всего диапазона видимого спектра (400—700 нм) с интервалом 20 нм [4, 10, 22, 43, 50].

Принципы систематизации материалов по отражению у разных авторов различные. В большинстве упомянутых сводок минералы приводятся в алфавитном порядке [4, 10, 22, 43, 50]; в работе [22] дается систематизация по убыванию значений R; в работах [10,35] минералы сгруппированы по форме спектральных кривых. Сводки в алфавитном порядке полезны и необходимы, но не всегда достаточны. Весьма эффективным в диагностике оказался принцип, сочетающий отражение с микротвердостью. Этот принцип диагностической системы С. Бови и К. Тэйлора широко используется с теми или другими вариациями во многих определителях, появившихся в последнее время [12, 18, 30].

С. Бови и К. Тэйлор работали со средними значениями отражения и твердости, поэтому каждый минерал на их диаграмме изображен в виде точки. В определителях, построенных на современных данных по отражению и твердости, минерал занимает некоторую область, определяемую диапазоном колебаний величин R и VHN вследствие различной ориентировки сечений, вариаций состава минерала, а также разброса значений, полученных разными авторами. В последние годы стали появляться диагностические системы, использующие автоматические и полуавтоматические поисковые программы: Дельфтская система, использующая перфокарты [45]; система Бови—Симпсона [30], предусматривающая последовательное измерение отражения при четырех стандартных длинах волн и при необходимости измерение микротвердости; система NISOMI, состоящая из серии автоматических программ для компьютера, осуществляющего обычную

поисковую работу, в основе которой лежит ввод данных по отражению и микротвердости [37]; системы, построенные на цветовых параметрах [35]. Диагностическая система, разрабатываемая в последние годы Ф. М. Накла [48], основывается на изучении зависимостей отражения от кристаллохимических и структурных факторов: ионных радиусов катионов, молекулярного объема минерала, природы химической связи. На диаграмме, построенной для 150 минералов в координатах «отражение (в белом свете) — молекулярный объем», рудные минералы сгруппировались в три отчетливые зоны, каждая из которых имеет общие физические, химические, оптические и структурные свойства.

Принципы систематизации минералов

Для упорядочения сведенного в справочнике обширного материала и для удобства работы с ним при диагностике авторы используют различные принципы объединения и систематизации минералов: алфавитный порядок, последовательность снижения величин отражения (см. прилож. 2—6), увеличение значений микротвердости (см. прилож. 7, 8), близость по химическому составу и генетическое родство, визуальное сходство в отраженном свете, диаграммы в координатах R—VHN, ΔR—R. Основным в настоящей книге является принцип систематизации по отражению. По этому принципу минералы систематизированы в цветной таблице-определителе (см. прилож. 1). В текстовой таблице (см. прилож. 2) приведен полный перечень минералов всех трех листов цветной таблицы, расположенных в той же последовательности (уменьшения R_{max} минерала при $\lambda = 550$ нм) с подразделением на пять групп по величине R: высокоотражающие (светлее пирита), умеренно высокоотражающие (между пиритом и галенитом), умеренно- (между галенитом и тетраэдритом), умеренно низко- (между тетраэдритом и сфалеритом) и низкоотражающие (темнее сфалерита). В остальных таблицах (прилож. 3—6, 9—10), где даны сводки фактического материала по измерениям отражения в видимой и УФ-областях, минералы приведены в алфавитном порядке).

Цветная таблица-определитель

В основной, цветной таблице-определителе (см. прилож. 1) минералы систематизированы по отражению в последовательности снижения R_{max} при $\lambda = 550$ нм; главной является таблица, расположенная на листе 1, в которой содержатся наиболее распространенные, детально изученные, а также редкие, но имеющие важное значение минералы. Здесь же находятся и наиболее распространенные жильные минералы. Такое содержание листа определено также тем обстоятельством, что ранее изданная цветная таблица-систематика (1976, 1977) широко используется в учебных институтах при прохождении студентами курса минераграфии и в Советском Союзе, и за рубежом (в частности, в Болгарии, Дании, Франции). Таблицы (листы 2 и 3) охватывают минералы, не вошедшие в лист 1, причем в листе 3 сгруп-

пированы вторичные минералы, минералы зоны окисления и все жильные минералы, которые рассматриваются в определителе. Эти таблицы представляют дальнейшее расширение и уточнение ранее изданных таблиц и построены по тем же принципам.

Для каждого минерала в таблицах отведена самостоятельная ячейка; в ней приведена формула минерала и с помощью простых условных обозначений наглядно показаны основные диагностические свойства: отражение для $\lambda = 550$ нм; кривые дисперсии для всего видимого спектра, выполненные строго в масштабе; цвет * и плеохроизм отражения, сила двуотражения ($\Delta R_{отн}$) при $\lambda = 550$ нм; параметры цвета, осность и знак кристалла, внутренние рефлексы, относительный рельеф, твердость по микровдавливанию. Расположение минералов в последовательности снижения отражения их при $\lambda = 550$ нм удобно для визуального изучения шлифов; этот участок спектра ближе всего отвечает условиям наблюдений в обычном «белом» свете; поэтому систематика минералов по величине отражения при $\lambda = 550$ нм является хорошей основой для количественной визуальной оценки отражения любого определяемого минерала методом сравнения, которым постоянно пользуются исследователи при микроскопических наблюдениях. Ячейки нескольких наиболее распространенных в рудах минералов (пирита, галенита, тетраэдрита, теннантита, сфалерита, кварца) выделены жирным контуром. Это зрительно разбивает все поле таблицы на отдельные части, с которыми будет непосредственно работать исследователь при определении того или другого неизвестного минерала.

Систематика по отражению, на фоне которой воспроизводятся одновременно главные свойства минералов, является удобной и естественной основой для упорядочения данных о диагностических свойствах, функционально связанных с отражением, для анализа взаимозависимости оптических свойств, анализа зависимости свойств минералов от состава. При такой последовательности минералы естественным образом расположились в определенном порядке, сгруппировавшись по сходству химических, кристаллохимических и других свойств. В самой верхней части листов 1 и 2 ($R > 60$ %) находятся самородные металлы, интерметаллические соединения, золото-серебряные теллуриды, теллуриды висмута,— т. е. минералы с преобладанием металлической связи; твердость минералов низкая до средней; цвет, отражение и дисперсия R определяются в основном поглощением; спектральные кривые отражения сложные с преобладанием аномального профиля. Ниже в таблицах (R 60—50 %) располагаются группы железо-кобальто-никелевых арсенидов и сульфоарсенидов, имеющих

---

* Цвет минералов в «белом» свете, как и в первых вариантах таблицы [4, 32], показан для наглядности окраской поля ячейки. Условно принятая ограниченная гамма цветов (15 наименований), несомненно, недостаточна для передачи всех многочисленных нюансов цветовой тональности минералов; однако и такая приближенная характеристика очень полезна и совершенно необходима при диагностике. Более строгое количественное выражение в настоящем варианте таблицы цвет получает в приводимых здесь же цветовых параметрах.

полуметаллические, частично ковалентные и, возможно, частично ионные связи, высокую твердость; величины R и цвет минералов зависят главным образом от поглощения; спектральные кривые R, как правило, сложные. В средней части листов 1 и 2 (R 50—30 %) находятся простые сульфиды и многочисленные группы сложных сульфидов и сульфосолей, сложные селениды; связи в минералах иннококовалентные, частично металлические; значения твердости и отражения средние; отражение зависит и от показателя преломления и от коэффициентов поглощения, спектральные кривые часто сложные, для многих минералов характерен нормальный (галенитовый) тип дисперсии. Начиная с этого участка систематики, появляются полупрозрачные минералы, у которых в отраженном свете обнаруживаются внутренние рефлексы. В нижней части листов 1 и 2 ($R < 30$ %) сосредоточены, главным образом, оксиды, кислородные соли и некоторые группы сернистых соединений; у оксидов связи между элементами преимущественно ковалентно-ионные, высокая твердость; отражение в основном определяется показателем преломления; тип дисперсии R нормальный; большинство минералов нижней части систематики полупрозрачны и прозрачны.

Взаимозависимость главных оптических свойств минералов определяется известной формулой, связывающей отражение R, показатель преломления N и коэффициент поглощения K:

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

Взаимозависимость оптических свойств более очевидна на фоне приведенной систематики. Она выражается в зависимости между: величиной отражения и степенью просвечивания, т. е. проявлением внутренних рефлексов; формой кривых дисперсии R и наличием или отсутствием внутренних рефлексов; цветом минерала и цветом внутренних рефлексов; цветом минерала и формой кривой; в зависимости распределения минералов разного цвета в систематике.

На основании изложенного можно сделать следующие практические выводы.

1. Минералы с отражением более 40 % (светлее галенита) не просвечивают, т. е. не имеют внутренних рефлексов. Поэтому проверка на внутренние рефлексы минералов с отражением выше галенита не имеет диагностического смысла. Наиболее светлыми минералами, у которых наблюдаются внутренние рефлексы, являются сульфоантимониты свинца; внутренние рефлексы их насыщенны и в большинстве случаев заметны лишь в порошке с иммерсией. По мере снижения R число просвечивающих минералов возрастает; все минералы с R менее 12 % просвечивают в воздухе.

2. Внутренние рефлексы отсутствуют у минералов с R менее 40 % (т. е. у минералов темнее галенита), если кривые дисперсии их имеют профиль аномальный или сложный с прогибом в видимой области и с подъемом к синему и красному участкам (см. борнит, моусонит, нукундамит, фишессерит, голдфилдит, минералы группы станнина и им подобные).

3. Для минералов голубой и зеленой тональностей с кривыми дисперсии нормального профиля характерны красные внутренние рефлексы, более сильные у голубых минералов (многие сульфосоли серебра); у голубовато-зеленоватых минералов внутренние рефлексы более отчетливые для мышьяковых минералов, чем для аналогичных по химическому составу минералов сурьмы.

4. Желтые и кремовые минералы в отраженном свете имеют резко аномальный тип дисперсии и сосредоточены главным образом в верхней части систематики (золото, серебро, многие интерметаллические соединения, теллуриды золота, висмута и др.). Минералы с цветами слабой насыщенности голубоватой и зеленоватой тональностей имеют кривые нормального профиля; они занимают довольно обширную область в центральной части систематики (многочисленные сульфосоли сурьмы, мышьяка, таллия).

5. Для розовых и коричневато-розовых минералов не отмечается определенной приуроченности к какой-либо части систематики; все эти минералы не имеют внутренних рефлексов.

6. Бесцветные минералы (белые и серые) распределены в систематике без тенденции к локализации в определенной области. В нижней части систематики сосредоточены прозрачные минералы — вторичные рудные и жильные.

7. Из прочих зависимостей следует отметить тенденцию к локализации в двух участках систематики минералов высокой твердости: в верхней части (после самородных металлов, теллуридов золота, висмута) в виде обособленной группы располагаются арсениды, сульфоарсениды железа, никеля, кобальта и тиошпинели; в нижней части ($R \sim 20$ %) — оксиды преимущественно железа и марганца, а также тантала, ниобия, урана, титана и хрома.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Результаты многих исследователей (в том числе наши собственные) подчеркивают, что спектры зеркального отражения создают хорошую основу для уверенной диагностики рудных минералов в полированных аншлифах. В настоящее время они широко используются в практике минераграфических исследований. Однако ручной анализ спектров является длительной и не всегда достаточно надежной процедурой, так как требует сопоставлять не только абсолютные значения коэффициентов отражения, но и форму спектральных кривых, которые могут иметь небольшие, но весьма информативные различия. Процесс диагностики усложняется и удлиняется, когда возникает необходимость привлекать дополнительные справочные данные, характеризующие «подозреваемый» минерал. Автоматизация позволяет не только повысить производительность диагностики, но и снизить требования к опыту и квалификации оператора, сделать надежную диагностику доступной для рядового минералога.

В настоящее время имеются все предпосылки для широкой организации работ в области автоматизации диагностики. Заканчивается

период накопления первичной информации по широкому кругу минералов; в СССР и за рубежом опубликованы большие собрания спектров и других количественных и качественных характеристик более 700 рудных минералов. Благодаря совершенствованию измерительной аппаратуры и применению общепринятых хорошо аттестованных эталонов отражения повысилась достоверность спектральной информации, получаемой разными авторами. Налажен промышленный выпуск весьма совершенных микроспектрофотометров отраженного света и средств малой вычислительной техники с достаточным быстродействием и объемом памяти, которые могут работать в едином диагностическом комплексе. Наконец, накоплен определенный опыт в разработке компьютерных программ и создании лабораторных диагностических систем.

На протяжении всей истории развития минераграфии предпринимались попытки ускорения процесса диагностики и повышения ее надежности путем систематизации свойств минералов с помощью таблиц, номограмм, перфокарт, различных классификаторов. При этом главной составной частью всех схем определения минералов являлись оптические признаки, которые относительно легко могут быть оценены количественно. Основные шаги, пройденные в направлении интенсификации минераграфических исследований, отражены в обзорах Н. И. Шумской [35] и О. В. Эстерле [36]. Укажем также классификатор спектров, рекомендованный Л. Н. Вяльсовым [10], и систему диагностики Ф. М. Наклы [48], в основу которой также положено измерение отражения исследуемого образца. Все работы, направленные на поиск необходимых информативных признаков для надежной идентификации минералов, создают хороший фундамент для построения автоматизированных систем диагностики.

Такие системы уже имеются и продолжают совершенствоваться. Их можно разделить на две группы — идентификаторы на базе специализированных распознающих устройств и поисковые системы на базе универсальных ЭВМ. Сравнение и оценка устройств обеих групп даны в упомянутых обзорах. Перспективы применения универсальной ЭВМ в автоматической информационно-поисковой и диагностической системе для всего множества минералов рассматриваются в работе [14]. Конкретным вопросам математической обработки спектров и их использования для автоматизированной диагностики рудных минералов посвящены работы [2, 3], а также ряд сообщений на XIII конгрессе ММА (Варна, 1982 г.).

Остановимся на работах Н. И. Шумской и др. [35] и Х. Бернхардта [38, 39], которые достигли определенных результатов при автоматизированной диагностике микрозерен в аншлифах, используя различный подход к выбору критериев распознавания.

Авторы первой работы в качестве диагностического признака избрали цвет минерала, который количественно оценивался на основании обработки спектров отражения исследуемого образца. Предварительное сжатие информации позволяет хранить в памяти ЭВМ минимальное число параметров (пять), характеризующих каждый минерал (три — координаты цвета и два — координаты цветности) и со-

ответственно вести поиск неизвестного минерала по этим же параметрам. Измерения выполнялись на регистрирующем микроспектрорефлектометре МСФП-1 (Ленинградское оптико-механическое объединение им. В. И. Ленина). Полученные спектрограммы оцифровывались через каждые 10 нм в диапазоне 420—710 нм. Значения коэффициентов отражения с помощью перфокарт вводились в ЭВМ «Минск-32», которая сравнивала введенные значения с параметрами образцовых минералов, хранящимися в ее памяти. Неизвестный образец считался идентифицированным, если его цветовые характеристики не выходили за установленные авторами допустимые интервалы. Программа предусматривала раздельный поиск для минералов с одной и двумя кривыми отражения.

В систему машинной диагностики были включены 92 минерала, изученных авторами. При испытаниях однозначный правильный ответ удавалось получить для 65 % минералов; 25 % минералов образовывали пары, остальные объединялись в группы, которые для окончательной диагностики требовали дополнительных исследований.

Полученный результат, безусловно, хуже того, который можно было бы ожидать при работе с «полным» спектром, так как информативность цветовых коэффициентов меньше, чем предельная информативность дисперсии отражения. Об этом свидетельствует и наблюдение самих авторов, которые отмечают, что некоторые не разделяемые машиной минералы легко различаются по виду кривых. Тем не менее при всей ограниченности рассмотренного подхода, который не может служить основой для уверенной диагностики всего многообразия рудных минералов, следует отметить его значение как первого опыта автоматизированной диагностики с помощью ЭВМ, а также некоторые практические преимущества, связанные с уменьшением количества хранимой информации и вытекающей отсюда возможностью использования машин с малым объемом внешней памяти.

Система диагностики, разработанная Х. Бернхардтом, основана на оценке подобия спектральных кривых отражения неизвестного и образцового минералов. Автор рассматривает три параметра, пригодные в принципе для такой оценки: корреляционный коэффициент; среднее расстояние между сравниваемыми спектрами; коэффициент вариации частного от деления коэффициентов отражения пробы на соответствующие коэффициенты отражения образцового минерала. Что касается корреляционного коэффициента, то его использование оказывается неэффективным при анализе пологих кривых, свойственных большинству минералов.

Более пригоден для оценки степени подобия второй параметр

$$\theta = \frac{\Sigma \mid R_{iN} - R_{iX}/F \mid}{m},$$

где R_{iN} и R_{iX} — коэффициенты отражения образцового минерала и неизвестного в процентах при i-й длине волны; m — число пар сравниваемых значений, F — поправочный коэффициент, равный $(\Sigma R_{iX}/R_{iN})/m$.

Для проверки работоспособности избранного подхода автор ввел в банк данных 900 спектров 360 минералов из нескольких собраний спектров [4, 10, 23]. Для эксперимента были избраны 135 минералов, для каждого из которых в распоряжении автора оказалось по крайней мере три спектра. Один из спектров принимался за неизвестный, после чего включалась система автоматического поиска. Программа предусматривала сопоставление только таких спектров, уровень отражения которых при длине волны 589 нм отличался от неизвестного не более чем на 20 %. Итогом подобного поиска был перечень «подозреваемых» минералов с указанием степени отличия их спектров от спектра неизвестного минерала. В результате такого моделирования диагностики всех 135 минералов удалось показать, что с вероятностью 80 % правильное название определяемого минерала лежит среди первых десяти названий перечня. Отсюда был сделан вывод о перспективности машинной диагностики минералов по спектрам отражения, которая, однако, должна совершенствоваться путем учета микротвердости и других качественных признаков исследуемого минерала.

Упомянутый выше коэффициент вариации как мера подобия кривых отражения при диагностике дает тот же эффект. Однако вычислять его оказалось проще и потому он был использован в диагностическом комплексе, содержащем простейший микроскоп-фотометр с 15-ю интерференционными фильтрами, охватывающими диапазон 420—700 нм, и настольную ЭВМ фирмы «Хьюлетт-Паккард». Автоматическое определение степени подобия пары спектров изотропных минералов продолжалось около 15 с, а анизотропных — около 25 с.

Результат, полученный Х. Бернхардтом, на первый взгляд уступает «цветовой» диагностике по точности идентификации неизвестного минерала. Следует, однако, учитывать не только увеличенное в 1,5 раза число минералов, вовлекаемых в машинный поиск, но и, главное,— отсутствие в его работах критической оценки достоверности использованного исходного материала, часть которого не была подтверждена контролем химического состава минерала или была искажена аппаратурно-методическими погрешностями.

Основные принципы разработанной системы

При разработке системы автоматизированной диагностики рудных минералов авторы руководствовались следующими условиями и положениями.

1. Любое измерение предполагает предварительный визуальный анализ шлифа для выбора зерен с плоской нецарапаной поверхностью, расположенной перпендикулярно к оптической оси микроскопа, а также для выявления наличия или отсутствия анизотропии неизвестного минерала с целью повышения эффективности машинного поиска.

2. Диагностика должна использовать максимум информации, содержащейся в спектральных кривых отражения, и устойчивые критерии их различия.

3. Для формирования банка эталонных спектров и выработки обоснованных пределов возможной вариации численных значений

избранных критериев используется накопленный в мировой практике экспериментальный материал с критической оценкой достоверности данных на основании собственного опыта.

4. Диагностика строится по многоэтапному принципу, при котором на каждом этапе последовательно привлекаются новые критерии отбора для сокращения числа «подозреваемых» минералов, при этом минералы, оставшиеся в окончательном списке, ранжируются по степени сходства сравниваемых параметров.

5. ЭВМ должна входить в состав измерительной системы для обеспечения многократности и цикличности процесса «предъявление—ответ», который существенно повышает надежность диагностики, а также для оперативной выдачи вспомогательной диагностической информации по запросу оператора.

6. Для повышения эффективности машинной диагностики следует использовать по возможности простые аппаратные средства, минимизировать общее время получения результатов, предельно сузить круг минералов, не разделяемых по спектральным характеристикам в видимой области в воздухе, при одновременном уменьшении вероятности потери искомого минерала.

Разработанную систему авторы не рассматривают как законченную. По мере уточнения старых и появления новых данных о минералах, совершенствования оптической и электронной аппаратуры будут вводиться новые признаки, изменяться критерии опознавания, алгоритмы и компьютерные программы. Однако основной принцип, заключающийся в активном участии человека в процессе диагностики — от выбора зерен до принятия окончательного решения, останется, по-видимому, неизменным. К перспективе создания универсального диагностического автомата мы относимся без оптимизма, а потому говорим не об автоматической, а об автоматизированной диагностике.

Комплекс аппаратуры для автоматизированной диагностики минералов

На рис. 9 показана блок-схема лабораторного диагностического комплекса, ядром которого является микроЭВМ «Электроника-60М». Датчик оптической информации, управляемый ЭВМ, передает в нее в цифровом виде следующие данные: длину волны λ, фотометрический сигнал, пропорциональный отражению образца R, а также угол поворота столика микроскопа φ. Первые две величины используются для диагностики, третья — для автоматической ориентации анизотропного зерна в положение с максимальным двуотражением. Банк данных и программы поиска хранятся на гибких магнитных дисках; ввод программ и работа с банком осуществляются с помощью двух дисководов ГМД 70-12; среднее время поиска — 15—20 с. Управление работой всего комплекса, программирование, вывод данных, а также интерактивный режим работы обеспечиваются алфавитно-цифровым дисплеем 15 ИЭ-00-013 с клавиатурой. Для вывода изображений измеренных спектров, а также образцовых кривых из банка дан-

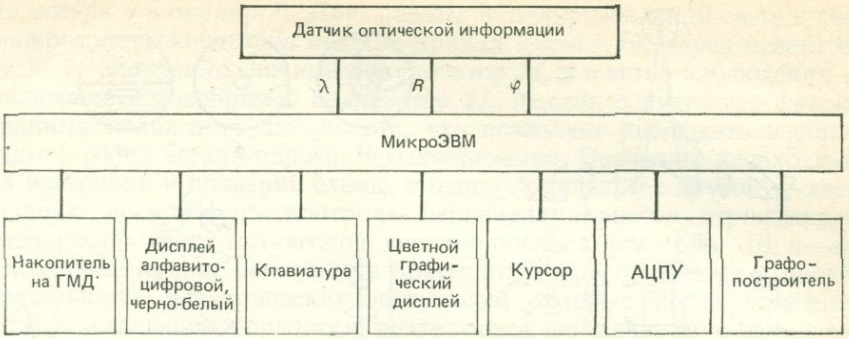


Рис. 9. Блок-схема диагностического комплекса

ных служит цветной графический дисплей, который управляется с той же клавиатуры. Программа работы с цветным дисплеем предусматривает различные преобразования кривых и их участков по указанию оператора, для чего используется курсор. Результаты диагностики регистрируются с помощью печатающего устройства УВВПЧ-30-004, а запись кривых при необходимости может быть выполнена графопостроителем Н-306.

Подобный комплекс может быть целиком собран на базе промышленных блоков. В качестве оптических датчиков могут быть использованы отечественные микроскопы-фотометры МСФП-2, МСФ-10Э, МСФУЛ-312 производства Ленинградского оптико-механического объединения им. В. И. Ленина, а также зарубежные модели MPV-3 (фирмы «Лейтц»), UMSP-80 (фирмы «Оптон») и др. Полный комплект необходимого оптического и электронного оборудования содержит интерактивный анализатор изображений IBAS фирмы «Оптон», которым авторы имели возможность пользоваться на этапе отработки алгоритмов диагностики и моделирования поиска. Основная работа выполнялась на лабораторном комплексе, в котором датчиком оптической информации служил двухлучевой поляризационный микроспектрорефлектометр «Блеск» [3].

На рис. 10 показана его оптическая схема. Осветитель *23* с галогенной лампой накаливания освещает входную щель монохроматора *22* с дифракционной решеткой *20*. Выходная щель *17*, выполненная в виде отверстия переменного диаметра, играет роль фотометрической диафрагмы. Пучок лучей, выходящий из монохроматора, с помощью преломляющего элемента модулятора *16* отклоняется вверх от оптической оси и после тубусной линзы *12* попадает в опак-иллюминатор, где призма *9* направляет его в сторону измерительного объектива *10*. При этом диафрагма *17*, расположенная в фокусе линзы *12*, изображается на поверхности исследуемого образца *26* в виде монохроматического светового зонда (в основной комплект входят объективы, рассчитанные на длину тубуса «бесконечность» и работающие с увеличением 20).

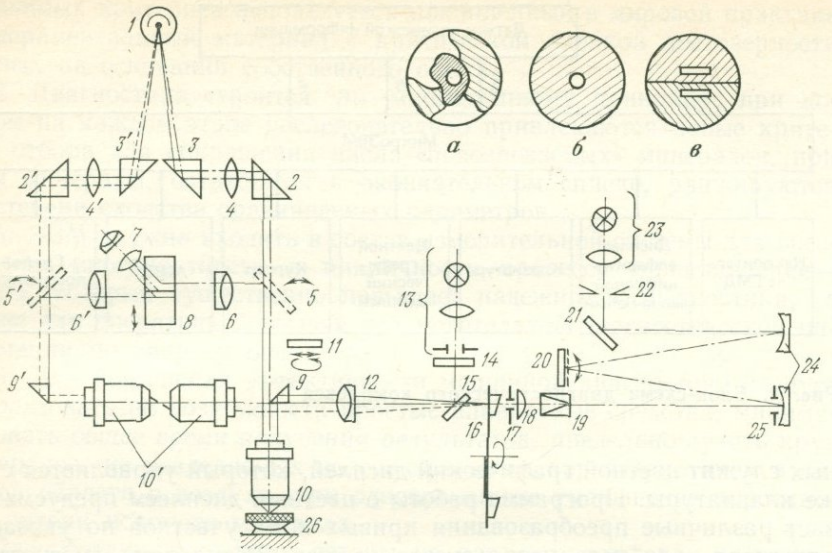


Рис. 10. Оптическая схема микроспектрорефлектометра «Блеск-2»:

1 — приемник; *2, 3* — призмы; *4* — линзы; *5* — откидные зеркала; *6* — тубусные линзы; *7* — окуляр; *8* — призменный мостик; *9* — зрачковые призмы; *10* — микрообъективы; *11* — анализатор; *12* — дополнительная тубусная линза; *13* — дополнительный осветитель; *14* — пленочный поляризатор; *15* — наклонная пластинка; *16* — модулятор; *17* — выходная щель монохроматора; *18* — дополнительная линза; *19* — призма Аренса; *20* — дифракционная решетка; *21* — зеркало; *22* — входная щель монохроматора; *23* — осветитель; *24* — вогнутые зеркала; *25* — апертурная диафрагма; *26* — образец. (*а* — вид поля зрения в рабочей ветви; *б* — вид поля зрения в ветви сравнения; *в* — картина, наблюдаемая в совмещенном зрачке прибора). Цифрой со штрихом обозначены детали ветви сравнения

Призма *9* расположена вблизи зрачка микрообъектива и занимает его половину. Форма и размеры светового пучка, входящего в опак, задаются прямоугольной апертурной диафрагмой *25*, которая линзами *12* и *18* изображается в виде горизонтальной полоски на входной грани призмы *9*. Отраженный от образца световой поток выходит из свободной части зрачка объектива и с помощью пары призм *2*, *3* и линзы *4* направляется на приемник *1*. При этом изображение зрачка образуется на поверхности фотокатода.

Ветвь сравнения состоит из двух установленных навстречу друг другу микрообъективов *10′*, идентичных рабочему объективу *10*, второй зрачковой призмы *9′*, а также деталей *2′*, *3′* и *4′*, аналогичных по конструкции и назначению соответствующим деталям рабочей ветви.

Для реализации двухлучевого принципа измерений служит модулятор *16* с двумя преломляющими элементами разного знака, выполненными в форме полуколец. При вращении модулятора монохроматический пучок скачкообразно смещается вверх и вниз относительно оптической оси и в результате попадает попеременно в обе ветви схемы.

Для наблюдения и выбора фотометрируемого участка аншлифа применены дополнительный осветитель *13*, наклонная пластинка *15* и визуальная система, содержащая откидные зеркала *5* и *5′*, призмен-

ный мостик *8* и окуляр *7*. Для работы в поляризованном свете в ход монохроматического луча введена призма Аренса *19*, перед осветителем *13* установлен пленочный поляризатор *14*, а в ветви наблюдения — выключаемый поворотный анализатор *11*. Мостик *8* имеет три фиксированных положения по высоте, что позволяет наблюдать изображения в обеих ветвях порознь и одновременно. Последнее необходимо для настройки и проверки схемы, с одной стороны, а с другой — дает хорошую возможность контроля перпендикулярности отражающей поверхности зерна оптической оси микроскопа (см. рис. 10, *а—в*).

Световые пучки, попавшие в приемник *1*, преобразуются в последовательность электрических импульсов, которые после усиления и соответствующей обработки разделяются по каналам с помощью селектора, жестко связанного с модулятором. Референтный сигнал через блок АРУ управляет напряжением питания ФЭУ таким образом, чтобы величина этого сигнала в процессе измерений оставалась неизменной. В результате измерительный сигнал оказывается всегда пропорциональным величине отражения образца. Измеренные величины сигнала преобразуются в цифровой код с помощью цифрового вольтметра. Команды на снятие отсчетов и передачу их в машину вырабатывает оптронный датчик, установленный на оси кулачка, управляющего разворотом решетки. Эти команды вырабатываются каждые 10 нм в диапазоне 400—790 нм. Набор длин волн, используемый для диагностики, устанавливается программными средствами. Калибровка прибора по аттестованным эталонам отражения производится непосредственно перед началом работы. Для этого в память машины предварительно заносятся паспортные данные всех используемых эталонов. В процессе калибровки рассчитываются поправочные коэффициенты, которые позволяют учесть спектральный разбаланс оптических каналов и тем самым получать истинные значения коэффициентов отражения минералов.

Столик микроскопа снабжен шаговым приводом, управляемым ЭВМ, для вращения анизотропного минерала относительно плоскости поляризации светового пучка. Путем анализа периодического сигнала удается не только строго фиксировать положения максимального и минимального отражений, но и оценивать возможный наклон поверхности зерна.

Основные характеристики прибора: спектральный диапазон 400—790 нм; минимальный размер фотометрируемого участка на образце 5 мкм; эффективный угол падения лучей на образец в воздухе 12°; в иммерсии — 8°; нелинейность отсчетов не хуже $\pm$ 0,2 %; воспроизводимость не хуже $\pm$ 0,1 %; время регистрации спектра 50 с.

Большинство спектров отражения рудных минералов получено на описанном приборе. Те минералы, для которых представляют интерес ультрафиолетовая и ближняя инфракрасная области, изучались на модуляционном микроспектрофотометре «Марш-2», который служил также для отработки частных диагностических приемов [2].

Помимо спектральных приборов с традиционными приемниками излучения рассматривалась возможность применения для целей диагностики микроспектрофотометра с многоэлементным приемником на

приборе с зарядовой связью (ПЗС). При использовании такого приемника, который устанавливается непосредственно в плоскости выходной щели монохроматора, отпадает необходимость поворота диспергирующего элемента. Приемник имеет жесткую геометрическую фиксацию элементов, число которых составляет несколько сот, стабильную энергетическую и спектральную характеристики, малые габариты и массу, легко согласуется с низковольными схемами управления и обработки сигнала. Его конструкция позволяет реализовать многоканальную регистрацию, что благодаря параллельному съему информации во всех точках спектра значительно ускоряет процесс измерений. Однако по метрологическим характеристикам и чувствительности фотоприемники на ПЗС пока заметно уступают фотоэлектронным умножителям и потому их применяют для решения сравнительно узкого круга задач. По мере совершенствования свойств таких приемников они займут прочное место в спектральном приборостроении и позволят, в частности, создавать компактную аппаратуру, обеспечивающую диагностику минералов за считанные секунды.

Для калибровки приборов в видимой области спектра использовались аттестованные эталоны фирмы «Оптон» из монокристаллов SiC (№ 540) и WTiC (№ 261), а также кристаллический кремний, который был аттестован по эталону WTiC и дал результаты, практически совпадающие с данными НФЛ для диапазона 440—700 нм. В УФ- и ближней ИК-области авторы использовали зеркало с родиевым покрытием, аттестованное в Государственном оптическом институте им. С. И. Вавилова. Значения коэффициентов отражения эталонов приведены в табл. 1.

Критерии сравнения спектров и источники погрешностей

Разработанная система диагностики основывается на сопоставлении спектральных кривых отражения преимущественно в видимой области. Это объясняется прежде всего тем, что видимая область в бóльшей степени изучена и потому имеется возможность оценки достоверности данных путем сопоставления спектров, полученных из разных источников. Важным преимуществом видимой области является также простота оптической аппаратуры, в наибольшей степени соответствующая требованиям, предъявляемым к рабочему диагностическому прибору. Однако УФ- и ИК-крылья кривой отражения в ряде случаев имеют существенные информативные особенности и при необходимости могут быть использованы на этапе дифференциальной диагностики.

В качестве параметров, по которым проводится сравнение кривых, избраны абсолютная величина отражения в зеленой области спектра, коэффициент подобия спектральных кривых и коэффициент подобия кривых, являющихся первыми производными спектров отражения.

Для оценки интенсивности отражения избрана длина волны 550 нм, которая не только в наилучшей степени отвечает зрительному впечатлению и близка к рекомендованной КРМ линии 546 нм, но и благодаря кратности десяти удобна для работы автоматических приборов.

Коэффициент подобия рассчитывается из абсолютной разности кривых, нормированных относительно отражения на длине волны 550 нм, по формуле

$$\eta = \frac{\sum_{1}^{m} \left| \frac{R_{i1}}{R_1} - \frac{R_{i2}}{R_2} \right|}{m},$$

где R_{i1} и R_{i2} — значения коэффициентов отражения для двух кривых в i-й длине волны; R_1 и R_2 — значения коэффициентов отражения тех же кривых при длине волны 550 нм; m — число измеренных точек в спектре.

С учетом слабой селективности отражения большинства рудных минералов измерения проводятся через 20 нм. Таким образом, в диапазоне 400—700 нм получается 16 отсчетных точек. Значение R при длине волны 550 нм определяется путем интерполяции соседних значений. Тот факт, что в выражении для η в знаменателе стоит число отсчетов, позволяет сравнивать между собой кривые различной спектральной длины. Это особенно важно для коротковолновой области, информация о которой в литературе часто начинается с 420 или 440 нм.

Коэффициент подобия производных спектров вычисляется по аналогичной формуле

$$\delta = \frac{\sum_{1}^{m-1} \left| R'_1 - R'_{i2} \right|}{m-1},$$

где R'_{i1} и R'_{i2} — значения первых производных сравниваемых кривых. Эти значения могут быть получены как разности последовательных отсчетов, поскольку первичная информация носит дискретный характер при сохранении постоянства отсчетных интервалов.

Каждый из рассмотренных параметров в порядке упоминания несет все более детализированную информацию о сходстве кривых, и потому эти параметры используются последовательно на разных этапах поиска.

Абсолютное значение R служит для локализации области дальнейшего поиска, так как по сравнению с остальными параметрами обладает наименьшей помехозащищенностью *. Его использование позволяет сузить круг подозреваемых минералов и существенно сократить машинное время, которое при отсутствии предварительной разбраковки по R бесполезно затрачивалось бы на анализ формы всех образцовых спектров.

Коэффициент подобия η позволяет отобрать спектры, имеющие сходную форму, независимо от уровня отражения, так как рассчитывается по нормированным кривым. Он слабо, однако, отражает локальные отклонения формы и поэтому может оказаться ценным на

* Здесь и далее при отсутствии особого индекса предполагается, что R измерено в длине волны 550 нм.

втором, промежуточном этапе поиска, так как не дифференцирует различные спектральные реализации одного и того же минерала, которые могут иметь небольшие деформации формы. (Напомним, что именно этот параметр был использован Х. Бернхардтом на заключительном этапе диагностики).

Третий параметр δ хорошо выявляет индивидуальные особенности кривой (наличие экстремумов и точек перегиба, наклоны), а потому в наибольшей степени подходит для окончательного этапа поиска.

При использовании диагностических параметров принципиально выяснить возможные границы их изменения на основе оценки разброса (шума) спектральных кривых. Источниками разброса могут быть разные причины. Одна из них связана с аппаратурными погрешностями. Сюда относятся нелинейность фотометрической шкалы, неточность калибровки, нестабильность отсчетов, спектральные искажения, деполяризация, блики в оптике и др. При работе на современной оптической аппаратуре эти погрешности обычно невелики, что подтверждается совпадением спектральных кривых для многих минералов, измеренных в различных лабораториях мира.

Другой источник погрешностей связан с ошибками в подготовке и установке образца. К ним можно отнести царапины и пленки на поверхности аншлифа, рельеф, наклон отражательной поверхности зерна, расфокусировку. Большую роль здесь играет чисто человеческий фактор, от которого зависит тщательность выполнения всех подготовительных и измерительных операций.

Основная причина невоспроизводимости результатов — вариация химического состава и физических свойств минералов. И если по мере совершенствования аппаратуры и измерительных приемов, а также стандартизации процесса подготовки образцов первые две группы погрешностей могут быть в принципе сколько угодно малыми, то непостоянство свойств минералов — их характерная особенность. Она непременно должна учитываться при создании автоматизированных *диагностических систем* [36].

К сожалению, влияние вариаций химического состава и физических свойств на спектры отражения изучено недостаточно; систематические исследования выполнены только для некоторых случаев [10, 14]. То же относится к выяснению роли примесей. Однако со временем, по мере накопления знаний о влиянии на спектр минерала изоморфных замещений, примесей, дислокаций и прочих факторов, рассматриваемый источник погрешностей обернется источником дополнительной информации, уточняющей состав и структуру исследуемого образца.

Особым источником разброса данных при работе с двуотражающими минералами является случайная ориентация зерен в аншлифе. Эту погрешность можно свести к минимуму, если исследовать достаточно большое количество разноориентированных кристаллов и выбирать разрезы, близкие к главным сечениям. Однако при ограниченной выборке, которая чаще всего имеет место на практике, погрешность, обусловленная неточной ориентацией зерна, оказывается существенной.

Организация банка данных

Все перечисленные выше погрешности приводят к искажению спектральных кривых, а потому минерал должен характеризоваться не одной кривой, а множеством кривых, отражающим влияние различных комбинаций погрешностей. Получаемые для разных минералов разбросы спектральных данных могут быть существенно различными. Получить и хранить все многообразие кривых не представляется возможным. Поэтому при формировании банка исходных данных было решено хранить наиболее сильно отличающиеся друг от друга кривые, принадлежащие одному и тому же минералу, и путем сопоставления этих кривых по выбранным параметрам определять допустимый интервал изменения каждого из параметров. Выбор спектральных кривых для создания банка проводился по-разному в зависимости от источника информации, надежности данных и характера различий.

Для каждого из минералов, исследованных нами, было проанализировано большое число спектров, полученных в течение многих лет на ряде образцов; отброшены результаты, не заслуживающие доверия по какой-либо причине, и оставлены для дальнейшего использования кривые с наибольшим отклонением по абсолютным значениям отражения и форме от кривой, избранной в качестве основной (эталонной), приведенной в данном Справочнике в качестве наиболее вероятной.

При использовании литературного материала предпочтение при прочих равных условиях отдавалось авторам, занимавшимся исследованиями по широкому кругу минералов на современной хорошо аттестованной аппаратуре и сопровождавшим свои результаты данными о химическом составе минералов. При этом часть спектров, попавшая в установленные по собственным результатам пределы, была использована для подтверждения достоверности собственных данных. К другой части, вышедшей за указанные пределы, относились следующим образом. Кривые, имеющие форму, не характерную для спектров отражения минералов (ломаные, зигзагообразные линии), отбрасывались. Небольшие отклонения от основной группы кривых принимались во внимание для расширения границ разброса. Кривые, имеющие существенные различия, могли бы в принципе отбрасываться как ошибочные. Однако в большинстве случаев для принятия такого решения не хватает достаточно веских оснований. Всегда может возникнуть подозрение о наличии каких-либо примесей, исказивших спектр. Поэтому в банке целесообразно хранить эти реализации под индивидуальными номерами. Разумеется, когда состав примесей известен, спектрам также присваиваются индивидуальные номера эталонных минералов и они хранятся в банке с соответствующими комментариями. Такой принцип позволяет в наибольшей степени уменьшить вероятность ошибочного ответа при автоматизированной диагностике.

В том случае, когда имевшийся экспериментальный материал не позволял определить действительно возможную деформацию спектра, на основании изучения общих закономерностей устанавливалась наи-

большая величина разброса, характерная для минералов с аналогичным набором признаков.

При формировании банка подход должен быть различным для минералов с одной и двумя кривыми отражения. Поэтому банк был разделен на две части — «анизотропную» и «изотропную»; в последнюю были введены также слабоанизотропные минералы, которые в эксперименте не всегда обнаруживают двуотражение. В качестве границы двуотражения выбрана величина 6 %, что исключает возможность ошибки даже в случае неопытного исследователя и отсутствия в аншлифе зерен с оптимальной ориентацией.

Банк минералов с одной кривой отражения содержит около 400 спектров 100 изотропных и 72 слабоанизотропных минералов. Для 42 минералов в банке оставлены только результаты собственных измерений; для 70 минералов собственные результаты дополнены данными других исследователей; для 60 минералов хранятся исключительно литературные данные, причем 51 из них представлен только одним источником. Шести спектрам различных минералов, имеющих особенности, присвоены индивидуальные номера.

Соответствующие группы анизотропных минералов во второй части банка имеют следующие численные показатели: 53, 108, 101, 68 и 21. Всего около 500 спектров 262 минералов.

Сформированный таким образом банк дает возможность для всех минералов установить узкие и широкие границы разброса диагностических параметров. Первые получаются на основе индивидуального анализа реального набора спектров минерала либо путем использования прямой аналогии, о чем говорилось выше. Вторые границы вырабатываются из общих статистических закономерностей, характерных для всей совокупности минералов, и тем самым позволяют устранить недостаток первого подхода, обусловленный ограниченностью выборки. Узкие границы фиксируют накопленный к настоящему времени экспериментальный материал. По мере его обогащения эти границы будут непрерывно уточняться. В то же время широкие границы более стабильны и создают практически полную уверенность в том, что даже в наименее благоприятных условиях наблюдаемые вариации отражения не выйдут за их пределы.

Для определения широких границ рассмотрим вначале общие закономерности, характерные для изотропных минералов, и прежде всего устойчивость коэффициента отражения. На рис. 11 представлена точечная диаграмма зависимости относительной погрешности измерения отражения $\Delta R/R$ от абсолютной величины отражения R. Величина ΔR здесь определялась путем сравнения эталонного спектра с наиболее сильно отличающимися от него реализациями.

Видно, что основная масса минералов располагается внутри клина, ограниченного пунктирными линиями. Преимущественное расположение точек в отрицательной области объясняется тем, что в качестве эталонных, как правило, выбирались кривые с максимальным отражением, ибо экспериментальные погрешности чаще всего занижают отсчеты. Что касается уменьшения погрешности с ростом R, то это может быть обусловлено влиянием абсолютной систематической по-

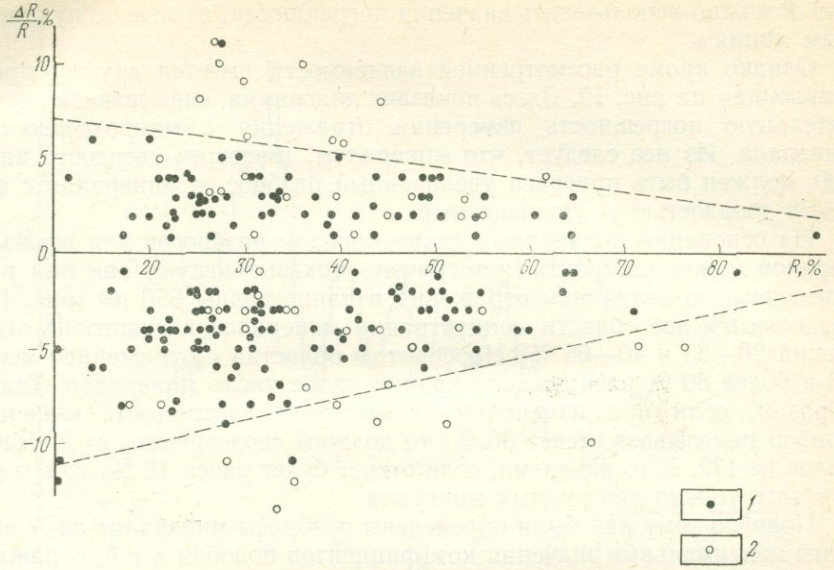


Рис. 11. Точечная диаграмма зависимости относительной погрешности измерения коэффициентов отражения минералов (λ 550 нм) от величины отражения. Пунктирные линии ограничивают область, охватывающую более 95 % минералов; минералы с постоянными (1) и изменчивыми (2) свойствами

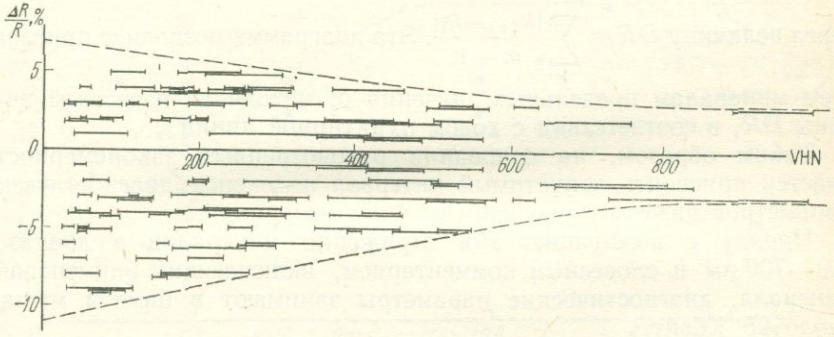


Рис. 12. Диаграмма зависимости относительной погрешности измерения коэффициентов отражения (λ 550 нм) от микротвердости минералов. Горизонтальные штрихи — интервал микротвердости отдельного минерала. Пунктирные линии определяют предельные значения погрешности.

грешности, например бликами в оптике, неправильной установкой нуля и пр.

За пределами клина в большинстве случаев оказываются минералы, имеющие перечисленные выше особенности. Если исключить их из рассмотрения, то в пределах установленных границ остается свыше 95 % минералов. Поэтому в качестве широких границ измере-

ния R можно использовать значения погрешности, взятые по пунктирным линиям.

Однако кроме рассмотренной зависимости имеется другая, представленная на рис. 12. Здесь показана диаграмма, связывающая относительную погрешность измерения отражения с микротвердостью минерала. Из нее следует, что минералам, имеющим твердость ниже 100, должен быть присвоен увеличенный разброс, а минералам с высокой твердостью — уменьшенный.

На основании полученных таким образом разбросов для всех минералов можно построить гистограмму, показывающую, как они распределены по величинам отражения в длине волны 550 нм (рис. 13). Выделяются две области концентрации минералов в диапазоне отражений 20—35 и 40—65 %. *Наоборот, в областях с отражением менее* 15 и более 80 % расположено крайне малое число минералов. Таким образом, если при измерении неизвестного изотропного минерала прибор показывает отсчет 30 %, то должны «подозреваться» 27 минералов из 172. В то же время, если отсчет будет равен 12 %, то его могут *дать только два рудных минерала.*

Подобно тому как были определены разбросы минералов по R оценены максимальные значения коэффициентов подобия η и δ, отражающие допустимую деформацию формы спектральной кривой каждого минерала.

Анализ зависимости δ от характера спектральных кривых показал, что имеется определенная корреляция между величинами δ и селективностью отражения. На рис. 14 приведена диаграмма зависимости параметра δ от степени селективности отражения, выраженной через величину $DR = \sum_{1}^{m-1} \frac{|R_{i+1} - R_i|}{m-1}$. Эта диаграмма позволяет присвоить всем минералам предельные значения δ, исходя из известной величины DR, в соответствии с ходом пунктирной линии.

Таким образом, на основании рассмотренных закономерностей удается присвоить допустимый интервал изменения диагностических параметров даже малоизученным минералам.

Наряду с коэффициентами отражения минералов в диапазоне 400—700 нм и словесным комментарием, включающим наименование минерала, диагностические параметры занимают в памяти машины около 25 Кбайт.

Перейдем к анизотропным минералам. Анализ всего накопленного материала показывает, что закономерности, характеризующие возможные вариации коэффициентов отражения и формы кривых анизотропных минералов, аналогичны описанным выше для изотропных минералов.

Как уже отмечалось, при измерении анизотропных минералов появляется дополнительный источник шума, связанный с неопределенностью положения кристаллографических осей зерна относительно плоскости поляризации измерительного пучка лучей. Это обстоятельство существенно затрудняет получение правильного ответа особенно для двуосных минералов, когда каждая из кривых зависит от

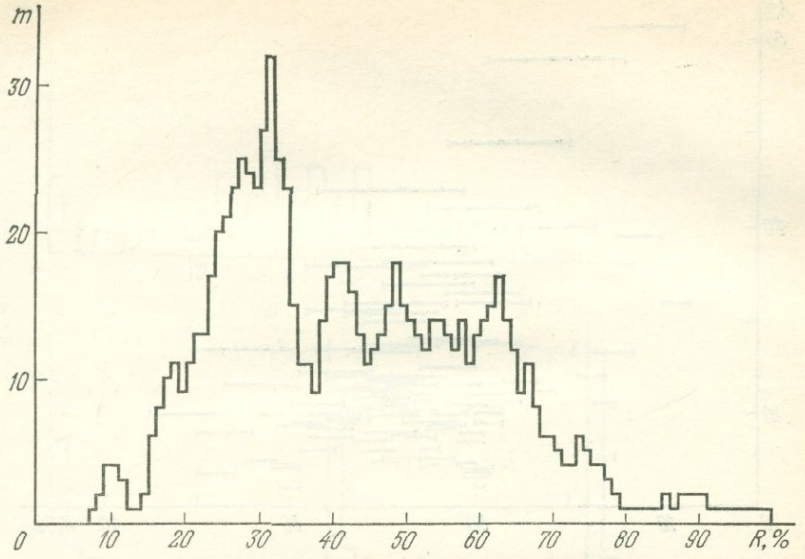


Рис. 13. Гистограмма распределения числа изотропных рудных минералов по коэффициенту отражения (λ 550 нм)

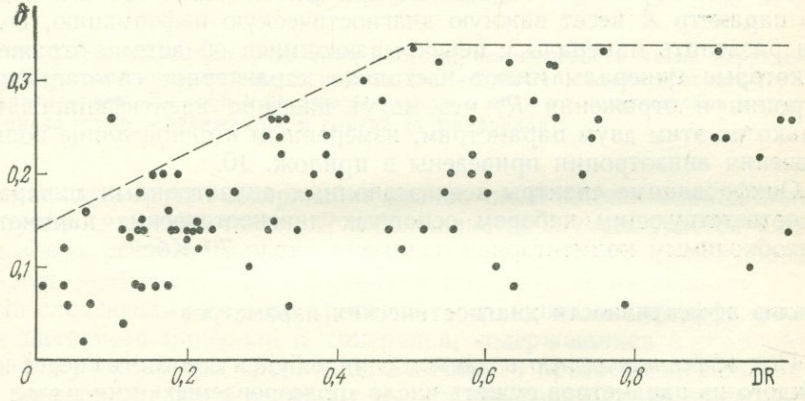


Рис. 14. Точечная диаграмма зависимости параметра δ от степени изрезанности кривых отражения для изотропных минералов

ориентации сечения кристалла. Вместе с тем наличие двух кривых вместо одной дает дополнительную информацию и может использоваться для повышения надежности диагностики. Появляется возможность дополнительно анализировать особенности формы второй кривой, а также использовать новый диагностический параметр — степень анизотропии A.

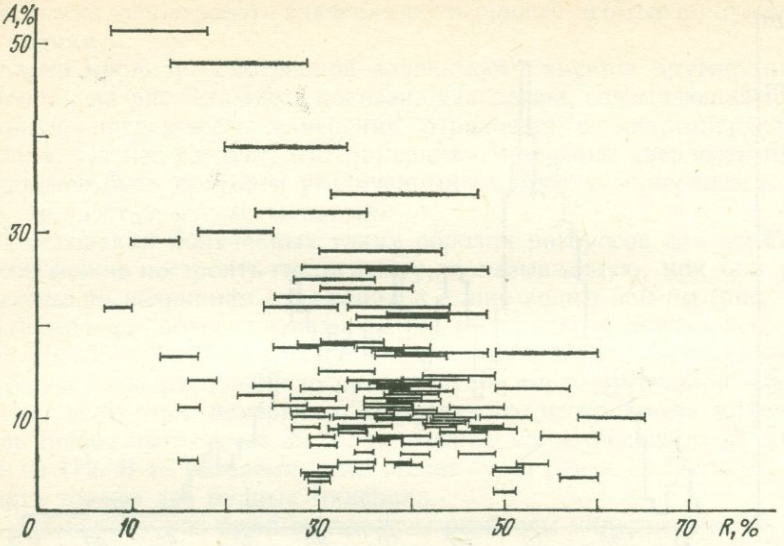


Рис. 15. Диаграмма распределения двуотражающих минералов по степени анизотропии и отражению

На рис. 15 представлена диаграмма распределения минералов по степени анизотропии и отражению при длине волны 550 нм. Видно, что параметр A несет важную диагностическую информацию, позволяя разделить минералы с перекрывающимися областями отражения (некоторые минералы имеют настолько характерное сочетание анизотропии и отражения R, что могут надежно идентифицироваться только по этим двум параметрам, измеренным в одной длине волны). Значения анизотропии приведены в прилож. 10.

Оцифрованные спектры всех эталонных анизотропных минералов с соответствующим набором основных диагностических параметров и необходимым комментарием занимают около 70 Кбайт.

Анализ эффективности диагностических параметров

Под *эффективностью* в данном случае будем понимать способность каждого из параметров сужать число «подозреваемых» минералов при минимальной вероятности потери.

Для оценки эффективности была составлена программа для ЭВМ, с помощью которой проводилось сопоставление эталонных спектров каждого из изотропных минералов со всеми остальными с использованием узких пределов вариации диагностических параметров.

На первом этапе такого сопоставления были получены списки групп минералов, имеющие перекрывающиеся интервалы отражений. В зависимости от того, какой минерал предъявлялся банку данных для опознавания, формировались списки, насчитывающие от 2 до 34 наименований. На рис. 16, *а* в виде гистограммы представлена частота

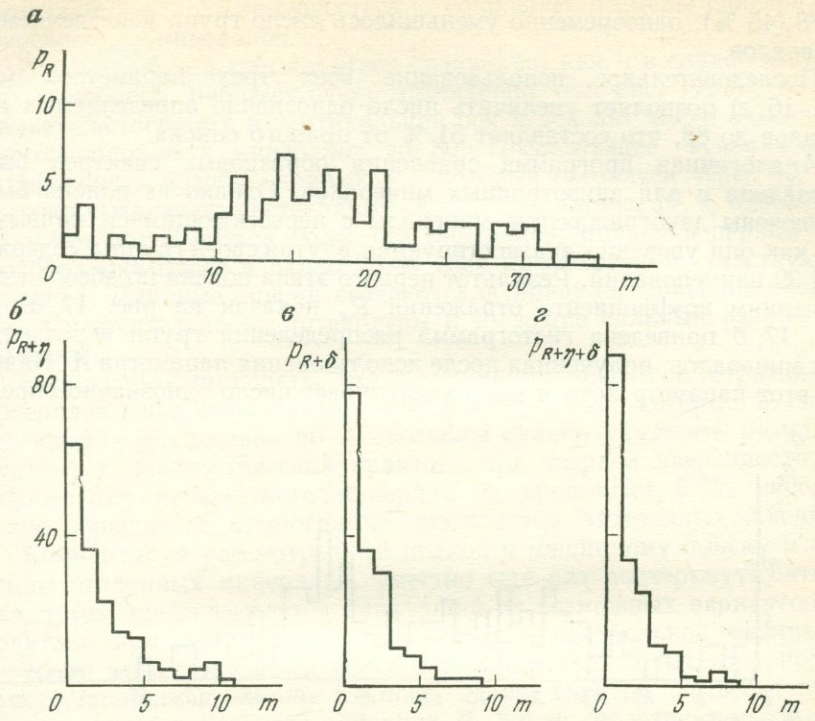


Рис. 16. Гистограмма распределения частоты встречаемости числа неразделяемых изотропных минералов после первого (а), второго (б) и (в) и третьего (г) этапов диагностики. На этом и следующем рисунке m — число минералов в группе; v — число групп, содержащих в списке m минералов

встречаемости групп, содержащих разное число наименований. Видно, что путем измерения только R в большинстве случаев удается уменьшить число «подозреваемых» минералов в 5—10 раз и таким образом ускорить дальнейшую диагностику и повысить её надежность.

На следующем этапе по критерию η сравнивались формы кривых предъявляемого минерала и минералов, содержащихся в его списке. Если получаемая при сравнении величина η превосходила заданную для данного минерала величину η_N, то «подозреваемый» минерал отбрасывался как существенно отличающийся по форме кривой. В противном случае он оставался в списке для последующего анализа. Результат второго этапа сопоставления эталонных спектров показан на рис. 16, *б*, из которого следует, что даже в наименее благоприятном случае число минералов в списке «подозреваемых» удается сократить до 10; в то же время появилось значительное число минералов (64), которые идентифицируются однозначно.

Результат применения критерия отбора по δ непосредственно после отбора по R, показанный на рис. 16, *в*, дает бо́льший эффект: число однозначно определяемых минералов возросло с 64 (37 %)

до 78 (45 %), одновременно уменьшилось число групп неразделяемых минералов.

Последовательное использование всех трех параметров (см. рис. 16, *г*) позволяет увеличить число однозначно определяемых минералов до 88, что составляет 51 % от полного списка.

Аналогичная программа сравнения образцовых спектров была составлена и для анизотропных минералов. Однако из поиска были исключены двуотражающие минералы с пересекающимися кривыми, так как они уверенно диагностируются внутри своей группы, содержащей 39 наименований. Результат первого этапа поиска по абсолютным значениям коэффициента отражения R_g показан на рис. 17, *а*. На рис. 17, *б* приведена гистограмма распределения групп неразделяемых минералов, полученная после использования параметра A. Видно, что этот параметр хотя и мало увеличивает число однозначно опреде-

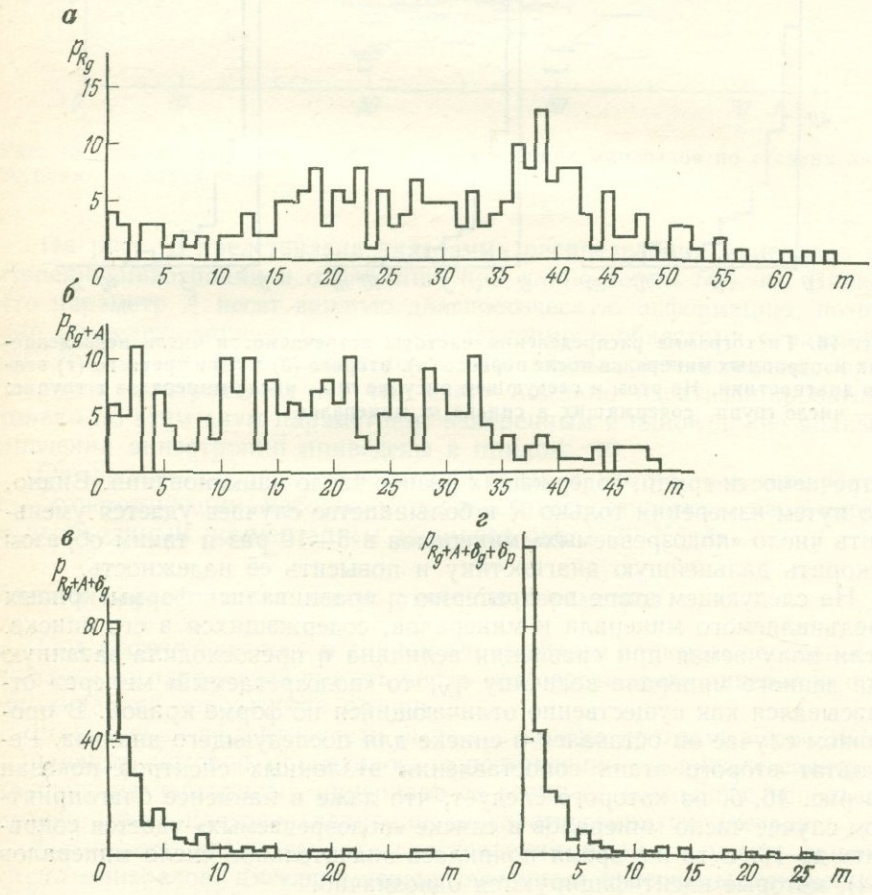


Рис. 17. Гистограмма распределения частоты встречаемости числа неразделяемых анизотропных минералов после первого (а), второго (б), третьего (в) и четвертого (г) этапов диагностики

ляемых минералов, но существенно сокращает размеры списков «подозреваемых» минералов.

Параметр δ_g на третьем этапе сравнения, как и в случае изотропных минералов, работает очень эффективно (см. рис. 17, *в*). Он прижимает гистограмму к вертикальной оси и доводит число однозначно идентифицируемых минералов до 80. Последующее использование коэффициента подобия кривых R_p, который обозначен через δ_p, продолжает вытягивать гистограмму. Как видно на рис. 17, *г*, однозначно начинают определяться более ста минералов, причем в первых трех столбцах оказывается около 75 % всех наименований, участвующих в поиске. Длинные списки создают, как правило, минералы, известные исключительно из литературы и имеющие сильный разброс параметров.

Необходимо учитывать, что в машинном поиске двуотражающих минералов участвуют также слабоанизотропные, которые в случае перекрытия диапазонов по A способны сильно ухудшить результат. Поэтому в диагностической практике при твердой уверенности, что анизотропия неизвестного минерала не превышает 6 %, целесообразно обращаться к программе диагностики изотропных минералов.

Комментируя рассмотренный подход к машинному поиску и сравнению эталонных минералов, уместно еще раз подчеркнуть, что таким путем предсказывается наихудший из возможных вариантов. На практике при предъявлении конкретной спектральной реализации ситуация может оказаться более благоприятной. Действительно, как следует, например, из рис. 13, после записи спектра неизвестного минерала, когда определена величина R, число «подозреваемых» минералов даже в наиболее неблагоприятном случае не превзойдет 32.

Кроме того, необходимо учитывать величину перекрытия диапазонов отражения «подозреваемых» минералов, поскольку встреча минералов на краях диапазонов менее вероятна, чем при полном перекрытии диапазонов. Для характеристики степени перекрытия диапазонов отражения неразделяемых минералов может быть использован параметр p, равный доле (которую составляет перекрывающийся участок по отношению ко всему диапазону), выраженной в процентах.

В прилож. 9 и 10 дан перечень ближайших минералов, сходных по спектральным характеристикам с минералом, приведенным в первой графе. Этот перечень дан в порядке убывания сходства с указанием в скобках степени подобия δ и вероятности встречи по абсолютным величинам отражения p при равновероятном распределении R минерала в установленном диапазоне.

Алгоритмы диагностики

Блок-схема алгоритма диагностики минералов с одной кривой отражения представлена на рис. 18, *а*. Процесс диагностики начинается с предварительного визуального исследования аншлифа под микроскопом с целью выяснения вопроса, может ли данный минерал рассматриваться как изотропный, имеющий одну кривую отражения. Если анизотропия незаметна, то идет обращение к программе ДИАГ 1;

а

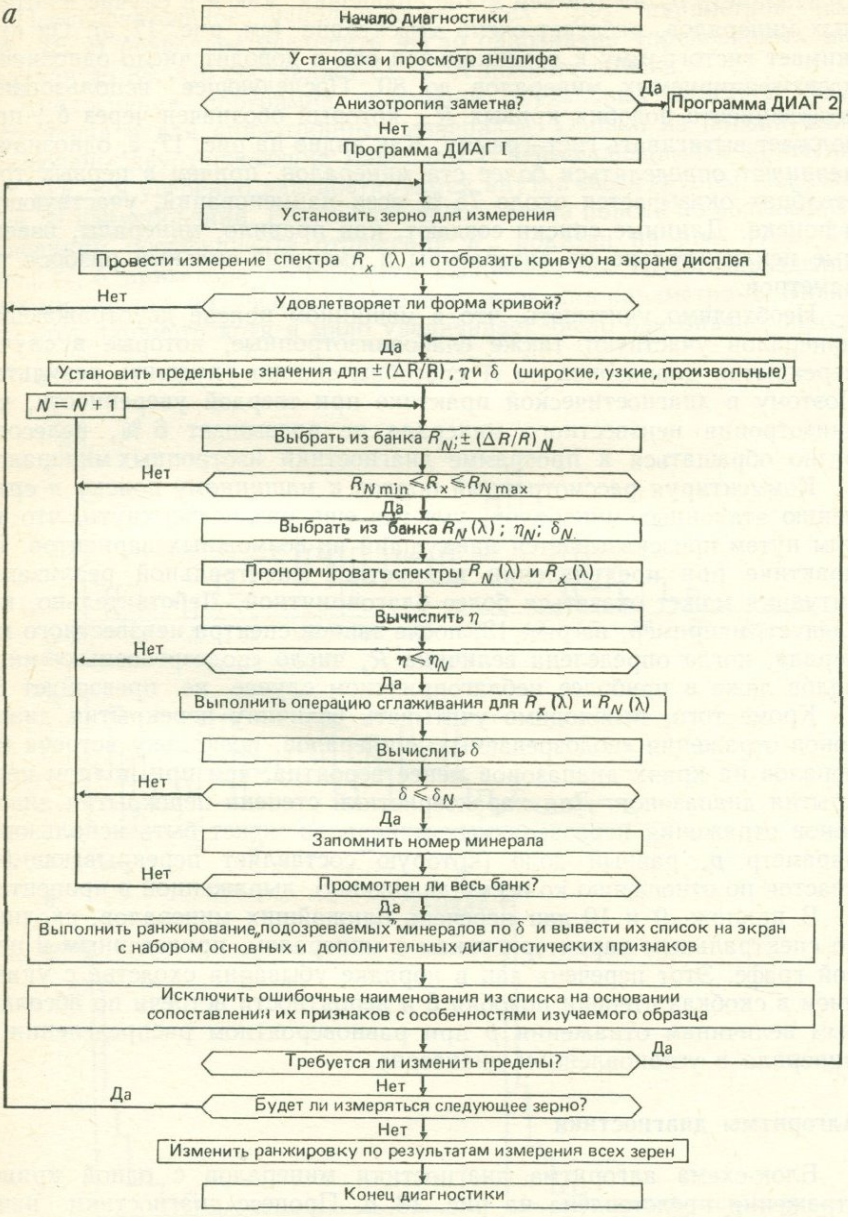
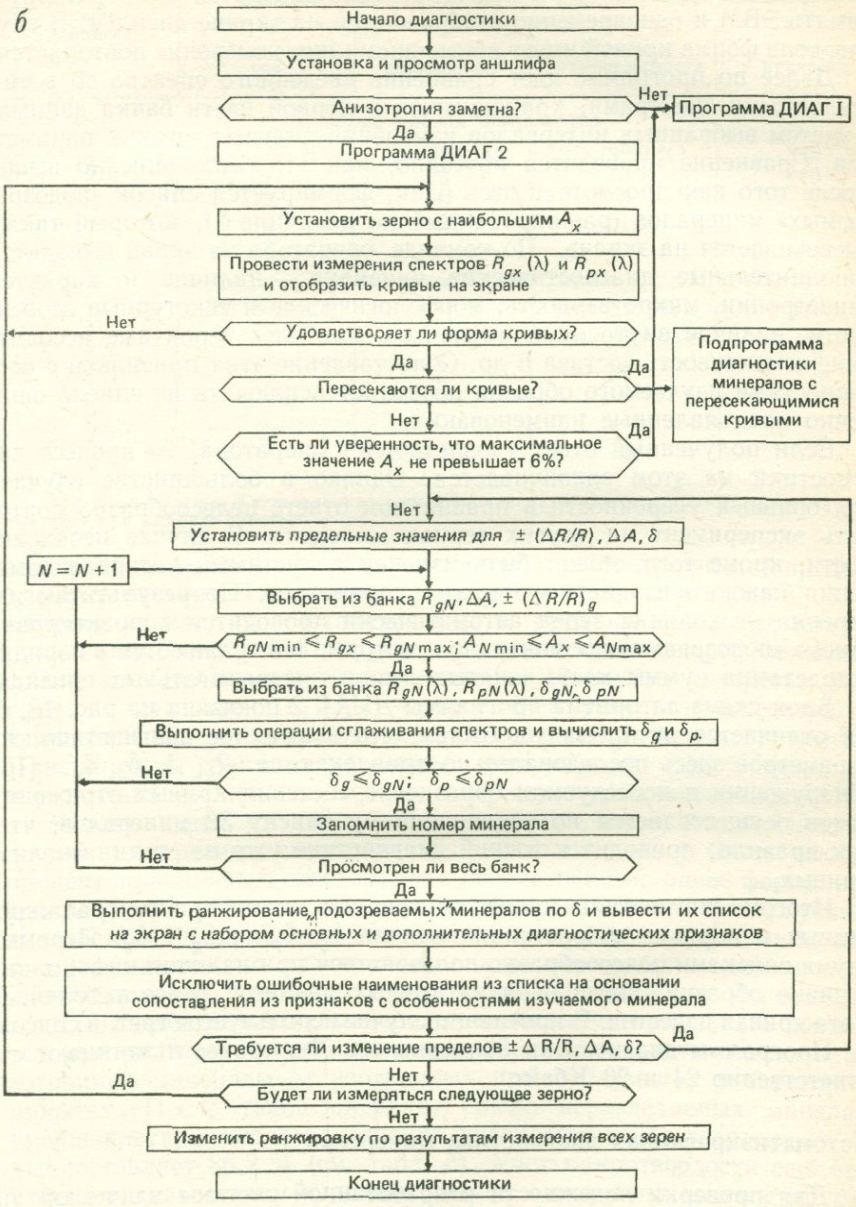


Рис. 18. Блок-схемы алгоритмов автоматизированной диагностики



минералов с одной (а) и двумя (б) кривыми отражения.

в противном случае — к программе ДИАГ 2 для двуотражающих минералов. Выбирается подходящее зерно и производится запись спектра. Оцифрованная кривая отражения вводится в оперативную память ЭВМ и одновременно отображается на экране дисплея. В случае, если форма кривой имеет явные аномалии, измерение повторяется.

Далее по программе идет сравнение введенного спектра со всеми эталонными спектрами, хранящимися в первой части банка данных, с учетом выбранных интервалов изменения диагностических параметров. Сравнение проводится поэтапно, как это было описано выше. После того как просмотрен весь банк, формируется список «подозреваемых» минералов (ранжированный по величине δ), который также высвечивается на экране. По команде оператора на экран выводятся дополнительные диагностические признаки — наличие и характер анизотропии, микротвердость, морфологические и текстурные особенности, наличие внутренних рефлексов, наиболее вероятные ассоциации, изменчивость состава и др. Сопоставление этих признаков с особенностями изучаемого образца позволяет исключить из списка ошибочно предъявленные наименования.

Если полученный ответ удовлетворяет оператора, то процесс диагностики на этом заканчивается. Однако в большинстве случаев для большей уверенности в правильном ответе целесообразно повторить эксперимент на других зернах минерала. В случае необходимости, кроме того, может быть изменен допустимый интервал изменения каждого из диагностических параметров. По результатам измерения нескольких зерен автоматически проводится корректировка списка «подозреваемых» минералов, которые выстраиваются в порядке возрастания суммы мест, занятых ими в предварительных списках.

Блок-схема алгоритма программы ДИАГ 2 показана на рис. 18, *б*. Он отличается от предыдущего тем, что в качестве диагностических параметров здесь последовательно привлекаются R_g, A, δ_g, δ_p. При обнаружении в исследуемом образце пересечения кривых отражения поиск осуществляется по ограниченному списку 39 минералов, что, как правило, приводит к точной диагностике уже на стадии анализа кривых.

Итогом диагностики являются три списка минералов, ранжированных в порядке возрастания величин δ_g, δ_p и $\delta_g + \delta_p$. Первыми двумя списками целесообразно пользоваться при наличии информации о знаке образца, когда одна из кривых является более устойчивой и эта кривая известна. В противном случае используется третий список.

Программы диагностики написаны на «Фортране» и занимают соответственно 24 и 26 Кбайт.

Автоматизированная диагностика минералов

Для проверки надежности разработанной системы машинной диагностики вначале был поставлен эксперимент, при котором машине поочередно предъявлялся 231 спектр 97 минералов с одной кривой отражения, причем 156 спектров были взяты из литературных источников. По получении списков «подозреваемых» минералов следили

Таблица 8

Место в списке	Число спектральных реализаций, занявших указанное место в списке после учета различных диагностических признаков			
	Анализ спектров	Степень анизотропии	Значение микротвердости	Другие признаки
	С одной кривой отражения			
1	182 (78,8 %)	199 (86,2 %)	217 (93,9 %)	218
2	31	24	10	10
3	12	6	3	2
4	4	2	1	1
5	2	—	—	—
	С двумя кривыми отражения			
1	168 (80,4 %)	—	174 (83,3 %)	176
2	19	—	17	15
3	8	—	7	8
4	5	—	4	3
5	1	—	—	—
6	—	—	—	—
7	2	—	1	1

Примечание. Степень анизотропии минералов с двумя кривыми отражения учитывается при анализе спектров.

за тем, какое место в них занимает минерал, соответствующий предъявляемому спектру. Полученные результаты сведены в табл. 8. В 182 случаях из 231, что составляет 78,8 % предъявлений, был получен правильный ответ. В 31 случае предъявляемый минерал занимал в списке «подозреваемых» второе место, в 12 случаях — третье, в четырех — четвертое и в двух — пятое. Этот результат иллюстрирует использование узких границ разбросов диагностических параметров. При широких границах на первое место выходят 72,3 % минералов и несколько увеличивается список неразделяемых минералов.

Можно видеть, что реальный эксперимент, когда машине предъявляются конкретные спектральные реализации, дает более высокий процент правильных ответов, чем рассмотренный ранее формальный подход (см. рис. 16), предполагавший наихудшие из возможных условий диагностики. Тем не менее остается значительное число минералов, которое машина по спектральным характеристикам однозначно не идентифицирует, а образует группы неразличающихся минералов.

Для разделения этих минералов необходимо привлекать дополнительные диагностические признаки. Наиболее просто отделить анизотропные минералы от изотропных при наблюдении в скрещенных николях. После такой операции число неразделяемых минералов уменьшилось, а число однозначно диагностируемых возросло до 199, что составляет 86,2 % (см. табл. 8). Учет микротвердости еще более уточняет диагностику и доводит число однозначно диагностируемых минералов до 217 (93,9 %). Продолжение идентификации требует учета других признаков, характерных для конкретных минералов (например, наблюдение внутренних рефлексов дает возможность разделить пару халькозин—самсонит).

Однако даже после заключительного этапа диагностики остается некоторое число минералов, однозначно неидентифицируемых и образующих неразделяемые группы. Как правило, это минералы — члены одного изоморфного ряда, одной и той же группы или родственных групп (например, тетраэдрит — фрейбергит, сфалерит — клеофан, науманнит — агвиларит, халькозин — вейссит, виоларит — карролит и т. д.). Подобные ситуации в любом случае требуют дополнительных исследований химического состава.

Аналогичная проверка системы была проведена и по анизотропным минералам. Банку данных было предъявлено 209 спектров, из которых 202 взято из литературных источников. Результаты проверки сведены в табл. 8, в которой показано, что после анализа спектров отражения в 168 случаях (80,4 %) был получен правильный ответ. При этом следует отметить, что в шести случаях (2,9 %) соответствующие эталонные минералы вообще не попадали в списки «подозреваемых». Это было связано с тем, что предъявленные пары спектральных кривых или имели ложные пересечения, или ошибочно не имели пересечений. Сопоставление микротвердости неразличаемых минералов сокращает их число и доводит число однозначно диагностируемых до 174 (83,3 %). Использование других характерных особенностей минералов дает возможность, как и в предыдущем случае, улучшить диагностику. Например, анализ морфологических особенностей позволяет различить цилиндрит и физелиит; наличие двойников у иорданита отличает его от буланжерита; сильные внутренние рефлексы миаргирита дают возможность отличить его от джемсонита. Так же как и в случае изотропных минералов, остающиеся здесь неразделяемые группы образуются либо изоструктурными минералами, например хастит — ферроселит, либо минералами одной или родственных групп, для полной идентификации которых необходимо получение дебаеграмм или исследование состава (канниццарит — гиссенит, буланжерит — плагионит, тетрадимит — сульфоцумоит, буланжерит — семсейит и т. д.).

Прогресс в области автоматизации диагностики рудных минералов авторы связывают прежде всего со стандартизацией процессов подготовки и измерения образцов, с уточнением исходной информации по всей совокупности минералов. Наибольший эффект может дать углубленное изучение связи оптических свойств минерала с его составом и выяснение влияния примесей. Что касается поиска новых критериев сопоставления спектральных кривых, то здесь трудно ожидать больших успехов. Более плодотворным представляется накопление данных по оптическим свойствам минералов в иммерсии и за пределами видимой области спектра. Существенную помощь оператору может оказать быстрый вывод на экран дисплея изображений типовых структур, характерных для отдельных групп минералов, а также всего многообразия информации, содержащейся в данном Справочнике. Опыт автоматизированной диагностики, представленный здесь, может служить основой для дальнейшего развития работ в этом направлении.

Часть вторая

СИСТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

ПОЯСНЕНИЯ К ОПИСАНИЮ

Расположение материала в описательной части, как и в цветных таблицах (см. прилож. 1), подчинено удобству использования его при диагностике. Минералы объединены в группы исходя из близости химических составов и генетического родства; последовательность расположения групп и порядок минералов в группах подчинены *более общему принципу систематизации — снижению величины отражения*, т. е. от высокоотражающих к низкоотражающим. Такое рассмотрение материала удобно, так как не разделяются минералы, встречающиеся вместе в природных минеральных ассоциациях, а значит, и одновременно наблюдаемые в полированном шлифе; кроме того, условия изучения руды приближены к реальным, когда сама минеральная ассоциация помогает распознавать трудно диагностируемые минералы, сходные с другими по ряду свойств, но встречающиеся в иных природных минеральных сообществах. Более того, такое рассмотрение облегчает и непосредственное визуальное восприятие оптических свойств (отражение и цвет), которое осуществляется в условиях действия одновременного цветового контраста, создаваемого минеральным окружением, находящимся в контакте (или в одном поле зрения) с определяемым минералом.

Однако при таком большом объеме материала, отражающем широкий диапазон физико-химических условий природного минералообразования, а также из-за непостоянства химических составов минералов и широкого развития изоморфных замещений нередко возникали трудности в выборе той или иной последовательности групп и в определении минерального состава самих группировок (систем). Строгое соблюдение одновременно трех различных принципов в расположении минералов (близость химических составов, генетическое родство и систематизация по отражению) не всегда могло быть осуществлено. Поэтому низкоотражающий минерал в ряде случаев рассматривается рядом с более высокоотражающим, если он ассоциирует с ним и имеет родственный химический состав. Так, вместе с высокоотражающими теллуридами золота и серебра, креннеритом и сильванитом рассматриваются постоянно с ними ассоциирующие петцит, гессит и штютцит, совместно рассматриваются многие селениды, вместе встречающиеся в природе, но разместившиеся в разных участках в таблице-определителе по отражению. Во всех случаях, когда это оказывалось возможным, в расположении материала в описательной части авторы старались сохранить последовательность минералов главных диагностических таблиц, приведенных в прилож. 1.

Описательная часть книги начинается с рассмотрения самых высокоотражающих минералов — группы благородных металлов золота—серебра, за которыми последовательно идут интерметаллические соединения, теллуриды золота, золота и серебра, висмута, сульфоарсениды железа, кобальта, никеля, селениды, простые сульфиды, различные сульфосоли и т. п., и заканчивается низкоотражающими — оксидами и жильными минералами (сульфатами, карбонатами, кварцем, флюоритом).

Описание всех минералов построено по общей схеме. Для каждого минерала приводятся русское и английское название (написание), формула, год открытия (в скобках) и далее: сингония, пространственная группа, параметры кристаллической решетки.

В рубрике «Хим.» (*химический состав*) все данные приведены в массовых долях, % : теоретический состав, типичные примеси, составы образцов, изученных авторами, для которых приведены спектры отражения в прилож. 3 и на рисунках.

В рубрике «Микр.» (микроскопия) в начале раздела приводятся краткие сведения по морфологии кристаллов и агрегатов, что может быть использовано для оценки характера сечений минералов в полированных шлифах. Далее сообщаются краткие характеристики визуально наблюдаемых признаков: уровень отражения, цвет, характер анизотропии с одним николем и в скрещенных николях, степень проявления и цвет внутренних рефлексов, спайность и двойники, если они наблюдаются в шлифах, относительный рельеф *H* и твердость по микровдавливанию VHN. Очень кратко, в случае необходимости, обсуждаются спектры отражения. Для просвечивающих минералов приводятся некоторые сведения о поведении в проходящем свете.

В рубрике «Отл.» (отличие) приводится перечень минералов, с которыми в разных ситуациях может быть спутан описываемый минерал, и отмечаются наиболее надежные признаки отличия.

В рубрике «Нахожд.» (нахождение) для минералов, изученных детальнее других, и для минералов, диагностика которых вызывает наибольшие затруднения, обстоятельнее освещаются месторождения и сопутствующие минералы, так как родственные минеральные сообщества часто значительно ограничивают круг возможных минералов и тем самым облегчают диагностику.

В рубрике «Изуч.» (изученный материал) приведен перечень месторождений, на образцах из которых авторами исследовались спектры отражения минерала. На первом месте стоит образец, спектр отражения которого принят за эталонный при формировании банка данных. Этот спектр отражения приведен в таблицах (см. прилож. 3, 9, 10) и на рисунках. Материалы, полученные из коллекций других исследователей, оговорены (в скобках приведена фамилия исследователя). У минералов, описанных по литературным источникам, данная рубрика отсутствует.

В рубрике «Рентген» (рентгенограмма) полные данные приводятся для образцов, анализировавшихся в процессе работы над Справочником. Для материалов, заимствованных из литературных источников,

в большинстве случаев даны только главные линии. Индексы отражений на рентгенограммах минералов тригональной сингонии даны в гексагональной установке.

Все названия месторождений даны курсивом; регион, в котором находится данное месторождение, приведен (в скобках) при первом упоминании месторождения в данном разделе.

На рисунках, приводимых в тексте, при описании минералов для облегчения диагностики объединены минералы: а) трудно различимые в отраженном свете; б) родственные по химическому составу и структуре; в) встречающиеся в одной и той же ассоциации. Кроме того, на рисунках в качестве реперов приведены кривые отражения минералов, создающих определенные цветовые контрасты в шлифе и играющих важную роль в визуальном восприятии цвета (алтаит, галенит, пирит и др.).

Фактические материалы по количественным характеристикам в отраженном свете, использованные при описании минералов, приводятся также в сводных таблицах: по отражению (см. прилож. 2—6), по микротвердости (см. прилож. 7, 8), по степени сходства спектров отражения (см. прилож. 9, 10).

МИНЕРАЛЫ Au—Ag (Hg)

Золото и серебро образуют неограниченные твердые растворы, которые в виде самородного золота (Ag 0—30 %), серебристого золота — электрума (Ag 30—70 %), золотистого серебра — кюстелита (Ag 70—90 %) и самородного серебра широко распространены в м-ниях различных типов. Составы природных минералов образуют непрерывный ряд от золота к серебру. Характерной примесью является ртуть.

Золото Gold Au

Куб. с. $Fm3m$; $a = 4{,}0856$ (изменяется в зависимости от состава); $Z = 4$.

Хим. Помимо серебра, самородное золото нередко содержит до нескольких процентов Hg (ртутистое золото), Cu, Pd (порпецит), Rh (родит), других элементов платиновой гр., Bi, Fe. В большинстве обычных гидротермальных, россыпных и метаморфогенных м-ний единственной существенной примесью в самородном золоте является Ag; суммарное содержание других элементов, как правило, составляет менее 0,5 % (табл. 9).

Микр. Ксеноморфные выделения, микропрожилки, пленки, зернистые агрегаты, реже — дендриты или кристаллы — октаэдры, ромбододекаэдры и более сложной формы. Гипергенное золото, образовавшееся при разложении теллуридов, стибиотеллуридов, плюмботеллуридов Au, Au—Ag, Au, —Cu — Fe, ауростибита, мальдонита, представлено агрегатами тончайших округлых, пластинчатых, проволочных, губчатых выделений. Один из самых высокоотражающих минералов; цв. насыщенный желтый (p 48 %); изотропно; в. р. нет, но

Таблица 9

Компонент	Сп.-154-1	Сп.-154-2	Сп.-154-3	Сп.-154-4	Сп.-475-1	Сп.-216-1
Au	98,97	97,64	88,74	77,81	40,54	12,78
Ag	0,44	1,93	11,27	19,97	60,49	88,44
Hg	Следы	0	0	0	0,16	0
Cu	0	0	0,01	0	0,29	0
Fe	0	0	0,10	0,19	0	0
Bi	0,08	0	0	0,54	0	Не опр.
Sb	0	0	Следы	0	0	»
Σ	99,49	99,57	100,12	98,52	101,48	101,22
Au/(Au+ +Ag), ‰	996	981	886	796	401	126
VHN_{10-20}	61	65	72	81	—	—

Компонент	Сп.-154-5	Сп.-154-6	Сп.-154-7	Сп.-154-8	Сп.-475-2	Сп.-216-2
Au	81,56	83,96	75,63	68,59	36,21	24,13
Ag	16,78	10,46	15,41	17,37	52,16	59,26
Hg	3,27	6,89	8,49	14,36	9,75	14,26
Cu	0	0,03	0	Не опр.	0,77	0,47
Fe	0,03	0,10	0,04	»	0,04	0,04
Bi	0	0	0	0	Не опр.	Не опр.
Sb	0,03	0,02	0	Не опр.	0	»
Σ	101,56	101,46	99,58	100,32	99,12 (Pt 0,15); Pd 0,04)	98,18 (Pd 0,02)
Au/(Au + +Ag), ‰	829	889	831	798	410	289
VHN_{10-20}	58	56	55	53	—	—

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (СЭМ). Здесь и далее (табл. 23,26—29,31—34) содержание компонентов приведено в процентах.

в скрещенных николях отчетливо видны все царапины. В контакте с выделениями золота больших размеров пирит и галенит имеют серый отт., а халькопирит выглядит серо-зеленоватым. Высокое значение R и значительная насыщенность цв. позволяют микроскопически определять выделения золота размером около 1 мкм и менее. Спектры отраж. имеют резко аномальный тип дисперсии в видимой области (рис. 19, 20). Характерной особенностью высокопробного золота (Au >90 %) является небольшое увеличение отраж. в ближней УФ-области (около 400 нм). С ростом содержания Ag отраж. повышается почти во всей видимой области (470—700 нм) и несколько снижается в ближней УФ-области (400—420 нм). Особенно резко воз-

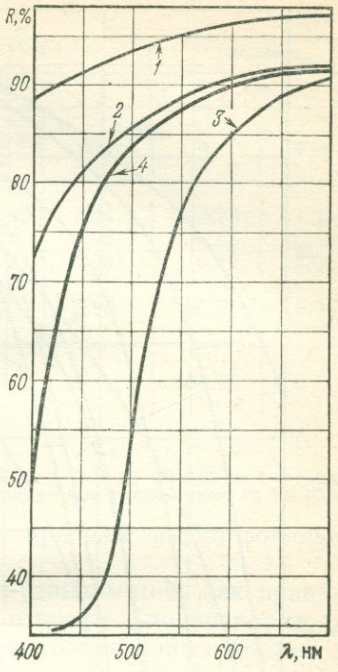


Рис. 19. Спектры отражения серебра (1), кюстелита (2), золота (3), электрума (4)

растает значение R в зеленой области спектра: 480 нм — 42,2 (Ag 0,4 %) и 83,9 (Ag 88 %); 500 нм—53,9 (Ag 0,4 %) и 85,4 % (Ag 88 %); в красной области величина R при этом изменяется мало. Эта особенность используется для оптического определения пробности золота, точность которого довольно высока для интервала пробности 1000—750. Спектры отраж. электрума занимают промежуточное положение между спектрами золота и серебра. Спектры отраж. кюстелита подобны спектрам серебра, но ниже их по абсолютным величинам R (см. рис.19).

Ртутистое золото неотличимо от чистого золота. В спектрах отраж. ртутистого золота, в отличие от золота чистого, наблюдается более резкое снижение отраж. в направлении к УФ-области и снижение кривой в красной видимой части спектра (см. рис. 20). В большей части видимой области (510—700 нм) спектры отраж. ртутистого золота находятся за пределами области спектров минералов серии Au—Ag. В УФ-области (240—400 нм) спектры ртутистого золота подобны спектрам чистого золота, но существенно ниже по абсолютным значениям. Спектры отраж. ртутистого электрума и ртутистого кюстелита подобны спектрам минералов без ртути, отличаются пониженными величинами R, особенно в красной и желтой областях — 560—700 нм (см. рис. 20). В целом для всей системы установлено снижение значений R с ростом содержаний Hg. Эти данные однозначно свидетельствуют о том, что Hg находится в твердом растворе.

С ростом содержания Ag от 0 до 30 % VHN почти линейно увеличивается от 50 до 90. Наиболее твердым минералом системы Au—Ag является электрум, VHN 85—105. VHN кюстелита (75—85) выше, чем у серебра (50—60). VHN электрума с заметными содержаниями Pd (до 4,5 %), Ph (до 1,5 %) и Cu (до 4 %) несколько пониженная (65). Микротвердость ртутистых золота, электрума, кюстелита ниже минералов соответствующего состава без ртути. Полируется хорошо, но практически всегда сохраняются царапины, а в крупных выделениях многочисленные точечные дефекты полировки.

Диагностика золота в относительно крупных (более 0,01 мм) выделениях не представляет затруднений; в более мелких — золото может быть перепутано с серебром (особенно в старых шлифах). Электрум и кюстелит можно отличить от серебра по повышенной твердости

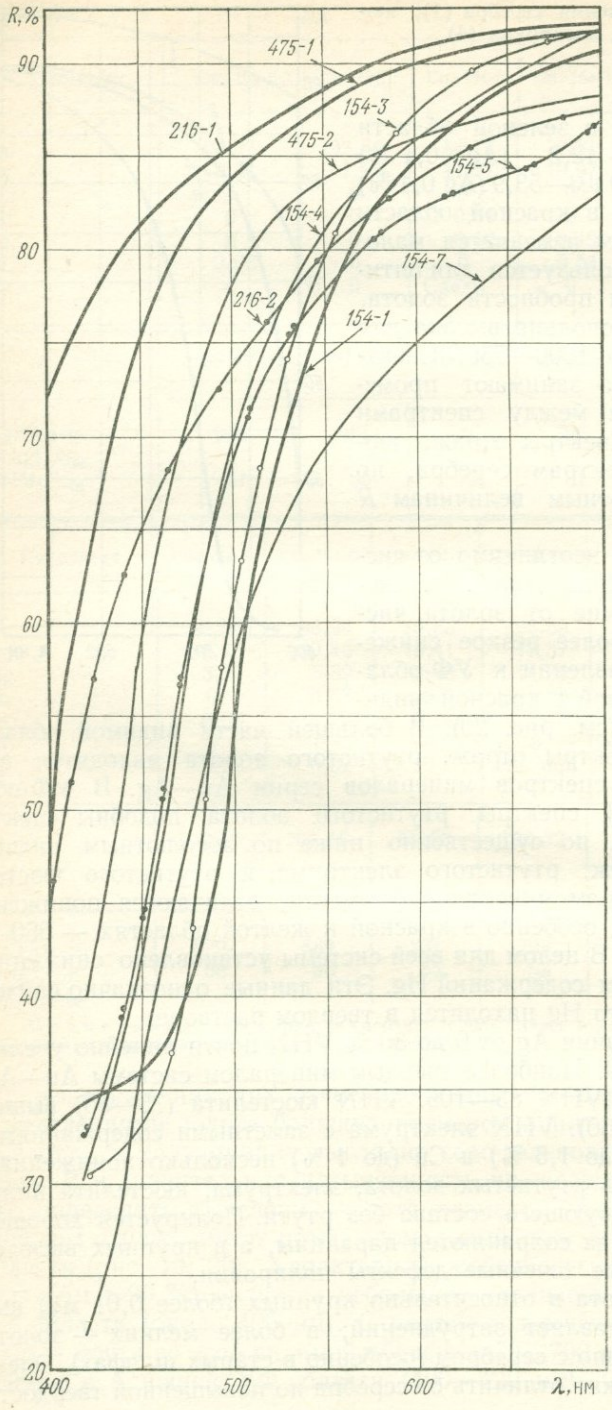


Рис. 20. Спектры отражения золота (154), электрума (475), кюстелита (216); состав см. в табл. 9

Таблица 10

Компонент	Сп.-364-1				Сп.-364-2	
	I		II		III	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Au	24,01	1,03	25,27	1,04	29,28	1,23
Ag	12,34	0,96	12,74	0,96	10,65	0,82
Cu	0,20	0,03	0,31	0,004	0,10	0,01
Hg	0,09	—	0,03	—	Не опр.	
Fe	59,87	3,98	62,33	3,96	60,93	3,94
Σ	99,69	6	100,67	6	100,96	6

Примечание. Нерастворимый остаток составляет 3,16 %; As 0,02 %; I — данные химического анализа (ШНГ); II — III — результаты, полученные микрозондом JXA-5 (СЭМ).

и структурным травлением (первые, как правило, имеют зональное строение).

Нахожд. Распространенный минерал рудных м-ний, как правило, является одним из наиболее поздних и относительно низкотемпературных гидротермальных образований; в разнообразных формах замещает и обрастает другие рудные и жильные минералы. В плутоногенных месторождениях чаще более высокопробное, в вулканогенных — низкопробное. Охотно замещает кальцит. Ассоц.: пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, галенит, висмутин и сульфосоли Bi, теллуриды и селениды. Установлено в возгонах вулканов. В зональных выделениях золота гипогенных руд внешние зоны обогащены Ag и (или) Hg. Внешние зоны золотин в корах выветривания и в россыпях часто более высокопробные и пористые вследствие выщелачивания Ag.

Электрум и кюстелит широко развиты в вулканогенных м-ниях: Ag, Au-Ag, в золотоколчеданных и колчеданно-полиметаллических; а также в Cu-Ni. Как правило, имеют зональное строение, внутренние зоны обогащены золотом.

Ртутьсодержащие минералы системы Au—Ag характерны для тех м-ний, где процесс рудоотложения шел при весьма низкой фугитивности серы,— малоглубинных плутоногенных золото-антимонитовых, вулканогенных золоторудных и золотоколчеданных; в последних установлен и ртутистый электрум. Относительно широко распространены ртутистые электрум и кюстелит в агрегатах медистого золота.

Изуч. См. табл. 9 и прилож. 3.

Рентген. Высокопробное золото сп.-154-1: 2,36 (10) (111); 2,04 (7) (200); 1,442 (6) (220); 1,228 (8) (311); 1,177 (2) (222); $a = 4{,}077$. Ртутистое золото сп.-154-8: 2,36 (10); 2,035 (6); 1,443 (4—5); 1,230 (8—9); 1,179 (3); $a = 4{,}082$.

Куб. с. $Fm3m$; $a = 4{,}0862$; $Z = 4$.

Хим. Обычно довольно чистое, содержание примесей составляет в сумме менее 1 %. В ряде м-ний примеси достигают: Hg 31; Sb и Bi 2; Au 10; Cu 0,5.

Микр. Отдельные зерна, зернистые агрегаты, пластинки, листочки, дендриты, каемки обрастания, моховидные и проволочные формы, кристаллы, часто скелетные, псевдоморфозы по акантиту, сульфосолям серебра, галогенидам серебра. Полируется хорошо, но почти всегда сохраняются царапины и точечные дефекты полировки. Серебро — наиболее высокоотражающий минерал; цв. белый или кремово-белый (до желтовато-белого и желтого в старых шлифах); изотропно; R существенно снижается с ростом содержаний Au (см. кюстелит, рис. 19), Hg, Sb, Bi. H выше, чем у галенита и серебряных сульфосолей, ниже, чем у блеклой руды. VHN 45—60, у сурьмянистого серебра до 135.

Отл. В относительно крупных выделениях серебро диагностируется оптически достаточно уверенно. В старых шлифах может быть спутано с электрумом и кюстелитом (отличить можно по микротвердости и диагностическим травлением: последние минералы, как правило, имеют зональное строение). В мелких выделениях с серебром сходны алларгентум, дискразит, сурьма, висмут, отличаются анизотропией.

Нахожд. Ассоц. гипогенных руд м-ний: 1) 5-элементной формации — акантит, интерметаллиды Ag—Sb или Ag — Bi, арсениды и сульфоарсениды Co — Ni, висмут, уранинит; 2) вулканогенных Ag — блеклая руда, красные серебряные сульфосоли, пирит, сфалерит; 3) вулканогенных Au — Ag — кюстелит, электрум, акантит, широкий круг Ag-, Cu-, Sn-сульфосолей; 4) типа медистых сланцев (*Мансфельд*, ГДР) и медистых песчаников (*Джезказган*, КазССР) — халькозин, бетехтинит. В незначительных количествах распространено во многих других типах м-ний. Гипергенное серебро широко развито в корах выветривания сульфидных и теллуридных м-ний: в зонах окисления (с лимонитом и галогенидами Ag), в зонах вторичного сульфидного обогащения (с халькозином, гипергенными сульфидами и сульфосолями Ag, фрейбергитом). Гипергенное ртутистое серебро, ассоц. с акантитом, шахнеритом, медными минералами.

Изуч. Сп.-362-1—м-ние в Ср. Азии, *Сильвер Изелт* (шт. Онтарио)

Рентген. 2.34 (10) (111); 2,03 (4) (200); 1,439 (6) (220); 1,228 (8) (311). Параметр решетки увеличивается с ростом содержаний Sb и Hg.

МИНЕРАЛЫ Au—Cu

Золото и медь выше 410 °C образуют неограниченные твердые растворы, при более низких температурах — соединения AuCu, $AuCu_3$, Au_3Cu (каждое с довольно широкими полями состава), медьсодержащее золото и золотосодержащую медь.

По В. И. Вернадскому, медистое золото имеет состав от AuCu до Au_3Cu. М. П. Ложечкин в 1935 г. рентгенометрически изучил «ме-

дистое золото» одного из м-ний на Урале и показал, что оно состои из золота (электрума) и кубического минерала — купроаурита с параметром решетки $a = 3{,}83$. Этому параметру решетки, по М. П. Ложечкину, отвечает состав Au_2Cu_3; на самом деле кубическому твердому раствору состава Au_2Cu_3 отвечает $a = 3{,}796$, составу AuCu — $a = 3{,}843$. Следовательно, состав купроаурита Ложечкина близок AuCu. Итак, кубической модификации AuCu отвечает минерал купроаурит. Упорядоченные модификации AuCu — тетрагональная, неудачно названная китайскими минералогами тетрааурикупритом, и ромбическая, получившая название рожковит. Кубическая модификация $AuCu_3$ именуется аурикупритом, а кубическая модификация Au_3Cu именуется М. И. Новгородовой купроауритом, что противоречит приоритету М. П. Ложечкина. Для минерала состава Au_3Cu нет утвержденного названия, ниже он именуется «минерал Au_3Cu».

Минералы системы Au—Cu в гипогенных м-ниях относительно редки. Эти минералы шире распространены (особенно медь) в гипергенных образованиях, преимущественно в зоне цементации.

Медь Copper Cu

Куб. с. $Fm3m$; $a = 3{,}6074$; $Z = 4$.

Хим. В составе меди гипогенных м-ний примеси достигают, %: As 7, Ag 1, Au 2. Медь гипергенных ассоц. беднее микропримесями.

Микр. Ксеноморфные выделения, прожилки, зернистые агрегаты, реже дендриты и кристаллы. Отраж. высокое; цв. насыщенный густо-розовый (p 28 %); изотропна. Спектр. отраж. резко аномального профиля (рис. 21). Очень ковкий и тягучий металл. Полируется довольно трудно, царапин и точечных дефектов избежать трудно. H заметно выше халькозина и халькопирита, ниже куприта; VHN 48—143.

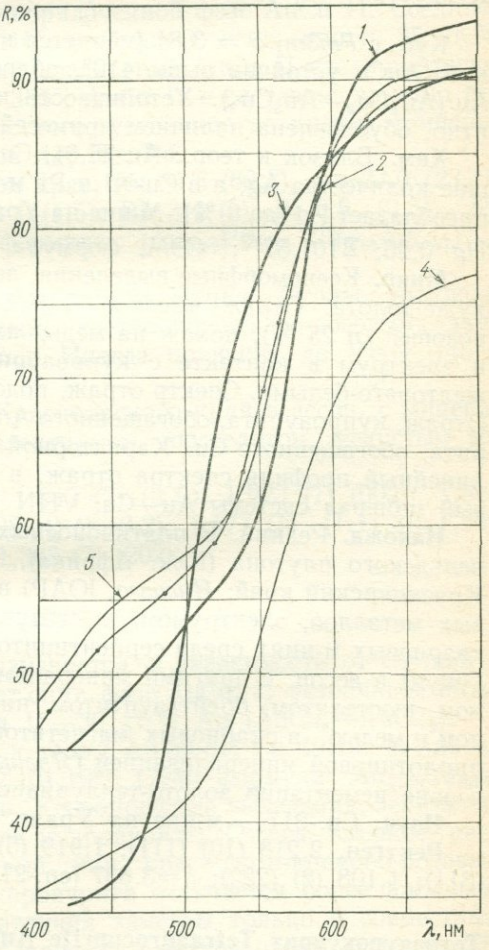


Рис. 21. Спектры отражения меди (1), купроаурита (2), золота (3), Au_3Cu (4), аурикуприта (5)

Отл. С медью сходны редкие купроаурит и аурикуприт, особенно последний. Отличаются по спектрам отраж. (см. рис. 21), микротвердости, рентгенограмме.

Нахожд. Гипогенная медь ассоц. с халькозином, арсенидами меди, *аваруитом*, *карбонатами*, *пренитом*; *гипергенная медь* — с *купритом*, гидроксидами Fe, карбонатами Cu и др.

Изуч. Сп.-246 — из траппов в районе Талнаха (Красноярский край).

Рентген. 2,085 (9) (111); 1,806 (8) (200); 1,276 (10) (220); 1,089 (9) (311).

Купроаурит Cuproaurite AuCu (1939)

Куб. с $Fm3m$; $a = 3{,}84$ (меняется в зависимости от состава), Синт. куб. AuCu устойчив выше 410°, область его составов 40—60 ат.% Au (Au_2Cu_3—Au_3Cu_2). Устойчивость купроаурита ниже 410°, вероятно, обусловлена наличием примесей Ag, Pd, Hg и др.

Хим. Близок к теор.: Au 75,61, Cu 24,39. Часто содержит небольшие количества Ag, а в Cu-Ni и Pt м-ниях: Ag, Pd, Rh, из которых преобладает Pd (до 8 %). *М-ние на Урале*: Au 76,15; Ag 0,22, Cu 24,94; Hg 0,26; Σ101,57[мз]; СЭМ, формула $(Au_{0.99}\ Ag_{0.005}Hg_{0.005})_{1.00}Cu_{1.00}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты. Полируется хуже золота. Отраж. высокое ($R > 68$ %); цв. насыщенный кремово-розовый (*р* 25 %), *похож на медь*; *изотропный*. *Серебристое золото* и электрум в контакте с купроауритом выглядят очень светлыми желтовато-белыми. Спектр отраж. подобен спектру меди (см. рис. 21). Отраж. купроаурита, обогащенного Au, несколько выше, чем купроаурита, обогащенного Cu. Характерной особенностью является прямолинейный профиль спектра отраж. в синей области. Наиболее твердый минерал системы Au—Cu; VHN 170—220.

Нахожд. Редкий. В платиноносных гортонолитовых трубках Бушвельдского плутона (Юж. Африка), в Cu-Ni м-ниях (*Норильское*, Красноярский край; *Инсизва*, ЮАР) в ассоц. с минералами платиновых металлов, электрумом, кюстелитом; в гидротермальных золото-кварцевых м-ниях среди серпентинитов (м-ния на Урале; окрестности Генуи) в ассоц. с другими минералами системы Au—Cu, с электрумом, кюстелитом, брейтгауптитом, нисбитом, гипогенными халькозином и медью; в скарновых магнетитовых с наложенной золото-медно-пирротиновой минерализацией (*Янгикан*, Ср. Азия; *Ниппо*, Япония); в зоне цементации золото-теллуридных м-ний.

Изуч. Сп.-211 — *м-ние на Урале, обр. 20556 музея МГРИ.*

Рентген. 2,218 (10) (111); 1,919 (5) (200); 1,355 (4) (220); 1,157 (3) (311); 1,108 (2) (222); *а=3,837 (сп.-211).*

Тетрааурокуприт Tetraaurocuprite AuCu (1982)

Тетр. с $P4/mmm$: $a = 3{,}96$; $c = 3{,}67$ (колеблются в зависимости от состава). Отвечает известной упорядоченной фазе AuCu I, устойчивой ниже 378°, с областью гомогенности примерно 45—55 ат.% Au.

Хим. Au 75,81; Cu 23,74; Σ 99,55[мз]; формула $Au_{1,02}Cu_{0,98}$.

Отл. Оптически не изучен. От купроаурита отличается наличием сверхструктурных отражений ср. интенсивности 3,67 и 2,80 на рентгенограмме.

Нахожд. В основных и ультраосновных интрузивных породах; ассоц.: магнетит, хромит, пирротин, минералы Pt и системы Au—Ag.

Рентген. 3,67 (3) (001); 2,80 (2) (110); 2,260 (10) (111); 1,980 (3) (200); 1,835 (1) (020); 1,743 (1) (201); 1,535 (0,5) (112); 1,400 (0,5) (220); 1,346 (1) (202).

Рожковит Rozhkovite AuCu (1971)

Ромб. с. (псевдотетрагональный) *Pmmm* $a = 3,88$; $b = 42,68$; $c = 3,84$. Отвечает известной упорядоченной фазе AuCu II. Соединение AuCu II устойчиво ниже 410°, с областью гомогенности 35 ат.% ($AuCu_2$) — 65 ат.% Au (Au_2Cu); соединение AuCu II стехиометрического состава устойчиво выше 385°; AuCu II с составом, заметно отклоняющимся от стехиометрического, устойчиво до низких температур, чему способствуют примеси Ag, Hg, Pd.

Хим. М-ние в Красноярском крае: Au 65,6 (60,8); Cu 23,0 (23,4); Ag 0,6 (0,6); Pd 7,1 (8,6); Pt 0 (1,5); Rh 3,4 (0); Bi 0,6 (0,5); Ni 0,15 (0); Σ100, 4 (99,9)[мз]; формула: $(Au_{0,83}Pd_{0,17}\ Rh_{0,08}Ag_{0,01})_{1,09}$ $(Cu_{0,9}\ Ni_{0,01})_{0,91}$.

Микр. Мельчайшие ксеноморфные выделения. Отраж. высокое; цв. насыщенный светло-розовый, светло-сиреневато-розовый; двуотраж. очень слабое; анизотропен. Иногда полисинт. дв. VHN 145—190 (ср. 170).

Нахожд. В Cu-Ni м-ниях Красноярского края в ассоц. с минералами платиновых металлов, электрумом, кюстелитом, медистым золотом.

Рентген. 2,23 (10) (1.11.1); 1,943 (7) (200); 1,923 (7) (002); 1,815 (1) (0.21.1); 1,734 (1) (201); 1,608 (4) (1.10.2); 1,577 (1) (1.11.2); 1,544 (3) (1.12.2); 1,370 (7) (2.22.0); 1,363 (7) (202).

Аурикуприт Auricuprite $AuCu_3$ (1950)

Куб. с. *Fm3m*; $a = 3,76$ (изменяется в зависимости от состава и степени упорядочения); отвечает синт. фазе $AuCu_3$ I, устойчивой ниже 390°, с областью гомогенности 15—30 ат.% Au ($AuCu_6$—$AuCu_2$).

Хим. Относительно близок к теор.: Au 50,81; Cu 49,19. М-ние на Урале: Au 52,14; Cu 48,79; Σ101,19[мз]; СЭМ; формула $Au_{1,03}Cu_{2,97}$.

Микр. Очень похож на медь. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, каймы обрастания (на купроаурите). Отраж. высокое; цвет насыщенный красновато-розовый или красновато-кремово-розовый (*p* 22,5 %); изотропен. От купроаурита отличается более насыщенным медно-красным цветом (отличия заметны только в совместных сростках в свежеполированных шлифах). Спектры отраж. (см. рис. 21) занимают промежуточное положение между спектрами меди и золота. VHN 50—90, заметно ниже, чем у купроаурита. Полируется хуже золота и купроаурита.

Нахожд. В гидротермальных м-ниях Au в серпентинитах (м-ния на Урале; *Керрэдисон*, США; *Танкаваара*, Финляндия и др); ассоц.: купроаурит, электрум, кюстелит и их ртутистые разновидности, медь.

Изуч. Сп.-33 — м-ние на Урале.

Рентген. 2,172 (10) (111); 1,882 (8) (200); 1,329 (8) (220); 1,134 (7) (311); $a = 3{,}760$ (сп.-33).

Минерал Au_3Cu (1977 (сп.-33)).

Куб. с. *Fm3m* (?); $a = 3{,}87$ (меняется в зависимости от состава). Синт. Au_3Cu устойчив ниже 230—240°, с областью гомогенности 65—80 ат.% Au (Au_2Cu—Au_4Cu).

Хим. Чаще заметно отклоняется от теор.: Au 90,3; Cu 9,7. Содержит небольшое количество Ag, а в Cu-Ni м-ниях — также примеси Pd, Rd, Pt. М-ние на Урале: Au 90,06; Ag 0,54; Cu 9,83; Σ100,43^{мз} СЭМ; формула $(Au_{2,96}Ag_{0,03})_{2,99}Cu_{1,01}$.

Микр. Мелкие ксеноморфные выделения, агрегаты зерен, каймы обрастания на купроаурите и аурикуприте. Отраж. высокое; цв. розовато-желтый, иногда с красноватым отт.; изотропен. Спектр отраж. близок меди, отличается более пологим снижением отраж. в синей области (см. рис. 21). Абсолютные величины R, видимо, занижены. Полируется очень плохо, с сохранением шагреневой поверхности, H весьма низкий (ниже, чем у золота и аурикуприта); VHN 30—65, чаще менее 40.

Нахожд. Редкий. В кварцевых жилах и лиственитизированных серпентинитах и родингитах м-ния на Урале, в Co-Ni-As м-нии *Бени-Бушера* (Марокко), в скарновом м-нии *Ниппо* (Япония) с наложенной золото-медно-пирротиновой минерализацией. В м-нии на Урале один из наиболее поздних гипогенных минералов.

Изуч. Сп.-155 — м-ние на Урале.

МИНЕРАЛЫ Fe, Co, Ni—C

Железо (феррит) Iron α-Fe

Куб. с. *Im3m*; $a = 2{,}86$; $Z = 2$, отвечает низкотемпературной модификации α-Fe, устойчивой до 910°.

Хим. Обычно чистое; примеси Ni до 7, Co 1, Cu 5, иногда Mn.

Микр. Пылевидные и каплевидные выделения размером до нескольких сантиметров, сплошные зернистые массы, пластинчатые, проволочные. Ковкое, сильно магнитное. Отраж.$>$ 60 %; цв. белый со слабым голубоватым отт.; изотропно. Спектр. отраж. характеризуется слабо выраженным минимумом в желтой и оранжево-красной областях (рис. 22). VHN 115—290; H ниже, чем у магнетита, и значительно ниже, чем у когенита.

Отл. Обычно легко диагностируется по спектрам отраж., парагенезису. Крайне характерны срастания с когенитом; последний значительно более твердый, анизотропен и имеет ясный желтоватый отт.

Нахожд. Крупные массы железа в виде «природного металлургического продукта» в базальтах и габбро-долеритах в контакте

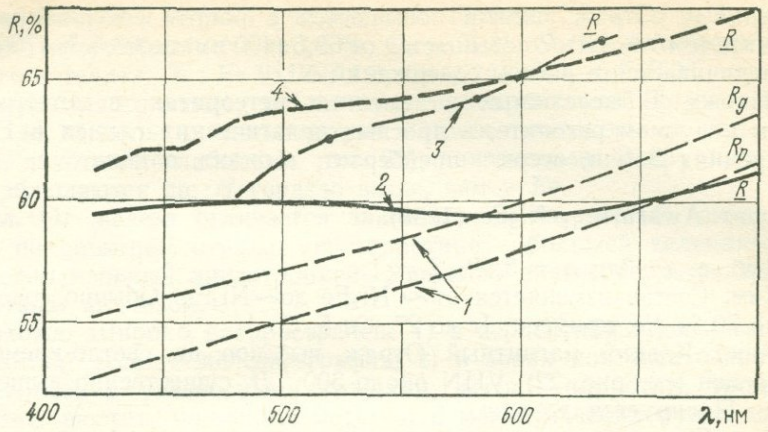


Рис. 22. Спектры отражения когенита (1), феррита (2), никеля (3), аваруита (4)

с угольными пластами (о-в Диско, Гренландия; *Бюль*, ФРГ; Тунгусский бассейн); ассоц.: когенит, вюстит, троилит, пирротин, медь, ильменит, магнетит, рутил, графит. Широко распространено в серпентинизированных ультрабазитах в пылевидных выделениях, ассоц.: магнетит, когенит, аваруит. Весьма распространено в мелких и мельчайших магнитных шариках (ассоц.: вюстит-иоцит, ильменит, ульвошпинель, другие Fe-Ti оксиды с Mg и Mn) в зонах дробления и гидротермального изменения в магматических образованиях различного состава — от гранитов и липаритов до кимберлитов. В осадочных Fe рудах и в осадочных породах, богатых углеродистым веществом, в возгонах вулканов, в виде включений в алмазах, в анортозитах Луны.

Изуч. Сп.-148 —*Курейское* (Вост. Сибирь).

Рентген. 2,02 (9—10); 1,430 (5—7); 1,168 (6—10).

Железо метеоритное Iron meteorithic

Камасит Kamacite α-(Fe, Ni) (1861)

Тэнит Taenite γ-Fe_2 Ni (до F Ni) (1861)

Куб. с. камасит *Im3m*, $a = 2{,}859$; тэнит *Fm3m*, $a = 3{,}590$; постоянно наблюдаются во взаимных срастаниях в виде Видманштедтовых структур (продукты распада высокотемпературного твердого раствора γ-Fe-Ni).

Хим. Метеоритное железо отличается постоянной примесью Ni 6—9 % (в камасите) и 24—48 % (в тэните); Co до 1 %, Cu 0,5 %.

Микр. Выделения от пылевидных до крупных масс, нередко грубозернистых. Камасит сильно магнитен; тэнит, как правило, не магнитен. Отраж. высокое (> 60 %); белые с розовато-желтоватым отт.;

изотропные. Отраж. тэнита повышается с ростом содержания Ni. У тэнита (с 40 % Ni) R повышается от 62,5 (400 нм) до 67,5 % (700 нм); H увеличивается с ростом содержаний Ni.

Нахожд. В железистых и каменных метеоритах, в метеоритной пыли, в лунном реголите, в красных пелагических глинах и Fe-Mn конкрециях Земли; ассоц.: шрейберзит, троилит, оливин.

Аваруит Awaruite γ-Ni_3Fe (1885)

Куб. с. $Pm3m$; $a = 3{,}59$; $Z = 1$.

Хим. Состав изменяется от ~ Ni_2Fe до ~ Ni_4Fe. Обычно содержит около 70 % Ni; примеси: Ir до 27, Cu 5, Co 1.

Микр. Ковкий, магнитный. Отраж. высокое; цв. светло-кремовый; изотропен (см. рис. 22). VHN около 300; H существенно выше, чем у Fe. Полируется хорошо.

Отл. Диагностируется без труда по оптическим свойствам и парагенезису. В мелких выделениях при микро- и макродиагностике может быть принят за поликсен.

Нахожд. Типоморфный минерал серпентинизированных гипербазитов; ассоц.: серпентин, хлорит, магнетит, хизлевудит, пирротин, пентландит, медь, никель, треворит, никелин. Распространен в россыпях.

Рентген. 2,06 (10); 1,783 (3); 1,259 (2).

Никель Nickel β-Ni (1967)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 3{,}524$; $Z = 4$.

Хим. Обычно чистый, иногда заметные примеси Fe, Co, Cu, Pt.

Микр. Неправильной формы мелкие выделения, иногда куб. кристаллы. Отраж. высокое; цв. белый со слабым розоватым отт.; изотропен (см. рис. 22).

Нахожд. В серпентинизированных дунитах, гарцбургитах и иных перидотитах; ассоц.: аваруит, медь, хизлевудит, пентландит, магнетит; в россыпях.

Рентген. 2,03 (10); 1,76 (4); 1,25 (2).

Вайрауит Wairauite CoFe (1964)

Куб. с $Im3m$; $a = 2{,}86$; $Z = 2$; структура близка α-Fe.

Хим. F Состав варьирует от CoFe (Co ~ 48 %) до $CoFe_{1.73}$ (Co ~ 36 %); примесь Ni до 0,5 %.

Микр. Неправильной формы мелкие выделения («сыпь»). Отраж. высокое; цв. розовато-белый; изотропен.

Нахожд.. В серпентинизированных ультрабазитах; ассоц,: железо, медь, магнетит.

Когенит Cohenite Fe_3C (1891)

Ромб. с. $Pbam$; $a = 5{,}090$; $b = 6{,}748$; $c = 4{,}523$; $Z = 4$; отвечает синт. фазе — цементиту Fe_3C.

Хим. Близок к теор.: Fe 93,3; C 6,7. Примеси Ni и Co до 1—2 %, в когените метеоритов Ni до 10 %, Co до 3 %. Состав оптически изученного когенита, % : Fe 91; Ni 1,8; Co 0,2; C 6,0—6,5 [50].

Микр. Пластинчатые, таблитчатые и неправильной формы выделения до нескольких миллиметров. Отраж. высокое; цв. кремово-белый, двуотраж. слабое (см. рис. 22), анизотропен. В крупных зернах наблюдаются дв. *H* гораздо выше, чем у Fe.

Отл. От железа отличается значительной твердостью, анизотропией, по спектрам отраж.; от пирротина — большей величиной *R* и заметно меньшей анизотропией. Уверенно диагностируется термомагнитным анализом.

Нахожд. Широко распространен: 1) в серпентинизированных гипербазитах; ассоц.: железо, графит; 2) в зонах контакта базальтов и долеритов с угленосными толщами; ассоц.: пирротин, троилит, магнетит, вюстит, ильменит, медь; 3) в магматических рудах м-ний норильской группы, контактирующих с угленосными или битуминозными толщами, ассоц.: пирротин, троилит, магнетит; 4) в метеоритах и метеоритной пыли, с которой может попадать в глубоководные осадочные породы. Изредка наблюдаются структуры распада когенита на железо и графит.

Рентген. 2,54 (1) (200); 2,38 (8) (121, 210); 2,26 (3) (002); 2,22 (2) (201); 2,10 (10) (211); 2,07 (7) (102); 2,03 (6) (220); 2,01 (9) (031); 1,976 (9) (112); 1,872 (3) (131,022); 1,852 (4) (221) [50].

Графит Graphite C

Гекс. с $P6_3mc$; $a = 2{,}456$; $c = 6{,}696$, $Z = 4$; слоистая структура; устойчив до давления 3,5 ГПа (при 1100 К), до давления 6,5 ГПа (при 2000 К). В разнообразных твердых углеродистых образованиях различают аморфный углеродистый материал, асфальтоподобный углеродистый материал, неупорядоченный *d*-графит, упорядоченный — собственно графит. С ростом степени упорядоченности увеличивается отраж. от 2 до 18 % (R_g 589 нм), усиливается двуотраж. В природных графитах преобладает политип $2H$, в подчиненном количестве развит политип $3R$.

Микр. Отдельные чешуйки, пластинки, агрегаты чешуек, радиально-лучистые и тонкозернистые (плотные). Цв. коричневато-серый, желтоватый, светло-серый. Характерны очень сильное двуотраж. и умеренный плеохроизм от коричневато-серого или белесо-коричневого до синевато-серого или серовато-черного. Исключительно сильно анизотропен с блеклыми цв. эфф. Как правило, отмечается волнистое погасание. Крайне мягкий, с низким рельефом. *H* несколько выше, чем у молибденита и валлериита; VHN 7—16. Полируется плохо. Хороший проводник тепла и электричества; электропроводность по слоистости в 1000 раз больше, чем поперек слоистости.

Отл. От молибденита отличается коричневатым оттенком и более низким отраж., от валлериита — по спектрам отраж. (рис. 23), от других углеродистых образований — по величине *R*, очень сильному двуотраж., рентгенограмме.

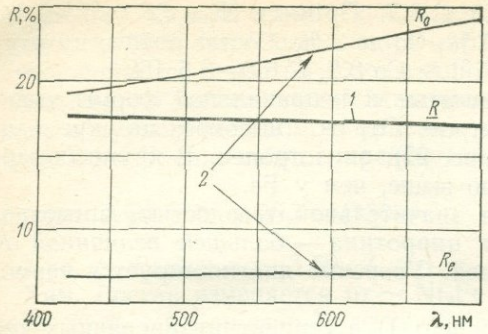


Рис. 23. Спектры отражения алмаза (1), графита (2)

Нахожд. Распространенный минерал региональнометаморфизованных толщ; контактово-метаморфических и контактово-метасоматических образований; относительно высокотемпературных гидротермально-метасоматических образований (серпентинитов, кварцевых жил и т. п.); долеритов, базальтов, гранитоидов, контактирующих с угленосными толщами; ассоц.: пирротин, пирит, магнетит, когенит.

Изуч. Сп.-119 — *Ботогольское* (Саяны).

Рентген. 3,348 (100) (002); 2,127 (3) (100); 2,027 (15) (101); 1,795 (3) (102); 1,674 (6) (004); 1,540 (4) (103); 1,315 (1) (104). Порошок графита легко текстурируется, поэтому интенсивность отражения сильно зависит от способа подготовки образцов.

Алмаз Diamond C

Куб. с. $Fd3m$; $a = 3{,}56$; $Z = 8$; устойчив при давлениях выше 3,5 ГПа (при 1100 К),— т. н. алмазная фация глубинности (более 120 и до 300 км).

Микр. Отдельные (обычно несовершенные) кристаллы до нескольких миллиметров, изредка сростки. Отраж. близко к сфалериту; изотропен; с очень высоким рельефом. Спектр. отраж. в видимой области имеет вид почти горизонтальной прямой. Алмаз — очень удобный эталон для измерения R минералов с умеренно низким отраж. (см. рис. 23). Сов. сп. по октаэдру.

Отл. Алмаз диагностируется по твердости и по голубому свечению в УФ-лучах и под электронным пучком, по рентгенограмме.

Нахожд. В кимберлитах и лампроитах, в ксенолитах эклогитов и ультраосновных пород в кимберлитах, в метаморфических эклогитах, в россыпях. Алмазы ультраосновного типа содержат включения или ассоц. с магнезиальными оливином, энстатитом, диопсидом, ильменитом, пентландитом; алмазы эклогитового типа содержат включения или ассоц. с хромистым пиропом, омфацитом, пирротином, графитом, коэситом. Алмазы и их сростки с гекс. полиморфами сверхвысокого давления — с лонсдейлитом или чаоитом (карбином) — характерные минералы импактитов.

Изуч. Сп.-11 — м-ние в Якутии.

Рентген. 2,05 (10); 1,26 (8); 1,072 (7).

Мальдонит Maldonite Au_2Bi (1870)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 7{,}98$; устойчив ниже 373°.

Хим. Близок к теор.: Au 65,36; Bi 34,64. М-ние в Ср. Азии: Au 66,87; Bi 36,07; Fe и Ag—следы, $\Sigma 102{,}94^{мз}$, СЭМ; формула $Au_{1,99}Bi_{2,01}$.

Микр. Октаэдрические и кубооктаэдрические кристаллы, каймы замещения, неправильные выделения. Отраж. высокое. В ассоц. с висмутином и сульфотеллуридами висмута светлый коричневато-кремовый; в окружении золота—серый со слабозаметным сиреневатым отт.; изотропный. Спектр. отраж. индивидуален с аномальным профилем (рис. 24). VHN 257—292, чаще 260—270. Полируется хорошо.

Нахожд. В гидротермальных ассоц. немногих вулканогенных и плутоногенных м-ний в ассоц. с самородными золотом и висмутом, теллуридами и сульфотеллуридами висмута. Образовался при воздействии золотоносных растворов на отложенные ранее висмут и хедлиит. Неустойчив, наблюдается преимущественно в виде реликтов в мирмекитовых сростках золота и висмута (или продуктов окисления и замещения висмута).

Изуч. Сп-237 — м-ние в Ср. Азии, колл. Е. И. Громовой; м-ние в Забайкалье, колл. Н. Н. Кривицкой.

Рентген. 2,82 (3) (220); 2,41 (10) (311); 2,30 (5) (222); 1,623 (3) (422); 1,532 (7) (333); 1,407 (7) (440); 1,258 (2) (620); $a = 7{,}965$.

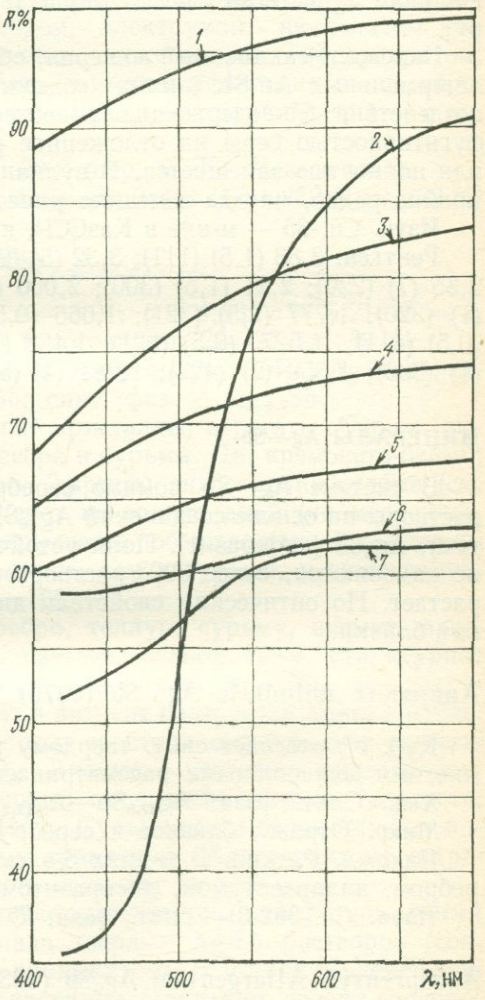


Рис. 24. Спектры отражения серебра (1), золота (2), анимикита (3), алларгентума (4), дискразита (5), ауростибита (6), мальдонита (7)

Ауростибит Aurostibite $AuSb_2$ (1952)

Куб. с. $Pa3$; $a = 6{,}659$; структура типа пирита; устойчив ниже 460°; ниже 300° устойчив в поле пирротина, выше 300° — в поле пирита.

Хим. Близок к теор.: Au 44,74; Sb 55,26. В ассоц. с минералами Bi содержит Bi до 3,5 %; в ассоц. с блеклыми рудами и арсенопиритом иногда содержит примесь As до 2,5 %. М-ние в КазССР: Au 44,52; Ag 0,12; Cu 0,08; Sb 52,73; As 1,73; Σ99,18[мз]; СЭМ; формула $(Au_{0,990}Ag_{0,005}Cu_{0,006})_{1,001}(Sb_{1,898}As_{0,101})_{1,999}$.

Микр. Каймы замещения (вокруг золота или сурьмы), реже неправильной формы выделения. Отраж. высокое (> 60 %); цв. белый, кремово-белый, в контакте с золотом коричневато-серый; изотропный. Спектр отраж. индивидуален (см. рис. 24). *H* заметно выше, чем у золота; VHN 248—292; обычно ~ 280. Полируется хорошо, хрупкий. Наличие ауростибита резко ухудшает технологические свойства Au руд.

Нахожд. Реакционный минерал, образуется в плутоногенных и телетермальных Au-Sb м-ниях (содержащих самородную сурьму) при воздействии Sb-содержащих гидротермальных растворов с низкой фугитивностью серы на отложенное ранее золото, которое частично или полностью замещается. В вулканогенных м-ниях Au встречается крайне редко, иногда замещает ранее отложенную сурьму.

Изуч. Сп.-35 — м-ние в КазССР, колл. Г. Н. Назьмовой.

Рентген. 3,83 (1,5) (111); 3,32 (5) (200); 2,98 (6) (210); 2,72 (3) (211); 2,35 (7) (220); 2,21 (1,5) (300); 2,006 (10) (311); 1,922 (1) (222); 1,848 (1) (320); 1,777 (2,5) (321); 1,666 (0,5) (400); 1,615 (0,5) (410); 1,573 (0,5) (411); 1,527 (0,5) (331); 1,488 (1,5) (420); 1,452 (1) (421); 1,418 (1) (332); 1,359 (2) (422); 1,281 (4) (511) (сп.-35).

МИНЕРАЛЫ Ag—Sb

В системе Ag—Sb помимо серебра и сурьмы известны твердые растворы на основе соединений $Ag_{16}Sb$ (антимикит), Ag_6Sb (алларгентум), Ag_3Sb (дискразит). Поля устойчивости этих соединений до 300° не изменяются, выше 300° растворимость Sb в серебре заметно возрастает. По оптическим свойствам дискразит, алларгентум и анимикит близки.

Анимикит Animikite Ag, Sb (1879)

Куб. с.; отвечает синт. твердому раствору Sb (0—7 ат. %) в Ag; многими минералогами рассматривается как разновидность серебра.

Хим. Синт. фаза: $Ag_{27,5}Sb$—$Ag_{12,2}Sb$ (4—8,5 % Sb).

Микр. Отраж., близкое к серебру (см. рис. 24); изотропен.

Нахожд. Редкий. В м-ниях 5-элементной формации в ассоц. с серебром, алларгентумом, дискразитом.

Изуч. Сп.-362-3 — синт. фаза, *T* 300° (обр. В. Ю. Чевычелова).

Алларгентум Allargentum Ag_6Sb (1950)

Гекс. с. $P6_3$; $a = 2,95$; $c = 4,77$ (варьирует в зависимости от содержания Sb); разупорядоченная структура типа дискразита, отвечает синт. фазе с областью гомогенности 10—16 ат.% Sb.

Хим. Содержит Ag от 80 до 85, чаще ~ 83; Sb ~ 15; примеси достигают: Cu 1; As 0,3; Co 0,1; Ni 0,05; Au 3; Hg 1. Состав синт. алларгентума в ассоц. с анимикитом — $Ag_{5,67}Sb$; в ассоц. с дискразитом — $Ag_{5,06}Sb$.

Микр. Отраж. высокое (> 70 %); цв. кремовато-желтый; очень слабо анизотропен (см. рис. 24). *H* выше, чем у серебра и пираргирита; VHN 151—189. Световое травление проявляется слабее, чем у дискразита.

Нахожд. Относительно мало распространен. В гидротермальных м-ниях 5-элементной формации ассоц. с серебром, анимикитом, дискразитом, реже коутекитом, кутинаитом, домейкитом; в вулканогенных Au-Ag м-ниях — с серебром, электрумом, кюстелитом, галенитом, серебряными колчеданами, полибазитом, пираргиритом, аргентотетраэдритом, селенидами; в метаморфизованных серебро-полиметаллических м-ниях (*Брокен-Хилл*, Австралия и др.) — с дискразитом.

Изуч. Сп.-9 — синт. фаза, *T* 300° (обр. В. Ю. Чевычелова).

Рентген. 2,372 (9); 2,258 (10); 2,043 (5); 1,481 (4); 1,259 (4); 1,232 (5)

Дискразит Dyscrasite Ag_3Sb (1868)

Ромб. с. *Pmm*2 (или *Pm*2*m*); $a = 3{,}01$; $b = 4{,}83$; $c = 5{,}21$; $Z = 1$; отвечает синт. фазе с областью гомогенности 22—27 ат. % Sb.

Хим. *Теор.*: Ag 72,66; Sb 27,34. *Андреасберг* (ФРГ):Ag 75,41; Sb 24,37; Σ99,78; формула $Ag_{3,49}Sb$; синт. фаза — $Ag_{2,9}Sb$.

Микр. Таблитчатые, столбчатые кристаллы, агрегаты. Отраж. высокое (≃ 66 %), ниже, чем у серебра и сурьмы. Цв. кремовато-белый; двуотраж. в воздухе не заметно. Эффекты анизотропии слабые (см. рис. 24). Свежеполированный через несколько дней (но медленнее, чем серебро и арсениды меди) покрывается побежалостью. Характерны полисинт. дв. *H* незначительно выше, чем у сурьмы, и существенно выше, чем у серебра; VHN 146—160.

Отл. Можно принять за серебро, теллур, сурьму, висмут, арсениды меди. Серебро изотропно, светлее, рельеф ниже, структурное травление выявляет пластинчатые дв., вскипает от HNO_3; на дискразит HNO_3 не действует. Домейкит и витнеит изотропны, более желтые, встречаются только в виде совместных сростков, очень быстро темнеют на воздухе, вскипают от HNO_3. Висмут — умеренно анизотропен, имеет отчетливый розовато-кремовый отт., очень низкую твердость, пластинчатые дв., вскипает от HNO_3. Сурьма чисто белая или зеленоватая, не подвергается световому травлению. Альгодонит не встречается без других арсенидов меди, вскипает от HNO_3.

Нахожд. Преимущественно низкотемпературный гидротермальный минерал, часто — продукт распада твердых Ag-Sb растворов (совместно с алларгентумом и/или с анимикитом). В м-ниях 5-элементной формации иногда образует промышленные скопления; ассоц.: серебро, сурьма, мышьяк, висмут, сульфосоли Ag, арсениды и сульфоарсениды Co—Ni — Fe. В метаморфизованных серебро-полиметаллических м-ниях ассоц. с пруститом, пираргиритом, серебром, галенитом.

Изуч. Сп.-141-1 — синт. фаза (обр. В. Ю. Чевычелова); сп.-141-2 — *Андреасберг*, колл. В. И. Степанова.

Рентген. 2,61 (3); 2,42 (4); 2,29 (10); 1,771 (3); 1,370 (4) [17].

АМАЛЬГАМЫ Au, Ag, Cu, Pb

Амальгама золота Gold amalgam Au_2Hg_3 (1854)

Гекс. с. Легкоплавкий.

Хим. Близок к теор.: Au 39,63; Hg 60,37. Примесь Ag.

Микр. Неправильные зерна, мелкие кристаллы удлиненной формы. Высокоотражающий минерал желтовато-белого цв.

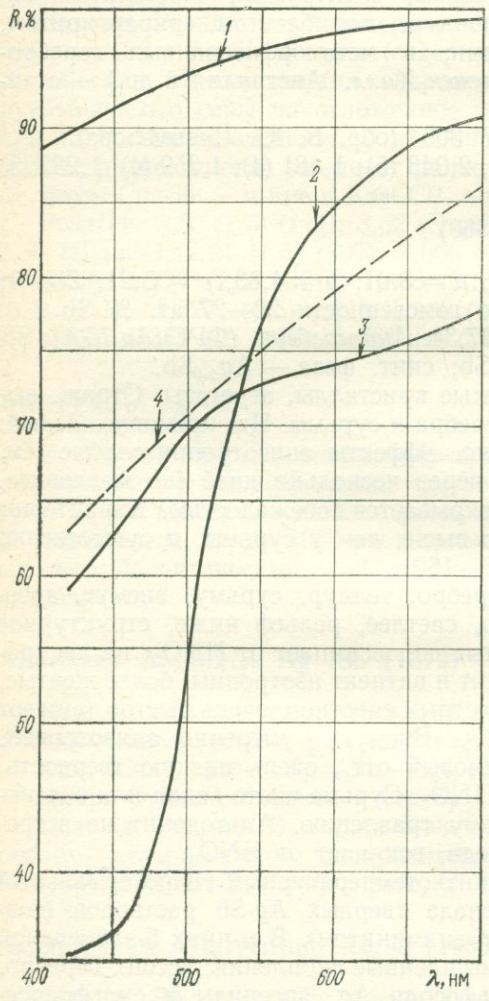


Рис. 25. Спектры отражения серебра (1), золота (2), колымита (3), мошельлансбергита (4)

Нахожд. Редкий минерал м-ний Au с наложенной ртутной минерализацией (самородная Hg).

Мошельландсбергит Moschellandsbergite Ag_2Hg_3 (Ag_5Hg_8) (1938)

Куб. с. $Im3m$; $a = 10{,}04$; структура подобна γ-латуни.

Хим. Близок к теор.: Ag 26,39; Hg 73,61.

Микр. Зернистые агрегаты, кристаллы додекаэдрического облика. Отраж. высокое (> 75 %); цв. розовато-кремовый; изотропен. Спектр. отраж. индивидуален (рис. 25). Хрупкий. Полируется хорошо.

Нахожд. Редкий. Низкотемпературный гидротермальный, частично, возможно, и гипергенный; ассоц.: ртутистое серебро, ртуть.

Рентген. 2,88 (3); 2,67 (4); 2,36 (10); 2,24 (3); 2,13 (3); 1,965 (4); 1,667 (4); 1,478 (3); 1,447 (4); 1,419 (4); 1,365 (7).

Шахнерит Schachnerite $Ag_{10}Hg_9$ (1972)

Гекс. с. $P6_3mmc$; $a = 2{,}97$; $c = 4{,}84$; $Z = 2$.

Хим. Содержит Ag ~37%, Hg ~ 63 %.

Микр.[м] По форме выделений и отраж. близок с дискразитом и алларгентумом. Отраж. высокое (72 %); двуотраж. не наблюдалось; эффекты анизотропии очень слабые. *H* ниже, чем у мошельландсбергита.

Нахожд. Известен в единственном м-нии *Ландсберг* (ФРГ), является продуктом гипергенного изменения мошельландсбергита.

Рентген. 2,420 (5); 2,273 (10); 1,268 (5).

Парашахнерит Paraschachnerite Ag_3Hg_2 (1972)

Ромб. с. *Cmcm* или *C2cm*; $a = 2{,}96$; $b = 5{,}13$; $c = 4{,}85$; $Z = 2$; структура, близкая к дискразиту, синтезируется только при избытке Ag.

Хим. Ag ~ 46; Hg ~ 54.

Микр.[м] *По морфологии и оптическим свойствам близок к дискразиту:* отраж. высокое (74—71 %), цв. кремовый. Почти во всех выделениях обнаруживает полисинт. дв. *H* выше, чем у шахнерита и мошельландсбергита.

Нахожд. Известен в единственном м-нии *Ландсберг* (ФРГ) в ассоц. с шахнеритом как продукт гипергенного изменения мошельландсбергита.

Рентген. 2,404 (6); 2,267 (10); 1,481 (4); 1,361 (5); 1,263 (6).

Колымит Kolymite Cu_7Hg_6 (1980)

Ромбоэдр. с. *R3m* (псевдокуб.); $a = 9{,}402$; $\alpha = 90{,}43°$. Аналог. синт. амальгамы меди, устойчивой ниже 128°.

Хим. Теор.: Cu 26,98, Hg 73,02. *Крохалиное* (Вост. Сибирь): Cu 26,7; Hg 73,3; $\Sigma 100^{м3}$; БЮС; формула: $Cu_{6,97}\ Hg_{6,03}$.

Микр. Пластинчатые зерна, агрегаты зерен округлой формы с каплевидными включениями меди. Отраж. высокое (> 70 %); цв. розовато-кремовый (похож на медь); изотропен. Спектр. отраж. индивидуален (см. рис. 25). VHN 220—267. Хрупкий. Быстро окисляется (в воде — в течение нескольких минут). Плавится в процессе изготовления шлифов.

Нахожд. Известен в единственном Sb м-нии; установлен в тяжелой фракции протолочек вместе с пиритом, арсенопиритом, антимонитом, бертьеритом.

Изуч. Сп-196 —*Крохалиное*, колл. Э. А. Марковой.

Рентген. 2,98 (3); 2,52 (4); 2,22 (10); 2,09 (3); 2,01 (02); 1,279 (3).

ТЕЛЛУРИДЫ Au, Ag, (Cu)

Теллуриды золота и серебра — характерные минералы м-ний различных генетических типов, в ряде случаев являются минералами — носителями золота и серебра в рудах. Как и в системе Au—Ag, более ранними образованиями эндогенных руд являются теллуриды Au (калаверит или монтбрейит), которые в ходе рудообразования сменяются

(или замещаются) теллуридами Au—Ag (креннерит, сильванит), затем теллуридами Ag—Au (петцит), наиболее поздние образования, как правило, представлены теллуридами Ag (гессит, штютцит, эмпрессит).

Монтбрейит Montbrayite Au_2Te_3 (1946)

Трикл. с. *P* 1 (1); $a = 12{,}10$; $b = 13{,}46$; $c = 10{,}80$; $\alpha = 104{,}38°$; $\beta = 97{,}50°$; $\gamma = 107{,}93°$; $Z = 12$. Стехиометрический Au_2Te_3 неустойчив и распадается на калаверит и золото; устойчивое соединение синтезировано при условии замещения части Au серебром и части Te сурьмой, висмутом, свинцом; состав синт. фазы близок монтбрейиту.

Хим. Отношения (Au + Ag + Cu + Hg) к (Te + Sb + Bi + Pb) очень близки к 2 : 3. Монтбрейит содержит, %: Ag 0,6—3,1; Cu 0—0,5; Hg 0—0,6; Sb 0,6—1,4; Bi 0—3,2; Pb 0—4,4. Неясно, почему в последнее время формулу минерала записывают как $(Au, Sb)_2Te_3$; очевидно, что Sb должна замещать в структуре Te, а не Au. Этому соответствуют и пересчеты имеющихся анализов монтбрейита. *Робб-Монтбрей* (Канада) и м-ние в КазССР: Au 48,53 и 46,75; Ag 0,80 и 3,13; Cu 0,21 и 0,47; Hg 0,57 и 0; Ni 0,01 и 0; Co 0,03 и 0; Te 48,64 и 45,00; Sb 0,68 и 1,41; Bi 0,34 и 0; Pb 0 и 4,41; Σ 99,81 и 101,17[мз]; СЭМ; формулы
$(Au_{1,90}Ag_{0,06}Cu_{0,03}Hg_{0,02})_{2,01}(Te_{2,94}Sb_{0,04}Bi_{0,01})_{2,99}$ и
$(Au_{1,80}Ag_{0,22}Cu_{0,06})_{2,08}(Te_{2,67}Sb_{0,09}Pb_{0,16})_{2,92}$.

Микр. Неправильной формы зерна, зернистые агрегаты. Самый высокоотражающий теллурид Au, цв. кремово-белый со слабым розоватым отт. Двуотраж. отчетливое, сильно анизотропен. У монтбрейита с существенной примесью Ag, Sb, Pb отражение несколько ниже (рис. 26, 27) и близко к калавериту (см. рис. 27); в отличие от калаверита у сурьмянисто-свинцовисто-серебристого монтбрейита значительно более крутой профиль спектра *R* в области 420—500 нм. *H* выше, чем у других теллуритов золота и серебра, ниже, чем у халькопирита и пирротина; VHN 198—238. Полируется хорошо.

Отл. Монтбрейит, особенно в мелких выделениях, может быть принят за калаверит и креннерит. Достаточно надежно определяется по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных и плутоногенных золото-теллуридных м-ниях, залегающих в породах основного состава, богатых Fe и Ni. Обычно образует метасоматические вростки в пирротине, халькопирите, карбонате; ассоц.: фробергит, теллуровисмутит, алтаит, петцит, мелонит, высокопробное золото, раклиджит.

Изуч. Сп.-258-1 —*Робб-Монтбрей*; сп-258-2 — м-ние в КазССР.

Рентген. 7,50 (1); 4,48 (2); 4,08 (0,5); 3,82 (0,5); 3,53 (0,5); 3,23 (1); 2,98 (8); 2,93 (8); 2,48 (0,5); 2,38 (1); 2,28 (1); 2,12 (1); 2,09 (10); 2,04 (1); 1,981 (1); 1,910 (1); 1,863 (0,5); 1,841 (0,5); 1,791 (0,5); 1,722 (2); 1,704 (2); 1,495 (2); 1,463 (2); 1,447 (0,5).

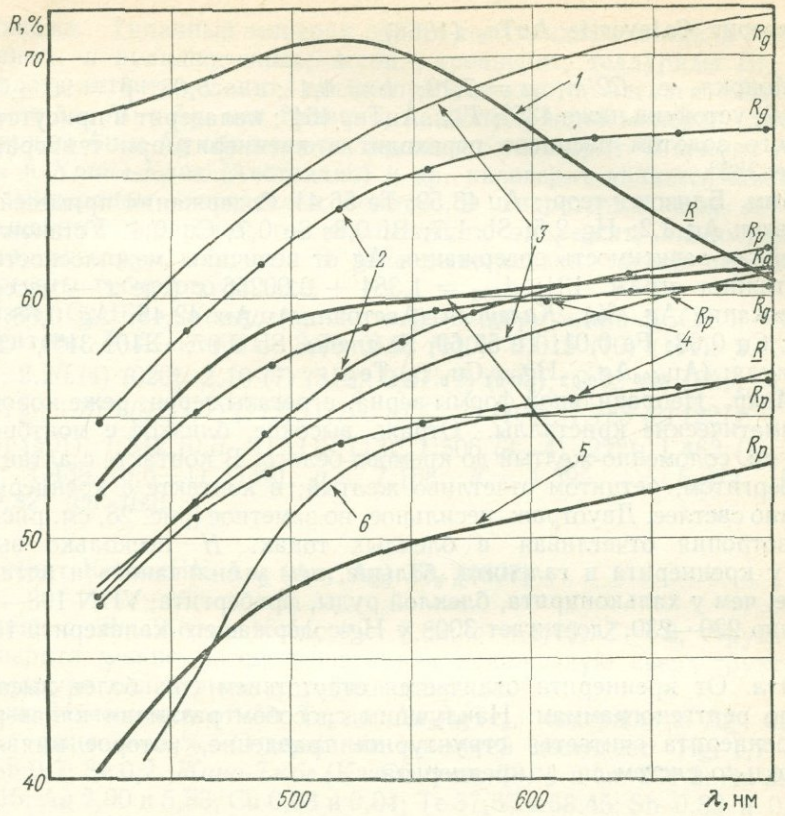


Рис. 26. Спектры отражения алтаита (1), калаверита (2), монтбрейита (3), креннерита (4), сильванита (5), пирита (6)

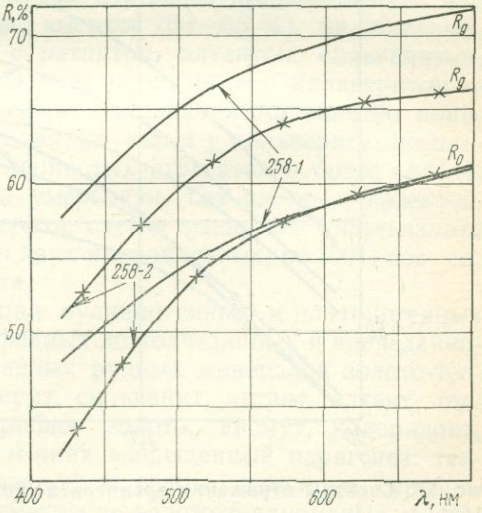


Рис. 27. Спектры отражения монтбрейита различного состава

Калаверит Calaverite $AuTe_2$ (1868)

Монокл. с. $C2/m$; $a = 7{,}19$; $b = 4{,}41$; $c = 5{,}08$; $\beta = 90 \pm 0{,}5°$; $Z = 2$; устойчив ниже 435°; $T_{пл}$, $AuTe_2$ 464°; калаверит в присутствии бедного золотом расплава переходит в креннерит при температуре ниже 382°.

Хим. Близок к теор.: Au 43,59; Te 56,41. Содержания примесей достигают: Ag 3,2; Hg 2,5; Sb 1,7; Bi 0,8; Se 0,7; Cu 0,4. Установлена линейная зависимость содержания Ag от величины межплоскостного расстояния отраж. 131: $d_{131} = 1{,}384 + 0{,}00256\ x$ (где x — массовое содержание Ag, %). *Калгурли* (Австралия): Au 42,45; Ag 0,58; Hg 0,43; Cu 0,08; Fe 0,01; Te 57,69; Se следы, Sb 0,07; $\Sigma 101{,}31^{мз}$, СЭМ; формула: $(Au_{0,96}Ag_{0,02}Hg_{0,01}Cu_{0,02})_1Te_2$.

Микр. Неправильной формы зерна, агрегаты зерен, реже короткопризматические кристаллы. Отраж. высокое, близкое с монтбрейитом; цв. соломенно-желтый до кремово-белого. В контакте с алтаитом, фробергитом, петцитом отчетливо желтый; в контакте с креннеритом обычно светлее. Двуотраж. несильное, но заметное (рис. 28, см. рис. 26) Анизотропия отчетливая в блеклых тонах. H несколько выше, чем у креннерита и галенита, больше, чем у сильванита и алтаита, ниже, чем у халькопирита, блеклой руды, фробергита; VHN 198—237: обычно 220—230, достигает 300; у Hg-содержащего калаверита 169—205.

Отл. От креннерита отличается отсутствием сп., более высоким R, по рентгенограммам. Наилучшим способом различия калаверита и креннерита считается структурное травление, которое выявляет несколько систем сп. у креннерита.

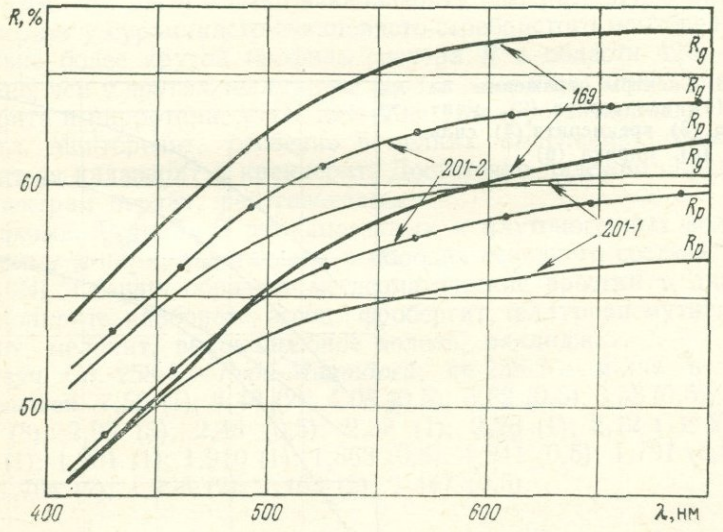


Рис. 28. Спектры отражения креннерита (201) различного состава и калаверита (169)

Нахожд. Типичный минерал золото-теллуридных м-ний и плутоногенных, и вулканогенных; ассоц.: креннерит, теллуриды Bi, колорадоит, алтаит, мелонит, высокопробное золото, нагиагит. Из теллуридов Au, Au и Ag, как правило, наиболее ранний минерал, другие теллуриды Au и Ag обрастают и замещают калаверит. В м-ниях *Калгурли* и *Крипл-Крик* (Австралия) и др. калаверит является важнейшим минералом — носителем золота. В гидротермальных м-ниях запрещенный парагенез: гессит, штютцит, эмпрессит, низкопробное золото, электрум, серебро. В зоне выветривания легко переходит в агрегаты губчатого золота.

Изуч. Сп-169 —*Калгурли*; синт. фаза; обр. м-ний СССР и ВНР.

Рентген. 5,05 (1) (001); 3,76 (0,5) (110); 3,015 (10) (111); 2,95 (4) (20$\bar{1}$); 2,20 (4) (020); 2,10 (7) (310); 2,07 (2) (20$\bar{2}$); 2,02 (1) (021); 1,940 (2) (31$\bar{1}$); 1,875 (0,5—1) (212); 1,790 (0,5—1) (400); 1,758 (3) (221); 1,689 (2—3) (401); 1,542 (0,5—1) (11$\bar{3}$,113); 1,506 (3—4) (222); 1,463 (1—1,5) (402); 1,435 (0,5—1) (130); $a = 7{,}158$; $b = 4{,}395$; $c = 5{,}074$; $\beta = 89{,}92°$ (сп.-169).

Креннерит Krennerite Au_3 (Au, Ag) Te_8 (1877)

Ромб. с. *Pma2*; $a = 16{,}54$; $b = 8{,}82$; $c = 4{,}46$; $Z = 8$, структуру креннерита можно рассматривать как искаженную сверхструктуру к структуре калаверита; устойчив ниже 382°.

Хим. Изменяется от Au Te_2 до Au_3AgTe_8, содержание Ag 0,4—6,8 %; чаще 3—5 %. Содержание примесей достигает: Hg 1,7; Cu 0,6; Sb 0,7; Se 0,2. *Жана-Тюбе* (КазССР) сп.-201-1 и сп.-201-2: Au 39,27 и 36,15; Ag 2,90 и 5,83; Cu 0,03 и 0,04; Te 57,55 и 58,45; Sb 0,32 и 0,26; Σ100,17 и 100,73[мз], СЭМ; формулы:
$(Au_{0,88}Ag_{0,12})_1\ (Te_{1,99}Sb_{0,01})_2$ и $(Au_{0,79}Ag_{0,23})_{1,02}(Te_{1,97}Sb_{0,01})_{1,98}$.

Микр. Отдельные зерна, зернистые агрегаты, призматические или пластинчатые кристаллы. Отраж. высокое (60—55 %), цв. бледный, соломенно-желтый; в контакте с петцитом, алтаитом, сильванитом, фробергитом — отчетливо желтоватый; в контакте с калаверитом — темнее. Отраж. креннерита с ростом содержания Ag заметно понижается (см. рис. 28). Двуотраж., так же как и у калаверита, несильное, отчетливо заметно лишь в зернистых агрегатах и более слабое, чем у сильванита. Анизотропия умеренная, без цветных эффектов. *H* несколько ниже, чем у калаверита, слегка выше, чем у сильванита и галенита; VHN 120—230. Сп. в двух направлениях, по (001) сов. сп.

Отл. См. описание калаверита.

Нахожд. Характерный минерал вулканогенных и плутоногенных Au и Au-Ag м-ний: от убогосульфидных до колчеданных и колчеданно-полиметаллических; один из главных рудных минералов золото-теллуридных м-ний. Ассоц.: калаверит, сильванит, петцит, алтаит, теллуриды Bi, нагиагит, высокопробное золото, висмут, колорадоит, фробергит. В гидротермальных м-ниях запрещенный парагенез: теллуриды Ag (гессит и др.), низкопробное золото, электрум, серебро. Гипергенный креннерит в зоне цементации золото-теллуридных м-ний.

В зоне окисления легко переходит в «горчичное» или губчатое золото и теллурит TeO_2 (или теллуриты Fe, Cu, Pb и др.).

Изуч. *Сп.-201 — Жана-Тюбе;* обр. м-ний Казахстана, Сибири, Камчатки.

Рентген. 4,72 (1) (310); 3,95 (3) (011); 3,06 (10) (401); 2,97 (4) (030, 221); 2,35 (1) (620); 2,24 (4) (331,002); 2,12 (5) (431); 2,08 (3) (621,800); 1,977 (1) (041,402); 1,929 (1) (222); 1,781 (3) (032); 1,743 (0,5) (150); 1,698 (3) (731,612); 1,521 (3) (802,741); 1,467 (3). *Рентгенограммы* образцов сп-201-1 и сп-201-2 близки к эталонной; $a = 16{,}62$ и 16,64; $b = 8{,}84$ и 8,91; $c = 4{,}472$ и 4,480. С ростом содержания Ag увеличиваются межплоскостные расстояния и параметры решетки.

Сильванит Sylvanite Au $(Ag_{1-x}Au_x)Te_4$ $(x = 0—0{,}4)$ (1835)

Монокл. с. $P\ 2/n$; $a = 8{,}96$; $b = 4{,}49$; $c = 14{,}62$; $\beta = 146{,}43°$; $Z = 2$; структура *сильванита представляет* сверхструктуру к типу калаверита, которая образуется в результате упорядоченного распределения атомов Au и Ag. Выше 354° превращается в креннерит и расплав, бедный Ag. Тройная ассоц. сильванит + петцит + гессит кристаллизуется ниже 50°.

Хим. Изменяется от стехиометрического $AuAgTe_4$ (Au 24,19; Ag 13,22; Te 62,59) до Au $(Ag_{0,53}Au_{0,40})\ Te_{4,07}$ (Au 31,4; Ag 6,6; Te 59,5). Обычно в природных сильванитах Au : Ag >1, примеси: Cu, Hg, As, Se, Bi, Sb. В ассоц. с креннеритом и калаверитом обогащен Au; в ассоц. с петцитом и гесситом состав близок к стехиометрическому. Сильванит стехиометрического состава синтезирован в ассоц. с гесситом и штютцитом, с повышением T синтеза в сильваните (равновесном со штютцитом) увеличивается содержание Au и уменьшается содержание Ag. *Состав образцов см. в табл. 10.*

Микр. Зерна неправильной, пластинчатой формы, дендриты, реже уплощенные кристаллы, иногда скелетные. Отраж. высокое (60—50 %), заметно выше, чем у галенита, близкое к креннериту, но заметно ниже, чем у калаверита, в положении R_{min} — темнее пирита (см. рис. 26). Цв. кремово-белый. В контакте с крупными выделениями алтаита — розовато-коричневатый; в контакте с гесситом, петцитом, нагиагитом — серебряно-белый, яркий кремово-белый с розоватым отт. Двуотраж. сильное, более сильное, чем у всех других теллуридов Au и Ag. Величина двуотраж. уменьшается с ростом длины волны: $\Delta R_{отн}$ 400 нм = 23 %, 700 нм = 13 %. Эффекты анизотропии сильные. Очень характерны полисинт. дв., которые заметны даже при одном николе, благодаря сильному двуотраж. H близок к алтаиту, *креннериту, петциту, несколько выше, чем у нагиагита и гессита,* значительно ниже, чем у фробергита, блеклой руды, сфалерита. Характерна значительная анизотропия тв.: на плоскости (010) VHN от 247 ±10 до 288 ±14, на плоскости (001) — $(\bar{1}01)$ от 154 ± 14 до 195 ±17, на плоскости (100) от 90 ±6 до 112 ±11. Сов. сп. по (010). *Полируется хорошо.*

Отл. Диагностика даже в мельчайших выделениях, как правило, не представляет трудностей из-за наличия полисинт. («альбитовых»)

дв. и сильного двуотраж. В несдвойникованных зернах надежно определяется по спектрам отраж.

Нахожд. Довольно широко распространен в м-ниях вулканогенных Au, Au-Ag, золото-теллуридных, золото-селенидных, золото-колчеданно-полиметаллических, а также плутоногенных золото-теллуридных. В ряде вулканогенных м-ний основной носитель Au (*Сэкэрымб*, СРР), значительно реже в плутоногенных м-ниях (*Жана-Тюбе*). Ассоц.: креннерит, петцит, гессит, алтаит, нагиагит, теллуриды Bi, фробергит, мелонит, сульфосоли Pb — Ag, блеклые руды, теллур. Сильванит нередко обрастает креннерит. Вокруг сильванита часто развита кайма замещения петцита и (или) гессита, нередко сильванит в значительной степени замещен тонкозернистым агрегатом петцита—гессита. В зоне цементации теллуридных м-ний — гипергенный. В зоне окисления охотно замещается агрегатами «горчичного» золота, теллурита, теллуратов Fe, галогенидами Ag.

Изуч. См. табл. 10 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-364-1: 5,10 (7) (100); 4,48 (6) (010); 3,96 (15) (11$\bar{1}$); 3,83 (17) (11$\bar{2}$); 3,14 (4) (21$\bar{3}$); 3,04 (100) (012); 2,977 (31) (30$\bar{4}$); 2,666 (1) (21$\bar{1}$); 2,480 (5) (31$\bar{4}$); 2,467 (4) (11$\bar{4}$); 2,395 (8) (102); 2,379 (5) (31$\bar{5}$); 2,245 (33) (020); 2,169 (4) (12$\bar{1}$, 021); 2,150 (52) (12$\bar{2}$); 2,116 (17) (31$\bar{2}$); 2,087 (15) (40$\bar{4}$); 2,077 (7) (004); 2,052 (3) (120); 2,036 (2) (40$\bar{7}$); 1,983 (16) (41$\bar{5}$); 1,980 (7) (22$\bar{2}$); 1,854 (11) (22$\bar{1}$); 1,834 (8) (211); 1,792 (18) (32$\bar{4}$); 1,755 (7) (50$\bar{6}$); 1,744 (6) (10$\bar{6}$); 1,721 (13) (113); 1,686 (2) (220); 1,653 (2) (40$\bar{2}$); 1,650 (3) (51$\bar{7}$); 1,647 (2) (202); 1,575 (4) (42$\bar{5}$); 1,546 (1) (212); 1,524 (13) (024); 1,496 (6) (030); 1,472 (4) (13$\bar{1}$, 031); 1,466 (3) (13$\bar{2}$); 1,418 (5) (23$\bar{3}$); 1,409 (10) (42$\bar{8}$, 23$\bar{2}$); $a = 8{,}881$; $b = 4{,}492$; $c = 14{,}497$; $\beta = 145{,}05°$. Из-за сов. сп. препараты сильванита для рентгеновской съемки часто текстурированы, что существенно влияет на соотношение интенсивностей.

Костовит Kostovite Au (Cu, Ag) Te_4 (1966)

Ромб. с. (?) — монокл. с. (?)

Хим. *Челопеч* (НРБ), близок к теор.: Au 25,55; Cu 8,25; Te 66,20. М-ние в Ср. Азии: Au 26,11, Ag 3,19; Cu 6,62; Fe 0,07; Te 64,17; Sb 0,18; Se 0,21; Σ100,53[мз]; СЭМ; формула:

$Au_{1,03}(Cu_{0,81}Fe_{0,01}Ag_{0,23})_{1,05}(Te_{3,86}Sb_{0,01}Se_{0,02})_{3,92}$.

Микр. Неправильной формы зерна, нередко удлиненные и уплощенные, чаще агрегаты зерен. Отраж. высокое (47—57 %), близкое к сильваниту. Цв. кремово-белый с розоватым (до коричневатого) отт. Сильное двуотраж. от кремово-белого до буровато-кремового. Анизотропия сильная, без ярких цв. эфф. Полисинт. дв., как у сильванита. Спектры отраж. по профилю и абсолютным значениям R близки к спектрам сильванита (рис. 29). VHN 35—43; костовит, обогащенный Ag, более твердый — VHN 96—119 (ср. 108). Сов. сп. в одном направлении. Полируется хорошо.

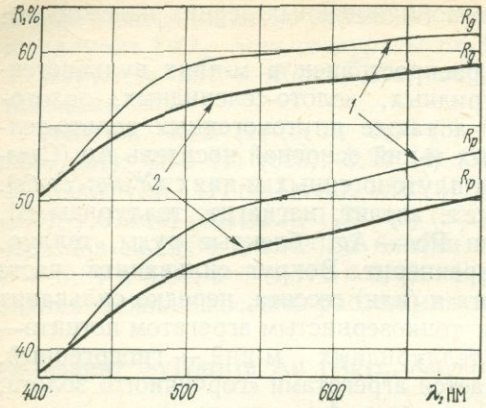


Рис. 29. Спектры отражения сильванита (1) и костовита (2)

Отл. В мелких выделениях трудно отличить от сильванита. Характеризуется более густым розоватым или буроватым отт. и пониженной тв. Для костовита характерна тесная ассоц. с самородным теллуром и алтаитом.

Нахожд. В вулканогенных золото-теллуридных и золото - колчеданно - полиметаллических м-ниях; ассоц.: теллур, алтаит, калаверит, золото, блеклая руда, сильванит, теллурантимонит, халькопирит, нагиагит. Возможно, распространен шире (мог быть пропущен из-за сходства с сильванитом и теллуром).

Изуч. Сп-198 — м-ние в Ср. Азии, колл. Р. П. Бадаловой.

Рентген. 7,09 (3); 5,03 (5); 4,42 (1); 4,15 (1); 3,94 (3); 3,57 (1); 3,36 (5); 3,03 (10); 2,93 (6); 2,83 (2); 2,44 (1); 2,30 (2); 2,10 (9); 2,04 (3); 1,992 (1); 1,941 (3); 1,857 (2); 1,836 (2); 1,767 (3); 1,728 (2); 1,678 (4); 1,629 (3); 1,579 (1); 1,538 (3); 1,512 (4); 1,405 (1); 1,386 (1); 1,339 (3); 1,324 (2); 1,307 (4). Рентгенограмма костовита достаточно близка к креннериту.

Петцит Petzite $AuAg_3Te_2$ (1842)

Куб. с $I4_132$; $a = 10{,}38$; $Z = 8$; структура сопоставима со структурой граната. Устойчив ниже 210°, выше — переходит в иные полиморфные модификации; вместе с гесситом (гессит-матрица) образуется ниже 50° при распаде твердого раствора промежуточного состава.

Хим. Близок к теор.: Au 25,39; Ag 41,71; Te 32,90. Содержания примесей достигают Hg 3; Cu 0,8; Fe 0,3 (см. табл. 11 и прилож. 3).

Микр. Выделения неправильной формы, реже агрегаты зерен. Как правило, встречается в сростках с другими теллуридами — в субграфических сростках с гесситом, реже с сильванитом. Отраж. умеренное (39 %); заметно темнее галенита, со слабым голубоватым или сиреневатым отт.; изотропен. В сростках с галенитом (рис. 30) зеленовато-сероватый; в сростках с алтаитом, сильванитом, калаверитом, креннеритом, фробергитом, теллуровисмутитом, мелонитом — отчетливо серый; в сростках с колорадоитом — голубоватый (см. рис. 30). С ростом содержания серебра (величина Ag/Au) отраж. несколько снижается. *H* петцита выше, чем у гессита, алтаита, акантита, но ниже сильванита и креннерита; VHN 43—74, обычно 43—55. Полируется хорошо.

Отхл. Соден с галенитом, гесситом, акантитом, колорадоитом, на-

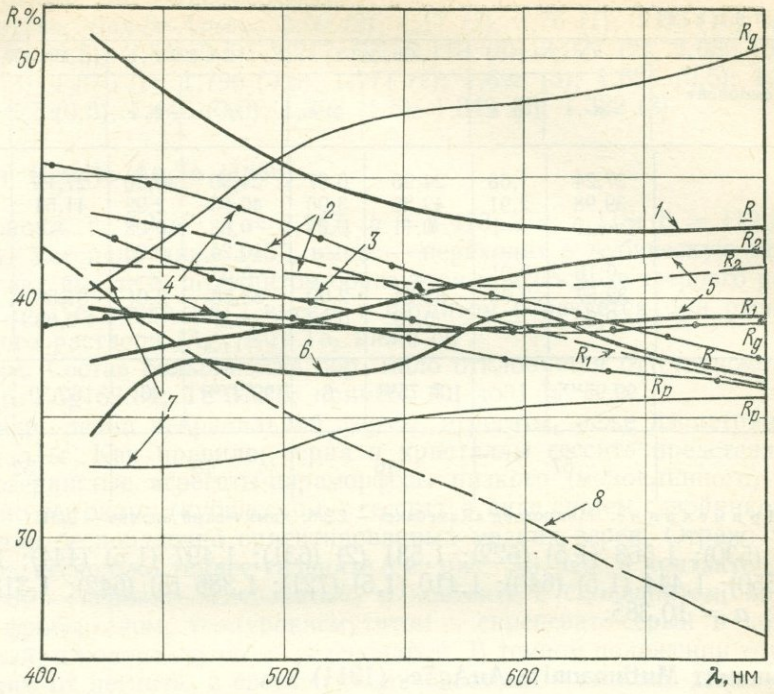


Рис. 30. Спектры отражения галенита (1), штютцита (2), петцита (3), нагиагита (4), гессита (5), колорадоита (6), эмпрессита (7), хенриита (8)

гиагитом. Галенит светлее и тверже. Гессит и акантит анизотропные, для них характерны мелкозернистые гранобластовые структуры превращения (при полиморфных переходах). Нагиагит анизотропен, часто со сп., образует обычно удлиненные таблитчатые зерна, что никогда не наблюдалось у петцита. Колорадоит имеет коричневатый отт. и очень характерную форму спектра отраж. (см. рис. 30). Петцит легко диагностируется по рентгенограмме и кривой дисперсии R.

Нахожд. Один из наиболее распространенных теллуридов, в небольших количествах известен во многих типах сульфидных и теллуридных м-ний, в наиболее поздних низкотемпературных гидротермальных ассоц. Характерный минерал плутоногенных и вулканогенных м-ний Au; ассоц.: креннерит, сильванит, гессит, золото, алтаит, галенит, нагиагит, халькопирит, пирротин. Запрещенные ассоц. в гидротермальных м-ниях: теллур, эмпрессит. Гипергенный в зоне цементации золото-теллуридных и золотоколчеданно-полиметаллических м-ний.

Изуч. См. табл. 11 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-309-4: 7,32 (6) (110); 3,67 (3) (220); 3,31 (0,5) (310); 2,99 (1,5) (222); 2,76 (10) (321); 2,59 (1) (400); 2,44 (4) (330); 2,31 (5) (420); 2,12 (8) (422); 2,02 (7) (510); 1,896 (5) (521); 1,835 (3) (440); 1,780

Таблица 11

Компонент	Сп.-309-2		Сп.-309-3		Сп.-309-4		Сп.-309-1	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Au	27,24	1,08	24,96	0,97	24,50	0,96	27,18	1,07
Ag	39,98	2,91	42,25	3,00	40,85	2,92	41,54	3,00
Cu	Следы	—	0,11	0,01	0,63	0,08	—	—
Fe	»	—	—	—	0,24	0,03	—	—
Hg	0,16	0,01	—	—	0,03	—	—	—
Te	32,57	2,00	33,24	2,00	33,26	2,01	31,58	1,93
Se	0,00	—	0,19	0,02	Следы	—	0,00	—
Σ	99,95[мз]	6	100,75[мз]	6	99,27[мз]	6	100,30	6
VHN	57		46		48		52	

Примечание. Микрозонд «Камебакс» — СЭМ; химический анализ — ШНГ

(0,5) (530); 1,568 (1,5) (622); 1,531 (2) (631); 1,497 (1,5) (444); 1,468 (2) (550); 1,444 (1,5) (640); 1,410 (1,5) (721); 1,386 (5) (642); 1,318 (8) (732); $a = 10{,}385$.

Мутманнит Muthmannite $AuAgTe_2$ (1911)

Сингония неизвестна.

Хим. *Бая-де-Арьеш* (СРР): Au 32,51—33,75; Ag 18,64—17,67; Cu 0,27—0,29; Fe 0,06—0,07; Hg 0,47—0,51; Te 46,39—46,59; S и Se — не обн.; Σ 98,34—98,85[мз]; СЭМ; формулы: $Au_{0,97}Ag_{0,92}Cu_{0,03}Fe_{0,01}Hg_{0,01}Te_{2,06}$ и $Au_{0,95}Ag_{0,97}Cu_{0,02}Fe_{0,01}Hg_{0,01}Te_{2,04}$.

Микр. Агрегаты мелких зерен, прожилки, каймы замещения на калаверите, отмечались таблитчатые кристаллы. Отраж. умеренное, чрезвычайно похож. на петцит, о чем свидетельствует значительная близость их спектров отраж. (рис. 31). Анизотропия едва заметна. *H* такой же, как у калаверита; VHN 172—207 (ср. 194). Полируется хорошо (лучше петцита).

Отл. Мутманнит являет пример мимикрии в минеральном царстве — оптически он неотличим от петцита, по микротвердости и рентгенограмме очень близок к калавериту. Очевидно, по этой причине пропускается при диагностике. От петцита отличается значительно большей тв.

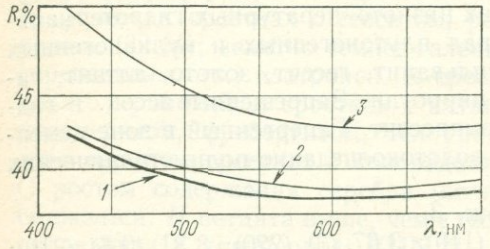


Рис. 31. Спектры отражения мутманнита (1), петцита (2), галенита (3)

Нахожд. Современными методами диагностирован в зоне цементации м-ния *Бая-де-Арьеш* (СРР).

Изуч. Сп.-266 —*Бая-де-Арьеш.*

Рентген. *Бая-де-Арьеш*: 5,09 (2); 4,17 (1); 3,76 (1); 3,03 (10); 2,94 (5); 2,79 (0,5); 2,57 (0,5); 2,217 (1); 2,113 (8); 2,077 (2); 2,030 (0,5); 1,954 (3); 1,870 (1); 1,796 (0,5); 1,771 (2); 1,698 (3); 1,628 (0,5); 1,549 (1); 1,477 (0,5); 1,446 (0,5); 1,397 (1,5); 1,349 (2); 1,322 (3).

Гессит Hessite Ag_2Te (1830)

Монокл. с. $P2_1/C$; $a = 8{,}147$; $b = 4{,}473$; $c = 8{,}118$; $\beta = 112{,}94°$; $Z = 4$. Устойчив ниже 145°, выше — переходит в кубическую модификацию; вместе с штютцитом образуется при распаде твердого раствора $Ag_{17}Te_9$ ниже 120°; вместе с петцитом образуется при распаде твердого раствора $(Ag_{11}Au)\ Te_6$ ниже 50°.

Хим. Состав большинства обр. мало отклоняется от стехиометрического: Ag 62,84; Te 37,16; примесь Au до 1 %.

Микр. Зерна неправильной формы, агрегаты, реже изометричные кристаллы. Как правило, зерна и кристаллы гессита представляют мелкозернистые агрегаты-параморфозы низкого (моноклинного) гессита по высокому (кубическому) гесситу в виде систем сдвойникованных или беспорядочно ориентированных мелких зерен. Отраж. умеренное, несколько темнее галенита (см. рис. 30). Цв. в контакте с галенитом — серовато-зеленоватый, в контакте с сильванитом, алтаитом, фробергитом, теллуровисмутитом — сиреневато-серый и коричневатый, с колорадоитом — зеленоватый. В темном положении трудно отличим от петцита, в светлом (коричневатом) — светлее. Двуотраж. слабое по силе, но отчетливо цветное: в светлом положении — коричневатый, в темном — сиреневато-серый или зеленоватый. Ясно анизотропен с цв. эфф. в коричневатых и сине-фиолетовых тонах. В. р. нет. Эти особенности оптики гессита — цв. эфф. двуотраж. и анизотропии, отсутствие в. р.— хорошо согласуются с особенностями кривых дисперсии R минерала; обе кривые по профилю близки к горизонтальной прямой, но противоположны по типу дисперсии — R_{max} аномального типа, R_{min} нормального, кривые пересекаются при $\lambda = 510$ нм (см. рис. 30). H ниже, чем у всех других теллуридов; VHN 21—49. Ковкий. Полируется довольно плохо, почти всегда сохраняются мелкие царапины. Подвержен световому травлению.

Отл. Сходен с петцитом, штютцитом, акантитом, колорадоитом. В мелких выделениях очень похож на галенит. Петцит, галенит и колорадоит изотропные. У колорадоита характерный профиль спектра отраж. Для штютцита не характерны пластинчатые и гранобластовые мелкозернистые структуры превращения, столь обычные для гипогенного гессита (образованного при температуре выше 145°). От других теллуридов серебра гессит отличается по спектрам отраж. (см. рис. 30) и особенно надежно по рентгенограммам.

Нахожд. Один из наиболее распространенных теллуридов. В небольших количествах в низкотемпературных гидротермальных ассоц. в колчеданных, колчеданно-полиметаллических и иных м-ниях. Характерный минерал плутоногенных и особенно вулканогенных золото-теллуридных и Au-Ag м-ний. Крупные скопления установлены

на верхних горизонтах серебро-колчеданно-полиметаллических м-ний. Ассоц.: петцит, теллуриды Ag, сильванит, галенит, алтаит, теллуриды Bi, сурьмяные сульфосоли Pb, блеклые руды, нагиагит, низкопробное золото. Для гессита гидротермальных м-ний запрещенные парагенезы: высокопробное золото, калаверит, креннерит, теллур. Гипергенный гессит установлен в зоне цементации многих золото-теллуридных и теллурсодержащих колчеданных м-ний. Гальки в россыпях.

Изуч. Сп-105 —*Башкешлак* (Кавказ).

Рентген. 7,14 (0,5) (?); 4,53 (1) (101); 3,75 (0,5) (002,$\bar{1}$11); 3,40 (0,5) (?); 3,19 (2) (111); 3,01 (6) ($\bar{2}$11); 2,87 (8) (210, 012); 2,80 (0,5) (?); 2,69 (0,5) ($\bar{2}$12); 2,45 (1) (211); 2,31 (10) ($\bar{1}$13); 2,25 (7) (202); 2,20 (2) (?); 2,14 (6) (301); 2,01 (1) ($\bar{2}$04, $\bar{4}$02); 1,957 (0,5) ($\bar{1}$22); 1,926 (0,5) (?); 1,845 (0,5) (400); 1,824 (0,5) (114); 1,771 (1) (221,122); 1,734 (0,5) (014); 1,695 (1) ($\bar{4}$04); 1,600 (0,5) ($\bar{3}$23); 1,585 (0,5) (222); 1,544 (0,5) (321); 1,447 (2) (324); 1,389 (4) (322).

Штютцит Stuetzite $Ag_{5-x}Te_3$ ($x = 0$—0,41) (1878)

Гекс. с. *C6/mmm*; $a = 13{,}44$; $c = 8{,}458$; $Z = 7$ (Ag_5Te_3, рассчитано по рентгенограмме ASTM 18-1187); $a = 13{,}41$; $c = 8{,}48$ ($Ag_{4.21}Te_3$, рассчитано по рентгенограмме ASTM 4-0820); устойчив ниже 265—295°, совместно с гесситом образуется из твердого раствора состава $Ag_{17}Te_9$ ниже 120°.

Хим. Варьирует от Ag_5Te_3 (Ag 58,48; Te 41,52) до $Ag_{4.20}Te_3$ (Ag 54,72; Te 45,28). Составы сосуществующих штютцита и сильванита могут служить геотермометром для гидротермальных руд.

Микр. Мелкозернистые агрегаты, зерна неправильной формы. Отраж., близкое к галениту и петциту; цв. серовато-белый. Двуотраж. слабое, часто почти не заметное. Анизотропия отчетливая. Дв. и в. р. нет. Характерна смена оптического знака отраж. при ~ 540 нм (см. рис. 30). VHN 82—127. Полируется хорошо.

Отл. От сходных теллуридов Ag отличается по рентгенограмме, от гессита — также повышенной тв., от эмпрессита — значительно меньшим двуотраж.

Нахожд. Редкий низкотемпературный гидротермальный минерал вулканогенных Ag, Au-Ag, золото-теллуридных, сереброколчеданных полиметаллических м-ний; ассоц.: гессит, эмпрессит, сильванит, теллур, теллурантимонит, алтаит, колорадоит, костовит, блеклая руда, селениды. Запрещенный парагенез для штютцита в гидротермальных м-ниях — золото, калаверит, креннерит.

Рентген. Ag_5Te_3: 11,7 (3) (100); 6,86 (1) (101); 5,27 (0,5) (111); 4,81 (1) (201); 4,41 (3) (120); 3,97 (1) (012); 3,91 (3) (121); 3,58 (4) (112); 3,53 (5) (031); 3,37 (4) (220); 3,23 (2) (130); 3,12 (4) (221); 3,05 (6) (122); 3,02 (4) (131); 2,91 (1) (040); 2,86 (0,5) (302); 2,82 (2) (003); 2,75 (0,5) (041); 2,67 (2) (320); 2,63 (6) (222); 2,60 (1) (113); 2,57 (7) (132); 2,55 (6) (231); 2,54 (1) (023); 2,43 (1) (141); 2,40 (3) (042); 2,37 (2) (213);

2,33 (3) (050); 2,28 (3) (033); 2,26 (3) (232); 2,24 (4) (051); 2,22 (0,5) (330); 2,20 (2) (240); 2,18 (10) (142); 2,17 (6) (331); 2,163 (4) (223); 2,127 (2) (241); 2,118 (4) (133); 2,095 (1) (004); 2,084 (0,5) (014); 2,044 (3) (151); 2,032 (3) (043); 1,982 (1) (332); 1,962 (0,5) (060); 1,943 (4) (233); 1,917 (1) (340); 1,907 (3) (124); 1,888 (2) (152); 1,877 (3) (341); 1,866 (2) (250); 1,856 (0,5) (034); 1,823 (2) (251); 1,796 (2) (224); 1,770 (2) (134); 1,757 (2) (333); 1,708 (2) (252); 1,681 (4) (513) (ASTM 18-1187).

Эмпрессит Empressite AgTe (1914)

Ромб. с. *Pmnm*; $a = 8{,}888$; $b = 20{,}010$; $c = 4{,}609$ (рассчитаны по рентгенограмме, приведенной Р. Хонеа в 1964 г.); устойчив ниже 170—210°, выше распадается на штютцит и теллур.

Хим. Близок к стехиометрическому: Ag 45,81; Te 54,19.

Микр. Неправильной формы зерна, агрегаты. Наиболее светлый и наиболее двуотраж. из теллуридов Ag (см. рис. 30). Двуотраж. с изменением цв. от серо-белого до кремово-белого; сильно анизотропен со слабыми цв. эфф. в коричневато-голубоватых тонах. *H* близок к галениту и теллуридам Au-Ag; VHN 98—147 (ср. 120), значительно выше, чем у похожего петцита. Полируется хорошо.

Отл. Сходен с гесситом и штютцитом, в мелких выделениях с галенитом и акантитом. Хорошо различается по рентгенограммам. Выделения гессита и акантита, как правило, представляют мелкозернистые агрегаты-параморфозы. Штютцит отличается существенно меньшим двуотраж.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных золото-теллуридных, Au-Ag, сереброколчеданно-полиметаллических м-ниях; ассоц.; другие теллуриды Ag, алтаит, сильванит, петцит, колорадоит, теллурантимонит. Запрещенные ассоц.: самородное золото, калаверит, креннерит.

Рентген. 10,04 (4) (020); 4,37 (1) (140); 4,02 (4) (111); 3,81 (6) (031); 3,33 (6) (060); 3,18 (5) (141); 3,04 (1) (221); 2,97 (0,5) (250); 2,89 (4) (151); 2,85 (3) (320); 2,70 (10) (061); 2,60 (2) (161); 2,51 (2) (340); 2,43 (2) (071); 2,32 (4) (261); 2,29 (1) (012); 2,23 (8) (400); 2,18 (3) (280); 2,14 (5) (181); 2,12 (4) (132); 2,04 (5) (202); 2,01 (4) (0.10.0); 1,962 (1) (421); 1,920 (1) (431); 1,864 (0,5) (441); 1,833 (0,5) (2.10.0); 1,796 (1) (072); 1,771 (1) (510); 1,757 (2) (332); 1,650 (1) (511); 1,604 (1) (092); 1,578 (2) (422); 1,562 (1) (481); 1,516 (1) (1.13.0); 1,490 (4) (1.10.2); 1,471 (1) (382); 1,436 (2) (223); 1,421 (1) (640); 1,403 (1) (512); 1,363 (3) (0.14.1) [40].

Хенриит Henryite $Ag_3Cu_4Te_4$ (1983)

Куб. с. *Fm3m* (?); $a = 12{,}20$; $Z = 8$.

Хим. Ag 30,2; Cu 22,3; Te 47,5; Σ 100 мз.

Микр. Мелкие ксеноморфные выделения. Светло-голубой, но темнее гессита и петцита (см. рис. 30). В контакте с алтаитом и сильванитом — темно-серый, в контакте с риккардитом — заметно более светлый. Изотропен. VHN 109—119.

Нахожд. В агрегатах петцита и гессита, ассоц. с пиритом в вулканогенном (телетермальном) Au-Ag м-нии. Содержит реликтовые включения сильванита, риккардита, петцита, замещается гесситом.

Рентген. 7,03 (6); 6,10 (3); 4,31 (5); 3,514 (5); 3,043 (8); 2,794 (3); 2,720 (5); 2,487 (3); 2,156 (10); 1,760 (3); 1,525 (5); 1,365 (6).

ПЛЮМБОТЕЛЛУРИДЫ, СТИБИОТЕЛЛУРИДЫ Au, Ag, Cu, Fe

Нагиагит Nagyagite $AuPb_5$ $(Te, Sb)_4S_6$ (1845)

Тетр. с. (?) $P\bar{4}$ (?); $a = 4{,}15$; $c = 30{,}12$; $Z = 10$.

Хим. *Сэкэрымб* (СРР): Au 10,42; Ag следы; Tl 0,02; Pb 54,14; Cd 0,09; Zn 0,02; Mn 0,06; Fe 0,03; Cu следы; Te 17,49; Sb 8,33; Bi 0,43; As 0,16; S 10,31; Se 0,05; Σ101,55[мэ]; СЭМ; формула:

$$Au_{1,01}(Pb_{4,97}Cd_{0,02}Zn_{0,01}Mn_{0,02}Fe_{0,01})_{5,04} \times$$
$$\times (Te_{2,60}Sb_{1,24}Bi_{0,04}As_{0,04})_{3,92}(S_{6,02}Se_{0,01})_{6,03}.$$

Величина Au : Pb составляет 1 : 5; Te : Sb — 2 : 1. Отдельные зерна обогащены Sb и обеднены Te (Te : Sb $\simeq$ 1,5); ΣTe и Sb постоянна.

Микр. Таблитчатые кристаллы, нередко изогнутые, листоватые агрегаты, реже зернистые образования. Отраж. умеренное, близкое с галенитом и петцитом. Двуотраж. заметное от голубоватого в светлом положении до зеленоватого (оливкового) — в темном. В контакте с галенитом нагиагит темнее, голубовато-зеленоватый, галенит в сростках с нагиагитом — сиреневатый и чуть светлее, гессит — коричневатый и несколько темнее. Отчетливо анизотропен с заметными, но несильными цв. эфф. Спектры отраж. нормального профиля, непараллельны, сходятся к ИК-области (см. рис. 30). Характерна удлиненно-таблитчатая форма выделений, сов. сп., нередко сложные паркетообразные дв. *H* низкий, ниже сильванита; VHN 39—129. Полируется хорошо.

Нахожд. Типичный минерал вулканогенных м-ний Au (*Сэкэрымб*, *Бая-де-Арьеш*, СРР; *Калгурли*, Австралия; м-ние в АрмССР), ассоц.: алтаит, сильванит, гессит, петцит, креннерит, бурнонит, галенит, золото, электрум.

Изуч. Сп.-270 —*Сэкэрымб*, обр. № 101/2 Горного музея; *Бая-де-Арьеш*.

Рентген. 3,65 (1) (104); 3,41 (0,5) (105); 3,02 (10) (0.0.10); 2,92 (0,5) (111); 2,81 (6) (113); 2,65 (1) (115); 2,43 (4) (117); 2,31 (0,5) (118); 2,08 (3) (200); 2,01 (0,5) (204); 1,910 (1) (1.0.14); 1,817 (3) (208); 1,704 (3) (2.0.10); 1,653 (0,5) (1.1.15); 1,506 (6) (0.0.20); 1,463 (2) (220); 1,386 (0,5) (227); 1,344 (1) (229); $a = 4{,}155$; $c = 30{,}115$.

* * *

Минералы гр. билибинскита, описанные ниже, по хим. составу отвечают плюмбо- и стибиоплюмботеллуридам, богатым металлами. Рентгенограммы этих минералов имеют сходство с рентгенограммой золота и отличаются для каждого минерала наличием своих сверхструктурных отраж. средней и слабой интенсивности. По мере увеличения содержания Au, уменьшения содержания Te, увеличения

значения Au/(Cu, Fe) в целом для минералов гр. возрастает отраж., а профили спектров отраж. становятся все более похожими на спектр отраж. золота. Л. И. Бочек и др. в 1982 г. описаны минералы, оптически сходные с билибинскитом и с безсмертновитом и ошибочно отнесенные к этим минералам, они имеют отличные от билибинскита и безсмертновита рентгенограммы, иной химический состав, несколько иные оптические свойства.

Безсмертновит Bessmertnovite Au_4Cu (Te, Pb) (1979)

Ромб. с.; $a = 24{,}21$; $b = 4{,}025$; $c = 16{,}42$, разупорядоченная ГЦК псевдоячейка $a \simeq 6b$, $c \simeq 4b$.

Хим. М-ние на Северо-Востоке СССР: Au 72,3; Ag 3,77; Cu 6,27; Fe 0,72; Pb 8,95; Te 7,16; Σ99,2[мз]; СЭМ; формула: $(Au_{3.59}Ag_{0.34})_{3.93}$ $(Cu_{0.97}$ $Fe_{0.12})_{1.09}$ $(Te_{0.55}$ $Pb_{0.43})_{0.98}$.

Микр.[м] Ксеноморфные выделения, уплощенные зерна. Отраж. высокое; цв. насыщенный оранжево-желтый (апельсиновый), по тональности близок к медистому золоту. Кривая дисперсия R подобна кривой R золота; абс. значения R на 20—40 % ниже, чем у золота (рис. 32). Характерна чрезвычайно высокая насыщенность цв., самая высокая из всех известных рудных минералов: $p = 62$ % (λ 582 нм), у золота $p = 48$ % (λ 577 нм). Двуотраж. не наблюдалось. Слабо анизотропен в нейтральных, серых тонах. H заметно выше, чем у золота; VHN 310—374 (ср. 355). Сп. отсутствует. Металлическая электропроводность.

Нахожд. В зоне цементации золото-теллуридного м-ния, ассоц.: медистое золото, билибинскит, Cu-богдановит, теллуриты Cu, Fe и Pb.

Изуч. Сп.-42 — м-ние на Северо-Востоке СССР.

Рентген. 3,30 (7) (312); 3,03 (1) (800); 2,61 (8) (710); 2,335 (10) (215); 2,02 (1) (12.0.0); 1,744 (9) (720); 1,658 (1) (723); 1,572 (1) (625); 1,480 (1) (11.2.1); 1,427 (3) (128); 1,405 (4) (628); 1,307 (2) (332).

Богдановит Bogdanovite $Au_5Cu_{3-1}Fe_{0-2}$(Te, Pb)$_2$ (1979)

Примитивная псевдокуб. ячейка — субъячейка гранецентрированная кубическая (ГЦК); $a' = 4{,}087$; представляет сверхструктуру внедрения.

Хим. Богдановит медистый и железистый (м-ние на Северо-Востоке СССР): Au 60,5 и 60,35; Ag 2,79 и 2,19; Cu 13,17 и 4,63; Fe 0,85 и 9,33; Te 9,92 и 9,99; Se 0,09 и 0,07; Pb 12,13 и 12,83; Σ99,5 и 99,4[мз]; СЭМ; формулы:

$(Au_{4.44}$ $Ag_{0.37})_{4.81}$ $(Cu_{2.99}Fe_{0.22})_{3.21}$ $(Te_{1.12}Se_{0.02}Pb_{0.84})_{1.98}$ и

$(Au_{4.36}$ $Ag_{0.29})_{4.62}$ $(Cu_{1.03}Fe_{2.36})_{3.39}$ $(Te_{1.11}Se_{0.01}Pb_{0.87})_{1.99}$.

Микр.[м] Сростки мелких различно ориентированных зерен, радиально-лучистые агрегаты. В светлом положении по цв. напоминает борнит, в темном — необыкновенно своеобразен: характерны яркие, резко контрастные цв. эфф., проявляющиеся и с одним, и с двумя николями, что создает яркую пятнистую картину в шлифе. Отраж. уме-

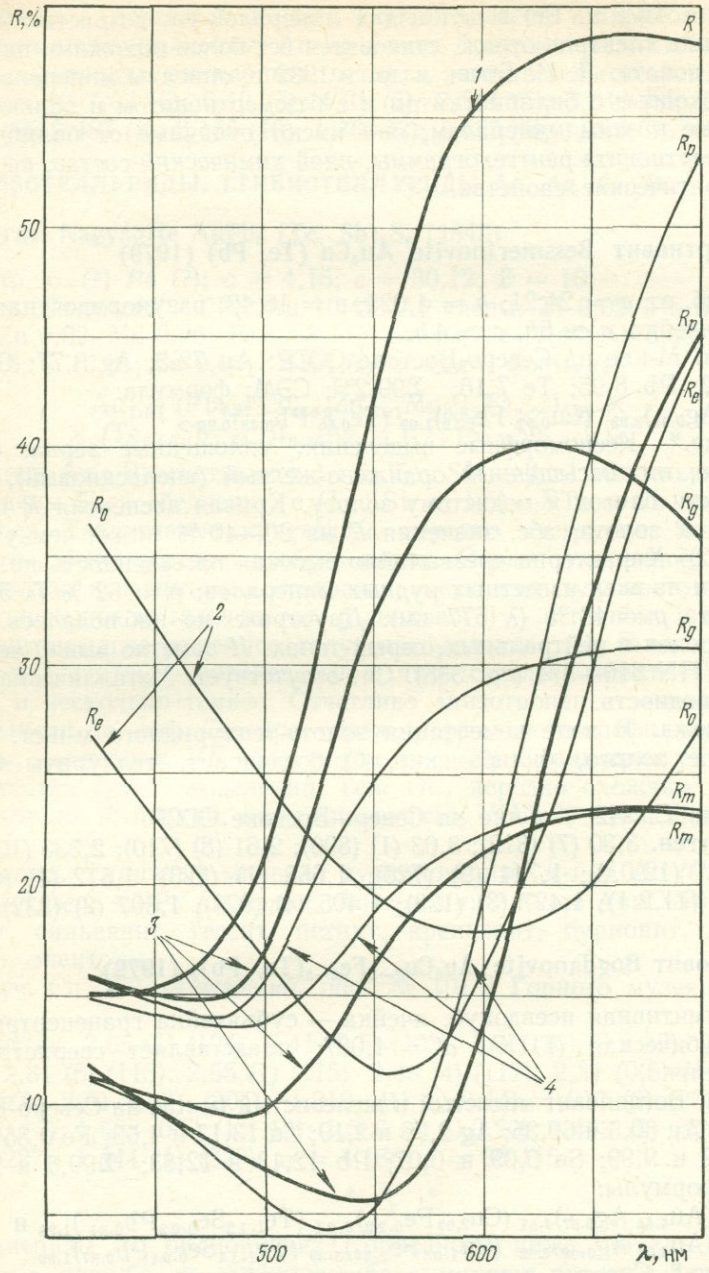


Рис. 32. Спектры отражения безсмертновита (1), риккардита (2), богдановита Си (3), билибинскита (4)

ренное, в зависимости от сечения изменяется от слабого до среднего, очень сильно меняется с изменением длины волны (рис. 33). В разных сечениях цв. меняется от пурпурно-малинового или серовато-лилового до золотисто-желтого или серовато-желтого. В цветовой гамме преобладают довольно яркие золотисто-желтые тона. Эффекты анизотропии очень сильные, яркие, в ало-красной, золотисто-желтой, фиолетово-красной гаммах. Насыщенность цв. у богдановита почти такая же, как у золота (48 %). Спектры отраж. богдановита индивидуальны, имеют сложные профили с четко выраженными широкими минимумами и максимумами, в которых резко преобладает аномальный тип дисперсии. Спектры отраж. медистого и железистого богдановита подобны и близки по общему уровню (см. рис. 33). Профиль кривой R_g подобен профилю R золота. При 670 нм происходит смена оптического знака отраж. Оптически двуосный. H заметно выше, чем у золота; VHN медистого богдановита 235—270 (ср. 255), железистого 290—354 (ср. 320). Полируется хорошо. Имеет металлический тип проводимости.

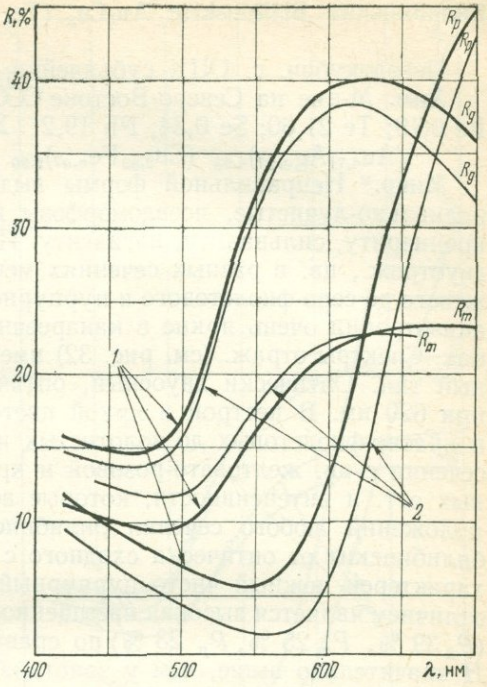


Рис. 33. Спектры отражения богдановита-Cu (1) и богдановита-Fe (2)

Отл. От билибинскита отличается преобладанием в цветовой гамме довольно ярких золотисто-желтых тонов. Оптически сходен с плюмботеллуридами Au, Cu и Fe иного состава, от которых отличается по рентгенограмме и повышенной микротвердостью.

Нахожд. В зоне цементации вулканогенных и плутоногенных золото-теллуридных м-ний; ассоц.: билибинскит, медистое золото, теллуриты Cu — Fe; Cu; Fe — Pb; Fe. В зоне окисления замещается агрегатами тонкодисперсного золота, теллуритом, теллуритами Cu; Cu — Fe.

Изуч. Сп.-55-1,2 — м-ние на Северо-Востоке СССР.

Рентген. Сп-55-2: 4,06 (0,5) (100); 2,90 (0,5) (110); 2,36 (10) (111); 2,15 (1) (?); 2,045 (6) (200); 1,447 (6) (220); богдановит-Fe

Билибинскит Bilibinskite Au_5Cu_3 (Te, Pb)$_5$ (1978)

Псевдокубич. с. ОЦК субъячейка; $a' = 10{,}03$; $Z = 4$.

Хим. М-ние на Северо-Востоке СССР: Au 48,4; Ag 1,54; Cu 9,35; Fe 0,19; Te 21,60; Se 0,34; Pb 19,2; Σ100,6[мз]; СЭМ; формула:

$(Au_{4,71}Ag_{0,27})_{4,98}$ $(Cu_{2,83}Fe_{0,07})_{2,90}$ $(Te_{3,25}Se_{0,08}Pb_{1,78})_{5,11}$.

Микр.[м] Неправильной формы выделения, агрегаты зерен часто радиально-лучистые, псевдоморфозы и параморфозы по калаверите, креннериту, сильваниту, нагиагиту. Исключительно сильные цв. эфф. двуотраж., цв. в разных сечениях меняется от борнитоподобного бежевого до серо-фиолетового и пурпурно-красно-фиолетового. Эффекты анизотропии очень яркие в канареечно-желтых, огненно-красных тонах. Спектры отраж. (см. рис. 32) имеют резко выраженный аномальный тип. Оптически двуосный, оптический знак отраж. изменяется при 620 нм. В пестрой и яркой цветовой гамме (от грязно-лиловых и красно-фиолетовых до золотистых и кремово-желтых) преобладают сечения с цв. желтовато-розовой и кремово-желтой тональности разных отт. и интенсивности, которые всегда присутствуют в одном из положений любого сечения билибинскита. Это позволяет отличать билибинскит от оптически сходного с ним риккардита, для которого характерен нежный чисто пурпурный цв. Еще одним существенным отличием является высокая насыщенность цв. билибинскита ($p > 25$ %) (P_g 39 %, P_m 25 %, P_p 23 %) по сравнению с риккардитом ($p \sim 5$ %). H значительно выше, чем у золота, близок к безсмертновиту; VHN 329—419 (ср. 380). Билибинскит — наиболее твердый из борнитоподобных минералов гр. билибинскита — богдановита. Полируется очень хорошо. Имеет металлический тип проводимости.

Отл. Легко отличим от борнита по двуотражению и анизотропии; от риккардита по особенностям двуотраж. и спектрам отраж.; от богдановита отсутствием яркого золотисто-кремового цв. при одном николе, по спектрам отраж. и рентгенограмме. Оптически неотличим от других малоизученных плюмботеллуридов Au, Cu и Fe, имеющих существенно иной состав.

Нахожд. В зоне цементации вулканогенных и плутоногенных золото-теллуридных месторождений; ассоц.: теллуриты Cu—Fe; Cu—Fe—Pb, другие плюмботеллуриды Au—Cu, гипергенное медистое золото. В зоне окисления замещается агрегатами тонкодисперсного золота, балякинита, теллуратов и гидроксидов Fe.

Изуч. Сп.-51 — м-ние на Северо-Востоке СССР.

Рентген. 5,01 (1,5) (200); 4,16 (0,5) (211); 3,47 (0,5) (220); 3,29 (0,5) (300); 3,19 (1) (310); 3,06 (3) (?); 3,00 (1) (311); 2,73 (0,5) (320); 2,37 (10) (411); 2,05 (7) (422); 1,752 (0,5) (522); 1,724 (1) (530); 1,448 (6) (444); 1,301 (2) (553); 1,232 (8) (811).

Билибинскит-Sb Bilibinskite antimonian Au_6Cu_2 (Te, Pb, Sb)$_5$ (1982)

Хим. М-ние в Саянах: Au 58,29; Ag 2,80; Cu 5,39; Fe 0,17; Te 23,04: Pb 6,77; Bi 1,66; Sb 3,74; Se 0,13; S 0,14; Σ102,13[мз]; СЭМ; формула. $(Au_{5,76}Ag_{0,22})_{5,98}(Cu_{1,65}Fe_{0,06}Ag_{0,29})_{2,00}(Te_{3,52}Pb_{0,64}Bi_{0,15}Sb_{0,60}Se_{0,03}S_{0,09})_{5,02}$:

Микр.[м] Метасоматические вростки, каемки замещения и полные псевдоморфозы по *креннериту и калаверииту*, каймы обрастания на гипогенном золоте. Нередко концентрически-зональные радиально-лучистые («колломорфные») агрегаты. Сходен с билибинскитом. Цв. минерала чрезвычайно пестрый, пурпурный, изменяется в зависимости от сечения от борнитоподобного до фиолетово-серого и пурпурно-красного. Характерны очень сильные цв. эфф. анизотропии в огненно-красных тонах. Спектры отраж. близки к спектрам *билибинскита* (рис. 34), смена оптического знака отраж. происходит около 650 нм. Минерал оптически двуосный. VHN 243—345, заметно ниже, чем у билибинскита, у «колломорфных» выделений 153—167.

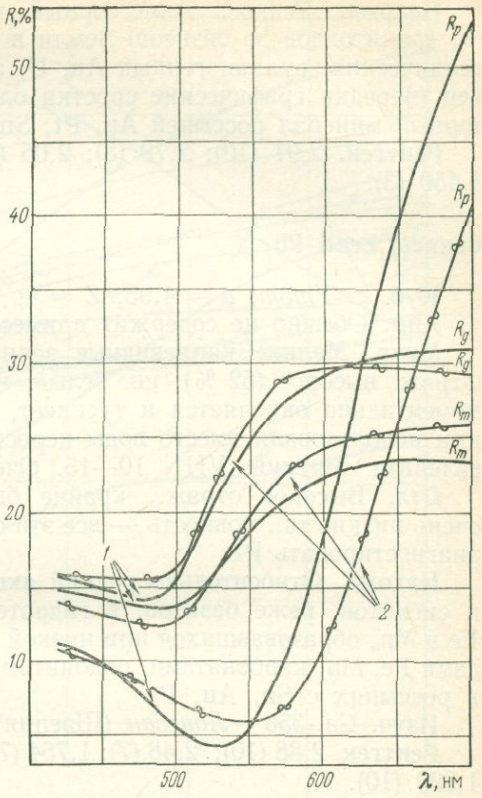


Рис. 34. Спектры отражения билибинскита (1) и сурьмянистого билибинскита (2)

Нахожд. Развит в зоне цементации, *где замещает гипогенные* креннерит и калаверит, ассоц. с Te-тетраэдритом, алтаитом и теллуровисмутитом. Билибинскит-Sb ассоц. с медистым богдановитом, теллуритом, балякинитом, низкоотражающим плюмботеллуридом Au—Cu.

Изуч. Сп.-51-2 — м-ние в Саянах, колл. Е. И. Громовой.

Рентген. Идентична рентгенограмме билибинскита без сурьмы.

САМОРОДНЫЕ Sn, Pb, Bi

Олово Tin Sn (1887)

Тетр. с. $I4_1/amd$; $a = 5{,}83$; $c = 3{,}18$; $Z = 4$; $T_{пл}$ 232°; ниже 18° белое олово β-Sn переходит в серое олово α-Sn, куб. с. $Fm3m$; $a = 6{,}47$, $Z = 8$.

Хим. Обычно чистое; иногда примеси достигают: Pb 11; Zn 5; Cu 3,5; Fe 1.

Микр. Мелкие выделения неправильной формы и каплевидные, *пластинки*, чешуйки. Отраж. высокое; цв. белый со слабым желтоватым отт., двуотраж. не заметно, эффекты анизотропии слабые. VHN 35—40. Ковкое, полируется плохо.

Нахожд. Редкое. Акцессорный минерал магматических пород (от гранитоидов до базитов) Земли и Луны. В м-ниях олово-полиметаллических, вулканогенных Au, U; ассоц.: касситерит, золото, свинец (нередки графические сростки олова и свинца), висмут. Характерный минерал россыпей Au, Pt, Sn.

Рентген. 2,91 (10); 2,79 (8); 2,05 (4); 2,01 (8); 1,65 (2); 1,480 (2); 1,450 (3).

Свинец Lead Pb

Куб. с. $Fm3m$; $a = 4{,}95$; $Z = 4$; $T_{пл}$ 327°.

Хим. Обычно не содержит примесей.

Микр. Мелкие каплевидные зерна, чешуйки, зернистые массы. Отраж. высокое (62 %); цв. белый; изотропен. На воздухе и в воде моментально окисляется и тускнеет, поэтому авторы при полировании использовали вместо воды керосин, *H* значительно ниже, чем у галенита. Мягкий. VHN 10—15. Очень ковкий, полируется плохо.

Отл. Высокое отраж., крайне быстрое окисление поверхности, очень низкие тв., ковкость — все эти особенности позволяют уверенно диагностировать Pb.

Нахожд. Относительно редкий акцессорный минерал гранитоидов и сиенитов, реже базитов; в гидротермальных и скарновых м-ниях Fe и Mn, образовавшихся при низкой фугитивности S, в ассоц. с оксидами Fe, Mn, карбонатами, родонитом, галенитом, в урановых м-ниях; в россыпях с Sn, Au, Pt.

Изуч. Сп.-356 —*Лонгбан* (Швеция), обр. 17/6 Горного музея.

Рентген. 2,88 (10); 2,48 (7); 1,754 (7); 1,501 (10); 1,432 (3); 1,139 (10); 1,090 (10).

Висмут Bismuth Bi (1873)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}547$; $c = 11{,}85$; $Z = 6$; 6-слойная структура; $T_{пл}$ 271°.

Хим. Обычно чистый; примеси достигают: Pb 1; Te 1; Sb 0,6; Ag 0,5; Cu 0,3; Se 0,2.

Микр. Ксеноморфные выделения, тонкозернистые, листоватые агрегаты, дендриты. Отраж. высокое (67—53 %); цв. кремово-розоватый; двуотраж. отчетливое; сильно анизотропен; одноосный отрицательный. Характерны полисинт. дв. Оба спектра отраж. аномального профиля с крутым подъемом к красной области (рис. 35). *H* крайне низкий; VHN 9—26. Полируется плохо.

Отл. В мелких выделениях похож на серебро и дискразит, отличается анизотропией, наличием полисинт., дв., очень низким *H*.

Нахожд. Обычно встречается в небольших количествах. Характерный поздний минерал грейзеновых, скарновых и кварцево-жильных м-ний W, Mo, Sn, Be, Bi; ассоц.: висмутин, икунолит, пирротин, теллуриды, сульфотеллуриды и сульфосоли Bi, арсенопирит. Типичен для м-ний 5-элементной формации, ассоц.: серебро, акантит, сульфосоли Ag, галенит, арсениды Co и Ni. В вулканогенных м-ниях

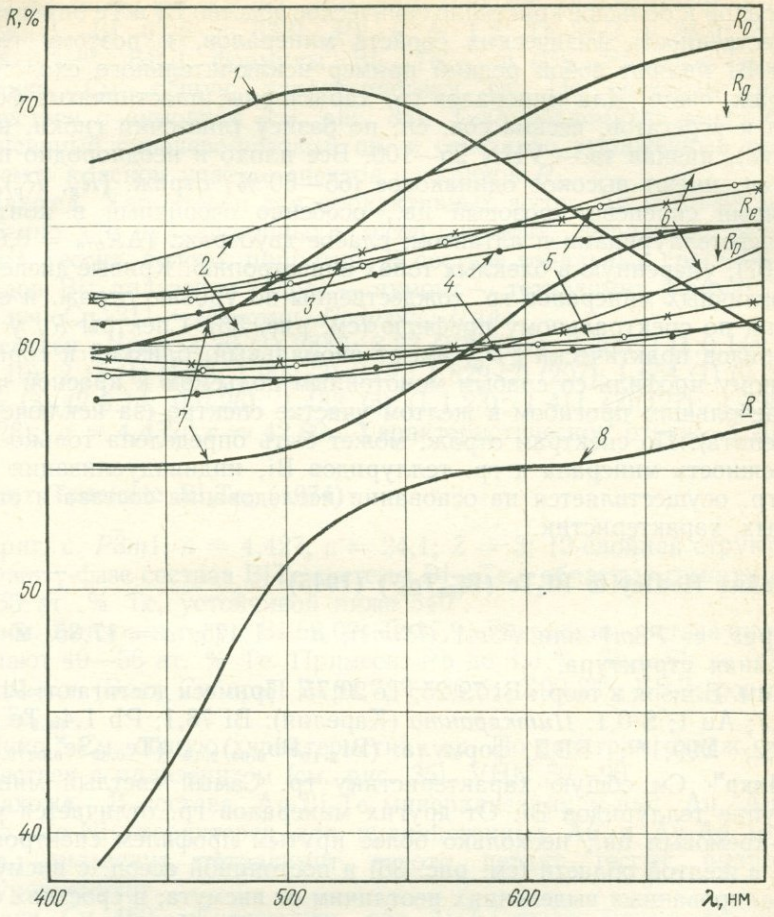


Рис. 35. Спектры отражения алтаита (1), хедлейита (2), цумоита (3), раклиджита (4), пильзенита (5), теллуровисмутита (6), висмута (7), пирита (8)

Sn и Au ассоц. с широким комплексом сульфосолей Bi, Pb, Sn, Cu, с сульфоселенотеллуридами Bi. Известны новообразования висмута в зоне выветривания; гальки в россыпях.

Изуч. Сп.-81 —*Кара-Оба* (КазССР).

Рентген. Сп.-81. 3,97 (1) (003); 3,28 (10) (102); 2,37 (7) (104); 2,28 (8) (110); 2,03 (1) (105); 1,970 (2) (006); 1,870 (5) (202); 1,639 (4) (204); 1,554 (1) (107); 1,513 (0,5) (205); 1,490 (4) (116); 1,445(6) (212); 1,388 (1) (108); 1,332 (3) (214); 1,312 (2) (300).

ТЕЛЛУРИДЫ Bi (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Bi—Te)

Все минералы системы имеют однотипные слоистые структуры с послойным расположением атомов Bi и Te и с частичной заменой в слоях Bi на Te и наоборот. Близость кристаллических структур

минералов и большое кристаллохимическое родство Bi и Te определили тождественность физических свойств минералов, и поэтому теллуриды Bi являют собой редкий пример исключительного сходства и в отраж. свете. Для минералов гр. характерны: пластинчатые формы зерен и агрегатов, весьма сов. сп. по базису (листочки гибки, но не упруги), низкая тв.— VHN 25—100. Все плохо и неоднородно полируются, имеют высокое одинаковое (65—60 %) отраж. (R_g, R_p), отчетливый сиреневато-розовый цв., особенно очевидный в контакте с сульфотеллуридами и алтаитом; слабое двуотраж. ($\Delta R_{\text{отн}} = 0{,}06 \div 0{,}07$), умеренную в блеклых тонах анизотропию. Кривые дисперсии R различных минералов гр. тождественны по уровню отраж. и очень близки по спектральному профилю (см. рис. 35). Спектры R_g у всех минералов практически $\| R_p$, имеют аномальный, близкий к горизонтальному профиль со слабым монотонным подъемом к красной части и с небольшим прогибом в желтом участке спектра (за исключением хедлейита). По спектрам отраж. может быть определена только принадлежность минерала к гр. теллуридов Bi, индивидуализация внутри гр. осуществляется на основании исследования состава и структурных характеристик.

Хедлейит Hedleyite Bi_2Te ($Bi_{14}Te_6$?) (1945)

Триг. с. $P3m1$ или $P\bar{3}m1$ ($R\bar{3}m$?); $a = 1{,}475$; $c = 17{,}85$; $Z = 3$; 9-слойная структура.

Хим. Близок к теор.: Bi 79,25; Te 20,75. Примеси достигают: Pb 1,5; Se 0,7; Au 1; S 0,1. *Питкяранта* (Карелия): Bi 78,1; Pb 1,4; Te 19,4; Se 0,2; $\Sigma 99{,}1^{\text{мз}}$; БВД, формула: $(Bi_{2,10}Pb_{0,04})_{2,14}$ $(Te_{0,85}Se_{0,01})_{0,86}$.

Микр^{м}. См. общую характеристику гр. Самый светлый минерал в группе теллуридов Bi. От других минералов гр. отличается розовато-кремовым цв., несколько более крутым профилем спектров R_g и R_p в желтой области (см. рис. 35) и постоянной ассоц. с висмутом. В изолированных выделениях неотличим от висмута; в сростках с висмутом — нейтрально-белый, чуть голубоватый. H выше, чем у висмута. VHN 45—100, обычно 50—65.

Нахожд. Редкий. В м-ниях, богатых самородным висмутом и теллуридами: в скарново-шеелитовых, реже в м-ниях Sn и Au. Ассоц. с висмутом, теллуржозеитом, пирротином, золотом.

Изуч. Сп.-445 —*Питкяранта*.

Рентген. Сп.-445: 4,45 (1) (004); 3,25 (10) (103); 2,37 (7) (106); 2,24 (3) (110); 2,12 (1) (113); 1,994 (4) (009); 1,843 (3) (203); 1,629 (4) (206); 1,544 (0,5) (207); 1,488 (5) (119); 1,424 (3) (123); 1,393 (2) (124); 1,315 (3) (126); $a = 4{,}475$; $c = 17{,}96$. Характеристические отраж. 4,45 и 2,12.

Пильзенит Pilsenite Bi_4Te_3

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}437$; $c = 42{,}0$; $Z = 3$; 21-слойная структура; этой структуре может отвечать и другой вариант формулы — $Bi_{11}Te_{10}$

Хим. Колеблется в пределах 44—47 ат. % Te, иногда примеси Pb

(до 6 %) и Ag (до 3,9 %). *Ильковцы-Подулки* (Закарпатье) и *Цумо* (Япония): Bi 67,6 и 63,9; Pb 0 и 1,2; Te 34,2 и 34,9; Σ101,8 и 100,0 %[мз]; БВД; формулы: $Bi_{3,83}Te_{3,17}$ и $(Bi_{3,65}Pb_{0,07})_{3,72}Te_{3,28}$.

Микр. См. общую характеристику гр. По спектрам отраж. тождествен с цумоитом (см. рис. 35). Теллуровисмутит имеет более интенсивный сиренево-розовый цв. и отчетливо выраженный крутой подъем в красном участке спектра на кривой R_p.

Нахожд. *Характерен для продуктивных ассоц. Au и Au-Ag м-ний* (особенно для вулканогенных); ассоц.: цумоит, тетрадимит, жозеит, верлит, гессит, золото, пирротин. В составе зональных сростков теллуридов Bi: пильзенит (ядро) — цумоит — тетрадимит (кайма).

Изуч. Сп.-311 —*Ильковцы-Подулки*, *Цумо*.

Рентген. *Цумо*: 4,70 (1) (009); 3,23 (10) (017); 2,36 (7) (1.0.14); 2,22 (3) (110); 2,18 (1) (113); 1,999 (3) (119); 1,829 (2) (207); 1,654 (1) (0.0.23); 1,615 (3) (2.0.14; 0.0.26); 1,483 (5) (1.1.23); 1,411 (3)(127); 1,395 (2) (0.1.28); $a = 4{,}432$; $c = 42{,}00$. Характеристическое отраж. 4,70.

Цумоит Tsumoite Bi_2Te_2 (1974)

Триг. с. $P\bar{3}m1$; $a = 4{,}427$; $c = 24{,}1$; $Z = 3$; 12-слойная структура; отвечает γ-фазе состава BiTe системы Bi—Te с областью гомогенности 44—55 ат. % Te, *устойчивой ниже 540°*.

Хим. Близок к теор.: Bi 62,09; Te 37,91. Вариации состава цумоита отвечают 49—56 ат. % Te. Примеси: Pb до 3,3 %, Se и Sb до 0,8 %. *Бурчагыкан* (Вост. Сибирь): Bi 62,7; Te 36,5; Σ99,2[мз]; БВД; формула: $Bi_{2,05}Te_{1,95}$.

Микр.[м] См. общую характеристику гр. По спектрам отраж. и цв. тождествен с пильзенитом (см. рис. 35). VHN 50—90.

Нахожд. В составе Au-Bi-Te минерализации м-ний Au, Au-Ag, W-Mo, Co-Ni; характерен для вулканогенных Au и Au-Ag м-ний; ассоц.: пильзенит, тетрадимит, золото, петцит, гессит, пирротин, теллуровисмутит.

Изуч. Сп.-460 —*Бурчагыкан*, обр. 31/7 Горного музея; обр. м-ний Кавказа, Венгрии, Канады.

Рентген. Сп.-460: 4,82 (1) (005); 3,23 (10) (014); 2,37 (7) (018); 2,21 (3) (110); 2,00 (4) (115); 1,827 (2) (024); 1,666 (1) (027); 1,615 (3) (0.0.15); 1,486 (5) (0.1.15); 1,408 (2) (124); 1,398 (2) (0.1.16); 1,357 (0,5) (126); $a = 4{,}427$; $c = 24{,}06$. Характеристическое отраж. 4,82.

Теллуровисмутит Tellurobismuthite Bi_2Te_3 (1863)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}39$; $c = 30{,}60$; $Z = 3$; 15-слойная структура, отвечает δ-фазе состава Bi_2Te_3 (с областью гомогенности менее 2 ат.%) системы Bi—Te, устойчивой ниже 585°; в системе Bi_2Te_3 — Bi_2S_3 отвечает α-фазе с областью гомогенности 0—4 % Bi_2S_3.

Хим. Близок к стехиометрическому: Bi 52,2; Te 47,8. Примеси: Sb до 14,9; Pb до 8 (см. табл. 12).

Микр. См. общую характеристику гр. Выделения теллуровисмутита обычно имеют прямолинейные ограничения. В спектрах отраж.

теллуровисмутита, в особенности на кривой R_p, в отличие от других теллуридов Bi, наблюдается обширный неглубокий прогиб в желто-зеленом участке и более крутой подъем — в красном. Поэтому теллуровисмутит наиболее розовый из теллуридов Bi; розовый отт. особенно отчетлив, когда минерал находится в контакте с алтаитом или тетрадимитом. Отраж. теллуровисмутита, содержащего Sb, Pb или Se, несколько ниже, чем у чистого теллуровисмутита. VHN 29—95, обычно 30—60.

Отл. Теллуровисмутит в отличие от других теллуридов Bi часто образует ориентированные сростки с алтаитом.

Нахожд. Один из распространенных теллуридов. Широко развит в Au-Bi-Te гидротермальных ассоц. с алтаитом, золотом, пирротином, мелонитом, фробергитом, дителлуридами Au, петцитом, гесситом, тетрадимитом, борнитом, кубанитом. Характерны срастания с тетрадимитом. Золоторудные жилы в ультрабазитах содержат параллельные сростки пластинчатых выделений теллуровисмутита и мелонита, (*Робб-Монтбрей*).

Изуч. См. табл. 12 и прилож. 3.

Рентген. М-ние в КазССР: 10,2 (0,5) (003); 5,09 (1,5) (006); 3,75 (0,5) (011); 3,386 (0,5) (014); 3,379 (0,5) (009); 3,214 (10) (105); 2,689 (0,5) (108); 2,534 (0,5) (0.0.12); 2,372 (7) (0.1.10); 2.234 (1) (1.0.11); 2,186 (3) (110); 2,029 (3) (0.0.15); 2,010 (0,5) (116); 1,994 (0,5) (0.1.13); 1,890 (0,5) (201, 1.0.14); 1,809 (2) (025); 1,701 (0,5) (208, 0.1.16); 1,695 (0,5) (0.0.18); 1,613 (1) (2.0.10); 1,563 (0,5) (0.2.11); 1,488 (2) (1.1.15); 1,451 (0,5) (0.0.21); 1,415 (0,5) (1.0.20). Рентгенометрические характеристики ряда Bi_2Te_3—Sb_2Te_3 зависят от состава аддитивно, что позволяет оценивать по ним содержание сурьмы в теллуровисмутите.

Таблица 12

Компонент	Сп.-394-1		Сп.-394-2		Сп.-394-3		Сп.-394-4	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Bi	50,0	1,93	52,17	2,00	47,6	1,74	42,68	1,55
Sb	0,8	0,05	0,14	0,01	3,3	0,21	7,02	0,44
Pb	—	—	0	—	2,2	0,08	0,36	0,01
Ag	—	—	0,05	—	Следы	—	0,01	—
Te	47,8	3,02	47,62	2,98	46,5	2,79	49,29	2,93
Se	—	—	0,05	0,005	1,9	0,18	0,68	0,07
S	—	—	0,02	0,005	—	—	0	—
Σ	98,6	—	100,05	—	101,5	—	99,04	—
VHN	—		30—76		—		27—62	
a	4,380		4,378		4,369		4,358	
c	30,48		30,49		30,19		30,44	

Примечание. Сп.-394-1 и сп.-394-3 — микрозонд МАР-2 (БВД); сп.-394-2 — химический анализ (ШНГ); сп.-394-4 — микрозонд JXA-5 (СЭМ).

Изоморфное замещение Bi сурьмой или Pb заметно влияет на величину параметра *a*, параметр *c* не изменяется, замещение Te—Se вызывает уменьшение значения параметра *c*.

ТЕЛЛУРИДЫ Pb, Bi, Ag (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМ Pb, Bi—Te; Ag—Bi—Te)

Алтаит Altaite Pb Te (1837)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 6{,}45$; $Z = 4$; изоструктурен с клаусталитом и галенитом; $T_{пл}$ 923°.

Хим. Близок к теор.: Pb 61,89; Te 38,11. Примеси Bi, Sb, Se, Ag.

Микр. Ксеноморфные выделения до нескольких сантиметров, эмульсионная вкрапленность и метасоматические вростки в галените. Отраж. высокое (70 %). В контакте с нагиагитом, пиритом, другими сульфидами и селенидами — ярко-белый, в ассоц. с галенитом, теллуровисмутитом, мелонитом, фробергитом, петцитом — отчетливо зеленоватый. Изотропен. Спектр. отраж. имеет сложный профиль с широким максимумом в желто-зеленой области. Изоморфные примеси Bi, Sb, Ag, Se несколько снижают *R*, особенно в синей области (см. прилож. 2). *H* ниже, чем у дителлуридов Au и Ag, халькопирита, блеклых руд, и почти такой же, как у теллуридов Bi. VHN 34—60. Полируется хорошо. Треугольники выкрошивания по сп. (100) наблюдаются только в крупных зернах.

Отл. Довольно легко определяется по высокому отраж., зеленоватому отт., спектру отраж., рентгенограмме. Часто содержит ориентированные вростки (ламелли) теллуровисмутита.

Нахожд. Один из наиболее распространенных минералов теллура. В акцессорных количествах известен в эндогенных м-ниях от грейзеновых редкометалльных до Cu-Ni; характерен для м-ний золото-кварцевой формации; ассоц.: разнообразные теллуриды, сульфиды и сульфосоли Bi, галенит, халькопирит, блеклые руды, теллуриды Au, Ag, Pb, Ni, Fe.

Изуч. См. табл. 13 и прилож. 3; обр. м-ний Кавказа, Алтая, СРР, Канады, Австралии.

Рентген. Сп.-12-1: 3,73 (2) (111); 3,22 (10) (200); 2,28 (8) (220); 1.939 (1) (311); 1,861 (4) (222); 1,612 (2) (400); 1,442 (6) (420); 1,316 (4) (422). Примеси Bi несколько увеличивают параметр решетки.

Раклиджит Rucklidgeite $PbBi_2Te_4$ (1976)

Триг. с $R\bar{3}m$; $a = 4{,}42$; $c = 41{,}5$; $Z = 3$; 21-слойная структура.

Хим. Близок к теор.: Bi 36,81; Pb 18,25; Te 44,94. Pb частью замещен Ag и Bi, Bi иногда замещен Sb. М-ния в АрмССР и на Урале: Pb 13,6 и 15,4; Bi 38,1 и 37,4; Ag 1,1 и 1,2; Sb 1,0 и 0; Te 44,2 и 43,9; Σ98,0 и 97,9 мз; БВД; формулы: $(Pb_{0,75}Bi_{0,13}Ag_{0,12})_1\ (Bi_{1,95}\ Sb_{0,09})_{2,04}Te_{3,96}$ и $(Pb_{0,86}Ag_{0,13})_{0,99}Bi_{2,06}\ Te_{3,96}$.

Микр. По структуре и физическим свойствам очень близок к теллуровисмутиту (см. общую характеристику гр. и описание теллуровис-

Таблица 13

Компонент	Сп.-12-1		Сп.-12-2	
	%	ф. е.	%	ф. е.
Pb	61,68	0,991	60,97	0,963
Bi	0,35	0,007	1,07	0,017
Sb	—	—	0,14	0,004
Ag	0,14	0,004	0,08	0,002
Te	37,97	0,990	38,65	0,992
Se	0,08	0,003	0,54	0,022
S	0,05	0,005	Следы	—
Σ	100,27	2	101,45	2
VHN	44		58	
a	6,449		6,463	

Примечание. Микрозонд JXA-5 (СЭМ).

мутита). Отраж. раклиджита несколько ниже, чем у теллуровисмутита (рис. 36). VHN 48—63.

Нахожд. Известен в Au-Bi-Te гидротермальных ассоц. ряда вулканогенных и плутоногенных м-ний Au, в тех участках, где руды контактово-метаморфизованы; ассоц.: волынскит, алтаит, алексит, пирротин, золото, галенит.

Изуч. Сп.-334 — м-ния в АрмССР и на Урале.

Рентген. М-ние на Урале: 4,61 (1) (009); 3,22 (10) (017); 2,34 (9) (0,1.14); 2,21 (4) (110); 2,15 (2) (0.1.16); 2,07 (1) (0.1.17); 1,976 (5) (0.0.21); 1,822 (4) (027); 1,731 (1) (1.1.15); 1,632 (2) (0.1.23); 1,607 (4) (0.2.14); 1,473 (6) (1.1.21); 1,405 (3) (127); 1,382 (4) (0.0.30); 1,363 (1) (1.1.24); 1,314 (0,5) (0.2.23); 1,300 (3) (1.2.14); $a = 4{,}422$; $c = 41{,}49$. Характеристическое отраж. 4,61. С ростом содержания Sb параметры решетки уменьшаются.

Волынскит Volynskite $AgBiTe_2$ (1963)

Триг. с. $P\bar{3}m1$ (?); $a = 4{,}448$; $c = 20{,}75$; $Z = 3$; изоструктурен с богдановичитом.

Хим. Теор.: Ag 18,86; Bi 36,53; Te 44.61. Иногда содержит Sb до 6,6 %. М-ние в АрмССР: Ag 19,52; Au 0,08; Bi 32,26; Sb 2,93; Pb 0,51; Fe 0,04; Hg 0,39; Te 45,52; Se 0,23; S 0,24; Σ 101,72[мз]; СЭМ; формула:

$(Ag_{0,988}Au_{0,002})_{0,990}$ $(Bi_{0,844}Sb_{0,132}Pb_{0,014}Fe_{0,004}Hg_{0,010})_{1,004}$ $(Te_{1,949}Se_{0,016}S_{0,041})_{2,006}$.

Микр.[м] Пластинчатые, листоватые выделения. Отраж. умеренно высокое (53 %). Цв. пурпурно-розовый, похож на теллуровисмутит

и раклиджит, но отчетливо темнее. Двуотраж. едва заметно в иммерсии. Слабо анизотропен. Спектр отраж. индивидуален, с широким максимумом в желто-зеленой области и с монотонным подъемом в синей и красной областях (см. рис. 36). Сп. выражена слабее, чем у теллуридов Bi. VHN 55—100. *Полируется довольно хорошо.*

Нахожд. Редкий минерал Au-Bi-Te гидротермальной минерализации в вулканогенных и плутоногенных м-ниях Au; как правило, в участках руд, подвергшихся контактовому метаморфизму; ассоц.: галенит, раклиджит, теллуровисмутит, петцит, алтаит, акантит, золото, алексит.

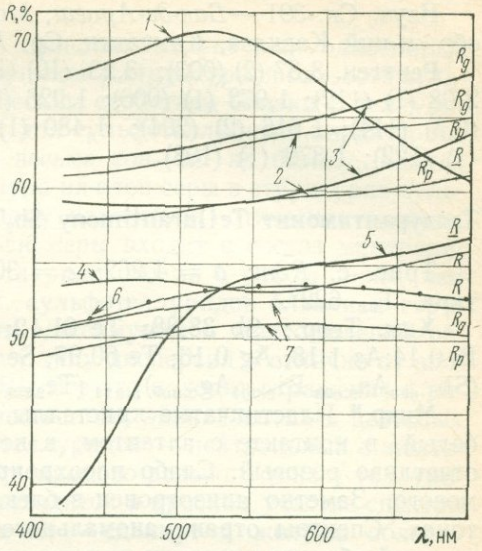


Рис. 36. Спектры отражения алтаита (1), раклиджита (2), теллуровисмутита (3), волынскита (4), пирита (5), богдановичита (6), алексита (7)

Изуч. Сп-87 — м-ние в АрмССР.

Рентген. Сп.-87: 3,82 (1) (011); 3,095 (10) (014); 2,84 (1) (105); 2,59 (0,5) (008); 2,23 (6) (112); 2,15 (6) (108); 1,803 (3) (204); 1,729 (1) (0.0.12), 1,607 (0,5) (119); 1,547 (3) (028); 1,477 (0,5) (209); 1,443 (0,5) (122); 1,426 (0,5) (123); 1,402 (2) (214); 1,363 (3) (1.1.12).

МИНЕРАЛЫ Te—Sb

Теллур Tellurium (1782)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}454$; $c = 11{,}85$; $Z = 6$; структура 6-слойная; $T_{пл}$ 453°.

Хим. Почти чистый; примеси Se до 1 % (иногда до *n* %), Sb, Bi, Pb. *Бая-де-Арьеш* (СРР): Te 99,35; Se 0,29; Sb 0,47; Pb 0,19; Bi 0,09; Cu 0,06; $\Sigma 100{,}44^{мз}$; СЭМ.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, нередко мозаичного сложения. Отраж. высокое (68—61 %), близкое к алтаиту. В контакте с калаверитом, креннеритом, сильванитом цв. кремово-белый. В контакте с алтаитом — кремовый. Двуотраж. отчетливое в зернистых агрегатах; анизотропия сильная, без ярких цв. эфф. Спектральные кривые сложного профиля со слабым широким максимумом в желто-оранжевой области. Оптически положительный. Сов. сп. *в одном направлении. VHN 25—90. Полируется хорошо.*

Нахожд. Типоморфный минерал вулканогенных м-ний Au; ассоц.: алтаит, дителлуриды Au-Ag, костовит, голдфилдит, теллуриды и селенотеллуриды Bi, теллурантимонит, фробергит, теллуриды Cu.

Изуч. Сп.-391 —*Бая-де-Ариеш*; *Моктецума* (Мексика), синт. фаза; обр. м-ний Кавказа, Камчатки, Ср. Азии.

Рентген. 3,87 (2) (003); 3,23 (10) (102); 2,36 (4) (014); 2,23 (3) (110); 2,08 (1) (112); 1,973 (1) (006); 1,926 (0,5) (200); 1,831 (2) (202); 1,778 (0,5) (114); 1,616 (2) (204); 1,480 (1) (116); 1,455 (0,5) (120); 1,415 (1) (122); 1,379 (1) (108).

Теллурантимонит Tellurantimony Sb_2Te_3 (1973)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}262$; $c = 30{,}45$; $Z = 3$; 15-слойная структура. $T_{пл}$ 622°.

Хим. Теор.: Sb 38,88; Te 61,12; м-ние в Ср. Азии: Sb 37,29; Bi 0,14;As 1,18; Ag 0,16; Te 60,97; Se 1,23; Σ99,96[мз]; СЭМ; формула: $(Sb_{1,093}As_{0,098}\ Bi_{0,004}Ag_{0,009})_{2,014}\ (Te_{2,968}\ Se_{0,018})_{2,986}$.

Микр.[м] Пластинчатые кристаллы. Отраж. высокое; цв. розовато-белый, в контакте с алтаитом, в котором чаще всего наблюдается, отчетливо розовый. Слабо плеохроирует от розоватого до бело-кремового. Заметно анизотропен в блеклых коричневых и темно-серых тонах. Спектры отраж. аномального профиля с выполаживанием к красной области в отличие от теллуровисмутита, у которого в красной области наблюдается довольно крутой подъем (рис. 37). VHN 40—75.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных м-ниях Au, в парагенезе с теллуром, алтаитом, мышьяковистым тетраэдритом, халькопиритом, костовитом, сфалеритом, арсенопиритом, пирротином. Реакционный минерал — образуется при воздействии Te-содержащих гидротермальных растворов на отложенный ранее тетраэдрит. Возможно, пропускался из-за сходства с теллуровисмутитом.

Изуч. Сп.-392 — м-ние в Ср. Азии, колл. С. Т. Бадалова.

Рентген. 10,16 (< 0,5); 5,08 (0,5); 3,383 (5); 3,321 (< 0,5); 3,157 (10); 2,815 (< 0,5); 2,651 (< 0,5); 2,349 (4); 2,215 (0,5); 2,130 (3); 2,030 (3); 1,977 (0,5); 1,964 (< 0,5); 1,875 (0,5); 1,804 (< 0,5); 1,766 (1); 1,692 (< 0,5); 1,661 (< 0,5); 1,611 (< 0,5); 1,578 (1); 1,537 (< 0,5); 1,470 (1); 1,450 (< 0,5); 1,408 (< 0,5); 1,360 (1) [ASTM 15-874].

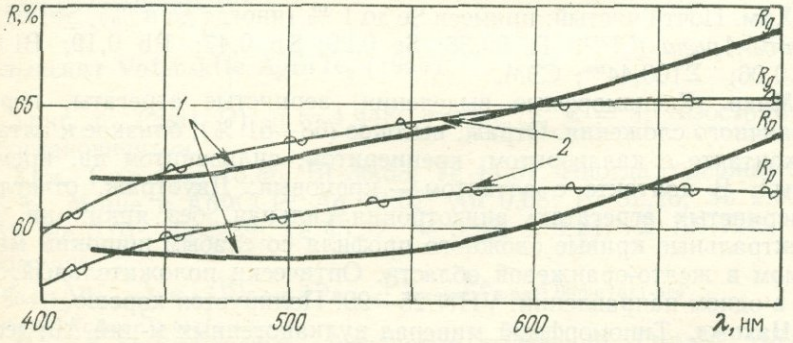


Рис. 37. Спектры отражения теллуровисмутита (1) и теллурантимонита (2)

Сульфотеллуриды Bi имеют слоистые структуры, однотипные с теллуридами Bi. Вследствие химической и структурной близости сульфотеллуриды Bi по многим физическим свойствам близки к теллуридам Bi. Как и для теллуридов Bi, для сульфотеллуридов характерны: пластинчатые формы выделений, весьма сов. сп. по базису, низкая тв. Вместе с тем замена слоев теллура на слои серы в структурах сульфотеллуридов приводит к заметному изменению оптических свойств, и тем более заметному, чем больше серы входит в состав минерала. Общий уровень отраж. сульфотеллуридов Bi на 5—10 % ниже, чем у теллуридов Bi; спектры отраж. сульфотеллуридов близки к горизонтальным с небольшим пологим максимумом в желто-зеленой области и с переходом к нормальному типу дисперсии в отличие от аномального профиля у теллуридов Bi. Все это находит отражение в визуальных образах цв. и в количественных эквивалентах в цветовых параметрах B, λ. Так, цв. сульфотеллуридов — нейтральный с желтовато-зеленоватым отт., в отличие от кремово-розового тона у теллуридов Bi. Цв. тон λ теллуридов Bi находится в красном участке спектра (615—620 нм); сульфотеллуридов Bi — сдвинут в желтую область приблизительно на 30 нм.

Все эти особенности количественной оптики сульфотеллуридов дают возможность по спектрам отраж. уверенно отличать сульфотеллуриды от теллуридов Bi и в большинстве случаев индивидуализировать минералы внутри гр.

Тетрадимит Tetradymite Bi_2Te_2S (1830)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}32$; $c = 30{,}07$; $Z = 3$; 15-слойная структура; отвечает γ-фазе в системе Bi_2Te_3—Bi_2S_3 с областью гомогенности 34—50 % Bi_2S_3.

Хим. Близок к теор.: Bi 59,26; Te 36,19; S 4,55. Л. Полинг в 1975 г. предложил формулу $Bi_{14}Te_{13}S_8$ (Bi 60,41 Te 34,26; S 5,3). В ряде образцов примеси достигают: Pb 5—8; Sb 4,3; Se 4,2.

Микр. Пластинчатые, листоватые выделения, иногда кристаллы, зернистые агрегаты, в т. ч. четверники. Отраж. высокое, близкое к пириту, несколько ниже, чем у теллуровисмутита. Цв. в контакте с алтаитом кремовый, в контакте с теллуровисмутитом — зеленоватый с оливковым отт. Примеси Pb несколько снижают отраж. (рис. 38). Двуотраж. умеренное, самое сильное среди сульфотеллуридов Bi. Анизотропия отчетливая, в блеклых коричневатых, серых тонах. H ниже, чем у галенита и теллуровисмутита; VHN 25—72; обычно 35—55, у свинцовистого тетрадимита немного ниже — 23—49.

Отл. От других сульфотеллуридов Bi надежно отличается по составу, рентгенограммам, отчасти по спектрам отраж. Это самый светлый (наряду с жозеитом B) среди сульфотеллуридов Bi и самый сильно двуотраж. минерал. гр.

Нахожд. Наиболее распространенный теллурид, в акцессорных количествах установлен в эндогенных м-ниях разных типов — от ред-

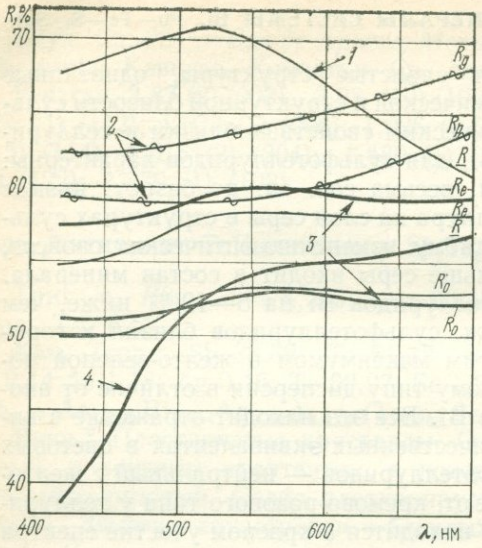


Рис. 38. Спектры отражения алтаита (1), теллуровисмутита (2), тетрадимита различного состава (3), пирита (4)

кометалльных грейзеновых до Cu-Ni; широко развит в вулканогенных и плутоногенных м-ниях Au и Au-Ag; ассоц.: широкий круг теллуридов, сульфидов, сульфосолей. В отличие от теллуровисмутита образуется при повышенной фугитивности S, поэтому крайне редко ассоц. с пирротином, борнитом, кубанитом.

Изуч. См. табл. 14. и прилож 3.

Рентген. Сп.-399-3 9,89 (0,5) (003); 4,95 (6) (006); 3,66 (1) (101); 3,305 (0,5) (104); 3,292 (1) (009); 3,128 (10) (015); 2,782 (1) (107); 2,609 (2) (018); 2,468 (2) (0.0.12); 2,308 (6) (1.0.10); 2,174 (2) (0.1.11); 2,128 (2) (110); 1,972 (2) (0.0.15); 1,938 (4) (1.0.13); 1,838 (0,5) (0.1.14); 1,785 (0,5) (024); 1,762 (1) (205); 1,652 (2) (208); 1,647 (2) (0.0.18); 1,609 (0.5) (1.1.12); 1,563 (1,5) (0.2.10); 1.521 (0,5) (2.0.11); 1,445 (1) (1.1.15); 1,432 (1) (0.2.13). Характеристическое отражение 4,95. С ростом содержания Pb увеличивается параметр *a*, при замещении S селеном оба параметра решетки заметно увеличиваются.

Таблица 14

Компонент	Сп.-399-1		Сп.-399-2		Сп.-399-3	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Bi	59,8	1,996	61,8	2,05	55,70	1,885
Pb	—	—	—	—	3,27	0,112
Te	35,5	1,941	32,9	1,79	35,73	1,981
S	4,6	1,001	5,1	1,10	4,55	1,005
Se	0,7	0,062	0,7	0,06	0,19	0,017
Σ	100,6[мз]	—	100,5[мз]	—	99,34	—
a	4,249		4,226		4,253	
c	29,57		29,59		29,60	

Примечание. Микрозонд МАР-2 (БВД); химический анализ (ШНГ).

Сульфоцумоит Sulphotsumoite Bi_3Te_2S (1981)

Триг. с. $P\bar{3}m$ 1 (?); a = = 4,316; c = 23,43; Z = 2; 12-слойная структура. В системе Bi_2Te_2S—Bi установлена область гомогенного твердого раствора от тетрадимита (40 ат. % Bi) до состава (48—49 ат. % Bi), очень близкого сульфоцумоиту.

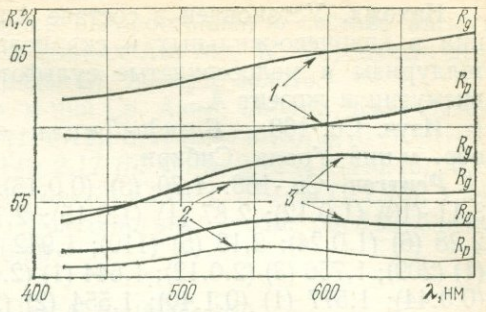


Рис. 39. Спектры отражения цумоита (1), ингодита (2), сульфоцумоита (3)

Хим. Близок к теор.: Bi 68,58; Te 27,91; S 3,51. *Бурчагыкан* (*Вост. Сибирь*): Bi 70,1; Te 27,0; S 3,2; Se 0,5; Σ100,8[мз]; БВД; формула: $Bi_{3,08}Te_{1,94}(S_{0,92}Se_{0,06})_{0,98}$.

Микр.[м] Мелкозернистые листоватые агрегаты. Белый, иногда с желтоватым отт. Отраж., близкое к тетрадимиту (рис. 39). Двуотраж. слабое. Ясно анизотропен в блеклых тонах (коричневатых и голубоватых.). VHN 45—75.

Нахожд. Найден в составе Au-Bi-Te минерализации вулканогенных и реже плутоногенных м-ний Au; ассоц.: цумоит, тетрадимит, жозеит B, ингодит.

Изуч. Сп.-382 —*Бурчагыкан*, *Эргелях* (Якутия) и *Тырныауз* (Кавказ).

Рентген. Сп.-382: 4,68 (3) (005); 3,68 (1) (010); 3,37 (1) (013); 3,16 (10) (014); 2,70 (2) (016); 2,49 (0,5) (017); 2,35 (1) (0.0.10); 2,31 (8) (018); 2,16 (1) (110); 2,14 (2) (019); 1,987 (1) (0.1.10); 1,954 (3) (0.0.12); 1,854 (2) (0.1.11); 1,781 (2) (024); 1,681 (2) (026); 1,628 (2) (0.1.13); 1,587 (2) (1.1.10); 1,574 (2) (028); 1,530 (2) (0.1.14); 1,521 (0,5) (1.1.11); 1,448 (3) (1.1.12); 1,405 (0,5) (0.2.11); 1,370 (4) (124); 1,324 (1) (1.1.14). Характеристическое отраж. 4,68.

Ингодит Ingodite Bi_2TeS *(1980)*

Триг. с. $P\bar{3}m1$ (?); a = 4,247; c = 69,90; Z = 9; 36-слойная структура; отвечает минералу «M» А. А. Годовикова.

Хим. Теор.: Bi 72,36; Te 22,09; S 5,55. Состав ингодита изменяется от $Bi_6Te_2S_3$ до $Bi_5(Te, S)_7$. Примесь Pb 3—8 %, иногда до 16 %.; *Брэнди-Джилл* (Англия): Bi 69,9; Te 25,2; S 5,2; Σ 100,3[мз]; БВД, формула: $Bi_{1,93}Te_{1,13}S_{0,94}$.

Микр.[м] Ксеноморфные листоватые и таблитчатые выделения. Отраж. высокое, несколько темнее тетрадимита. Белый. Двуотраж. слабое, заметно анизотропен. Профили спектров отраж. близки к профилям тетрадимита и других сульфотеллуридов Bi (см. рис. 39). У свинцовистого ингодита R понижено, особенно в синей области; VHN 47—75.

Нахожд. Установлен в составе Au-Bi-Te и Pb-Bi-Te минерализации в кварцево-жильных и скарновых м-ниях Au, W, Sn; ассоц.; теллуриды и малосернистые сульфотеллуриды Bi, пирротин, реже висмутин и жозеит A.

Изуч. Сп.-163 — *Брэнди-Джилл*, обр. № 31а/2 Горного музея; обр. м-ний Урала, Сибири.

Рентген. Сп.-163: 4,70 (3) (0.0.15); 3,66 (2) (102); 3,31 (1) (109); 3,11 (10) (1.0.12); 2.87 (1) (1.0.15); 2,70 (1) (0.0.26); 2,65 (1) (1.0.18); 2.28 (6) (1.0.24); 2,13 (5) (110); 1,942 (4) (0.0.36); 1,829 (1) (203); 1, 788 (1) (209); 1,756 (3) (2.0.12); 1,644 (1) (2.0.19); 1,629 (1) (0.2.20); 1,588 (1) (0.0.44); 1,577 (1) (0.1.40); 1,554 (2) (2.0.24); 1,430 (3) (1.0.45); 1,385 (1) (214); 1,367 (1) (129); 1,352 (3) (1.2.12). Характеристическое отраж. 4,70.

Жозеит B (теллурожозеит) Joseite B (tellurojoseite) Bi_4Te_2S (1941)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}34$; $c = 40{,}83$; $Z = 3$; 21-слойная структура; отвечает синт. фазе в системе Bi—Bi_2Te_2S с областью гомогенности 57—61 ат. % Bi, устойчивой ниже 525°.

Хим. Теор.: Bi 74,43; Te 22,72; S 2,85; Примеси Pb, Sb, Te. *Хедли* (Канада): Bi 74,9; Te 21,8; S 3,1; Σ 99,8[мз]; БВД; формула: $Bi_{4,01}Te_{1,91}S_{1,08}$.

Микр. Листоватые, пластинчатые, таблитчатые выделения, агрегаты зерен. Самый светлый из сульфотеллуридов Bi (рис. 40). Цв. белый с кремовым отт., в контакте с висмутом — нейтральный, чуть голубоватый. В агрегате зерен отчетливо заметно двуотраж. По силе двуотраж. аналогичен тетрадимиту. Умеренно анизотропен с цв. эфф. в голубовато-серых, коричневатых и зеленовато-коричневатых тонах. *H* выше, чем у висмута, ниже, чем у висмутина. VHN 29—73, обычно 45—65.

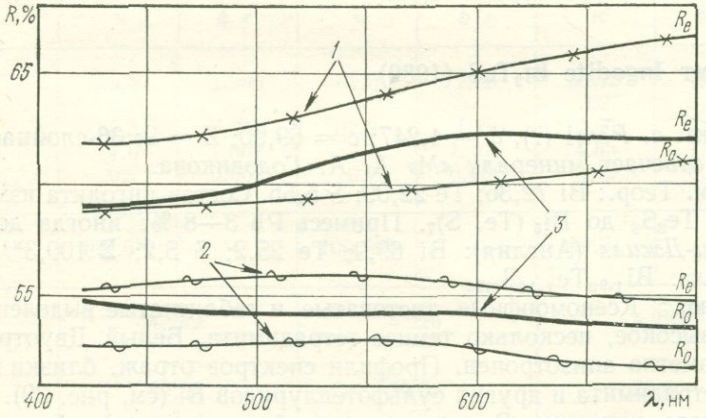


Рис. 40. Спектры отражения пильзенита (1), жозеита A (2), жозеита B (3)

Нахожд. Относительно широко распространен в составе висмут-сульфидно-теллуридной ассоц. в м-ниях Au, Mo, W, Sn; ассоц.: другие сульфотеллуриды и теллуриды Bi, висмут, золото.

Изуч. Сп.-160 —*Хедли*, обр. м-ний Ср. Азии, Сибири, Казахстана.

Рентген. 4,53 (2) (009); 3,69 (1) (012); 3,41 (0,5) (015); 3,16 (10) (107); 2,64 (1) (0.1.11); 2,30 (4) (0.1.14); 2,17 (5) (110); 2,12 (1) (1.0.16); 2,04 (0,5) (0.1.17); 1,949 (2) (0.0.21); 1,784 (3) (027); 1; 570 (2) (1.1.18); 1,447 (1) (1.1.21); 1,379 (2) (2.0.20). Рентгенограмма обр. сп.-160 близка к эталонной; $a = 4{,}341$; $c = 40{,}99$.

Жозеит А (сульфожозеит) Joseite A (sulfojoseite) Bi_4TeS_2 (1941)

Триг. с $R\bar{3}m$; $a = 4{,}25$; $c = 39{,}71$; $Z = 3$; 21-слойная структура отвечает синт. фазе в системе Bi—Bi_2TeS_2 с областью гомогенности 57—60 ат. % Bi.

Хим. Теор. Bi 81,34; Te 12,42; S 6,24. Примесь Pb до 8 %. *Бая-де-Арамэ* (СРР): Bi 79,7; Te 12,6; S 6,2; Σ 98,5[мз]; БВД; формула: $Bi_{3,96}Te_{1,03}S_{2,01}$.

Микр. Таблитчатые, пластинчатые, зернистые агрегаты. По уровню отраж. заметно темнее тетрадимита (см. рис. 40 и 41). Цв. белый с едва заметным зеленовато-кремовым отт., в контакте с висмутином — кремовый. Отличается низкой величиной двуотраж. Анизотропия умеренная без цв. эфф. *H* заметно ниже, чем у висмутина; VHN 36—88, обычно 50—75.

Нахожд. Один из наиболее распространенных теллуридов, развит в м-ниях Au, Bi, Sn, W, Mo; ассоц.: висмутин, теллуриды и сульфотеллуриды Bi, сульфосоли Cu-Bi, Pb-Cu-Bi, Pb-Bi.

Изуч. Сп.-149 —*Бая-де-Арамэ*; обр. м-ний Ср. Азии, Забайкалья, Канады.

Рентген. Сп.-149: 4,41 (3) (009); 3,64 (1) (012); 3,33 (2) (0.0.12); 3,10 (10) (107); 2,71 (1) (1.0.10); 2,65 (1) (0.0.15); 2,59 (2) (0.1.11); 2,25

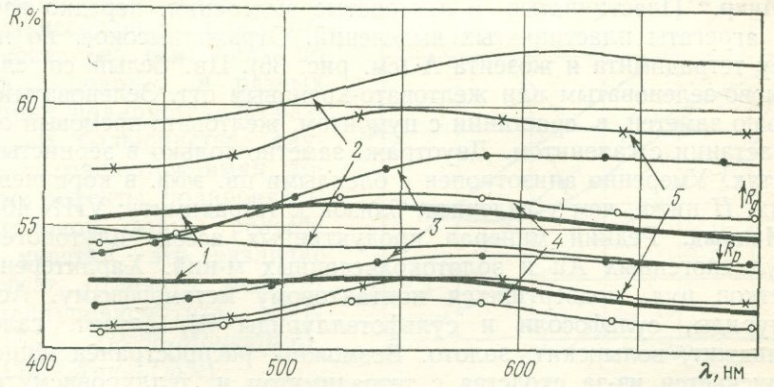


Рис. 41. Спектры отражения сульфотеллуридов висмута: жозеита А (1), жозеита В (2), сульфоцумоита (3), ингодита (4), тетрадимита (5)

(8) (0.1.14); 2,21 (2) (0.0.18); 2,13 (3) (110); 2,06 (3) (1.0.16); 1,973 (3) (1.0.17); 1,915 (1) (119); 1,894 (3) (0.0.21); 1,823 (2) (1.0.19); 1,787 (1) (1.1.12); 1,752 (3) (027); 1,658 (3) (1.1.15); 1,623 (2) (1.0.22); 1,566 (1) (1.0.23); 1,545 (3) (2.0.14); 1,532 (2) (1.1.18); 1,461 (1) (1.0.25); 1,447 (1) (2.0.17); 1,415 (4) (1.1.21); 1,350 (3) (217); 1,328 (1) (0.0.30); 1,308 (3) (1.1.24); $a = 4{,}253$; $c = 39{,}74$. Характеристическое отраж. 4,41.

Кавацулит Kawatsulite Bi_2Te_2Se (1970)

Триг. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}24$; $c = 29{,}66$; $Z = 3$; 15-слойная структура, близкая тетрадимиту.

Хим. Близок к теор.: Bi 55,57; Te 33,93; Se 10,50. Примеси S, Cu, Tl.

Микр[м]. Мелкие ксеноморфные выделения. Отраж. высокое. Анизотропия с цв. эфф. от голубовато-серого до коричневато-серого. Мягкий.

Нахожд. Редкий. Ассоц.: в вулканогенных Au-Ag м-ниях — теллуристый селен, теллур, тетрадимит, голдфилдит, теллуриды Ag и Cu; в U-Se м-ниях — теллуровисмутит, селенистый ковеллин, уранинит, гематит.

Рентген. 4,92 (4); 3,64 (3); 3,12 (10); 2,61 (2); 2,31 (5); 1,757 (2).

Алексит Alexite $PbBi_2Te_2S_2$ (1977)

Триг. с. $P\bar{3}m1$ (?); $a = 4{,}238$; $c = 79{,}76$, $Z = 6$; 42-слойная структура.

Хим Теор.: Bi 44,25; Pb 21,94; Te 27,02; S 6,79; отвечает $PbS \cdot Bi_2Te_2S$. Примесь Se до 2 %. *Алексеевское* (Забайкалье) и м-ние на Урале: Bi 45,8 и 46,71, Pb 20,4 и 20,87; Ag 0 и 0,12; Sb 0 и 0,06; Te 27,3 и 28,09; S 6,3 и 6,40; Se 0 и 0,46 Σ 99,8[мз] (БЮС) и 102,17[мз] (СЭМ); формулы: $Pb_{0,947}Bi_{2,107}Te_{2,056}S_{1,890}$ и $(Pb_{0,938}Ag_{0,010})_{0,948}(Bi_{2,082}Sb_{0,005})_{2,087}Te_{2,051}(S_{1,860}Se_{0,054})_{1,914}$.

Микр.[м] Пластинчатые и листоватые выделения, нередко изогнутые, агрегаты пластинчатых выделений. Отраж. высокое, но ниже, чем у тетрадимита и жозеита А (см. рис. 36). Цв. белый со слабым кремово-зеленоватым или желтовато-кремовым отт. Зеленоватый отт. хорошо заметен в срастании с цумоитом, желтовато-кремовый отт.— в срастании с галенитом. Двуотраж. заметно только в зернистых агрегатах. Умеренно анизотропен с блеклыми цв. эфф. в коричневатых тонах. *H* ниже, чем у галенита, близок к тетрадимиту; VHN 40—65.

Нахожд. Редкий минерал продуктивных ассоц. плутоногенных и вулканогенных Au и золотоколчеданных м-ний. Характерен для участков руд, подвергшихся контактовому метаморфизму. Ассоц.: теллуриды, сульфосоли и сульфотеллуриды Bi, алтаит, галенит, раклиджит, волынскит, золото. Возможно, распространен шире, но пропускается из-за сходства с тетрадимитом и теллуровисмутитом.

Изуч. Сп.-8 — м-ние на Урале, колл. Н. А. Ершовой; *Алексеевское*, колл. Ю. С. Бородаева.

Рентген. *Алексеевское*: 7,18 (1) (0.0.11); 5,36 (0,5) (0.0.15); 4,42 (1) (0.0.18); 4,24 (0,5) (0.0.19); 3.63 (3) (014); 3,51 (1) (017); 3,41 (1) (018); 3,34 (2) (0.0.24); 3,09 (10) (0.1.14); 2,89 (0,5) (0.1.17); 2,76 (0,5) (0.1.19); 2,70 (1) (0.1.20); 2,52 (0,5) (0.1.23); 2,41 (2) (0.1.25); 2,34 (2) (0.1.26); 2,25 (4) (0.1.28); 2,21 (0,5) (0.1.29); 2,12 (6) (110); 1,974 (3) (0.1.34); 1,925 (1) (1.1.17); 1,853 (0,5) (0.1.37); 1,828 (1) (024); 1,789 (2) (0.2.10); 1,748 (3) (0.2.14); 1,660 (2) (0.0.48); 1,628 (1) (0.0.49); 1,594 (1) (1.1.33); 1,545 (2) (0.2.28); 1,488 (0,5) (0.1.49); 1,473 (0,5) (1.1.39); 1,446 (2) (0.2.34); 1,416 (1) (1.1.42).

ТЕЛЛУРИДЫ Ni, Fe, Co (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Ni, Fe, Co—Te, Se)

Мелонит Melonite $NiTe_2$ (1868)

Триг. с. $P\bar{3}m1$; $a = 3{,}85$; $c = 5{,}26$; $Z = 1$; слоистая структура; устойчив ниже 857°.

Хим. Теор.: Ni 18,7; Te 82,3. Примеси Se, Fe, Co; в Cu-Ni м-ниях, кроме того, Pd и Bi. *Робб-Монтбрей* (Канада) и *Жана-Тюбе* (КазССР): Ni 18,39 и 17,13; Fe 0,03 и 1,40; Co 0,37 и 0,52; Cu 0 и 0,20; Ag 0,07 и 0; Au 0,02 и 0,15; Hg 0,02 и 0; Pb следы, Te 82,00 и 82,04; Se 0 и 0,29; Sb 0,62 и 0,11; Σ 101,52 и 101,84[мз]; СЭМ; формулы: $(Ni_{0,97}Co_{0,02})_{0,99}(Te_{1,99}Sb_{0,02})_{2,01}$ и $(Ni_{0,90}Fe_{0,08}Co_{0,03}Cu_{0,01})_{1,02}(Te_{1,97}Se_{0,01})_{1,98}$.

Микр. Пластинчатые, таблитчатые, листоватые агрегаты (крупные листочки часто изогнуты), реже триг. кристаллы. Отраж. высокое (60 %). Цв. кремово-розовый. Розовый цв. отчетливее в контакте с алтаитом, галенитом. Отраж. в красной области выше, а в синей — ниже, чем у алтаита (рис. 42). Двуотраж. заметное с изменением цв. от кремово-розового до нежно-розового, сиреневатого. Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в желтовато-зеленоватых и светло-серых тонах. Одноосный, отрицательный. Спектры отраж. пересекаются в синей области. *H* разный, в зависимости от сечения, но, как правило, высокий — выше, чем у большинства теллуридов и халькопирита. В шлифах наблюдается несколько систем отдельности и сов. сп. по базису, поэтому в разных сечениях полируется по-разному. В большинстве случаев сохраняются ямки, точечные дефекты полировки и треугольной формы рельефные участки, это различие помогает отличать мелонит от теллуровисмутита. VHN 65—166 (*Робб-Монтбрей*), 68—114 (*Жана-Тюбе*).

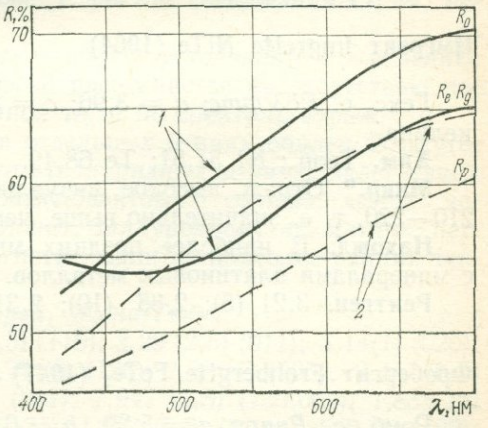


Рис. 42. Спектры отражения мелонита (1) и киткаита (2)

Отл. От теллуровисмутита отличается значительно более

насыщенным розовым цв., более сильными эффектами анизотропии, наличием нескольких систем сп.— отдельности; в очень мелких выделениях эти минералы уверенно различаются по спектрам отраж., составу. Брейтгауптит имеет более насыщенный, отчетливо пурпурный цв., индивидуальные спектры отраж. От никелина уверенно отличается по спектрам отраж.; кроме того, никелин имеет характерный рисунок в скрещенных николях и, как правило, ассоц. с ярко-белыми арсенидами Ni—Fe—Co. Визуально мелонит больше всего похож на киткаит; различаются по спектрам отраж., рентгенограммам, составу.

Нахожд. Типоморфный минерал поздних минеральных ассоц. Cu-Ni м-ний; вулканогенных и плутоногенных золото-теллуридных м-ний, залегающих в породах базит-гипербазитового состава; ряда уран-селенидных м-ний. В Au м-ниях ассоц.: алтаит, теллуровисмутит, галенит, золото, фробергит, теллуриды Au и Au-Ag.

Изуч. Сп.-247-1 — м-ние в АрмССР; сп.-247-2—*Робб-Монтбрей*; сп.-247-3 — *Жана-Тюбе*; обр. м-ний Австралии, Вост. Сибири.

Рентген. Сп.-247-3: 5,27 (1) (001); 3,34 (2) (100); 2,817 (10) (101); 2,632 (4) (002); 2,068 (6) (102); 1,927 (4) (110); 1,591 (2) (201); 1,556 (7) (112,103); 1,409 (1,5) (202); 1,317 (1) (004); $a = 3{,}853$; $c = 5{,}263$.

Киткаит Kitkaite Ni Te Se (1965)

Триг. с. $P\bar{3}m1$; $a = 3{,}727$; $c = 5{,}113$; $Z = 1$; изоструктурен с мелонитом.

Хим. Теор.: Ni 22,13; Te 48,10; Se 29,77.

Микр. [м] Отраж. высокое, цв. кремово-розовый, очень похож на мелонит (см. рис. 42), отличается по спектрам отраж. VHN 89—132.

Нахожд. В единственном м-нии *Куусамо* (Финляндия), ассоц.: мелонит, клаусталит, сульфиды и селениды Ni-Fe-Co, гематит.

Рентген. 5,13 (1,5); 3,213 (0,5); 2,729 (10); 2,567 (2,5); 2,007 (4,5); 1,860 (2,5); 1,535 (2); 1,510 (1); 1,364 (1).

Имгрэит Imgreite NiTe (1964)

Гекс. с. $P63/mmc$; $a = 3{,}96$; $c = 5{,}36$; $Z = 1$; структура типа никелина.

Хим. Теор.: Ni 31,51; Te 68,49.

Микр. [м] Отраж. высокое, визуально неотличим от мелонита. VHN 210—220, т. е. значительно выше, чем у мелонита.

Нахожд. В наиболее поздних минеральных ассоц. Cu-Ni м-ний с минералами платиновых металлов.

Рентген. 3,21 (5); 2,88 (10); 2,31 (7); 1,964 (5); 1,588 (5).

Фробергит Frohbergite $FeTe_2$ (1947)

Ромб. с. $Pnnm$; $a = 5{,}29$; $b = 6{,}27$; $c = 3{,}86$; $Z = 2$; структура типа марказита; отвечает ε-фазе в системе Fe—Te с областью гомогенности 32—34 ат. % Fe, устойчивой ниже 625°.

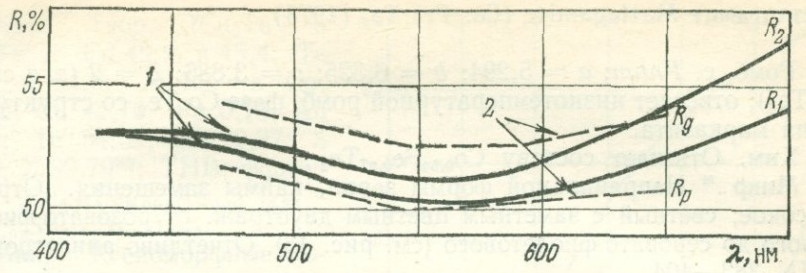


Рис. 43. Спектры отражения фробергита (1) и маттагамита (2)

Хим. Теор.: Fe 17,95; Te 82,05. Примеси Co (до 9 %), Ni, Se, Sb. Нередко зональный, внешние зоны обогащены Co. *Робб-Монтбрей* (Канада) и *Жана-Тюбе* (КазССР): Fe 17,68 и 17,43; Co 0,03 и 0,05; Ni 0,12 и 0,18; Cu 0,13 и 0,06; Ag 0,16 и 0,03; Au 0,08 и 0,02; Te 82,88 и 81,47; Sb 0,64 и 0,57; Σ101,74 и 99,81[мз]; СЭМ; формулы: $(Fe_{0.971}Co_{0.002}Ni_{0.006}Cu_{0.006}Ag_{0.005}Au_{0.001})_{0.991}(Te_{1.993}Se_{0.016})_{2.009}$ и $(Fe_{0.975}Co_{0.002}Ni_{0.010}Cu_{0.003}Ag_{0.002})_{0.992}(Te_{1.994}Se_{0.014})_{2.008}$.

Микр. Неправильной формы выделения, каймы замещения, зернистые агрегаты, мелкие ромбопризматические кристаллы, по форме напоминающие арсенопирит. Отраж. высокое, с ростом содержания Co заметно снижается в красной области. Цв. белый, со слабым сиреневато-розовым отт. Фробергит, обогащенный Co,— белый с розовато-фиолетовым отт. В зернистых агрегатах заметно слабое двуотраж. с изменением цв. от розоватого до бледного серовато-коричневатого. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в темно-коричневато-красноватых и темно-синих тонах. В синей области кривые дисперсии R_g и R_p пересекаются (рис. 43). *H* заметно выше, чем у пирротина и халькопирита, ниже, чем у магнетита и арсенопирита. Самый твердый из теллуридов. VHN 194—565 (ср. 430, $n = 10$), *Робб-Монтбрей*; 208—546 (ср. 415, $n = 26$), *Жана-Тюбе*. С ростом содержания Co тв. несколько снижается.

Отл. Фробергит из теллуридов наиболее устойчивый к окислению, поэтому в старых шлифах он легко распознается по отсутствию побежалости; выделяется повышенной тв. и по спектрам отраж.

Нахожд. Редкий теллурид, в отдельных м-ниях обилен. В плутоногенных и вулканогенных золото-теллуридных м-ниях, залегающих в породах базитового и гипербазит-базитового состава; ассоц.: золото, дителлуриды Au и Ag, мелонит, теллуровисмутит, алтаит, петцит, пирротин, халькопирит, магнетит; один из наиболее ранних теллуридов.

Изуч. Сп.-433 —*Робб-Монтбрей, Жана-Тюбе.*

Рентген. *Жана-Тюбе*: 4,03 (0,5) (110); 3,29 (2,5) (011); 3,14(1) (020); 3,10 (2) (101); 2,795 (10) (111); 2,70 (8) (120); 2,63 (1) (200); 2,44 (0,5) (210); 2,22 (0,5) (121); 2,055 (6) (211); 1,947 (2,5) (130,002); 1,838 (4) (031); 1,786 (0,5) (221); 1,732 (2) (131); 1,694 (0,5) (310); 1,570 (3) (122); 1,553 (0,5) (311); 1,535 (1) (320); 1,510 (2) (231); 1,501 (1) (140); 1,395 (1) (222); 1,347 (1) (240); 1,322 (0,5) (400); $a = 5{,}29$; $b = 6{,}275$; $c = 3{,}865$.

Маттагамит Mattagamite (Co, Fe) Te_2 (1973)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 5{,}294$; $b = 6{,}325$; $c = 3{,}886$; $Z = 2$ (для синт. $CoTe_2$); отвечает низкотемпературной ромб. фазе Co Te_2 со структурой типа марказита.

Хим. Отвечает составу $Co_{0,54}Fe_{0,37}Te_2$.

Микр. [м] Неправильной формы зерна, каймы замещения. Отраж. высокое; светлый с заметным цветным двуотраж. от розовато-фиолетового до серовато-фиолетового (см. рис. 43). Отчетливо анизотропен. VHN 383—404.

Нахожд. В золото-теллуридном м-нии, ассоц.: пирротин, халькопирит, алтаит, фробергит, теллурантимонит.

Рентген. 3,31 (3); 2,805 (10); 2,703 (8); 2,066 (6); 1,843 (4); 1,583 (3); 1,514 (2); 1,354 (2).

ТЕЛЛУРИДЫ Hg, Cu

Колорадоит Coloradoite HgTe (1877)

Куб. с. $F\bar{4}3\,m$; $a = 6{,}46$; $Z = 4$; гранецентрированная структура типа сфалерита; устойчив ниже 600°.

Хим. Теор.: Hg 61,11; Te 38,89. *Калгурли* (Австралия): Hg 61,17; Fe 0,04; Cu 0,07; Ag 0,11; Te 38,41; Sb 0,26; S 0,22; Σ 100,28[мз]; СЭМ; формула:
$(Hg_{0,987}Fe_{0,002}Cu_{0,004}\,Ag_{0,003})_{0,996}\,(Te_{0,975}\,Sb_{0,007}S_{0,022})_{1,004}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, реже зернистые агрегаты. Отраж. умеренное, бледно- или светло-коричневый. Отраж. ниже галенита и близко к петциту и гесситу. Коричневый отт. хорошо заметен в контакте с калаверитом, алтаитом, петцитом; в контакте с петцитом — несколько темнее петцита. Изотропен. Спектр отраж. характерного профиля с несколькими максимумами и минимумами (см. рис. 30), надежно определяет минерал. *H* близкий к петциту; VHN 23—37, 29—33 (сп.-193).

Отл. От петцита отличается коричневатым отт., по спектру отраж., рентгенограмме; нагиагит и гессит — анизотропные.

Нахожд. Типоморфный минерал вулканогенных м-ний Au — от убогосульфидных до колчеданных, обычно в акцессорных количествах, изредка является одним из главных рудных минералов. Ассоц.: калаверит, алтаит, петцит, креннерит, нагиагит, золото, халькопирит.

Изуч. Сп.-193 — *Калгурли*.

Рентген. 3,74 (10); 2,29 (9); 1,949 (7); 1,484 (3); 1,318 (4).

Вейссит Weissite Cu_2Te—Cu_5Te_3 (1927)

Гекс. с. 6/*mmm*, в непрерывном ряду твердых растворов состав и соответственно параметры решетки изменяются от Cu_2Te ($a = 12{,}54$; $c = 21{,}71$) до Cu_5Te_3 ($a = 12{,}45$; $c = 21{,}56$). Отвечает низкотемпературной модификации Cu_2Te, устойчивой ниже 172°, с областью гомогенности 33—34 ат. % Te.

Хим. Теор. (Cu_2Te и Cu_5Te_3): Cu 49,9 и 45,4; Te 50,1 и 54,6. М-ние в Ср. Азии: Cu 42,70; Fe 0,15; Au 1,79; Te 54,52; Sb 0,27; S 0,46; Σ 99,79 мз; ТНВ; формула: $(Cu_{4,77}Fe_{0,002}Au_{0,07})_{4,86}(Te_{3,03}Sb_{0,01}S_{0,10})_{3,14}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, прожилки, каймы замещения. Отраж. умеренное, ниже, чем у галенита (рис. 44). Цв. голубовато-серый, голубой (как халькозин) в одних сечениях и розовато-коричневатый, кремовый — в других. Двуотраж. слабое, отчетливо анизотропен. Исходя из визуальной оценки двуотраж. и анизотропии, для вейссита следует ожидать две близкие кривые отраж. непараллельного профиля. *H* ниже, чем у блеклой руды, выше, чем у теллуридов Bi; VHN 75—107. Полируется хорошо.

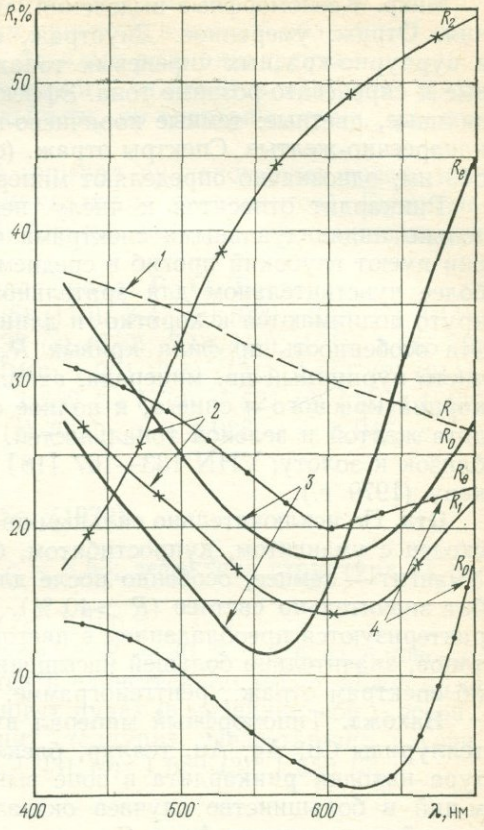


Рис. 44. Спектры отражения вейссита (1), вулканита (2), риккардита (3), ковеллина (4).

Нахожд. Редкий. В вулканогенных м-ниях Au, ассоц.; теллур, другие теллуриды Cu, сильванит, алтаит, калаверит, золото, халькозин, блеклая руда. Вероятно, является продуктом воздействия Te-содержащих гидротермальных растворов на блеклую руду при низкой фугитивности S. Частью, возможно, гипергенный.

Рентген. М-ние в Ср. Азии: 7,25 (2) (003); 5,40 (1) (200); 3,61 (7) (006); 3,24 (6) (303); 2,99 (1) (107); 2,76 (1) (117); 2,73 (2) (224); 2,55 (3) (306); 2,27 (2) (218); 2,17 (3) (0.0.10); 2,09 (10) (330); 2,01 (7) (333); 1,80 (5) (0.0.12); 1,76 (2) (603); 1,62 (1) (606); 1,56 (1) (441); 1,45 (3) (609); 1,41 (1) (713); 1,37 (1) (630); 1,34 (2) (3.0.15); a = 12,55; c = 21,74

Риккардит Rickardite Cu_4Te_3—Cu_7Te_5 (1903)

Тетр. с. *P*4/*nmm*; a = 3,98; c = 6,12; Z = 2; дефектная структура типа Cu_2Sb; устойчив ниже 630°.

Хим. Теор. (Cu_4Te_3): Cu 39,9; Te 60,1. М-ние в Ср. Азии: Cu 37,93; Fe 0,10; Te 59,95; Sb 0,29; S 0,35; Σ 98,62 мз; ТНВ; формула: $(Cu_{3,86}Fe_{0,01})_{3,87}(Te_{3,04}Sb_{0,02}S_{0,07})_{3,13}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, микропрожилки, каймы замещения. Отраж. умеренное. Двуотраж. очень сильное с плеохроизмом в пурпурно-красных сиреневых тонах, преобладают светло-фиолетовые и сиреневато-розовые тона. Эффекты анизотропии исключительно сильные, цветные: темные коричнево-красные и огненно-оранжевые, канареечно-желтые. Спектры отраж. (см. рис. 44) пересекаются при λ 610 нм; однозначно определяют минерал. Оптически отрицателен.

Риккардит относится к числу немногих минералов с исключительно индивидуальными спектрами отраж. Обе кривые подобны — они имеют глубокий прогиб в среднем, желтом участке спектра, наиболее чувствительном для зрительного восприятия, и симметрично круто поднимаются к коротко- и длинноволновому участкам спектра. Эта особенность профиля кривых R_o и R_e риккардита определяет чисто пурпурный цв. минерала, складывающийся из различных пропорций красного и синего, и полное отсутствие в цв. гамме риккардита желтой и зеленой тональностей. *H* ниже чем, у блеклой руды, близок к золоту; VHN 133—167 [18] или 60—85, по В. А. Коваленкеру (1979 г.).

Отл. По исключительно сильным цв. эфф. двуотраж. и анизотропии сходен с умангитом, купростибитом, билибинскитом и богдановитом. Умангит — темнее, особенно после длительного хранения, купростибит значительно светлее ($R > 40$ %). Билибинскит и богдановит характеризуются преобладанием в цветовой гамме желтых и золотистых тонов, значительно большей насыщенностью цв. Отличаются надежно по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Типоморфный минерал вулканогенных м-ний Au, асоц.: теллуриды Cu, Ag, Au, теллур, блеклая руда. Описанные в литературе находки риккардита в зоне выветривания золото-теллуридных м-ний в большинстве случаев оказались билибинскитом и иными плюмботеллуридами Au и Cu.

Изуч. Сп.-343 — м-ние на Урале.

Рентген. 6,05 (2) (001); 3,35 (8) (011); 3,03 (3) (002); 2,81 (3) (110); 2,54 (4) (111); 2,42 (2) (012); 2,07 (10) (112); 2,05 (2) (003); 1,984 (5) (020); 1,816 (2) (013); 1,703 (3) (121); 1,665 (1) (022); 1,528 (2) (004); 1,421 (3) (023); 1,404 (2) (220); 1,339 (2) (114); $a = 3{,}967$; $c = 6{,}109$.

Вулканит Vulcanite CuTe (1961)

Ромб. с. *P mnm*; $a = 4{,}09$; $b = 6{,}95$; $c = 3{,}15$; $Z = 12$; дефектная сверхструктура к типу флюорита; устойчив ниже 367°.

Хим. близок к теор.: Cu 33,2; Te 66,8.

Микр. [м] Листоватые, призматические кристаллы и агрегаты. Имеет необыкновенно яркие оптические свойства, характерные лишь для немногих минералов: очень сильное двуотраж. с контрастным изменением цв. от насыщенно-желтого до голубовато-сиреневато-серого, чрезвычайно сильные цв. эфф. анизотропии в сине-фиолетовых и огненно-красных тонах. Спектры отраж. вулканита исключительно индивидуальны (см. рис. 44); резко непараллельны и пересекаются при λ 460 нм; профиль кривой R_2 аномального типа с крутым подъе-

мом подобен кривой отраж. золота; профиль R_1 близок к спектру R_0 (R_{max}) риккардита с глубоким прогибом в желтой области. *H* низкий, ниже, чем у халькопирита, блеклых руд, риккардита.

Отл. От риккардита и билибинскита отличается наличием ярко-желтой (подобной золоту) тональности, по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Редкий гипогенный минерал вулканогенных золото-теллуридных м-ний (с теллуром, риккардитом, сильванитом). Гипергенный — в зоне цементации м-ний, богатых теллуридами и минералами меди.

Изуч. Сп.-89 — м-ние на Урале, колл. Р. О. Берзона.

Рентген. 6,94 (4) (010); 3,52 (6) (110); 3,47 (3) (020); 2,86 (7) (011); 2,65 (3) (120); 2,49 (2) (101); 2,32 (3) (030); 2,03 (10) (121); 1,866 (2) (031); 1,762 (3) (220); 1,738 (1) (040); 1,701 (0,5) (131); 1,665 (2) (211); 1,597 (0,5) (140); 1,576 (2) (002); 1,532 (1) (230); 1,521 (2) (041); 1,439 (2) (112); 1,425 (1) (141); 1,391 (1) (050); $a = 4{,}088$; $в = 6{,}947$; $c = 3{,}151$.

Бамболлаит Bambollaite $Cu_3Te_2Se_4$ (1972)

Тетр. с. $I\,4_1/amd$; $a = 3{,}86$; $c = 5{,}63$; дефектная структура на основе структуры сфалерита.

Хим. Cu 25,1; Te 31,0; Se 44,5; Σ 100,6.

Микр. [м] Микрозернистые агрегаты. $R \sim 30$ %. Цв. кремово-серый; слабо анизотропен. Известен в единственном м-нии *Моктесума* (Мексика). Установлен в окисленных рудах (в музейных обр.); ассоц.: клокманнит, теллур, халькоменит, теллурит. Недостаточно изучен.

Рентген. 3,19 (10); 1,961 (7); 1,931 (4); 1,689 (3); 1,653 (5).

АНТИМОНИДЫ Ni, Fe, Cu

Брейтгауптит Breithauptite NiSb (1840)

Гекс. с. $P\,6_3/mmc$; $a = 3{,}95$; $c = 5{,}15$; $Z = 2$; структура типа никелина.

Хим. Теор.: Ni 32,52; Sb 67,48; Примеси: As (до 3 %), Co, Fe, Cu, Pb, S. *Андреасберг* (ФРГ): Ni 31,85; Co 0; Fe 0,06; Cu 0,11; Pb 0,11; Bi 0; Sb 69,09; As 0,24; S 0,03; Σ 101,49[мз]; СЭМ; формула: $(Ni_{0,971}Fe_{0,002}Cu_{0,003}Pb_{0,001})_{0,977}\ (Sb_{1,015}\ As_{0,006}S_{0,002})_{1,023}$.

Микр. Уплощенные кристаллы, дендритовидные, зернистые агрегаты. Отраж. умеренно высокое, близкое к пириту. Цв. насыщенный сиреневато-розовый (пурпурный). Двуотраж. сильное — от густого сиренево-розового до белесово-розового. Отчетливо анизотропен с умеренными цв. эфф. Спектры отраж. индивидуальны (рис. 45). Оптически отрицателен, круговое сечение светлое, белесово-розовое. *H* близок к пирротину и никелину, ниже, чем у кобальтина и арсенопирита; VHN 410—590, обычно 510—570.

Отл. От купростибита отличается знаком отражения, более умеренной анизотропией без ярких цв. эфф.; от никелина — сиреневым отт. и менее яркими эффектами анизотропии; похожий фребольдит

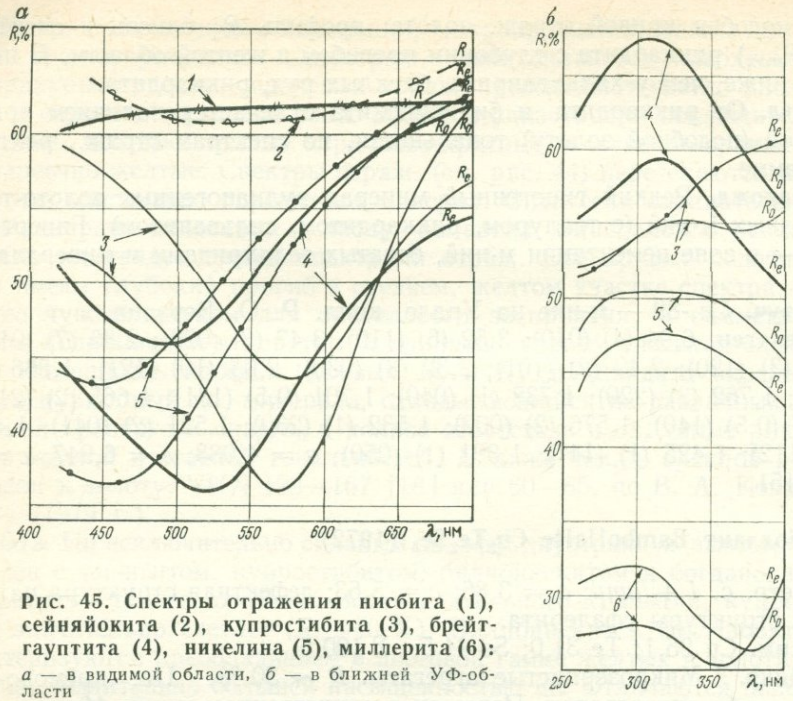


Рис. 45. Спектры отражения нисбита (1), сейняйокита (2), купростибита (3), брейтгауптита (4), никелина (5), миллерита (6):
а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

встречается только в ассоц. с селенидами; от всех визуально сходных минералов надежно отличается по спектрам отраж.

Нахожд. Редкий гидротермальный минерал Sb-содержащих руд, залегающих в породах гипербазит-базитового состава: 5-элементной формации, некоторых золоторудных м-ний, карбонатных жил в Cu-Ni рудах. Ассоц.: карбонаты, никелин, маухерит, ульманнит, арсениды и сульфоарсениды Co—Ni—Fe, сурьма, висмут, серебро, акантит, сульфиды Cu, Zn и Pb, хизлевудит, никель, нисбит.

Изуч. Сп.-59 —*Андреасберг* (ФРГ); *Дарасун* (Забайкалье), *Комсомольское* (Урал).

Рентген. 2,84 (10); 2,06 (7); 1,965 (7); 1,533 (3).

Нисбит Nisbite $NiSb_2$ (1970)

Ромб. с., *Pnnm*; $a = 5{,}16$; $b = 6{,}30$; $c = 3{,}84$; $Z = 2$; структура типа марказита, устойчив ниже 621°.

Хим. Теор.: Ni 19,42, Sb 80,58. М-ние на Дальнем Востоке: Ni 19,40; Sb 80,58; Σ 99,98[мз].

Микр.[м] Ксеноморфные выделения, короткопризматические кристаллы. Отраж. (> 60 %), цв. чисто белый, близок к скуттерудиту (см. рис. 45); двуотраж. крайне слабое; эффекты анизотропии слабые в блеклых тонах. Характерны полисинт. дв. *H* выше, чем у халькопирита и пирротина, ниже, чем у арсенопирита; VHN 420—515, у синт. $NiSb_2$ 300—760.

Отл. *От скуттерудита отличается анизотропией.*

Нахожд. Редкий гидротермальный минерал; ассоц. брейтгауптит, пирротин, ульманит, арсенопирит, халькопирит, тетраэдрит, галенит, висмут.

Изуч. Сп.-281 — м-ние на Дальнем Востоке, колл. В. М. Качаловской.

Рентген. 2,76 (10); 2,69 (9); 2,03 (8); 1,843 (7).

Сейняйокит Seinäjokite $FeSb_2$ (1976)

Ромб. с; $a = 5{,}18$; $b = 6{,}49$; $c = 3{,}19$ *; $Z = 2$; структура марказитового типа; *аналог леллингита.*

Хим. Теор.: Fe, 18,66; Sb 81,34; *Сейняйоки* (Финляндия): Fe 15,4; Ni 4,0; Co 0,6; Sb 78,5; As 6,9; Te 1,2; Σ101,6[мз]; БЮС; формула: $(Fe_{0,78}Ni_{0,19}Co_{0,03})_1\ (Sb_{1,71}As_{0,26}\ Te_{0,03})_2$.

Микр. По форме выделений сходен с арсенопиритом; отраж. < 60 %; цв. розоватый, двуотраж. слабое, сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневатых и голубоватых тонах; прозрачен в ИК-свете при 1200 нм. Спектр отраж. (см. рис. 45) нуждается в уточнении, так как при сильной цветной анизотропии минералы обычно имеют две непараллельные кривые. *H* ниже, чем у вестервелдита, выше, чем у сурьмы; VHN 250—380.

Отл. Сходный вестервелдит более темный, розово-коричневый.

Нахожд. Известен в единственном м-нии *Сейняйоки* как главный сурьмяный минерал; ассоц.: сурьма, гудмундит, вестервелдит, алтаит, пирротин, ауростибит, золото, брейтгауптит, ульманит.

Рентген. 2,81 (10); 2,59 (9); 2,03 (8); 1,790 (6).

Купростибит Cuprostibite Cu_2Sb (1969)

Тетр. с. *P4/mmm*; $a = 3{,}99$; $c = 6{,}09$; $Z = 2$; устойчив ниже 586°.

Хим. Теор.: Cu 51,2; Sb 48,8; примеси Ag, Zn, As, S; *Илимаусак* (Гренландия): Cu 53,3; Ag 0,1; Sb 42,0; S 1,1, Σ96,5[мз].

Микр. Мелкие ксеноморфные выделения, отраж. умеренно высокое (> 40 %), двуотраж, сильное с плеохроизмом от розовато-фиолетового до блекло-кремово-розового; анизотропия исключительно сильная, с цв. эфф. в огненно-красных и сине-фиолетовых тонах; сп. в двух направлениях; дв. пластинчатые двух систем, косо ориентированные относительно направлений сп. Кривые дисперсии *R* индивидуальны (см. рис. 45), имеют сложный риккардитоподобный профиль с глубоким и обширным минимумом в желто-зеленой области и с крутым подъемом к УФ- и ИК-участкам спектра; кривые резко непараллельны в длинноволновой области и при λ 645 нм пересекаются: при λ <645 нм минерал положительный — круговое сечение темное розовато-фиолетовое. VHN 195—230.

---

* Индексация осей решетки уточнена в соответствии с общепринятой для структур марказитового типа.

Отл. По визуальному восприятию несколько сходен с риккардитом и брейтгауптитом. Риккардит при большом сходстве профилей кривых надежно отличается значительно более низким отраж.; брейтгауптит оптически отрицателен, умеренно анизотропен без ярких цв. эфф., спектры отраж. отличаются по профилю, кривые не пересекаются.

Нахожд. Редкий. Известен в поздних производных сложных плутонов нефелиновых сиенитов с уссингитом в *Илимаусаке* в ассоц. с леллингитом, самородной медью, дискразитом; в Fe-Mn и полиметаллических рудах *Лонгбана* (Швеция) с дискразитом, гудмундитом, галенитом, брейтгауптитом; в серебряно-полиметаллических рудах Ср. Азии с дискразитом, медью, халькозином, купритом.

Изуч. Сп.-213 —*Илимаусак*; обр. из Ср. Азии.

Рентген. 2,82 (4); 2,56 (6); 2,07 (10); 1,993 (4); 1,167 (4).

МИНЕРАЛЫ Sb—Sn

Стистаит Stistaite Sn Sb (1968)

Гекс. с.; $a = 8{,}65$; $c = 10{,}68$; $Z = 12$.

Хим. Теор.: Sn 49; Sb 51; нередко Sn несколько преобладает над Sb ($Sn_{1,15}Sb_{0,85}$); примеси Pb до 1,3; Cu, Bi, Ag.

Микр. Обычно в виде тонких срастаний с оловом, реже со свинцом, кубанитом, купростибитом. Отраж. высокое (> 80 %), подобен Ag; отт. кремовый; двуотраж. незаметное; анизотропия очень слабая. VHN 110—115. От высокоотражающих минералов шлихов (платина и др.) отличается низкой тв.

Нахожд. Редкий. В Au м-ниях и в Au-Pt россыпях.

Рентген. 3,07 (10); 2,17 (10); 2,16 (10); 1,779 (3); 1,767 (7); 1,532 (5); 1,374 (5); 1,358 (5).

МИНЕРАЛЫ Sb—As

Сурьма Antimony Sb

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}31$; $c = 11{,}32$; $Z = 6$; структура типа As; $T_{пл}$ 630,5°.

Хим. Обычно чистая; примеси: As (до 11 %), Bi, Ag.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые, почковидные агрегаты радиально-лучистого строения. Отраж. R >70 %; цв. белый, иногда наблюдается слабый зеленоватый отт. Двуотраж. заметно в зернистых агрегатах и в зернах с полисинт. дв. Отчетливо анизотропна. Тип. дисперсии сложный с небольшим максимумом в сине-зеленой области и с преобладанием нормального профиля в направлении к длинноволновому участку (рис. 46). Несмотря на некоторые различия в спектральных кривых у разных авторов, сурьма по спектрам отраж. определяется уверенно. VHN 45—135. Полируется относительно хорошо.

Отл. В мелких выделениях сходна с алтаитом, теллуром, серебром, дискразитом; от алтаита и серебра отличается анизотропией, у ди-

скразита отсутствует сп., цв. кремово-белый; от теллура надежно отличается только по спектрам отраж. или рентгенограмме.

Нахожд. Относительно редкий минерал м-ний сурьмяных, золотых, серебро-полиметаллических, 5-элементной формации; ассоц.: антимонит, гудмундит, висмут, арсениды Ni, Co и Fe, *стибарсен, ауростибит*, минералы Ag, галенит, сфалерит; как правило, это низкотемпературные гидротермальные ассоц. Высокомышьяковистая сурьма слагает ламелли (структуры распада твердого раствора) в стибарсене.

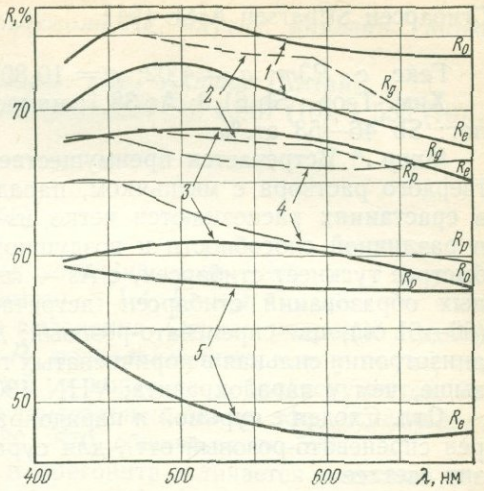


Рис. 46. Спектры отражения сурьмы (1), парадокразита (2), теллура (3), стибарсена (4), мышьяка (5)

Изуч. Сп.-383.—*Каньон (Магаданская обл.)*, колл. Р. О. Берзона; обр. м-ний Якутии, Кавказа.

Рентген. 3,15 (6); 2,25 (10); 2,15 (10); 1,869 (4); 1,765 (8); 1,552 (8); 1,366 (10); 1,316 (3); 1,242 (3); 1,059 (3); 1,017 (4).

Парадокразит Paradocrasite $Sb_2(Sb, As)_2$ или Sb_3As (1971)

Монокл. с. *C*2; $a = 7{,}25$; $b = 4{,}17$; $c = 4{,}43$; $\beta = 123{,}13°$, $Z = 1$.

Хим. Ср. по 10 анализам: Sb 82,9; As 18,6; Σ 101,5[мз].

Микр[м]. По отраж. и цв. близок к сурьме (см. рис. 46), эффекты анизотропии и двуотраж. отчетливые в воздухе, сильные в иммерсии; полисинт. дв., ориентированы по нескольким плоскостям. *H* чуть ниже, чем у стибарсена, и отчетливо ниже, чем у лёллингита; VHN 104—134.

Отл. Сходен с сурьмой, стибарсеном и дискразитом. Отличается наличием дв., по спектрам отраж., не покрывается побежалостью. Сравнительно с сурьмой сильнее двуотраж., в положении R_{max} ярче сурьмы и более кремовый, в темном — слегка темнее. У дискразита кремовый отт. выражен отчетливее. Рентгенограмма парадокразита индивидуальна.

Нахожд. Обнаружен в музейных образцах дискразита м-ния *Брокен-Хилл* (Австралия), многие обр. аллемонтита также оказались парадокразитом; замещается стибарсеном, сурьмянистым лёллингитом.

Рентген. 3,06 (10) (200, $\bar{1}11$); 2,21 (5) ($\bar{2}02$,111); 2,09 (7) ($\bar{3}11$, 020); 1,730 (3) (40$\bar{2}$,220); 1,521 (3) (400,$\bar{2}22$); 1,392 (3) ($\bar{3}13$, 311, 022); 1,330 (3) ($5\bar{1}1$).

Стибарсен Stibarsen AsSb 1941

Гекс. с. $R\bar{3}m$; $a = 4{,}02$; $c = 10{,}80$; устойчив ниже 660°.

Хим. Теор.: Sb 61,9; As 38,1; микропримеси Ag, Fe, Ni; синт. аналог: Sb 46—53 ат.%.

Микр.[м] Встречается преимущественно в форме структур распада твердого раствора с мышьяком, парадокразитом или сурьмой. Фазы в срастаниях распознаются четко из-за различной тв. компонентов и различной способности к воздушному травлению. В сростках с Sb быстрее тускнеет стибарсен, с As — мышьяк. В форме мономинеральных образований стибарсен встречается редко. Отраж. высокое, (66—61 %), цв. сиреневато-розовый; двуотраж. слабое (см. рис. 46), анизотропия сильная в коричневатых тонах. Отмечены дв. *H* несколько выше, чем у парадокразита; VHN 130—160.

Отл. Сходен с сурьмой и парадокразитом; для стибарсена характерен сиреневато-розовый отт., для сурьмы — зеленоватый; парадокразит светлее.

Нахожд. Большинство образцов «аллемонтита» оказались стибарсеном. Характерный минерал руд 5-элементной формации; ассоц. с другими минералами системы Sb—As

Мышьяк Arsenic As (1823)

Триг. с. $R\bar{3}m$; $a = 3{,}78$; $c = 10{,}59$; $Z = 6$; параметры решетки увеличиваются с ростом содержаний Sb; структура двуслойная, принадлежит к одной структурной гр. с Sb и Bi $T_{возг}$ 604°.

Хим. Обычно с примесями: Sb (до 15 % и более) Fe, Ni, Ag.

Микр. Гроздьевидные, почковидные массы, изредка игольчатые кристаллы; часто тонкие графические мирмекитовые сростки с сурьмой и стибарсеном; воздушным травлением нередко выявляется зональное строение со структурой ледяных узоров. Отраж. заметно ниже (< 58 %), чем у висмута и сурьмы; цв. нейтральный (белый); двуотраж. сильное ($\Delta R_{отн} = 0{,}2$), анизотропия отчетливая в блеклых тонах; часто видны дв., сп. по базису. VHN 70—170, чаще 90—140. Оптически отрицательный. Спектры отраж. нормального типа с пологим профилем R_o и крутым (к сине-зеленой области) R_e (см. рис. 46). При длительном хранении мышьяк покрывается плотной коркой сажистых оксидов.

Нахожд. При высоких *T* As и Sb образуют в любых пропорциях твердые растворы, распадающиеся при охлаждении. Согласно Вертбладу, существуют три гомогенные фазы: богатая мышьяком, богатая сурьмой и стибарсен, содержащий около 50 % каждого из них. Аллемонтит, выделявшийся ранее как самостоятельный минеральный вид, представляет тончайшую эвтектоидную смесь этих фаз: мышьяка со стибарсеном или сурьмы со стибарсеном. Сравнительно широко распространенный минерал поздних низкотемпературных ассоц. вулканогенных и телетермальных As, Au, Pb-Zn м-ний; ассоц.: серебро, реальгар, аурипигмент, антимонит; характерный минерал м-ний 5-элементной формации; ассоц.: стибарсен, арсениды и сульфоарсениды

Fe, Ni, Co и Cu, серебро, сульфосоли Ag, лаутит, никелин. Может быть гипергенным.

Изуч. Сп.-267 —*Садон* (Кавказ), *Сев. Акташ* (Алтай).

Рентген. 7,76 (8); 3,14 (8); 2,74 (10); 2,04 (9); 1,867 (10); 1,530 (10).

АРСЕНИДЫ Fe, Co, Ni

Орселит Orcelite $Ni_{5-x}As_2$ (1959)

Гекс. с.; $a = 6{,}81$; $c = 12{,}50$; устойчив ниже 700°.

Хим. Ni 4,95—4,2; As 2; примеси: S 1,4; Fe 0,9; Cu 0,3.

Микр. Мелкие ксеноморфные выделения. Отраж. умеренно высокое (~ 50 %), R_g несколько выше, R_p несколько ниже, чем у маухерита (рис. 47). Цв. кремово-розоватый, в контакте с брейтгауптитом белый. Двуотраж. слабое, заметно анизотропен, без цв. эфф. *H* несколько ниже, чем у маухерита; VHN 480—570, обычно около 520.

Отл. От сходных маухерита и орегонита отличается заметным двуотраж.

Нахожд. Установлен в оруденелых серпентинизированных гипер-

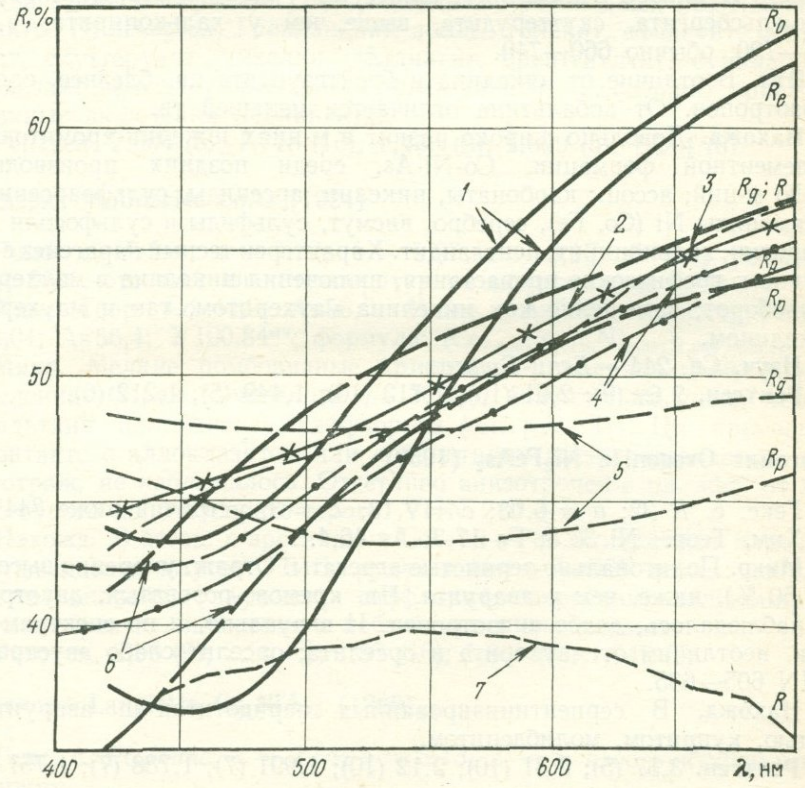


Рис. 47. Спектры отражения никелина (1), маухерита (2), орегонита (3), орселита (4), вестервелдита (5), вожминита (6), моддерита (7)

базитах; ассоц.: маухерит, хизлевудит, брейтгауптит, магнетит, пентландит, годлевскит, виоларит.

Рентген. 2,11 (4); 1,977 (10); 1,918 (10); 1,810 (4); 1,737 (4); 1,383 (4).

Маухерит Maucherite $Ni_{11}As_8$ (1913)

Тетр. с. $P4_12_12$ ($P\bar{4}2_1C$); $a = 6{,}872$; $c = 21{,}82$; $Z = 4$; синт. фаза $Ni_{11}As_8$ устойчива ниже 830°.

Хим. Теор.: Ni 51,85; As 58,15; примеси достигают: Co 2,2; Fe 1,7; S 1. *Бени-Бушера* (Марокко): Ni 52,90; Co 0,23; Fe 0,12; As 47,30; S 0,22; Σ 100,77[мз]; формула: $(Ni_{11,08}Co_{0,05}Fe_{0,03})_{11,16}(As_{7,76}S_{0,08})_{7,84}$.

Микр. Таблитчатые, зернистые, радиально-лучистые, волокнистые агрегаты. Отраж. умеренно высокое (~ 50 %), несколько ниже, чем у никелина (см. рис. 47). Цв. белый со слабым розоватым отт.; на фоне белых арсенидов Co — Ni — Fe отчетливо розовый, в контакте с никелином или брейтгауптитом — чисто белый. Двуотраж. не наблюдалось. Слабо анизотропен. Характерны пластинчатые дв., выявляемые травлением. *H близок к никелину, ниже, чем у саффлорита, лёллингита,* раммельсбергита, скуттерудита, выше, чем у халькопирита; VHN 600—790, обычно 660—740.

Отл. В отличие от никелина и брейтгауптита цв. бледнее, слабее анизотропен. От кобальтина отличается меньшей тв.

Нахожд. Довольно широко развит в м-ниях никелин-хромитовых, 5-элементной формации, Co-Ni-As, среди поздних производных Cu-Ni м-ний; ассоц.: карбонаты, никелин, арсениды, сульфоарсениды, антимониды Ni (Co, Fe), серебро, висмут, сульфиды и сульфосоли Ag, пирротин, халькопирит, пентландит. Характерен тесный парагенез с никелином: *графические прорастания, включения никелина в маухерите* и наоборот; замещение как никелина маухеритом, так и маухерита никелином.

Изуч. Сп.-244 —*Бени-Бушера.*

Рентген. 2,69 (9); 2,01 (10); 1,713 (10); 1,449 (5); 1,212 (6).

Орегонит Oregonite Ni_2FeAs_2 (1959)

Гекс. с. $R32$; $a = 6{,}08$; $c = 7{,}13$; $Z = 3$; устойчив ниже 844°.

Хим. Теор.: Ni 36,3; Fe 17,3; As 46,4.

Микр. Полигонально-зернистые агрегаты. Отраж. умеренно высокое (~ 50 %), ниже, чем у аваруита. Цв. кремово-розоватый, двуотраж. не наблюдалось, слабо анизотропен. И визуально, и по спектрам отраж. неотличим от маухерита и орселита; орселит слабо двуотраж.; VHN 605—635.

Нахожд. В серпентинизированных перидотитах с аваруитом, медью, купритом, молибденитом.

Рентген. 3,57 (5); 2,31 (10); 2,12 (10); 1,991 (7); 1,788 (7); 1,757 (7).

Вестервелдит Westerveldite (Fe, Ni) As (1972)

Ромб. с. *Pmcn*; $a = 3{,}37—3{,}46$; $b = 6{,}02—5{,}97$; $c = 5{,}44—5{,}33$ (для FeAs и $Fe_{0.6}Ni_{0.4}As$ соответственно); $Z = 4$; изоструктурен с моддеритом.

Хим. Теор. (FeAs): Fe 42,7, As 57,3. Состав минерала: Fe 26—43; Ni 0—17; Co 0—0,7; As 52—57; Sb 0—4,7; S 0—0,1.

Микр.[м] Мелкие зерна неправильной формы. Отраж. умеренно высокое, повышается с ростом содержания Fe. Оптическая характеристика вестервелдита нуждается в уточнении — сведения, приводимые разными авторами, разноречивы. Цв. розовато-коричневый, хорошо заметен в сростках с маухеритом и лёллингитом. Анизотропия отчетливая с цв. эфф. от оранжево-коричневого до голубоватого и темно-серого. *H* выше, чем у маухерита и никелина, несколько ниже, чем у брейтгауптита, и заметно ниже, чем у лёллингита. В богатом Fe вестервелдите отмечались полисинт. дв. VHN 575—745, с Ni (6—14 %) 705—975.

Нахожд. В оруденелых серпентинизированных перидотитах и никелин-хромитовых м-ниях с маухеритом, никелином; характерны взаимные прорастания маухерита и верстервелдита и замещение никелина этими минералами. Среди поздних производных нефелиновых сиенитов (*Илимаусак*, Гренландия); ассоц.: галенит, сфалерит, молибденит, скуттерудит, никелин, лёллингит, брейтгауптит, сурьма; вестервелдит замещает никелин и брейтгауптит и содержит ориентированные включения лёллингита.

Рентген. 2,604 (8); 1,718 (10); 1,450 (5); 1,329 (5); 1,214 (6).

Моддерит Modderite CoAs (1924)

Ромб. с. *Pmcn*; $a = 3{,}52$; $b = 5{,}97$; $c = 5{,}16$; $Z = 4$; устойчив ниже 950°, отвечает низкотемпературной модификации CoAs-II.

Хим. Теор. Co 44,0; As 56,0. М-ние в АзССР: Co 39,4; Fe 5,0; Ni 0,04; As 56,4; Σ 100,84[мз]; формула: $(Co_{0.885}Fe_{0.118}Ni_{0.001})_{1.004}As_{0.996}$.

Микр. Мелкие ромбовидные кристаллы и неправильной формы выделения. Отраж. умеренное (~ 36 %), значительно ниже, чем у кобальтина, аллоклазита, саффлорита (см. рис. 47). Цв. кремовый, в контакте с аллоклазитом или кобальтином имеет зеленоватый отт. Двуотраж. не наблюдалось. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. от лилово-бурого до голубовато-серого. VHN 210 ±40.

Нахожд. В ассоц. с арсенидами Co--Ni—Fe, минералами платины в Бушвелдском плутоне. В Co рудах м-ния в АзССР ассоц.: кобальтин, аллоклазит, глаукодот, саффлорит, пирротин, халькопирит; обычно образует включения в кобальтине и аллоклазите.

Рентген. 2,59 (9); 2,56 (6); 1,97 (10); 1,301 (5); 1,047 (6).

Лангисит Langisite Co_4NiAs_5 (1969)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}54$; $c = 5{,}13$; $Z = 2$; изоструктурен с никелином.

Хим. Близок к теор.: Co 35,2; Ni 8,8; As 56.

Микр.[м] Мелкие зерна пластинчатой и неправильной формы. Отраж. умеренно высокое (48 %), ниже, чем у никелина. В отличие от никелина — коричневато-розовый. Двуотраж. очень слабое, анизотропия умеренная в голубовато-серых и светло-коричневых тонах. *H* выше, чем у никелина. VHN 780—860.

Нахожд. Редкий. В м-нии 5-элементной формации (Канада); ассоц.: саффлорит, маухерит, пирит, висмутин, паркерит, кобальтпентландит, зигенит, бравоит, халькопирит; наблюдался в саффлорите.

Рентген. 2,631 (10); 1,966 (9); 1,770 (8); 1,493 (4); 1,470 (3); 1,141 (3); 1,022 (3).

Никелин Niccolite NiAs (1832)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}619$; $c = 5{,}034$; $Z = 2$; устойчив ниже 962°. Выше 580° неограниченная взаимная растворимость NiAs—NiS, при снижении *T* синтеза от 500 до 200° растворимость серы в NiAs снижается от 3 до 1 %.

Хим. Теор.: Ni 43,9; As 56,1; примеси S, Sb (до 10 %) Co, Bi, Fe, Cu. М-ние в КазССР: Ni 44,45; Co следы; Fe 0,04; Cu 0,03; As 54,23; Sb 0,14; S 2,33; Σ 101,22[мз], СЭМ; формула: $(Ni_{0.973}Fe_{0.001}Cu_{0.001})_{0.975}\ (As_{0.930}Sb_{0.002}S_{0.093})_{1.025}$.

Микр. Зернистые, почковидные, радиально-лучистые и дендритовидные агрегаты, сложные сростки, изредка таблитчатые или призматические кристаллы. Отраж. умеренно высокое. Цв. насыщенный желтовато-розовый (*p*24 %). Двуотраж. заметное от желтовато-розового до светло-коричнево-розового. Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в розовато-желтых, зеленовато-голубых тонах. В скрещенных николях часто обнаруживаются структура ледяного узора и волнистое погасание. Иногда наблюдаются тонкие полисинт. дв. и сп. Спектры отраж. R_g и R_p подобны, точка перегиба кривых (минимум) находится около 450 нм, тогда как у сходного брейтгауптита минимум сдвинут к 500—525 нм (см. рис. 47), этим и обусловлено различие в цв. минералов. *H* близок брейтгауптиту и пирротину, выше, чем у халькопирита, выше, чем у скуттерудита, пирита; VHN 305—535, обычно 360—390.

Отл. По цв. напоминает брейтгауптит, маухерит, мелонит и отчасти пирротин. Цв. никелина менее насыщенный, чем у брейтгауптита, без фиолетового отт., но более интенсивный, чем у маухерита, который в контакте с никелином имеет сиреневый отт., кроме того, не двуотраж. и почти изотропен. Мелонит более отчетливо розовый и значительно мягче никелина. Пирротин более коричневый, *R* у него ниже. По спектрам отраж. никелин надежно отличается от всех визуально сходных минералов.

Нахожд. В м-ниях: 5-элементной формации, никелин-хромитовых, медистых сланцев и медистых песчаников, скарновых Fe и Fe-Mn; в последних — в поздних гидротермальных проявлениях арсенидов и сульфидов. Обычно в карбонатных жилах; ассоц.: никельскуттерудит, скуттерудит, раммельсбергит, парараммельсбергит, Ni-содержащий саффлорит, маухерит, герсдорфит, брейтгауптит и ульманнит.

В небольших количествах в зоне гипергенеза: в Fe-Mn конкрециях на дне океанов (за счет Ni тэнита-камасита космической пыли), в бокситах, в конкрециях глинистых толщ с сульфидами меди, коффинитом, минералами ванадия.

Изуч. Сп.-278 — м-ние в КазССР; обр. м-ний Сибири, Сев. Африки, Ирана.

Рентген. Сп.-278: 3,071 (1) (100); 2,616 (10) (101); 2,508 (0,5) (002); 1,941 (9) (102); 1,784 (5) (110); 1,479 (2) (201); 1,468 (2) (103); 1,317 (2) (202); $a = 3{,}577$; $c = 5{,}000$.

Лёллингит Löllingite $FeAs_2$ (1845)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 5{,}30$; $b = 5{,}98$; $c = 2{,}88$; $Z = 2$; структура типа марказита, сжатая вдоль оси *c*; $T_{пл}$ 1016°.

Хим. Теор.: Fe 27,15; As 72,85; *примеси достигают:* S 4; Co 8; Ni 9; Cu 3; Sb 1,5; Ag 0,1. *Бу-Азер* (Марокко): Fe 26,4; Co 1,9; Ni не обн.; As 68,1; S 0,8; Σ 97,2[мз]; формула: $(Fe_{0,99}Co_{0,06})_{1,05}$ $(As_{1,90}S_{0,05})_{1,95}$.

Микр. Призматические и длиннопризматические кристаллы, ланцетовидные и копьевидные, дв. и тройники в виде 6-лучевых звезд, зернистые агрегаты, сплошные массы. Отраж. близкое пириту. Двуотраж. отчетливое с изменением цв. от голубовато-зеленоватого, голубовато-белого до желтовато-белого или кремово-желтоватого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в насыщенных соломенно-желтых и ярко-голубых тонах. Профили спектров отраж. сходны с арсенопиритом. Кривая R_2 имеет нормальный тип дисперсии, кривая R_1 — аномальный, чем и определяется значительная величина дисперсии величины двуотраж. (рис. 48). Спектры отраж. пересекаются у лёллингита при 530 нм, у кобальтистого лёллингита при 550 нм. Особенности спектров отраж. кобальтистого лёллингита близки к таковым саффлорита. *H* высокий, но отчетливо ниже, чем у арсенопирита; VHN 430—990, обычно 500—740.

Отл. *От весьма сходного арсенопирита отличается меньшей тв.*, иными цветами анизотропии, по рентгенограммам; от саффлорита иным отт. цв., отт. цв. двуотраж., по спектрам отраж. Для сходного раммельсбергита характерны полисинт. дв. и иные цв. анизотропии; парараммельсбергит отчетливо светлее.

Нахожд. Довольно широко распространен в гидротермальных

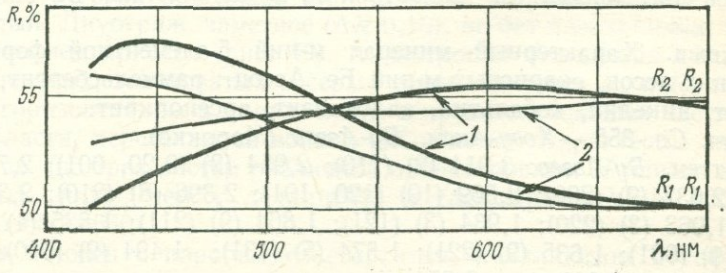


Рис. 48. *Спектры отражения лёллингита (1) и саффлорита (2)*

м-ниях, образованных при низкой фугитивности S — 5-элементной формации; скарновых Fe, Cu, Co, B (датолитовых); сульфидно-касситеритовых; Au; кроме того, в грейзенах, гранитных и иных пегматитах. Ассоц.: арсенопирит, пирротин, герсдорфит, скуттерудит, никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит, мышьяк, кобальтин, аллоклазит, халькопирит, борнит, минералы Ag, Bi и Sb.

Изуч. Сп.-223 —*Пезинок* (ЧССР), колл. ИГЕМ АН СССР; *Бу-Аззер*.

Рентген. *Бу-Аззер*: 3,94 (1) (110); 2,990 (1) (020); 2,593 (10) (120); 2,543 (5) (101); 2,403 (4) (210); 2,347 (10) (111); 1,974 (1) (220); 1,932 (1) (121); 1,857 (8) (211, 130); 1,687 (2) (310); 1,638 (7) (221); 1,589 (1) (230); 1,568 (1) (131); 1,502 (1) (301); 1,449 (3) (002); $a = 5{,}273$; $b = 5{,}963$; $c = 2{,}907$.

Саффлорит Safflorite $(Co,Fe)As_2$ (1835)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 5{,}23$; $b = 5{,}95$; $c = 2{,}96$; $Z = 2$; структура типа марказита, сжатая по оси *c*.

Хим. Теор. $CoAs_2$; Co 28,2; As 71,8. Саффлорит и лёллингит образуют непрерывный изоморфный ряд; изоморфизм в ряду $CoAs_2$—$NiAs_2$ ограничен. Примеси Ni, S, Sb. *Хову-Аксы* (Тува): Co 18,4; Fe 9,6; Ni следы; As 70,2; S 0,8; Σ 99,0[мз]; формула: $(Co_{0,65}Fe_{0,35})_1\ (As_{1,95}\ S_{0,05})_2$.

Микр. Зернистые массы, почки, радиально-лучистые агрегаты, отдельные зоны в зональных агрегатах арсенидов Co—Ni—Fe, копьевидные и расщепленные кристаллы, реже ромбопризматические кристаллы, дв. и тройники в виде 6-лучевых звезд. Характерно зональное строение. Отраж. высокое; цв. белый со слабым голубоватым отт. Двуотраж. относительно слабое, ярче выражено у железистого саффлорита; характерна значительная дисперсия двуотраж. (см. рис. 48). Отчетливо анизотропен с цв. эфф. от темно-желтого до фиолетово-синего. Смена оптического знака отраж. происходит при 490—500 нм. В скрещенных николях нередко заметно волнистое погасание и структура ледяного узора, как у никелина. *H* заметно ниже, чем у арсенопирита и лёллингита, выше, чем у скуттерурида; VHN 285—1050, обычно 430—600.

Отл. От сходного арсенопирита отличается по форме выделений, меньшей тв., спектрам отраж., рентгенограммам; от лёллингита — меньшей тв., иными цв. анизотропии, зональностью, по спектрам отраж.

Нахожд. Характерный минерал м-ний 5-элементной формации и поздних ассоц. скарновых м-ний Fe. Ассоц.: раммельсбергит, скуттерудит, никелин, кобальтин, аллоклазит, арсенопирит.

Изуч. Сп.-355 —*Хову-Аксы*, *Бу-Аззер* (Марокко).

Рентген. *Бу-Аззер*: 3,914 (2) (110); 2,954 (2) (0,20, 001); 2,710 (1) (011); 2,632 (9) (200); 2,569 (10) (120, 101); 2,396 (8) (210); 2,349 (8) (111); 1,963 (3) (220); 1,934 (3) (121); 1,864 (9) (211); 1,835 (4) (130); 1,653 (9) (031); 1,635 (9) (221); 1,574 (5) (131); 1,494 (2) (040); $a = 5{,}262$; $b = 5{,}931$; $c = 2{,}974$.

Клиносаффлорит Clinosafflorite $CoAs_2$ (1971)

Монокл. с. $P2_1/n$ (?); $a = 5{,}914$; $b = 5{,}862$; $c = 5{,}962$; $\beta = 116{,}27°$.

Хим. Близок к $CoAs_2$, небольшие примеси Fe, Ni, S. *Бу-Аззер* (Марокко): Co 28,8; Fe 1,1; Ni не обн.; As 70,7; Σ 100,6[мз]; формула: $(Co_{1.01}Fe_{0.04})_{1.05}As_{1.95}$.

Микр. Зерна неправильной и ромбовидной формы, зернистые массы. Отраж. высокое (57 %), цв. белый; двуотраж. слабое. Ясно анизотропен с цв. эфф. от светло-желтого до сиренево-голубого. Характерна смена оптического знака отраж. при 480 нм. *H* высокий, ниже, чем у кобальтина; VHN 640—935.

Отл. Весьма похож на саффлорит, отличается отсутствием зональности, большей тв., по рентгенограммам. От лёллингита отличается меньшей тв., более слабыми и в блеклых тонах цв. эффектами анизотропии.

Нахожд. Редкий. В м-ниях: 5-элементной формации, As-Co-Ni, скарновых Fe; ассоц.: саффлорит, скуттерудит, кобальтин, пирротин, зигенит, Co-пирит, халькопирит, магнетит, сульфиды Ag.

Рентген. *Бу-Аззер*: 3,818 (1) ($\bar{1}11$); 2,929 (1) (020); 2,782 (1) (111); 2,681 (5) (002); 2,670 (4) (200); 2,534 (10) ($\bar{1}21$); 2,447 (5) (012); 2,438 (6) (210); 2,313 (2) ($\bar{2}21$); 1,977 (1) (022); 1,910 (1) ($\bar{2}22$); 1,872 (4) ($\bar{1}13$); 1,823 (2) ($\bar{1}31$); 1,662 (3) (131); 1,637 (2) ($\bar{1}23$); 1,616 (1,5) ($\bar{3}13$); 1,579 (1,5) (032); $a = 5{,}944$; $b = 5{,}860$; $c = 5{,}961$; $\beta = 115{,}82°$.

Раммельсбергит Rammelsbergite $NiAs_2$ (1854)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 4{,}79$; $b = 5{,}79$; $c = 3{,}54$; $Z = 2$; структура типа марказита; отвечает β-фазе в системе Ni—As с областью гомогенности 66,55—66,66 ат. % As, устойчивой при 590—1000°.

Хим. Теор.: Ni 28,15; As 71,85. Примеси Co, Fe, S, Cu, Sb. *Хову-Аксы* (Тува) и *Бу-Аззер* (Марокко): Ni 25,84 и 26,4; Co 1,90 и 2,9; Fe 0,39 и 0; As 71,68 и 71,0; S 0,67 и 0,2; Σ 100,48 и 100,5[мз]; формулы: $(Ni_{0.91}Co_{0.07}Fe_{0.01})_{0.99}$ $(As_{1.97}S_{0.04})_{2.01}$ и $(Ni_{0.93}Co_{0.10})_{1.03}(As_{1.96}S_{0.01})_{1.97}$.

Микр. Зернистые, тонкозернистые, радиально-лучистые, сферолитовые агрегаты, призматические кристаллы, отдельные зоны в почковидных агрегатах арсенидов Ni—Co—Fe. Отраж. высокое (60 %); цв. белый. Двуотраж. заметное (ΔR 0,10), но без плеохроизма, только с изменением яркости (рис. 49). Анизотропия отчетливая в блеклых коричневатых, зеленоватых и серых тонах. Спектры R_g и R_p практически горизонтальны и параллельны в пределах большей части видимой области, пересекаются вблизи ИК-участка. Характерны пластинчатые дв. (до трех систем различной ориентировки). *H* близок к скуттерудиту, ниже, чем у лёллингита и саффлорита; VHN 460—830, обычно 550—650.

Отл. Сходен с парараммельсбергитом, лёллингитом и саффлоритом; отличается наличием полисинт. дв., чисто белым цв. и умеренной, в блеклых тонах, анизотропией. В отличие от скуттерудита, герсдор-

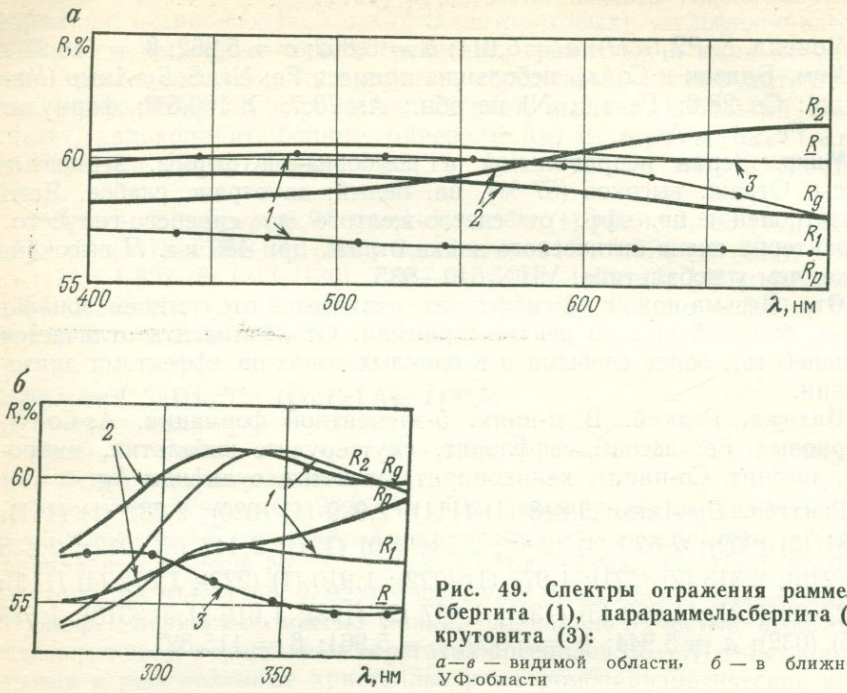


Рис. 49. Спектры отражения раммельсбергита (1), парараммельсбергита (2), крутовита (3):
а—в — видимой области, *б* — в ближней УФ-области

фита и крутовита — ясно анизотропен. Надежно диагностируется по спектрам отраж.

Нахожд. Характерный минерал Co-Ni-As м-ний и 5-элементной формации, ассоц.: никелин и другие Co-Ni-Fe арсениды и сульфоарсениды, серебро, висмут. В Cu-Ni и никелин-хромитовых м-ниях в ассоц. с маухеритом, антимонидами и сульфоантимонидами Ni.

Изуч. Сп.-336 —*Хову-Аксы, Бу-Аззер* (Марокко).

Рентген. *Бу-Аззер*: 3,683 (2) (110); 2,990 (1) (011); 2,825 (9) (101); 2,536 (10) (111); 2,467 (1) (120); 2,372 (1) (200); 2,163 (1) (?); 2,017 (2) (121); 1,865 (10) (211); 1,783 (2) (130); 1,750 (2) (002); 1,684 (7) (031); 1,591 (3) (131); 1,529 (2) (310); 1,498 (1) (022); 1,431 (2) (122); 1,405 (1) (311); 1,377 (1) (212); $a = 4{,}769$; $b = 5{,}784$; $c = 3{,}513$.

Парараммельсбергит Pararammelsbergite $NiAs_2$ (1940)

Ромб. с. *Pbca*; $a = 5{,}75$; $b = 5{,}80$; $c = 11{,}41$; $Z = 8$; отвечает α-фазе в системе Ni—As, устойчивой ниже 590°.

Хим. Близок к теор.; примеси Co, Fe, S, Sb. *Бу-Аззер*: Ni 28,9; Co 0,5; Fe не обн.; As 72,2; S 0,4; Σ 101,0[мз]; формула: $(Ni_{1,00}Co_{0,02})_{1,02}(As_{1,96}S_{0,03})_{1,99}$.

Микр. Зерна таблитчатой и округлой формы. Отраж. высокое (~ 60 %), сходен с раммельсбергитом. Двуотраж. слабое по интенсивности, но с изменением тональности от белого (голубовато-белого)

до нежно-кремового (желтовато-белого). Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в желтых, оранжевых, голубовато-синих тонах. Спектры отраж. относительно близки к горизонтальной линии (см. рис. 49), но противоположны по профилю: R_2 со слабой аномальной дисперсией, R_1 — со слабой нормальной. Кривые пересекаются при 540—550 нм. *H* ниже, чем у скуттерудита, выше, чем у никелина; VHN 670—825, чаще 730—790.

Отл. Сходен с лёллингитом, саффлоритом, клиносаффлоритом и особенно раммельсбергитом, скуттерудитом, крутовитом. Скуттерудит и крутовит изотропны. Парараммельсбергит самый светлый из перечисленных минералов, не имеет пластинчатых (как у раммельсбергита) или звездчатых (как у лёллингита и саффлорита) дв. От раммельсбергита отличается цветным двуотраж. и яркой цветной анизотропией.

Нахожд. Сравнительно мало распространен, в тех же м-ниях, что и раммельсбергит. Тесно ассоц. с никелином, обычно замещает его; нередко развит вдоль контактов никелина и герсдорфита.

Изуч. Сп.-300 — *Бу-Аззер* (Марокко); м-ние в Зап. Сибири.

Рентген. Сп.-300: 3,869 (1) (111); 2,825 (7) (021); 2,799 (7) (201); 2,580 (8) (022); 2,535 (10) (121); 2,500 (9) (211); 2,345 (9) (212); 2,148 (1) (123); 2,020 (1) (204); 1,985 (5) (115); 1,813 (7) (131); 1,793 (4) (311); 1,732 (8) (312); 1,638 (3) (313); 1,608 (3) (230); 1,589 (5) (026); 1,542 (4) (134); 1,529 (4) (322); 1,480 (3) (233); 1,439 (1) (400) ;1, 424 (2) (008); 1,376 (3) (217); 1,323 (2) (143); $a = 5{,}744$; $b = 5{,}821$; $c = 11{,}394$.

Крутовит Krutovite $NiAs_2$ (1976)

Куб. с. $P2_13$; $a = 5{,}79$; $Z = 4$; структура типа куб. упорядоченного герсдорфита.

Хим. Близок к теор.; примеси достигают: Co 2,5; Fe 3; Cu 1; S 5. Вероятно, существует непрерывный ряд крутовит — герсдорфит. *Хову-Аксы* (*Тува*) и м-ние в КазССР: Ni 25,04 и 26,23; Co 1,65 и 1,80; Fe 0,26 и 2,68; As 73,37 и 65,14; Sb 0,09 и 0; S 0,08 и 3,50; Σ 99,49[мз], РНС и 99,35[мз]; СЭМ; формулы: $(Ni_{0,90}Co_{0,03}Fe_{0,01})_{0,94}(As_{2,05}S_{0,01})_{2,06}$ и $(Ni_{0,89}Co_{0,06}Fe_{0,10})_{1,05}(As_{1,73}S_{0,22})_{1,95}$.

Микр[м]. Мелкие изометричные и неправильной формы зерна, отдельные зоны в зональных сростках арсенидов Ni—Co—Fe. Отраж. высокое (60 %). Цв. чисто белый, изотропен, иногда слабо анизотропен. Профиль спектра отраж. практически горизонтален (см. рис. 46). *H* несколько выше, чем у никельскуттерудита и герсдорфита; VHN 630—760.

Отл. Сходен с никельскуттерудитом, скуттерудитом и мышьяковистым герсдорфитом, отличается более высоким отраж. и чисто белым цв. Никельскуттерудит и герсдорфит несколько мягче, а скуттерудит тверже крутовита. Близкие по цв. и отраж. раммельсбергит и парараммельсбергит отчетливо анизотропны с цв. эфф. Надежно диагностируется по спектру отраж., рентгенограмме.

Нахожд. В гидротермальных м-ниях 5-элементной формации (*Яхимов*, *ЧССР*), Co-Ni-As (*Хову-Аксы*), Cu-Co (*Джулукульское*, Тува);

ассоц.: никельскуттерудит, никелин, герсдорфит, лёллингит, брейтгауптит, халькопирит, блеклая руда, серебро. Возможно, распространен широко, но пропускался из-за сходства с куб. арсенидами гр. скуттерудита.

Изуч. Сп.-205-1,2 —*Хову-Аксы*; Сп.-205-3 — м-ние в КазССР; *Яхимов.*

Рентген. Сп.-205-1: 4,10 (1) (110); 2,897 (6) (200); 2,593 (10) (210); 2,365 (8) (211); 2,051 (5) (220); 1,860 (0,5) (?); 1,746 (8) (311); 1,673 (3) (222); 1,608 (5) (320); 1,548 (6) (321); 1,449 (2) (400); $a = 5{,}794$.

Скуттерудит Skutterudite $CoAs_3$ (1845)

Куб. с $Im3m$; $a = 8{,}20$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Co 20,8, As 79,2. Ряд скуттерудит—никельскуттерудит $NiAs_3$ непрерывный по составу. Никелистый скуттерудит по традиции именуют шмальтином. Помимо Ni примеси Fe, Cu, S, Sb, Bi. *Бу-Аззер* (Марокко) и *Тырныауз* (Кавказ): Co 20,4 и 7,19; Ni 0,88 и 3,79; Fe 0,46 и 4,84; Cu 0 и 3,77; As 77,3 и 79,22; S 1,27 и 0,41; Σ 100,31[мз] и 99,23[мз]; РНС и СЭМ; формулы:
$(Co_{0,96}Ni_{0,04}\ Fe_{0,02})_{1,02}\ (As_{2,87}\ S_{0,11})_{2,98}$ и
$(Co_{0,35}Ni_{0,18}\ Fe_{0,25}Cu_{0,17})_{0,95}\ (As_{3,01}S_{0,04})_{3,05}$.

Микр. Зернистые массы, отдельные зоны в зональных сростках арсенидов, кристаллы в форме куба, октаэдра, кубооктаэдра, реже пентагондодэкаэдра. Отраж. высокое (57—55 %); цв. белый; изотропен. В срастании с никельскуттерудитом выглядит кремоватым. Примесь Ni снижает R, изменяется и профиль спектра отраж. (рис. 50). Различия в данных по R других авторов объясняются, очевидно, колебаниями состава. H высокий, близок к саффлориту, выше, чем у никельскуттерудита, ниже, чем у арсенопирита. VHN 270—975, обычно 740—900.

Отл. От никельскуттерудита отличается кремовым отт., большей тв., устойчивостью к травлению HNO_3 (1 : 1). Близкие по величине отраж. и тв. лёллингит, саффлорит, раммельсбергит отчетливо анизотропны и двуотражают. Сходные по величине отраж. минералы ряда

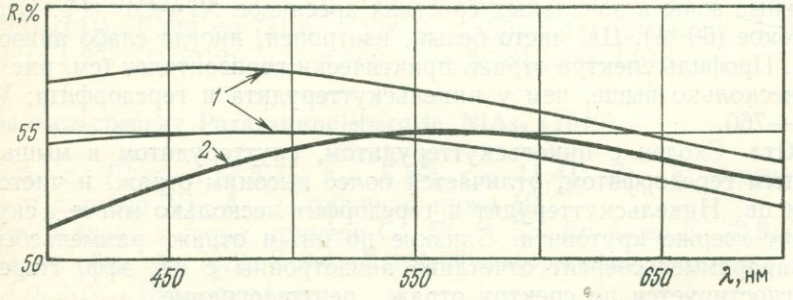


Рис. 50. Спектры отражения скуттерудита разного состава (1) и никельскуттерудита (2)

арсенопирит — аллоклазит заметно тверже, несколько темнее (розовее) и анизотропны.

Нахожд. Один из главных минералов арсенидных руд гидротермальных Co и Co-Ni м-ний. Известен в м-ниях скарновых Fe и Mo-W, в медноколчеданных и Cu-Ni. Ассоц.: карбонаты, никелин, саффлорит, раммельсбергит, лёллингит, сульфоарсениды Co, Ni и Fe, серебро, висмут, блеклая руда, борнит, уранинит, As-пирит.

Изуч. Сп.-366-1 —*Бу-Аззер*; Сп.-366-2 — *Тырныауз*; *Хову-Аксы*.

Рентген. Сп.-366—1: 5,82 (3) (110); 4,11 (3) (200); 3,355 (4) (211); 2,600 (10) (310); 2,195 (8) (321); 1,936 (3) (411); 1,837 (8) (420); 1,752 (3) (332); 1,677 (6) (422); 1,611 (8) (510); 1,408 (5) (530); 1,368 (3) (600); $a = 8{,}213_5$.

Никельскуттерудит Nickelskutterudite $NiAs_3$ (1892)

Куб. с. $Im3$; $a = 8{,}31$; $Z = 8$; изоструктурен со скуттерудитом.

Хим. Теор.: Ni 20,7; As 79,3. Примеси Co, Fe, S, Sb, Cu, Bi. Кобальтистая разновидность по традиции именуется хлоантитом. *Хову-Аксы* (Тува): Ni 19,4; Co 1,98; Fe 0,14; Cu 0,03; As 78,2; Sb 0,05; S 0,33 Σ 100,08[мэ]; РНС; формула: $(Ni_{0,93}Co_{0,09}Fe_{0,01})_{1,03}(As_{2,94}S_{0,03})_{2,97}$.

Микр. Зернистые массы, отдельные зоны в зональных агрегатах Co-Ni-Fe арсенидов и в кристаллах куб. Co-Ni арсенидов. Отраж. высокое (55 %); цв. светлый; изотропен. В сростках с крутовитом белый с зеленовато-серым отт. *H* ниже, чем у скуттерудита; VHN около 530.

Отл. От сходного крутовита надежно отличается по спектру отраж. (см. рис. 49, 50).

Нахожд. Распространен в тех же м-ниях, что и скуттерудит, но в меньших количествах; более распространен кобальтистый никельскуттерудит.

Изуч. Сп.-280 —*Хову-Аксы*.

Рентген. Сп.-280: 5,88 (3) (110); 4,16 (3) (200); 3,394 (4) (211); 2,628 (10) (310); 2,200 (7) (321); 1,960 (3) (411); 1,860 (8) (420); 1,733 (3) (332); 1,691 (7) (422); 1,632 (5) (510); 1,427 (8) (530); 1,386 (5) (600); 1,314 (3) (620); $a = 8{,}316$.

АРСЕНИДЫ Cu (Ag)

В природе арсениды Cu встречаются обычно в виде сложных и чрезвычайно тонких совместных прорастаний, затрудняющих, а нередко и исключающих отбор материала даже для микропробы; и именно для таких тонкозернистых срастаний единственно возможными средствами диагностики оказываются микрозондовые анализы и исследование отраж. Характерная особенность арсенидов Cu — быстрое потускнение и затем почернение свежеотполированной поверхности.

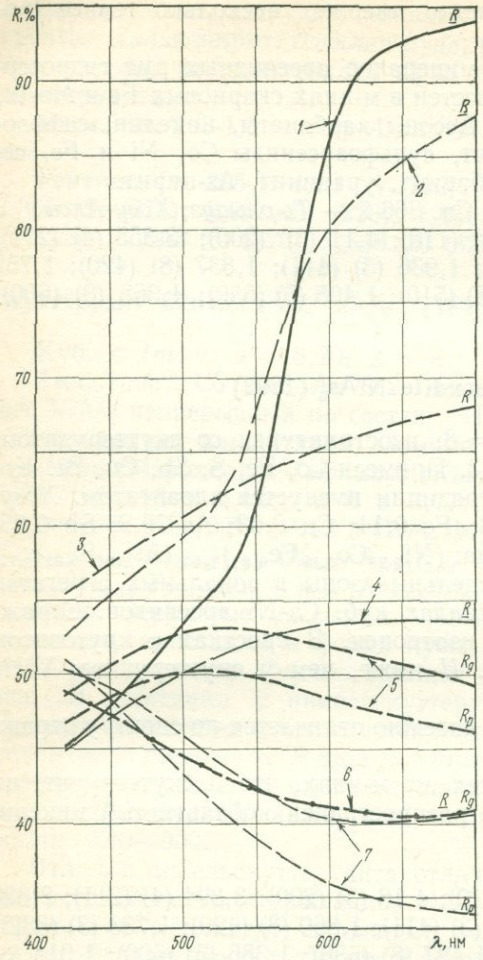


Рис. 51. Спектры отражения меди (1), витнеита (2), альгодонита (3), α-домейкита (4), β-домейкита (5), коутекита (6), кутинаита (7)

Витнеит Whitneyite (Cu,As) (1859)

Куб. с. *Fm 3m*; $a = 3{,}64$; $Z = 4$; твердый раствор мышьяка в меди (α-фаза системы *Cu—As*); устойчив ниже 1080°.

Хим. Состав переменный: по Х. Штрунцу, предел насыщения меди мышьяком составляет 12 %, по данным синтеза — 5 %.

Микр.[м] Самый светлый из арсенидов Cu, отраж. высокое, несколько ниже, чем у меди; цв. кремово-розовый, подобен меди. Изотропен. Спектр. отраж. близок к спектру меди (рис. 51). VHN 52—58. Поверхность чернеет быстрее, чем у других арсенидов Cu.

Нахожд. Редкий. Известен только в гипергенной ассоц. в виде каемок на меди, иногда на контакте меди и домейкита, нередко бывает окружен каймой альгодонита с серебром.

Альгодонит Algodonite Cu_8As или (Cu_6As) (1857)

Гекс. с. *P* $6_3/mmc$; $a = 2{,}588$; $c = 4{,}226$; $Z = 2$; отвечает аналогичной синт. фазе, устойчивой ниже 380°.

Хим. Теор.: Cu 87,15; As 12,85. Минерал обычно содержит As ~ 15 %; такой состав близок к Cu_8As, и к Cu_6As; примесь Ag.

Микр.[м]. Мелкозернистые корки, почковидные и гроздевидные агрегаты; неоднородный, обычно в форме пластинчатых структур распада твердого раствора с домейкитом. Отраж. выше 60 %. Цв. кремовый. Двуотраж. слабое. Заметно анизотропен. Спектр. отраж. индивидуален, имеет широкий четкий максимум в желтой области (см. рис. 51). *H* выше, чем у халькопирита, халькозина; VHN 215—255.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных м-ниях с другими арсенидами Cu, арсенидами Co—Ni—Fe, брейтгауптитом. В зоне гипергенеза ассоц.: медь, куприт, тенорит, серебро.

Рентген. 2,25 (3) (100); 2,13 (8) (002); 2,00 (10) (101); 1,54 (5) (102); 1,45 (1) (003); 1,30 (5) (110); 1,20 (5) (103); 1,105 (5) (112); 1,080 (2) (004).

α-Домейкит (низкий) α-Domeykite Cu_3As (1845)

Куб. с. $I\bar{4}3d$; $a = 9{,}619$; $Z = 16$; устойчив ниже 225° и ниже, 100 МПа.

Хим. Близок к теор.: Cu 71,8; As 28,2; примесь Ag.

Микр. Тонкозернистые, почковидные и гроздевидные агрегаты, отдельные зерна. Отраж., близкое к пириту (53 %); цв. желтовато-кремовый; в сростках с альгодонитом заметно более темный (см. рис. 51). Изотропен. Довольно быстро покрывается побежалостью VHN ~ 205.

Нахожд. Относительно редкий, но наиболее распространенный из арсенидов меди; содержит включения β-домейкита (структуры распада твердого раствора); ассоц.: альгодонит, медь, халькозин, борнит, галенит, серебро, полибазит, халькопирит.

Рентген. 3,39 (4); 3,035 (8); 2,565 (6); 2,150 (8); 2,046 (10); 1,959 (8); 1,882 (8); 1,557 (4); 1,517 (4); 1,357 (4); 1,306 (6); 1,219 (10); 1,181 (8); 1,164 (8).

β-Домейкит (высокий) β-Domeykite Cu_3As (1845)

Гекс. с. $P\bar{3}c1$; $a = 7{,}11$; $c = 7{,}27$ (параметры несколько увеличиваются с повышением содержания Cu); отвечает β-фазе системы Cu—As с областью гомогенности 25,65—27,35 ат. % As., устойчивой от 225 до 827°.

Хим. Близок к теор., примеси Co, Ni, Fe, Sb, S (< 0,2 %).

Микр. Обычно пластинчатые или веретенообразные ламелли в α-домейките; также в виде мелких зерен. Отраж. близко к α-домейкиту, чуть ниже; цв. в контакте с α-домейкитом слегка зеленовато-сероватый (см. рис. 51); заметно анизотропен. VHN около 250.

Нахожд. Редкий. Обычно в тончайших микросрастаниях с α-домейкитом. В ряде гидротермальных м-ний — наиболее распространенный арсенид меди; относительно высокотемпературный; ассоц.: кутинаит, коутекит, лёллингит, дискразит.

Рентген. 3,64 (6); 2,345 (8); 2,214 (8); 2,050 (10); 2,002 (10); 1,959 (6); 1,432 (6); 1,244 (6); 1,184 (8); 1,174 (10).

Коутекит Koutekite Cu_2As—Cu_5As_2 (1958)

Гекс. с.; $a = 11{,}51$; $c = 14{,}54$; $Z = 18$; отвечает синт. фазе Cu_2As, устойчивой ниже 300°, которая образуется при эвтектоидном распаде тетр. γ-фазы состава Cu_5As_2.

Хим. Теор. (Cu_2As и Cu_5As): Cu 62,9 и 67,95; As 37,1 и 32,05. Состав минерала чаще близок к Cu_5As_2.

Микр.[м] Мелкие выделения. Отраж. умеренное (42—39 %), несколько ниже, чем у галенита. Отчетливо голубоватый; двуотраж. заметное; анизотропия с цв. эфф. в синих и оранжевых тонах. Спектры

отраж. индивидуальны, имеют нормальный тип дисперсии, пересекаются при λ 465 нм (см. рис. 51). При травлении HCl 1 : 1 очень быстро становится розовым до красного, с очень сильным двуотраж. и анизотропией. Аналогичный эффект появляется и при длительном воздушном травлении. VHN ~ 150.

Нахожд. Редкий. В карбонатных жилах м-ний 5-элементной формации, в высокотемпературных кварцевых жилах с арсенидами и антимонидами Cu и Ag.

Рентген. 2,08 (10); 2,02 (10); 1,989 (10); 1,324 (8); 1,148 (9).

Новакит Novakite Cu_4As_3 (1959)

Тетр. с.; $a = 8{,}21$; $c = 11{,}88$; $Z = 12$.

Хим. Теор.: Cu 53,1; As 46,9; примесь Ag до 3,5 %.

Микр.[м] Мелкие выделения, сростки с лёллингитом, мышьяком, халькозином. Отраж. умеренно высокое (50—51 %), несколько светлее мышьяка; цв. кремово-белый; двуотраж. отчетливое; анизотропен в темносине-серых и коричневатых тонах. Быстро затравливается.

Нахожд. Известен в единственном Cu-Co-As м-нии *Черный Дул* (ЧССР). Легко замещается гипергенными минералами Cu и As.

Рентген. 1,998 (8); 1,959 (9); 1,877 (10); 1,351 (6); 1,180 (9).

Паксит Paxite Cu_2As_3 (1962)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 12{,}84$; $b = 11{,}50$; $c = 7{,}65$; $Z = 10$.

Хим. Теор.: Cu 36,12; As 63,88.

Микр.[м] Пластинчатые выделения. Отраж. умеренно высокое (50—44 %), темнее мышьяка. Бесцветный (белый и светло-серый), двуотраж. заметное, сильно анизотропен с цв. эфф. в темно-коричневых, фиолетовых, светло-зеленых, серых тонах. Быстро покрывается побежалостью; сп. в одном направлении.

Нахожд.. Редкий. В Cu-Co-As м-нии *Черный Дул* образует сростки с новакитом, коутекитом, мышьяком.

Рентген. 3,63 (8); 3,16 (10); 2,77 (7); 2,62 (7); 1,202 (7).

Кутинаит Kutinaite $AgCu_2As$ (1970)

Куб. с.; $a = 11{,}76$; $Z = 28$; аналог синт. фазы $Ag_{0.84}Cu_{2.07}As$.

Хим. Теор.: Ag 30,5; Cu 44,3; As 25,2; примеси Ni, Co, S.

Микр.[м] Отраж. умеренно высокое, близко к галениту (см. рис. 51); в ассоц. с другими арсенидами Cu отчетливо-голубоватый; изотропен. VHN 235—400.

Отл. Сходен с галенитом, но значительно более твердый. Другие, близкие по величине R минералы, отчетливо анизотропны.

Нахожд. *Черный Дул*, *Вассерфолл* (ФРГ); ассоц.: домейкит, новакит, коутекит, паксит, мышьяк, лёллингит.

Рентген. 2,702 (9) (331); 2.398 (8) (422); 2,259 (10) (511,333); 2,078 (10) (440) ; 1,991 (7) (531); 1,959 (7) (600,442); 1,776 (7) (622); 1,387 (7) (822,660); 1,182 (7) (933,771,755).

Гудмундит Gudmundite FeSbS (1928)

Монокл. с. $P2_1/c$ ($B2_1/d$); $a = 6{,}69$; $b = 10{,}06$; $c = 5{,}94$; $\beta = 90°$; $Z = 8$; *изоструктурен с арсенопиритом; устойчив ниже 280°.*

Хим. Близок к теор.: Fe, 26,83; Sb 57,76, S 15,41.

Микр. Зернистые агрегаты, ромбопризматические кристаллы, нередко дв. сростки, реакционные каемки по границе пирротина и блеклой руды, брейтгауптита и халькопирита. Отраж. высокое, светлее пирита. Двуотраж. сильное, от насыщенного кремово-розового в темном положении до слегка голубоватого — в светлом. Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в красноватых, зеленоватых тонах. Спектры отраж. в большей части видимой области непараллельны: R_2 нормального профиля, R_1 — аномального и пересекаются при 650 нм (рис. 52).

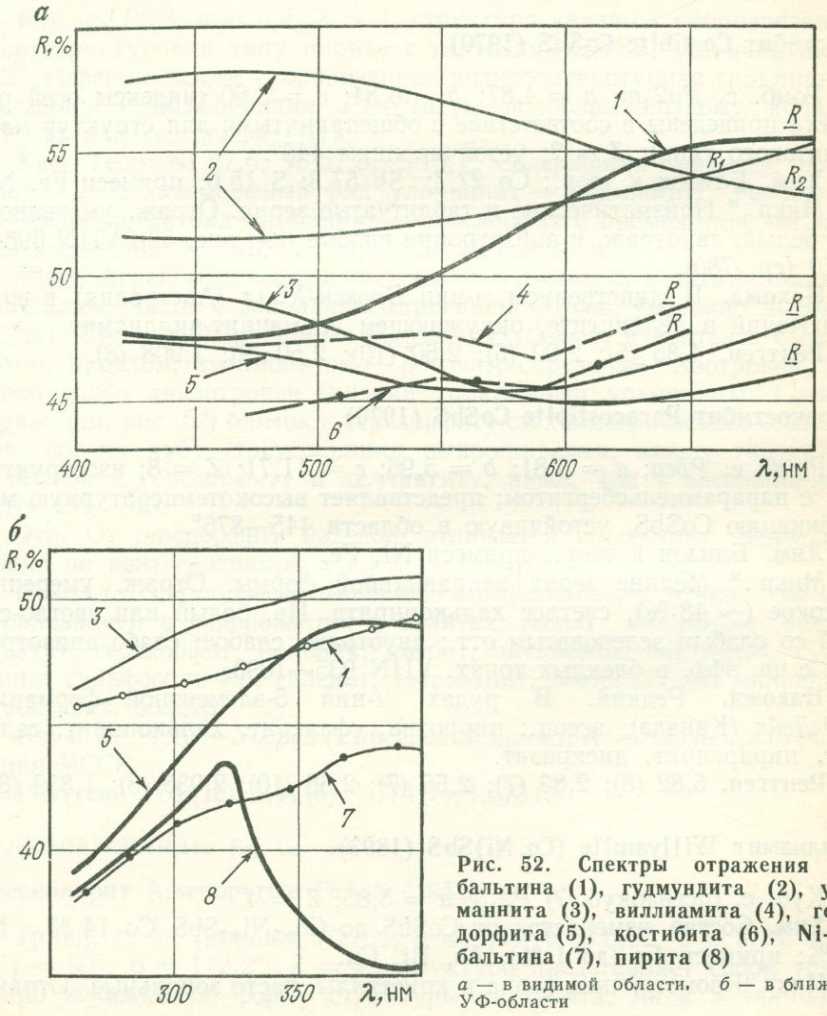


Рис. 52. Спектры отражения кобальтина (1), гудмундита (2), ульманнита (3), виллиамита (4), герсдорфита (5), костибита (6), Ni-кобальтина (7), пирита (8)

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

H близок к пирротину, заметно ниже, чем у арсенопирита; VHN 350—725, обычно 370—590.

Отл. Похож на арсенопирит, за который ранее без детальных исследований, очевидно, нередко и принимался; отличается пониженной тв., более насыщенным розоватым отт., более сильной анизотропией, по спектрам отраж.

Нахожд. Относительно широко распространенный минерал гидротермальных м-ний, богатых Sb и Fe; ассоц.: антимонит, бертьерит, сурьма, пирротин, галенит, сульфосоли Pb, брейтгауптит, сейняйокит, вестервелдит.

Изуч. Сп.-125 —*Чалкилдак* (Ср. Азия); *Комсомольское* (Урал); *Горевское* (Красноярский край), *Пезинок* (ЧССР).

Рентген. 4,10 (5); 3,00 (4); 2,93 (4); 2,80 (4); 2,56 (10); 1,912 (8); 1,617 (6); 1,458 (6); 1,410 (6).

Костибит Costibite CoSbS (1970)

Ромб. с. $Pn2_1m$; $a = 4{,}87$; $b = 5{,}84$; $c = 3{,}60$ (индексы осей решетки приведены в соответствие с общепринятыми для структур марказитового типа); $Z = 2$; устойчив ниже 445°.

Хим. Близок к теор.: Co 27,7; Sb 57,3; S 15,0; примеси Fe, Ni.

Микр.[м] Призматические и таблитчатые зерна. Отраж. умеренное; цв. белый; двуотраж. и анизотропия слабые (см. рис. 52). VHN 695—1010 (ср. 780).

Нахожд. В единственном м-нии *Брокен-Хилл* (Австралия) в виде включений в лёллингите, окружающем ульманнит-виллиамит.

Рентген. 4,85 (5); 2,90 (6); 2,60 (10); 2,50 (9); 1,908 (8).

Паракостибит Paracostibite CoSbS (1970)

Ромб. с. *Pbca*; $a = 5{,}81$; $b = 5{,}96$; $c = 11{,}71$; $Z = 8$; изоструктурен с пararаммельсбергитом; представляет высокотемпературную модификацию CoSbS, устойчивую в области 445—876°.

Хим. Близок к теор., примеси Ni, Fe.

Микр.[м] Мелкие зерна неправильной формы. Отраж. умеренно высокое (~ 48 %), светлее халькопирита. Цв. белый или светло-серый со слабым зеленоватым отт.; двуотраж. слабое; слабо анизотропен с цв. эфф. в блеклых тонах. VHN 935—1090.

Нахожд. Редкий. В рудах м-ния 5-элементной формации *Рэд-Лейк* (Канада); ассоц.: пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит, пираргирит, дискразит.

Рентген. 5,82 (8); 2,83 (7); 2,65 (7); 2,56 (10); 2,035 (8); 1,859 (8).

Виллиамит Willyamite (Co, Ni)SbS (1893)

Куб. с. (псевдокуб. ?) $P2_13$; $a = 5{,}85$; $Z = 4$.

Хим. Состав изменяется от CoSbS до $Co_{0,5}Ni_{0,5}SbS$, Co 14 %, Ni 14 %; примеси Fe (до 1 %), As, Bi, Cu.

Микр. Изометричные зерна и кристаллы, часто зональные. Отраж.

умеренно высокое (см. рис. 52); цв. белый с розовато-кремовым отт.; изотропен. С ростом содержания никеля R и H понижаются. Иногда наблюдается сп. по (100). VHN 660—795.

Отл. Сходен с ульманнитом, герсдорфитом, кубическими арсенидами Co—Ni—Fe; диагностируется по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. Ассоц.: *Брокен-Хилл* (Австралия) — лёллингит, кобальтин, дискразит, пираргирит, серебро; *Дарасун* (Забайкалье)— брейтгауптит, халькопирит, серебро в рудах существенно пирротинового состава.

Рентген. 2,62 (10); 2,40 (8); 1,770 (7); 1,630 (5); 1 570 (5).

Ульманнит Ullmannite NiSbS (1843)

Куб. с. $P2_13$; $a = 5{,}9$; $Z = 4$; структура является упорядоченной сверхструктурой к типу пирита с гантелями S—Sb; устойчив ниже 752°. Известна также упорядоченная низкотемпературная триклинная (псевдокуб.) модификация $P1$ ($Pca2_1$), подобная низкому кобальтину-II или герсдорфиту-III.

Хим. Теор: Ni 27,6; Sb 57,3; S 15,1. Содержания примесей достигают: Co 12 (изоморфный ряд ульманнит — виллиамит); Fe 15; As 15 (изоморфный ряд ульманнит — герсдорфит с промежуточным членом коринитом Ni (Sb, As, S); Bi до 12 (каллилит).

Микр. Агрегаты изометричных зерен, кубические и октаэдрические кристаллы, часто с зональным строением. Отраж. умеренно высокое (46 %). Цв. в изолированных выделениях белый, в контакте с галенитом, пиритом, антимонитом — розовато-сиреневый. Изотропен, нередко слабо анизотропен (низкий триклинный ульманнит). Спектр отраж. (см. рис. 52) близок к герсдорфиту стехиометрического состава. Сов. сп. по кубу (треугольники выкрошивания, как у галенита). H близок к герсдорфиту и лёллингиту, ниже, чем у арсенопирита; VHN 460—540.

Отл. От герсдорфита надежно отличается по составу, менее надежно по рентгенограмме и спектру отраж.

Нахожд. Типоморфный минерал гидротермальных м-ний с Sb минерализацией в гипербазитах и базитах. Ассоц.: гудмундит, брейтгауптит, герсдорфит, никелин, нисбит, антимонит, бертьерит, сурьмяные сульфосоли Pb, галенит, тетраэдрит, вестервелдит, миллерит, ауростибит, золото.

Изуч. Сп.-416 —*Удерей* (Енисейский кряж); *Комсомольское* (Урал); м-ния ЧССР.

Рентген. 2,64 (10); 2,41 (8); 1,774 (7); 1,573 (5).

СУЛЬФОАРСЕНИДЫ Fe, Co, Ni

Арсенопирит Arsenopyrite FeAsS (1847)

Трикл. с. $P1$ (монокл. $P2_1/c$); $a = 5{,}74$; $b = 5{,}67$; $c = 5{,}78$; $\alpha = \gamma = 90°$; $\beta = 112{,}2°$; $Z = 4$; структура представляет собой триклинно искаженную форму структуры марказита, As и S занимают

в ней упорядоченным образом позиции атомов S. Рост содержания As приводит к переходу к почти моноклинной симметрии, при этом метрика решетки приближается к ромбической — $a = 9{,}57$; $b = 5{,}67$; $c = 6{,}42$; $\alpha = \beta = \gamma = 90°$—это высокий арсенопирит, устойчивый в области 500—700° (в ассоц. с лёллингитом). $T_{пл}$ 702°; в ассоц. с пиритом устойчив ниже 491°.

Хим. Конечный член почти непрерывного ряда FeAsS—CoAsS (*арсенопирит, глаукодот, аллоклазит*). *Теор.*: Fe 34,3; As 46,0; S 19,7. Состав минерала изменяется от $FeAs_{0,9}S_{1,1}$ до $FeAs_{1,1}S_{0,9}$; в ассоц. с лёллингитом известен $FeAs_{1,4}S_{0,6}$; в лиственитах и березитах по пиритоносным глинистым сланцам и алевролитам образуется высокосернистый арсенопирит — до $FeAs_{0,76}S_{1,24}$. Практически всегда зональный (нередко ритмично-зональный) по составу; центральные зоны более мышьяковистые, внешние — более сернистые; изредка с обратной зональностью. Образованию высокосернистого арсенопирита способствуют снижение температуры и рост давления. Состав можно приблизительно оценить по межплоскостному расстоянию 131: $d_{131} = 1{,}630$—30 ат. % As, 1,640—40 ат. % As. Примеси достигают: Co 12 (данаит), Ni 2 (изредка более), Sb 9. Обычно содержит n—$n \cdot 10$ г/т Au, при T около 600° растворяет Au до 1 %.

Микр. Призматические кристаллы, сростки кристаллов, в том числе звездчатые, нередко скелетные; шестоватые, радиально-лучистые, зернистые агрегаты, отдельные зоны в зональных выделениях сульфоарсенидов Fe—Co—Ni. *Отраж.* высокое, близкое к пириту (рис. 53). Двуотраж. несильное, легче обнаруживается в зернистых агрегатах и в зависимости от сечений различно: в сечениях $\perp(001)$ наиболее сильное, с изменением цв. от кремово-розоватого до чисто-белого, слегка голубоватого; в призматических разрезах цв. кремово-розоватый, двуотраж. практически незаметно. Рядом с пиритом вос-

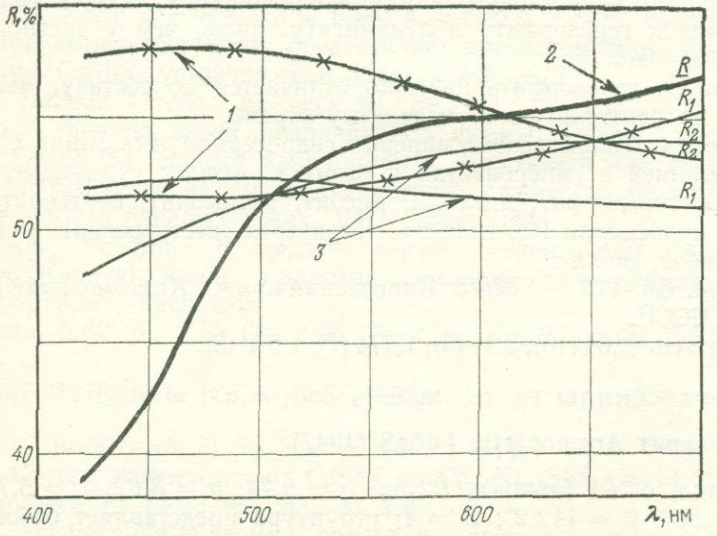


Рис. 53. Спектры отражения гудмундита (1), пирита (2), арсенопирита (3)

принимается как чисто белый, в контакте с галенитом — кремово-розоватый. В скрещенных николях отчетливо анизотропен с цв. эфф. в синих, красноватых тонах; зеленые тона, характерные для марказита, отсутствуют. Пластинчатые дв. Травление (в том числе воздушное) выявляет зональность. Спектры отраж. непараллельны, с очень слабой (R_2 аномальной, R_1 нормальной) дисперсией и пересекаются: в торцевых сечениях при 530—540 нм, в призматических — при 580 нм. *H* высокий, выше, чем у лёллингита, пирротина, магнетита, большинства арсенидов и сульфоарсенидов Ni, Co и Fe; Fe, но ниже, чем у пирита и кобальтина; VHN 720—1190, чаще 900—1100; на (001) обычно 760—810, на (010) 920—970, на (100) 1060—1150. Тв. кобальтистого или обогащенного мышьяком арсенопирита заметно ниже. Полируется очень хорошо.

Отл. Более всего сходен с гудмундитом; отличается меньшей насыщенностью кремово-розового цв., не столь сильными двуотраж. и анизотропией, по спектрам отраж., повышенной тв.; в мельчайших выделениях только по составу, спектрам отраж.; от пирита — по формам выделения, белым цв., анизотропией, тв.; от лёллингита — чаще правильными ромбовидными формами выделения, повышенной тв., по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Один из наиболее распространенных рудных минералов; ассоц.: широкий круг сульфидов, оксидов, арсенидов, сульфоарсенидов, сульфосолей в широком круге м-ний от высокотемпературных до приповерхностных низкотемпературных. Является хорошим осадителем золота из гидротермальных растворов: в м-ниях Au часто содержит микровростки золота.

Изуч. Сп.-29— *Валькумей* (Чукотка); *Дарасун* (Забайкалье), м-ния Казахстана.

Рентген. 3,88 (3); 3,66 (5); 2,68 (5); 2,66 (6); 2,44 (10); 2,42 (5); 2,41 (5); 1,824 (4); 1,812 (3,5); 1,631 (3).

Глаукодот Glaucodote (Co, Fe) AsS (1849)

Ромб. с. *Cmmm*; $a = 5{,}63$; $b = 6{,}68$; $c = 6 \times 4{,}82 = 28{,}92$ (индексы осей решетки приведены в соответствие с общепринятыми для структур марказитового типа).

Хим. Промежуточный член почти непрерывного ряда CoAsS—FeAsS (аллоклазит—глаукодот—арсенопирит); обычно содержит Co 15—21 % (реже до 29 %); Ni до 1 %.

Микр. Зернистые массы, призматические кристаллы, дв., нередко совместные зональные образования с арсенопиритом и аллоклазитом. Отраж. высокое (53 %); двуотраж. заметное: при практически постоянной яркости цветной тон меняется от слегка кремового до нейтрального, бледно-голубоватого. Отчетливо анизотропен с цв. эфф.: оранжево-желтыми, коричневатыми, серо-голубыми, менее яркими, чем у арсенопирита. Спектры отраж. подобны спектрам арсенопирита — близки к горизонтальным, непараллельны и пересекаются при 580 нм (рис. 54). *H* ниже, чем у арсенопирита и кобальтина; VHN 840—1100. Полируется очень хорошо.

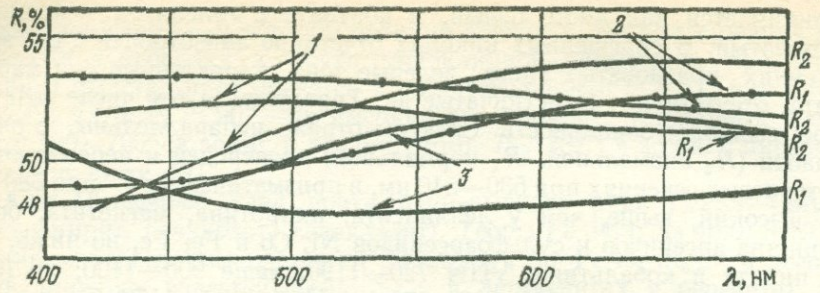


Рис. 54. Спектры отражения арсенопирита (1), глаукодота (2), аллоклазита (3

Отл. *Похож на арсенопирит и аллоклазит. В мелких выделениях* надежно диагностируется только по составу, спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Относительно редкий минерал. Характерен для As-Co-Ni минерализации в м-ниях различных типов, часто в скарново-магнетитовых. Ассоц.: кобальтин, халькопирит, аллоклазит, арсенопирит, минералы гр. айкинита, золото.

Изуч. Сп.-115 — м-ние в АзССР.

Рентген. 2,72 (10); 2,45 (8); 2,43 (7); 1,828 (9); 1,126 (6); 1,006 (6).

Аллоклазит Alloclasite CoAsS (1866)

Монокл. с. $P2_1$; $a = 4{,}66$; $b = 5{,}60$; $c = 3{,}41$; $\beta = 90{,}03°$; $Z = 2$; структура типа марказита. Минерал состава $Co_{0.75}Fe_{0.25}$ AsS — ромб. с. $P22_12_1$; $a = 4{,}66$; $b = 5{,}61$; $c = 3{,}40$. Синт. фаза $Co_{0.85}Fe_{0.15}As_{1.2}S_{0.8}$ и минерал состава $Co_{0.75}Ni_{0.25}$ AsS — ромб. с. *Pnmm*; $a = 4{,}78$; $b = 5{,}70$; $c = 3{,}32$.

Хим. Конечный, самый богатый Co, член изоморфного ряда CoAsS—FeAsS (*аллоклазит—арсенопирит*); обычно содержит Co 30—33%; максимальные содержания Co отвечают отношению Co : Fe = 96 : 4 при отсутствии Ni. Примеси Fe до 12 %, Ni до 9 %. Отношение As и S обычно близко к стехиометричному. *Бу-Аззер* (Марокко): Co 30,8; Fe 5,4; Ni 0,2; As 44,2; S 20,3; Σ 100,9[мз]; РНС; формула: $(Co_{0.85}Fe_{0.16}Ni_{0.01})_{1.02}As_{0.96}S_{1.02}$.

Микр. Зернистые агрегаты, ромбопризматические кристаллы и сростки, ксеноморфные выделения, зоны в зональных образованиях сульфоарсенидов Co—Fe и Co—Ni. Отраж. умеренно высокое, близкое к пириту. Цв. в подавляющем большинстве сечений нежный розоватый; лишь в редких, ромбической формы, сечениях заметно двуотраж. от нежного розоватого до чисто белого. Анизотропия умеренная с цв. эфф. в розовато-фиолетовых, коричневатых, синевато-серых тонах. Спектры отраж. близки к горизонтальным: кривые R_g, R_m и, очевидно, бóльшая часть кривых R_p^1 аномального профиля с очень слабой дисперсией и лишь незначительная часть кривых R_p^1,

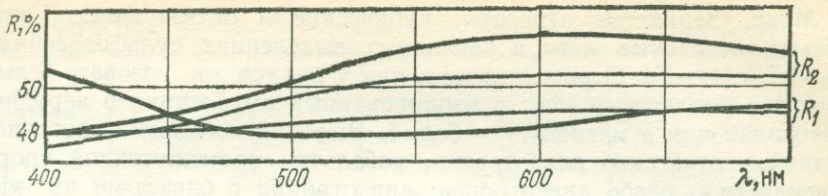


Рис. 55. Спектры отражения аллоклазита в разных сечениях

близких к R_p, имеют нейтральный, строго горизонтальный профиль с переходом к нормальному в интервале 480—400 нм (рис. 55). Эта особенность профилей кривых отраж. аллоклазита объясняет преимущественно розовый цв. в тональности минерала в отраженном свете. Кривые пересекаются при 450—440 нм. Дв. как у марказита. VHN 600—840.

Отл. Сходен с кобальтином, отличается формой выделений, анизотропией, по спектрам отраж. От глаукодота отличается более интенсивным и преобладающим в большинстве сечений розовым цв., меньшей тв., надежно — по спектрам отраж., составу.

Нахожд. Относительно редкий. В м-ниях 5-элементной формации, As-Co-Ni, в железорудных скарнах с наложенной Co минерализацией. Ассоц.: арсенопирит, глаукодот, кобальтин, лёллингит, арсениды Co—Ni—Fe.

Изуч. Сп.-10 —*Бу-Аззер* (Марокко); *Дашкесан* (АзССР) и *Хову-Аксы* (Тува).

Рентген. Сп.-10: 3,52 (2) (110); 3,06 (1) (?); 2,748 (10) (101); 2,398 (9) (120); 2,141 (1) (210); 2,005 (2) (?); 1,956 (3) (121); 1,814 (10) (211); 1,785 (1) (220); 1,725 (5) (130); 1,634 (8) (031); 1,579 (2) (211); 1,544 (6) (131, 112, 300); 1,485 (3) (310); 1,399 (4) (040); $a = 4{,}629$; $b = 5{,}589$; $c = 3{,}430$; $\beta = 90°$.

Кобальтин Cobaltite (Co, Ni, Fe) AsS (1832)

Кобальтин-I, высокий — куб. с. $Pa3$; $a = 5{,}61$; $Z = 4$; структура типа пирита с неупорядоченным расположением атомов As и S; высокотемпературная модификация, устойчивая выше 850°. Кобальтин-II, низкий — ромб. с. $Pca2_1$ (псевдокуб.); $a = b = c = 5{,}582$ или истинно ромб. с., $a = 5{,}592$; $b = 5{,}587$; $c = 5{,}567$; устойчив ниже 850°; сверхструктура на основе структуры пирита с упорядоченным расположением As и S. Переход высокий — низкий кобальтин сопровождается развитием дв. превращения. Природные образцы отвечают низкому (чаще смеси высокого и низкого) кобальтину. Морфология выделений низкого кобальтина кубическая (очевидно, это параморфозы по высокому кобальтину).

Хим. Теор.: Co 35,4; As 45,3; S 19,3. Вариации содержаний As и S незначительные — $CoAs_{1.05}S_{0.95}$ —$CoAs_{0.9}S_{1.1}$. Ряд кобальтин CoAsS—герсдорфит NiAsS непрерывный по составу, кобальтин содержит Ni до 18 %. Содержания других примесей достигают: Fe 10, Cu 1, Sb 30.

Микр. Зернистые агрегаты, кубические и октаэдрические кристаллы, отдельные зоны в зональных выделениях сульфоарсенидов Co—Ni и Co—Fe. Отраж. высокое, как у пирита; цв. розовато-белый, иногда с фиолетовым отт.; в изолированных выделениях в нерудных минералах или в магнетите — белый. Высокий кобальтин изотропен, низкий — отчетливо анизотропен, кобальтин промежуточной упорядоченности — слабо анизотропен; анизотропия с блеклыми цв. эфф. в голубовато-серых, коричневатых тонах. Спектры отраж. имеют сложный профиль с минимумом в синей области и с максимумом в красной области (рис. 56), этими особенностями обусловлен розовый тон минерала. С ростом содержания Fe несколько увеличивается R в синей области. С ростом содержания Ni отраж. в красной и желтой областях снижается, форма спектров приближается к герсдорфиту (см. рис. 56). Профили спектров высокосурьмянистого (низкосернистого) кобальтина выпрямленные, R повышенное (см. прилож. 2).

Для низкого кобальтина характерны дв.. Иногда наблюдается сп. H высокий, выше, чем у большинства обычных сульфидов и арсенидов, но ниже, чем у пирита; VHN 890—1370, обычно 950—1100.

Отл. В мелких изолированных зернах сходен с пиритом, в контакте с пиритом отличается бело-розовым цв. и более низким рельефом. Кубические арсениды Co, Ni и Fe чисто белые, с меньшей тв.; глаукотит и аллоклазит всегда анизотропны с цв. эфф.; арсенопирит отличается формами выделений, цветным двуотраж. и анизотропией; минералы гр. линнеита имеют более низкую тв.; от всех сходных минералов кобальтин отличается по спектрам отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Довольно широко распространенный минерал в м-ниях: Co-Ni-As 5-элементной формации, железорудных скарновых; встре-

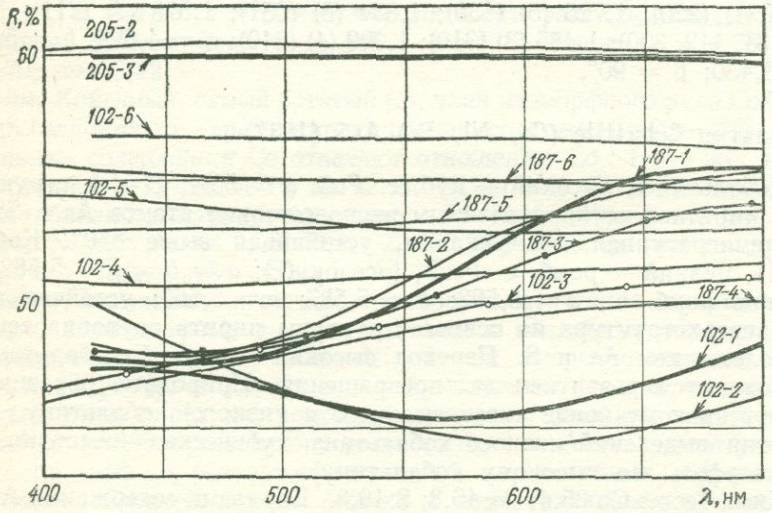


Рис. 56. Спектры отражения кобальтина (187), герсдорфита (102) и крутовита (205) разного состава (см. табл. 15 и 16)

Таблица 15

Компонент	Сп.-187-1		Сп.-187-2		Сп.-187-3	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Co	32,15	0,91	29,87	0,85	25,18	0,71
Ni	0	—	0,69	0,02	6,70	0,19
Fe	2,08	0,06	4,54	0,14	3,40	0,10
Cu	—	—	0		—	—
As	46,30	1,03	45,25	1,01	45,32	1,00
Sb	—	—	0,67	0,01	0,10	—
Bi	—	—	—	—	—	—
S	19,30	1,00	18,74	0,98	19,30	1,00
Σ	99,83	3	99,91[мз]	3	99,95	3
VHN	950—1085		970—1225		890—1090	

Продолжение табл. 15

Компонент	Сп.-187-4		Сп.-187-5		Сп.-187-6	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Co	14,48	0,41	13,14	0,47	11,45	0,41
Ni	12,69	0,36	3,93	0,14	6,04	0,22
Fe	7,05	0,21	10,15	0,38	9,06	0,34
Cu	0,93	0,03	0	—	0	—
As	49,70	1,11	48,47	1,33	35,80	1,00
Sb	0	—	15,08	0,26	28,75	0,49
Bi	0,07	—	0,32	—	0,10	—
S	16,66	0,87	6,95	0,43	8,40	0,55
Σ	101,57[мз]	3	98,01[мз]	3	99,61[мз]	3
VHN	—		—		—	

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (СЭМ), химический анализ (НЛЕ).

чается также в полиметаллических, медноколчеданных, Cu-Ni, Au. Ассоц. с очень многими рудными минералами.

Изуч. См. табл. 15, 16 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-187-2: 5,54 (0,5) $(100)^+$; 3,932 (0,5) $(110)^+$; 3,205 (0,5) (111); (2,782 (8) (200); 2,487 (10) (210); 2,272 (6) (211); 1,966 (1,5) (220); 1,854 (0,5) $(300)^+$; 1,759 ($<$ 0,5) $(310)^+$; 1,677 (6) (311); 1,607 (1,5) (222); 1,544 (2) (320); 1,486 (2) (321); 1,390 ($<$0,5) (400); 1,350 ($<$ 0,5) $(410)^+$; $a = 5{,}565$; (+) — отражения, характерные для низкого кобальтина.

Герсдорфит Gersdorffite (Ni,Co,Fe)AsS (1845)

Устойчив ниже 700°, известен в трех полиморфных модификациях на основе структуры типа пирита. Герсдорфит-II: высокий (целесообразно было бы эту модификацию выделить как герсдорфит-I) — куб. с. $Pa3$; $a = 5{,}71$; $Z = 4$; структура типа пирита с неупорядоченным распределением As и S по позициям S — формула минерала отвечает $Ni(As, S)_2$. Герсдорфит-III: промежуточный (целесообразно было бы эту модификацию выделить как герсдорфит-II) — ромб. с. $Pca2_1$ или трикл. с. $P1$ (псевдокуб.); $a=b=c=5{,}68$ и $\alpha=\beta=\gamma=90°$, пиритоподобная структура (аналогичная кобальтину-II) с частично упорядоченным распределением As и S. Герсдорфит-I: низкий (целесообразно было бы эту модификацию выделить как герсдорфит-III) — куб. с. $P2_1/3$; $a = 5{,}69$; структура пиритоподобная, аналогичная ульманниту с полностью упорядоченным распределением As и S, т. е. формула минерала отвечает NiAsS. Низкотемпературная модификация обычно образует *параморфозы по высокотемпературной*. В природных обр. наиболее широко распространены низкий герсдорфит и смесь низкого и высокого герсдорфита.

Хим. Теор. NiAsS; Ni 35,4; As 45,3; S 19,3. Соотношения As и S варьируют от $NiAs_{1,77}S_{0,23}$ до $NiAs_{0,77}S_{1,23}$, чаще As >S; ряд герсдорфит NiAsS — крутовит $NiAs_2$ почти непрерывен по составу. Ряд герсдорфит (Co до 17 %) — кобальтин непрерывен по составу. Содержания примесей достигают: Fe 10, Cu 3, Sb 25 (коринит); Pb 0,5; Se 0,4; Bi 0,3 (см. табл. 15 и 16).

Микр. Чаще мелкие кристаллы, частично ограненные зерна, цепочки зерен, сростки; реже — кристаллы в форме октаэдра, кубооктаэдра, куба, а также зернистые и пластинчатые агрегаты. Отраж. и цв. герсдорфита изменяются с изменением состава. Отраж. умеренно высокое до высокого (у низкосернистого герсдорфита). Цв. белый или серовато-белый со слабым сиренево-розоватым отт., в срастаниях с полидимитом — бело-голубой. Высокий и низкий герсдорфиты изотропны, промежуточный слабо анизотропен без цв. эфф. Часто наблюдается зональное строение, заметное благодаря различиям в рельефе и цветным отт. Спектр отраж. герсдорфита, близкого по составу к NiAsS характеризуется широким пологим прогибом в желтой области, минимумом при 590 нм, заметным подъемом кривой к красной и синей областям (см. рис. 56). Герсдорфит со значительными примесями Co и Fe имеет выпрямленный профиль спектра отраж., близкий к горизонтальному (см. рис. 56). Особенно сильно на форму спектров отраж. и на абсолютную величину R влияет величина отношения As к S. С ростом значения As/S отраж. существенно повышается (до 55 %), профили спектров в значительной мере приближаются к горизонтальной линии, т. е. становятся похожи на спектры отраж. крутовита (см. рис. 56). В крупных выделениях наблюдаются сп. по кубу и треугольники выкрошивания. H ниже, чем у кобальтина и арсенопирита; VHN 380—910, чаще 640—840; наиболее высокие значения у кобальтистого герсдорфита. Полируется хорошо.

Отл. В мелких выделениях надежно определяется только по со-

ставу. От кубических Co-Ni арсенидов отличается более низкими значениями R, розовато-сиреневым отт., по спектрам отраж. Минералы гр. линнеита заметно более насыщенно-розовые.

Нахожд. Один из наиболее распространенных минералов гидротермальных м-ний, залегающих (хотя бы частично) в породах базитового и гипербазитового состава; основной минерал—носитель Ni в *рудах многих колчеданных, колчеданно-полиметаллических*, золоторудных м-ний, где развит обычно в виде мелких вростков и цепочек зерен в халькопирите; ассоц.: поздний мелкокристаллический пирит, обогащенный As и Ni, арсенопирит, полидимит, зигенит, пирротин, борнит, кубанит. В значительных выделениях в рудах As-Co-Ni м-ний, 5-элементной формации, никелин-хромитовых; ассоц.: никелин, раммельсбергит, иные арсениды Co—Ni—Fe; как правило, обрастает и замещает никелин. Иногда в субграфических срастаниях с никелином, полидимитом, маухеритом, халькопиритом, пирротином.

Изуч. См. табл. 15, 16 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-102-2: 5,66 (1) $(100)^+$; 4,01 ($<$ 0,5) $(110)^+$; 3,27 (0,5) (111); 2,824 (5) (200); 2,539 (10) (210); 2,315 (9) (211); 2,006 (5) (220); *1,891* ($<$ 0,5) *(300)*$^+$; *1,793 (0,5) (310)*$^+$; *1,709 (10) (311)*; *1,636 (1)* (222); 1,573 (6) (320); 1,515 (6) (321); 1,417 (1) (400); 1,376 (1) (410); (+) — отраж., характерные для низкого герсдорфита-I. Высокий и промежуточный герсдорфиты по рентгенограммам не отличаются.

Вожминит Vozhminite $(Ni, Co)_4 (As, Sb) S_2$ (1982)

Гекс. с.; $a = 17{,}46$; $c = 7{,}20$; $Z = 18$.

Хим. Ni 52,7; Co 5,6; Fe 0,05; As 13,1; Sb 11,3; S 16,8; Σ 99,5^{мз}; формула: $(Ni_{3,53}Co_{0,37})_{3,90}$ $(As_{0,69}Sb_{0,36})_{1,05}$ $S_{2,05}$. Содержания As, Sb, S устойчивы; содержания Ni и Co изменчивы и соответственно равны 56,4—48,9 и 1,8—9,1 %.

Таблица 16

Компонент	Сп.-102-1		Сп.-102-2		Сп.-102-3	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Ni	30,85	0,88	33,76	0,95	15,72	0,45
Co	1,87	0,05	1,36	0,04	11,00	0,32
Fe	1,76	0,05	0,40	0,01	5,71	0,17
Cu	—	—	0	—	2,51	0,07
As	45,15	1,00	44,99	0,99	51,01	1,16
Sb	0,15	—	0,25	—	0	—
Bi	—	—	0	—	0	—
S	19,80	1,02	19,73	1,01	15,65	0,83
Σ	99,58	3	100,49^{мз}	3	101,60^{мз}	3
a	—		5,670		—	

Продолжение табл. 16

Компонент	Сп.-102-4		Сп.-102-5		Сп.-102-6	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Ni	10,20	0,35	12,32	0,44	29,76	0,96
Co	9,89	0,34	9,94	0,36	1,14	0,04
Fe	7,25	0,26	6,18	0,24	0,41	0,01
Cu	0	—	0	—	—	—
As	50,31	1,37	43,44	1,23	57,81	1,44
Sb	13,70	0,23	23,22	0,40	—	—
Bi	Следы	—	0,19	—	—	—
S	6,95	0,44	5,02	0,33	9,61	0,56
Σ	98,29[мз]	3	100,32[мз]	3	98,73[мз]	3
a	—		—		5,694	

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (СЭМ), химический анализ (НЛЕ).

Микр.[м] Мелкозернистые агрегаты, зерна в агрегатах неправильной или изометричной формы. Отраж. умеренно высокое; цв. розовато-кремовый; двуотраж. слабое; ясно анизотропен с цв. эфф. в буроватых тонах. Оптически одноосный, положительный. Похож на гаухекорнит. VHN 240—480.

Нахожд. Единственная находка в оруденелых серпентинитах Вожминского массива (Карелия); ассоц.: хизлевудит, магнетит, пентландит, миллерит, годлевскит, виоларит, брейтгауптит, орселит, тучекит, геверсит, никель, медь. Замещает хизлевудит и тучекит, образует срастания с магнетитом, никелем, медью, геверситом.

Рентген. *8,72 (10); 3,06 (9); 2,714 (6); 2,304 (7); 2,102 (9);* 1,934 (5); 1,768 (10ш).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ГАУХЕКОРНИТА (СОЕДИНЕНИЯ Ni—Bi, Sb, As, Te, Pb—S)

Минералы гр. тождественны по структуре, родственны по составу и неразличимы под микроскопом. Первое детальное исследование структуры гаухекорнита выполнено в 1950 г. М. А. Пикоком, который предложил формулу Ni_9 $(Bi, Sb)_2S_8$, правильно отражающую структурные параметры минерала. Согласно В. Кокману и Е. Наффилду, 19 атомов в структуре гаухекорнита распределены по шести не эквивалентным позициям: 1Ni (I)^{VI}; 8Ni (II)^{V}; IBi^{VI}; IM^{VIII}; 4S (I)^{V} и 4S (II)^{V}. Позиции Ni (I) и Ni (II) заняты Ni, частью Co и *Fe*; упорядочение этих элементов в структуре не наблюдается. Позиции S (I) и S (II) заняты только серой. В позициях Bi и M могут находиться элементы V группы: Bi, Sb, As, а также Te. По мнению В. Кокмана и Е. Наффилда, менее «металлические» элементы располагаются в позиции M, более «металлические» предпочитают позицию Bi.

В настоящее время к гр. гаухекорнита относятся следующие минеральные виды: гаухекорнит Ni_9BiSbS_8, арсеногаухекорнит Ni_9BiAsS_8, висмутогаухекорнит Ni_9BiBiS_8, теллурогаухекорнит Ni_9BiTeS_8, тучекит Ni_9SbSbS_8.

Гаухекорнит Hauchecornite Ni_9BiSbS_8 (1888)

Тетр. с. $P4/mmm$; $a = 7{,}30$; $c = 5{,}40$; $Z = 1$; для лучшего сопоставления с другими минералами гр. следует удвоить оба параметра: $a = 14{,}6$; $c = 10{,}8$; $Z = 8$. Иногда в литературе называется сурьмяным гаухекорнитом.

Хим. Близок к теор.: Ni 47,4; Bi 18,7; Sb 10,9; S 23,0; обычно содержит Bi 22—25 и Sb 3—8. Примеси: As (до 3 %); Co (до 1 %), Fe, Cu.

Микр. Кристаллы таблитчатые; короткопризматические, кубовидные. Отраж. умеренно высокое; цв. светлый бронзово-желтоватый или светлый коричнево-желтый, похожий на пирротин (рис. 57); двуотраж. очень слабое; заметна анизотропия в синих тонах. VHN 445—655. Полируется очень хорошо.

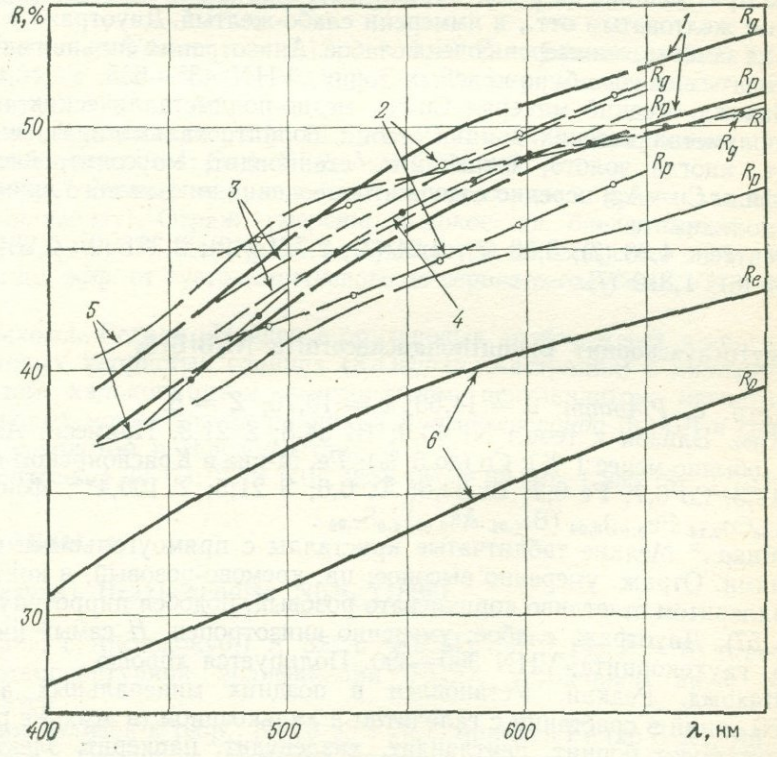


Рис. 57. Спектры отражения гаухекорнита (1), теллурогаухекорнита (2), арсеногаухекорнита (3), висмутогаухекорнита (4), тучекита (5), пирротина промежуточного (гексагонального) (6)

Отл. От миллерита отличается коричневато-розовым отт., более низким R, рентгенограммой и сп. отраж; по сравнению с пирротином обладает более слабой анизотропией, сп. и дв. не наблюдаются.

Нахожд. Редкий. Известен в кварц-сидеритовых жилах, гидротермальных м-ниях в ассоц. с миллеритом, ульманнитом, брейтгауптитом, бравоитом, никелистым линнеитом, сфалеритом, висмутином; характерна ассоц. с миллеритом (обрастает и замещает миллерит или наоборот).

Рентген. 4,34 (5); 3,64 (4); 3,25 (4); 2,79 (10); 2,39 (6); 2,30 (6); 1,861 (5); 1,819 (3).

Арсеногаухекорнит Arsenohauchecornite Ni_9BiAsS_8 (1980)

Тетр. с. $P\ 4/mmm$; $a = 14{,}42$; $c = 10{,}80$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Ni 49,4; Bi 19,6; As 7,0; S 24,0. Минерал обычно содержит Bi ~ 26 и As 4,5. Примеси достигают: Co 3; Fe 1,5; Sb 0,5; Te 0,2.

Микр.[м] Отдельные зерна и таблитчатые кристаллы размером до 20 мм при толщине до 2 мм. Отраж. умеренно высокое, пирротиноподобен с желтоватым отт., в иммерсии слабо-желтый. Двуотраж. в воздухе не заметно, в иммерсии очень слабое. Анизотропия сильная в синевато-желтоватых и серо-буро-красных тонах. VHN 435—655.

Нахожд. Редкий минерал Cu-Ni, медно-полиметаллических и барит-полиметаллических м-ний; ассоц.: борнит, халькопирит, виттихенит, иногда золото, тетрадимит, станноидит, моусонит, висмут, сульфиды Cu—Ag; нередко содержит включения никелистого линнеита или полидимита.

Рентген. 4,33 (7); 3,63 (7); 3,24 (7); 2,771 (10); 2,381 (9); 2,284 (8); 1,854 (8); 1,810 (7).

Висмутогаухекорнит Bismuthohauchecornite Ni_9BiBiS_8

Тетр. с. $P/4mmm$; $a = 14{,}65$; $c = 10{,}76$; $Z = 8$.

Хим. Близок к теор.: Ni 43,9; Bi 34,8; S 21,3. Примеси: As (до 3 %, обычно менее 1 %); Co (до 5 %); Fe. М-ние в Красноярском крае: Ni 43,8; Co 0,7; Fe 0,2; Bi 33,6; As 0,6; S 21,5; Σ 100,4[м3]; формула $(Ni_{8,86}Co_{0,14}\ Fe_{0,04})_{9,04}\ (Bi_{1,91}\ As_{0,09})_{2,0}S_{7,96}$.

Микр.[м] Мелкие таблитчатые кристаллы с прямоугольными очертаниями. Отраж. умеренно высокое; цв. кремово-розовый, в контакте с миллеритом отчетливо коричневато-розовый, подобен пирротину (см. рис. 57). Двуотраж. слабое; умеренно анизотропен. H самый низкий в гр. гаухекорнита; VHN 360—390. Полируется хорошо.

Нахожд. Редкий. Установлен в поздних минеральных ассоц. Cu-Ni м-ний в срастании с галенитом и халькозином (в этих же рудах присутствуют борнит, пентландит, хизлевудит, паркерит, электрум, теллуриды Au, Ag, Pt, Pd, валлериит), и в м-ниях 5-элементной формации (с миллеритом, герсдорфитом, бравоитом, никелином, сфалеритом, галенитом, халькопиритом).

Рентген. 5,66 (3) (002); 4,34 (6) (022); 3,66 (5) (040); 3,03 (3) (042); 2,80 (10) (242); 2,40 (6) (224); 2,32 (6) (260); 1,897 (3) (462); 1,867 (8) (444); 1,836 (3) (080); 1,808 (4) (064, 006); 1,730 (4) (660); 1,572 (3) (246).

Теллурогаухекорнит Tellurohauchecornite $Ni_9Bi\,TeS_8$ (1980)

Тетр. с *P*/4*mmm*; $a = 14{,}64$, $c = 10{,}87$, $Z = 8$.

Хим. Близок к теор.: Ni 47,1; Bi 18,6; Te 11,4; S 22,9; примеси Fe и Co достигают 1 %.

Микр.[м] Мелкие (до 150 мкм) неправильные зерна (в срастаниях с халькопиритом и миллеритом). Отраж. умеренно высокое. По цв. похож на пирротин. Анизотропия заметная. VHN 180—825.

Нахожд. Редкий. Установлен в Cu-Ni рудах *Садбери* (Канада), в поздних минеральных ассоц. с халькопиритом и миллеритом.

Рентген. 4,35 (4); 3,66 (4); 3,28 (4); 2,80 (10); 2,405 (5); 2,314 (6); 1,868 (4).

Тучекит Tučekite Ni_9SbSbS_8 (1978)

Тетр. с. *P* 4/*mmm*; $a = 7{,}17$; $c = 5{,}40$; $Z = 1$ (или $a = 2 \times 7{,}17 = 14{,}34$, $c = 2 \times 5{,}40 = 10{,}80$, $Z = 8$); сурьмяный аналог гаухекорнита.

Хим. Близок к теор.: Ni 51,5; Sb 23,7; S 24,9. Содержания примесей достигают: Fe 4; Co 1; Bi 2; As 1,5; Te 0,5.

Микр.[м] Мелкие неправильной формы зерна и каймы замещения (по миллериту). Отраж. умеренно высокое, цв. бледно-кремово-желтый (см. рис. 57). Двуотраж. не отмечается; анизотропия очень сильная с цв. эфф. от густо-коричневого до серовато-голубого. VHN 415—720.

Нахожд. Редкий. Найден в оруденелых апобазитовых и апогипербазитовых хлористых сланцах (*Калгурли*, Австралия) с миллеритом, пиритом, халькопиритом, герсдорфитом, пентландитом, магнетитом; в тяжелых концентратах рудников *Витватерсранда* (ЮАР) в срастаниях с золотом и герсдорфитом.

Рентген. 4,33 (7); 2,76 (10); 2,38 (8); 2,28 (8); 1,850 (8); 1,793 (7).

СУЛЬФИДЫ Ni

Хизлевудит Heazlewoodite Ni_3S_2 (1896)

Триг. с. (псевдокуб.) *R* 32; $a = 5{,}74$; $c = 7{,}14$; $Z = 3$; отвечает низкотемпературной модификации Ni_3S_2, устойчивой ниже 533°. Магнитен.

Хим. Близок к теор.: Ni 73,3; S 26,7; примеси Fe (до 6 %), Pd, Co.

Микр. Зернистые агрегаты, каемки замещения, псевдоморфозы (по пентландиту), неправильной формы зерна, сферические образования. Отраж. высокое; цв. светлый кремовый и желтовато-кремовый, напоминает пентландит и пирит. Двуотраж. слабое; отчетливо ани-

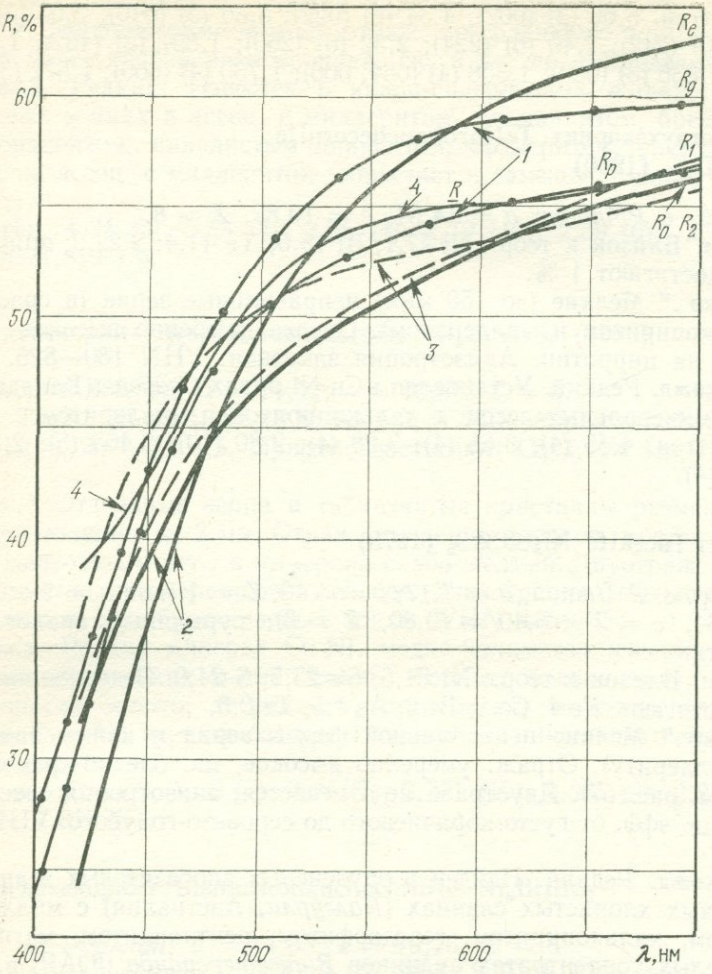


Рис. 58. Спектры отражения хизлевудита (1), миллерита (2), годлевскита (3), пирита (4)

зотропен с цв. эфф. в буроватых синевато-серых тонах. В скрещенных николях часто наблюдается мозаичная структура. Иногда заметна сп. в нескольких направлениях. Микротв. ниже, чем у сходных пентландита, миллерита, годлевскита. VHN 220—320. Полируется хорошо.

Отл. От сходных пентландита и пирита отличается анизотропией и меньшей тв., по спектрам отраж. (рис. 58). Годлевскит тверже, все его выделения сдвойникованы. Миллерит отличается игольчатой формой выделений, наличием полисинт. дв., более сильной анизотропией.

Нахожд. Относительно редкий. Типичный минерал оруденелых серпентинизированных перидотитов; ассоц.: аваруит, пентландит,

годлевскит, никель. Характерный минерал низкотемпературных гидротермальных ассоц. Cu-Ni м-ний, совместно с никелистым пиритом, миллеритом, полидимитом, шандитом, магнетитом или с борнитом и халькозином замещает пентландит. Обычно частично замещен миллеритом, реже никелистым пиритом. Наличие хизлевудита резко ухудшает технологические характеристики Ni руд.

Изуч. Сп.-449 — из оруденелых серпентинитов Карелии.

Рентген.: 4,10 (5); 2,88 (9); 2,38 (4); 2,03 (5); 1,822 (10); 1,657 (8).

Годлевскит Godlevskite Ni_7S_6 (1969)

Ромб. с. *Cmmm*, *C* 222, *Cmm*2 или *Cm*2*m*; $a = 9{,}18$; $b = 11{,}26$; $= 9{,}46$; в системе Ni—S отвечает низкотемпературной модификации β-Ni_7S_6, устойчивой ниже 400°.

Хим. Близок к теор.: Ni 68,1, S 31,9; примеси Fe до 4 %, Co до 1 %, характерен некоторый избыток серы. *Норильское* (Красноярский край) и *Тексмонт Майн* (Канада): Ni 61,5 и 63,56; Fe 3,0 и 3,65; Co 0,6 и 0,07; S 35,0 и 32,24; Σ 100,00[мз] и 99,52[мз]; формулы: $(Ni_{6,18}Fe_{0,32}Co_{0,06})_{6,56}S_{6,44}$ и $(Ni_{6,54}Fe_{0,39}Co_{0,01})_{6,94}S_{6,06}$.

Микр.[м] Мелкие зерна и скопления зерен. Отраж. умеренно высокое. Цв. светло-желтый; двуотраж. слабое до заметного с изменением цв. *от желтоватого до светло-желтого и розовато-кремового*. Анизотропия сильнее, чем у хизлевудита, и слабее, чем у миллерита, с цв. эфф. в синеватых, красноватых, нейтрально-серых тонах. Величины отраж. заметно увеличиваются от синей к красной области, в интервале 560—620 нм (в зависимости от сечения) происходит смена оптического знака отраж. (см. рис. 58). Очень характерны дв., часто полисинт., с коленообразными изгибами. VHN 380—465.

Нахожд. Характерный минерал поздних парагенезисов Cu-Ni м-ний (с борнитом, хизлевудитом, халькопиритом, пентландитом, миллеритом) и оруденелых серпентинитов (с пирротином, хизлевудитом, виоларитом, миллеритом).

Изуч. *Норильское*.

Рентген. 5,75 (2) (111); 3,28 (5) (131); 2,85 (10) (222); 2,33 (4) (241); 2,10 (5) (204); 1,906 (3) (333); 1,832 (8) (234); 1,803 (9) (044); 1,795 (8) (025); 1,654 (8) (530); 1,625 (3) (262).

Миллерит Millerite NiS (1845)

Триг. с. *R* 3*m*; $a = 9{,}62$; $c = 3{,}15$; $Z = 9$; отвечает низкотемпературной модификации NiS, устойчивой ниже 379°.

Хим. Обычно близок к теор.: Ni 64,7; S 35,3; примеси Fe и Co до 2 %, Cu до 0,5 %.

Микр. Игольчатые кристаллы, радиально-лучистые, волосовидные, зернистые или лапчатые агрегаты, каймы обрастания и замещения. Отраж. высокое, близкое к пириту; цв. светло-желтый до кремово-желтого, в контакте с пентландитом — отчетливо желтый, в контакте с халькопиритом — более светлый кремовый, в контакте с борнитом — белый с желтоватым отт. Двуотраж. отчетливое, с изменением цв. от

светло-желтого до коричневато-желтого, в направлении к красной области сила двуотраж. быстро растет. Сильно анизотропен. с цв. эфф. *в желтых, синих и фиолетовых тонах. Спектры отраж. имеют* аномальный халькопиритовый профиль (см. рис. 58). Одноосный, положительный, в синей области при 480 нм происходит смена оптического знака отраж. Сов. сп. в двух направлениях. Нередко видны дв. *H* выше, чем у халькопирита, и ниже, чем у пентландита. VHN 170—390.

Нахожд. Характерный минерал поздних ассоц. Cu-Ni м-ний: в медистых рудах ассоц.: борнит, халькопирит, халькозин, хизлевудит, годлевскит; чаще представляет продукт замещения пентландита и высокотемпературного моносульфидного твердого раствора $(Fe, Ni)_{1-x}$ S; ассоц.— пирротин, никелистый пирит, виоларит, полидимит, высоцкит. В м-ниях норильской гр.— второй по распространенности минерал Ni. Акцессорный минерал рудных тел и околорудных метасоматитов гидротермальных м-ний Au, Cu, Hg, залегающих в гипербазитах, ассоц. с сульфидами, сульфоарсенидами и арсенидами Ni—Co—Fe. Продукт гипергенного изменения сульфидных Ni руд. Установлен в углях, битуминозных сланцах. Известны псевдоморфозы полидимита по миллериту.

Изуч. Сп.-252 —*Березовское* (Урал).

Рентген.: 4,84 (4); 2,97 (4); 2,79 (9); 2,514 (5); 2,242 (5); 1,876 (10); 1,821 (7); 1,730 (7); 1,609 (7); 1,536 (6); 1,309 (4).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ПИРРОТИНА

Моносульфиды железа от FeS до Fe_7S_8 (Fe_6S_7) со слоистыми сверхструктурами на основе структуры никелина (NiAs) — троилит, промежуточный («гексагональный») пирротин, моноклинный пирротин — являются самыми распространенными рудными минералами нашей планеты. Близость химического состава и структур определяет значительное сходство их оптических свойств.

Изучению фазовых отношений в синт. и природных пирротинах посвящено много работ. При высоких температурах ($> 500°$) в равновесии с пиритом сосуществует высокосернистый гексагональный пирротин (до 45 ат. % Fe при 700°); при более низких (500—320°) температурах в равновесии с пиритом находится менее сернистый гексагональный пирротин (до 47,5 ат. % Fe при 320°). При $T > 500°$ с ростом общего давления состав пирротина (в равновесии с пиритом) заметно сдвигается в более железистую область.

С понижением T до 265° высокотемпературный высокосернистый гексагональный пирротин, как правило, распадается на гексагональный пирротин (более богатый Fe) и пирит. В ряде случаев при быстром охлаждении может происходить изохимическое превращение высокотемпературного высокосернистого гексагонального пирротина в моноклинный; это установлено в некоторых роговиках и скарнах.

При $\sim 250°$ высокосернистый гексагональный пирротин превращается в моноклинный (путем распада твердого раствора или в ре-

зультате реакции с пиритом). Ниже 100—138° область промежуточного («гексагонального») пирротина ограничена широким двухфазным полем: троилит + промежуточный пирротин $Fe_{11}S_{12}$ и узким двухфазным полем: моноклинный пирротин + сернистый промежуточный пирротин. Промежуточный пирротин при низких температурах нередко испытывает частичный распад на троилит и моноклинный пирротин, чем объясняется трехминеральный парагенезис (промежуточный + моноклинный пирротин + троилит) во многих типах руд (скарновых, золотых и др.).

Минералы гр. пирротина легко окисляются, замещаясь субграфическими агрегатами пирита и магнетита. Легче других окисляется троилит; моноклинный пирротин замещается дисульфидами железа нередко с образованием структур типа «птичьего глаза».

Троилит Troilite FeS (1863)

Гекс. с. $P\bar{6}2c$; $a = 5{,}96$; $c = 11{,}75$; $Z = 12$; сверхструктура типа 2 *c*, устойчивая ниже 138°. Полупроводник. Парамагнитен.

Хим. Теор.: Fe 63,53; S 36,47; микропримеси Ni, Co, Cu; в троилите базитов Луны и метеоритов, кроме того, Ti, Mn, Cr, P. Состав троилита обр. 1 (*Норильское*) и обр. 2 (*Жана-Тюбе*): Fe 63,7 и 64,06; Ni 0 и 0,01; Co 0 и 0,03; Cu 0 и 0,01; S 37,0 и 36,85; Σ 100, $3^{мз}$ и $100{,}96^{мз}$; СЭМ; формулы: FeS и $(Fe_{0,998}Co_{0,001})_{0,999}S_{1,001}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, срастания с пирротином, реже уплощенные кристаллы, округлые выделения, субграфические агрегаты (с железом). Отражение умеренное (40 %); цв. светло-желтый, кремово-желтый. В срастаниях с промежуточным пирротином (в свежеполированных шлифах) троилит светлее и выглядит заметно более желтым; в окислившихся шлифах, наоборот, темнее промежуточного пирротина из-за более быстрого окисления. Двуотраж. отчетливое; сильно анизотропен с блеклыми цветными эффектами. Одноосный, положительный. Для спектров отраж. троилита характерен небольшой пологий максимум в желтой области (рис. 59) в отличие от спектров пирротина с монотонным подъемом от синей к красной области. VHN 155—330, чаще 220—260.

Нахожд. Широко распространенный минерал Cu-Ni м-ний (с «гексагональным» пирротином, магнетитом, кубанитом, талнахитом, моихукитом), метеоритов (с железом, камаситом, пентландитом, добреелитом, макинавитом, графитом), базитов Луны (с железом, ильменитом), осадочных пород, обогащенных органическим веществом, и соленосных пород. В заметных количествах развит в гидротермальных м-ниях Au, колчеданно-полиметаллических и иных, залегающих в породах, богатых Fe и бедных S (базиты, базит-карбонатные породы), в серпентинизированных гипербазитах. Характерный минерал контактовых зон на границах долеритов и базальтов с угленосными породами (с магнетитом, железом, когенитом, вюститом, промежуточным пирротином).

Изуч. Сп.-409—м-ние в Красноярском крае; *Жана-Тюбе* (КазССР); *Чая* (Прибайкалье), *Вавилонское* (Алтай).

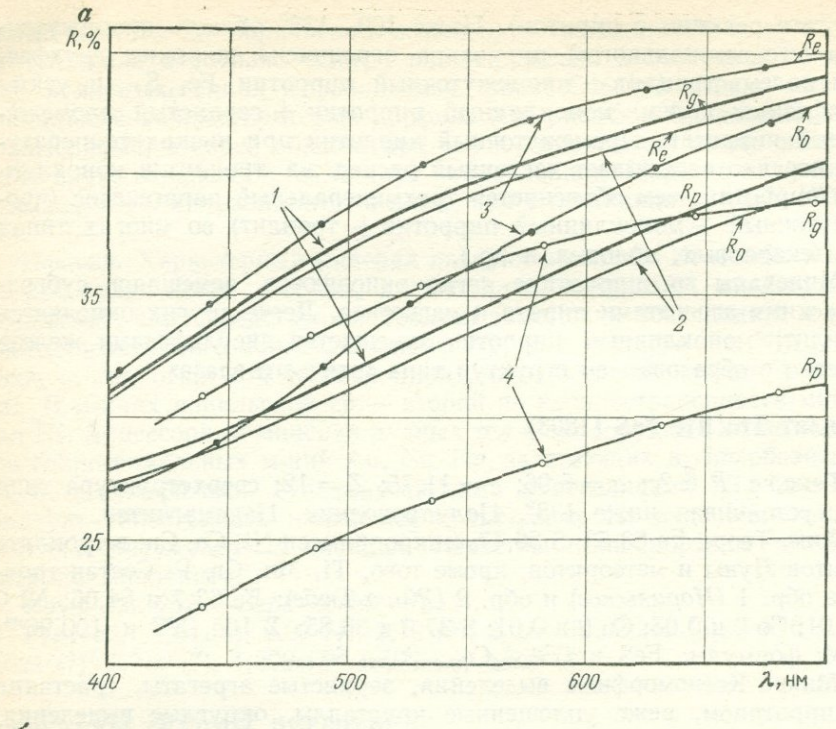


Рис. 59. Спектры отражения пирротина моноклинного (1), пирротина промежуточного (гексагонального) (2), троилита (3), штернбергита (4):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

Рентген. *Жана-Тюбе*: 5,40 (2) (100); 4,77 (1) (101); 2,98 (6) (110); 2,66 (8) (112); 2,09 (10) (114); 1,923 (2) (121); 1,740 (2) (123); 1,716 (4); (300); 1,631 (2) (116); 1,595 (1) (107); 1,468 (2) (008); 1,445 (1) (222); 1,419 (1) (131); 1,335 (2) (224); 1,318 (3) (118); $a = 5{,}965$; $c = 11{,}752$.

Надежно диагностируется по рентгенограмме. Межплоскостное расстояние сильнейшего отраж. 2,093.

Промежуточный («гексагональный») пирротин Pyrrhotite intermediate $Fe_{1-x}S$

Промежуточный «псевдогексагональный» пирротин представлен тремя ведущими типами дефектных сверхструктур *nc'* (на основе структуры NiAs): 6 *c* — $Fe_{11}S_{12}$, гекс. с.; $a = 6{,}89$; $c = 6c' = 34{,}5$ (устойчив ниже 100°); 11 *c* — $Fe_{10}S_{11}$, ромб. с. *Cmca* (*C2ca*); $a = 6{,}89$; $b =$

$= 11{,}95$; $c = 11c' = 63{,}2$ (устойчив ниже 100°); 5 c — Fe_9S_{10}, гекс. с.; $a = 6{,}88$; $c = 5c' = 28{,}7$ (устойчив ниже 220°). Менее распространен промежуточный пирротин с дефектными сверхструктурами, характеризующимися нецелочисленными значениями n, равными 4,88—5,9. Магнитная восприимчивость низкая. Для пирротина состава 47,9—49 % Fe характерно наличие магнитного λ-пика. Точка Кюри 325°.

Хим. Варьирует от 47 до 49 ат. % Fe, чаще от 47,5 до 48 ат. % Fe. Теор.: $Fe_{11}S_{12}$, $Fe_{10}S_{11}$, Fe_9S_{10}: Fe 61,5; 61,3 и 61,05; S 38,5; 38,7 и 38,95. Примеси Ni (до 1 %), Co, Cu, микропримеси Mn, элементов гр. платины. Состав обр. 1 (*Норильское*, Красноярский край) и обр. 2 (*Жана-Тюбе*, КазССР); Fe 61,6 и 61,15; Ni 0,56 и 0,01; Co нет и 0,07; S 38,40 и 38,36; Σ 100,56 и 99,59[мз]; СЭМ; формулы: $(Fe_{10,98}Ni_{0,09})_{11,07}S_{11,93}$ (48,1 ат. % Fe) и $(Fe_{10,99}Co_{0,01})_{11}S_{12,00}$ (47,8 ат. % Fe). Обычно железистый промежуточный пирротин (48 ат. % Fe) ассоц. с троилитом, а более сернистый (47 ат. % Fe) — с моноклинным пирротином.

Микр. Зернистые, пластинчатые агрегаты, пластинчатые сростки (с троилитом или с моноклинным пирротином), каплеобразные выделения, реже уплощенные кристаллы. Отраж. умеренное; цв. кремово-розовый. В сростках с пентландитом выглядит темнее, в срастаниях с кубанитом — более светлый и розоватый. Двуотраж. отчетливое с изменением цв. от коричневато-кремового до розовато-коричневого (красновато-коричневого). Анизотропия сильная с цв. эфф. в желтовато-серых, зеленоватых, серых, красновато-коричневых тонах. Спектры отраж. практически тождественны со спектрами моноклинного пирротина (см. рис. 59). H выше, чем у халькопирита и кубанита, близок пентландиту, заметно ниже, чем у пирита; VHN 220—390, чаще 230—320; на изотропных сечениях 280—320, на анизотропных 230—260. Наблюдается отдельность по базису.

Нахожд. Распространен в магматических породах основного и ультраосновного состава, метаморфитах амфиболитовой и эклогитовой фаций; ведущий минерал Cu-Ni м-ний с пентландитом, моноклинным пирротином, троилитом, халькопиритом, кубанитом; в подчиненных количествах во многих скарновых м-ниях Fe, в гидротермальных м-ниях Pb—Zn, Au, Cu и других, залегающих в породах основного состава; характерный минерал регионально- или контактово-метаморфизованных колчеданных, колчеданно-полиметаллических и иных м-ний, богатых пиритом; ассоц. со сфалеритом, галенитом и другими сульфидами.

Изуч. Сп.-317 (обр. 1 и 2); обр. м-ний Прибайкалья, Алтая, Русской платформы.

Рентген. Обр. 2 (6*c*): 5,81 (1) (001); 3,47 (0,5) (+); 3,00 (3) (100); 2,87 (1) (002); 2,65 (5) (101); 2,070 (10) (102); 1,722 (5) (110); 1,618 (1,5) (103); 1,495 (0,5) (200); 1,450 (1) (201); 1,439 (0,5) (004); 1,323 (4) (202); 1,297 (1) (104); 1,180 (1) (203); (+) — сверхструктурное отраж.; параметры псевдогексагональной решетки: $a = 3{,}451_5$; $c = 5{,}758$. Состав промежуточного пирротина надежно и с точностью 0,1 ат. % Fe определяется по величине межплоскостного расстояния сильнейшего отраж. 102.

Моноклинный пирротин Pyrrhotite monoclinic

Монокл. с. F2/*d* (*C* 2/*c*); $a = 11{,}90$; $b = 6{,}87$; $c = 22{,}88$; $\beta = 90°30'$; $Z = 8$; сверхструктура 4 *c*, устойчивая ниже ~ 250°. Проводит электричество. Ферримагнитный. Точка Кюри ~ 320°.

Хим. Изменяется в сравнительно узких пределах от Fe_7S_8 до Fe_6S_7. Состав природных пирротинов из разных мест варьирует: Fe 56,7—60,6; Ni 0—3; Co 0—2,6; S 38,4—39,8. *Норильское* (Красноярский край) и м-ние в КазССР: Fe 60,50 и 60,47; Ni 0,33 и 0,01; Co нет и 0,03; S 40,70 и 39,98; Σ 101,53 и 100,49[мз]; СЭМ; формулы: $(Fe_{5,97}Ni_{0,03})_{6,00}S_{7,00}$ и $Fe_{6,97}S_{8,03}$.

Моноклинный пирротин состава Fe_7S_8 обычно ассоц. с промежуточным пирротином, моноклинный пирротин состава Fe_6S_7 — с пиритом и смайтитом.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые и пластинчатые агрегаты, каймы замещения и ламелли в промежуточном пирротине. Отраж. умеренное. По цв. эфф. двуотраж. и анизотропии, спектрам отраж. тождествен с промежуточным пирротином (см. рис. 59), отличается несколько повышенной тв. VHN 245—410, чаще 280—400. Простой и эффективный метод диагностики и исследования структурно-текстурных особенностей агрегатов пирротина в полированных шлифах — покрытие их магнитной суспензией, что позволяет определять магнитный моноклинный пирротин даже в ламеллях толщиной ~1 мкм.

Нахожд. Широко распространен в контактово-метаморфических роговиках, метаморфических породах фации зеленых сланцев; ведущий сульфидный минерал многих м-ний: Cu-Ni в ассоц. с промежуточным пирротином, пентландитом, халькопиритом; титаномагнетитовых, скарновых и магнезиально-скарновых магнетитовых, медных, гидротермальных сульфидно-касситеритовых, ряда колчеданных и колчеданно-полиметаллических, золоторудных, шеелитовых и др. Ассоц. с пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, станнином, халькостибитом. Замещает промежуточный пирротин. Легко замещается более поздними гидротермальными минералами — пиритом, бертьеритом, джемсонитом, валлериитом, теллуридами Au-Ag, Pb, Fe, Ni, золотом.

Изуч. Сп.-318 *Норильское*; обр. м-ний Сибири.

Рентген. 5,74 (2) (001); 5,26 (1) (+); 2,96 (8) (100); 2,84 (3) (002); 2,69 (1) (+); 2,63 (9) (101); 2,61 (8) (+); 2,25 (2) (+); 2,20 (1) (+); 2,15 (1) (+); 2,059 (10) (102); 2,047 (10) (+); 2,009 (0,5) (+); 1,943 (0,5) (+); 1,912 (0,5) (+); 1,718 (8) (110); 1,604 (1) (103); 1,489 (0,5) (200); 1,469 (0,5) (112); 1,441 (2) (201); 1,421 (6) (400); 1,319 (4) (202); 1,315 (3) (+); 1,285 (0,5) (104); (+) — сверхструктурные отраж.; параметры псевдогексагональной ячейки: $a = 3{,}439$; $c = 5{,}695$; особенностью рентгенограмм моноклинного пирротина является расщепление сильнейших отражений; по профилю сильнейшего отраж. 102 (202) и по соотношению интенсивностей отраж. 102 (202) и отщепленного от него сверхструктурного отраж. (202) можно определить количество моноклинного и промежуточного пирротина в их смеси.

Смайтит Smythite Fe_9S_{11} (1956)

Гекс. с. $R\bar{3}m$; $a = 3{,}47$; $c = 34{,}3$; примеси Ni несколько увеличивают параметр c; устойчив ниже 75°. Ферромагнитный.

Хим. Близок к теор.: Fe 58,8; S 41,2; Ni 7; примеси Co, Cu.

Микр. Мелкие зерна, пламенеобразные выделения, пластинки распада, каймы замещения вокруг моноклинного пирротина, изредка мелкие кристаллы (в жеодах). Отраж. умеренно высокое; цв. кремово-розоватый; похож на моноклинный пирротин, но несколько светлее последнего (абсолютные значения R несколько выше). Кремовый отт., двуотраж. и анизотропия выражены отчетливее, чем у моноклинного пирротина. H несколько выше, чем у моноклинного пирротина; VHN 285—390. Легко окисляется.

Нахожд. Относительно редкий. Характерный минерал самых низкотемпературных гидротермальных ассоц. Cu-Ni и других м-ний, *руды которых богаты пирротином; замещает моноклинный пирротин*; ассоц. с пиритом, марказитом, зигенитом; в осадочных железорудных м-ниях — с грейгитом и сидеритом. Возможно, распространен значительно шире, прежде всего в осадочных породах со значительными содержаниями углеродистого вещества и дисульфидов железа.

Рентген. 2,99 (10); 2,56 (8); 2,25 (5); 2,15 (5); 1,984 (7); 1,904 (7); 1,734 (10); 1,435 (5).

Джайпурит Jaipurite CoS (1880)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}38$; $c = 5{,}15$; $Z = 2$; структура типа никелина.

Хим. Теор.: Co 64,7; S 35,3; примеси Ni, Fe, Cu, As. Состав никелистого джайпурита (*Ичкеульмес*, КазССР): Co 33,09; Ni 24,74; Fe 3,81; Cu 2,27; S 32,69; Se 0,30; As 1,03; Σ 97,93[мз]; СЭМ; формула: $(Co_{0,53}Ni_{0,40}Fe_{0,06}\ Cu_{0,03})_{1,02}\ (S_{0,97}\ As_{0,01})_{0,98}$.

Микр. Мелкие и мельчайшие зерна и прожилки. Отраж. умеренное. Цв. розовато-коричневый (в массе халькопирита). Заметно анизотропный. Спектр отраж. сходен с пирротином.

Нахожд. Редкий. Известен в оруденелых кристаллических сланцах Индии (с пирротином) и в скарновом медном м-нии *Ичкеульмес* (с никелистым линнеитом, кобальтином, гладитом в халькопирите).

Изуч. *Сп.-131 —Ичкеульмес.*

Рентген. 1,945 (10); 1,694 (4); 1,030 (5); 1,019 (5).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ПЕНТЛАНДИТА

Помимо пентландита, аргентопентландита, кобальтпентландита, медистого пентландита в этой группе рассмотрены структурно близкие им шадлунит и марганцевистый шадлунит. Сходные кубические структуры содержат кластеры из восьми (Fe, Ni, Co, Cu) S_4-тетраэдров, расположенных вокруг вершин и центров граней элементарной ячейки. Девятый атом металла (Ni, Co, Cu, Ag, Pb, Mn, Cd) занимает

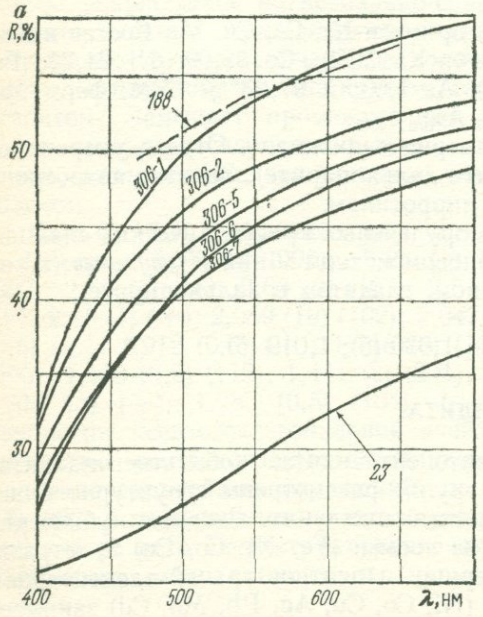
октаэдрическую пустоту в центре ячейки. С однотипностью структур минералов и близостью составов связано их большое оптическое сходство, хотя имеются некоторые различия в абсолютных значениях R.

Пентландит Pentlandite Ni (Fe, Ni, Co)$_8$ S$_8$ (1856)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 10{,}1$ (изменяется в зависимости от состава); $Z = 4$; $T_{пл}$ 880°; в ассоц. с хизлевудитом устойчив ниже 550°; в ассоц. с пирротином — ниже 610° (при низком давлении) до ~400° (при давлении 2,5 ГПа); в ассоц. с пиритом устойчив ниже 300°, с миллеритом — ниже 250°. Образуется преимущественно при распаде высокотемпературных моносульфидных твердых растворов (Fe, Ni)$_{1-x}$ S или (Fe, Cu, Ni)$_{1-x}$ S при T от 600 до 150°. Проводит электричество. Немагнитен.

Хим. Варьирует в широких пределах: Ni 23—47; Fe 21—41; S 31,5—34. Теор. ($Ni_9Fe_9S_{16}$): Ni 34,2; Fe 32,6; S 33,2; примеси Co, Cu, Ag, Mn, Se, элементы Pt-группы (известен пентландит с 9,6 % Ru и 4,0 % Rh). М-ния Норильской гр.; см. табл. 17.

Ассоц. минералы: 1) моноклинный пирротин + халькопирит; 2) промежуточный пирротин; 3) промежуточный пирротин + троилит; 4) троилит + халькопирит; 5) троилит; 6) троилит + халькопирит. Наиболее никелистый пентландит ассоц. с моноклинным пирротином, наиболее железистый — с троилитом. Для пентландитов, бедных Co, показательна величина Ni/Fe, возрастающая по мере перехода от ассоц. троилит — промежуточный пирротин — халькопирит к ассоц. моноклинный пирротин — миллерит — хизлевудит — борнит.



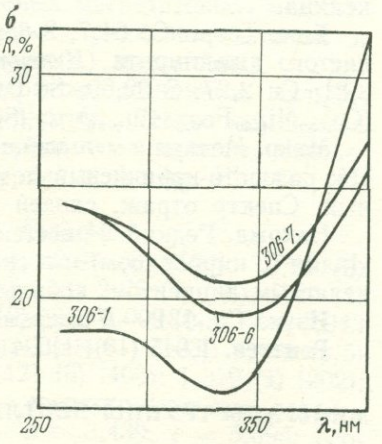


Рис. 60. Спектры отражения пентландита (306) разного состава, кобальтпентландита (188), аргентопентландита (23):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

Микр. Округлые зерна от 0,1 мм до 5 см, ксеноморфные выделения, полоски, прожилковидные выделения в промежутках зерен пирротина, пластинчатые выделения вдоль отдельности и пламеневидные по трещинкам и границам зерен пирротина.

Отраж. Умеренно высокое, чуть ниже, чем у пирита; цв. светло-кремовый до розовато-кремового; изотропный. Сов. сп. по октаэдру. Отраж. возрастает с увеличением содержания Ni (рис. 60). *H* выше, чем у *халькопирита, близок к пирротину*; VHN 175—305, чаще 200—270; тв. кобальтистого пентландита несколько выше.

Отл. Диагностика пентландита затруднительна только в мелких выделениях в необычных парагенезисах — в существенно халькопиритовых рудах скарновых или Cu-Mo-порфировых м-ний, где его можно спутать с минералами гр. линнеита: последние отличаются по спектрам отраж., тв., рентгенограммам и цв. (более розовые).

Изуч. См. табл. 17 и прилож. 3.

Таблица 17

Компонент	Сп.-306-1		Сп.-306-2		Сп.-306-3	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Ni	46,1	6,06	35,5	4,71	32,6	4,25
Fe	20,9	2,89	30,1	4,20	33,4	4,58
Co	0,7	0,09	1,3	0,17	1,3	0,17
Cu	—	—	—	—	—	—
S	33,0	7,95	32,6	7,92	33,5	8,00
Σ	100,7	17	99,5	17	100,8	17
a_o	10,03		10,07		10,11	

Продолжение табл. 17

Компонент	Сп.-306-4		Сп.-306-5		Сп.-306-6	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Ni	28,7	3,83	28,0	3,71	25,7	3,41
Fe	36,3	5,09	37,9	5,27	39,6	5,52
Co	1,1	0,14	0,9	0,12	0,82	0,11
Cu	0,05	0,01	—	—	0,3	0,04
S	32,5	7,93	32,6	7,90	32,6	7,92
Σ	98,65	17	99,3	17	99,02	17
a_o	10,13		10,16		10,18	

Нахожд. В виде редких микроскопических выделений широко распространен в магматических породах основного, ультраосновного, щелочно-ультраосновного состава; ведущий рудный минерал Cu-Ni м-ний; ассоц.: пирротин, халькопирит, магнетит, троилит, кубанит, моихукит, борнит. Замещается хизлевудитом, миллеритом, годлевскитом, виоларитом, никелистым пиритом, медистым пентландитом, макинавитом, валлериитом. Характерный минерал ряда скарновых м-ний Cu и участков Cu-Mo-порфировых м-ний, залегающих в породах основного состава.

Рентген. Сп.-306-6: 5,85 (3) (111); 3,61 (1) (220); 3,07 (8) (311); 2,95 (5) (222); 2,34 (4) (331); 2,29 (1) (420); 2,08 (0,5) (422); 1,961 (7) (333, 511); 1,801 (10) (440); 1,721 (2) (531); 1,534 (3) (622); 1,325 (6) (553); 1,272 (6) (800). Параметр решетки заметно увеличивается с ростом железистости. Детально изучена зависимость значения межплоскостного расстояния характеристического отраж. 333 (511) от величины Fe/Ni: при Fe : Ni = 0,6 — d_{333} составляет 1,930; при Fe : Ni = = 1,6 — d_{333} — 1,960.

Кобальтпентландит Cobaltpentlandite Co (Co, Ni, Fe)$_8$ S$_8$ (1959)

Куб. с. *Fm3m*; $a = 9{,}93$ (с ростом содержания Fe и Ni увеличивается); $Z = 4$; устойчив ниже 834°.

Хим. В редких случаях близок к конечному члену Co_9S_8: Co 67,4; S 32,6. Установлен ряд кобальтпентландит-пентландит, почти непрерывный по составу. Примесь Cu.

Микр. По форме выделений очень похож на пентландит. Высокоотражающий; цв. бело-кремовый или белый с желтоватым отт., более яркий, чем пентландит; изотропен. Сов. сп. по октаэдру. Спектры отраж. подобны пентландитовым, абсолютные значения R выше (см. рис. 60), однако с повышением содержания Fe и Ni отраж. понижается. Тв. выше, чем у пентландита; VHN 310—350, у высококобальтистой разновидности 390.

Нахожд. Относительно редкий. Характерный минерал оруденелых серпентинитов (ассоц.: аваруит, хизлевудит, миллерит, троилит, кубанит, макинавит); метаморфизованных медноколчеданных с кобальтом м-ний типа *Outokumpu* (Финляндия); некоторых скарновых Cu и Co-Cu м-ний; Cu- и Cu-Mo-порфировых м-ний (с минералами гр. линнеита, арсенидами Co, пиритом, сфалеритом). Отмечались пластинки распада кобальтпентландита в пирротине и кубаните.

Рентген. 3,01 (10); 2,88 (5); 1,918 (8); 1,763 (10).

Аргентопентландит Argentopentlandite Ag (Fe, Ni)$_8$ S$_8$ (1971)

Куб. с. *Fm3m*; $a = 10{,}55$; $Z = 4$; устойчив ниже 455°.

Хим. Для большинства обр. характерен состав $AgFe_5Ni_3S_8$; в срастании с более никелистым пентландитом развит более никелистый аргентопентландит. Сп.-23 — м-ние в Красноярском крае: Ag 13,3; Ni 21,3; Fe 34,7; S 31,4; Σ100,7[мз]; формула: $Ag_{1,01}(Fe_{5,06}Ni_{2,96})_{8,02}S_{7,97}$

Микр.[м] Мелкие ксеноморфные выделения, каймы обрастания и за-

мещения (на пентландите). Отраж. умеренное; цв. розовато-коричневый, близок к борниту, но несколько светлее (см. рис. 60). *H* ниже, чем у пентландита и халькопирита; VHN 130—225, обычно 140—170.

Отл. От борнита отличается по спектрам отраж. и рентгенограмме. По сравнению с джерфишеритом обладает более отчетливым розоватым отт.

Нахожд. Редкий. Характерный поздний минерал Cu-Ni м-ний, образует мелкие вростки в кубаните, халькопирите и пентландите. В некоторых медных м-ниях Японии — основной носитель Ag в рудах халькопирит-кубанит-пирротинового состава. В небольших количествах встречается в Co-Ni-As *м-ниях*.

Изуч. Сп.-23 — м-ние в Красноярском крае.

Рентген. *3,18 (8); 3,04 (5), 2,03 (9); 1,863 (10); 1,590 (3); 1,371 (5);* 1,319 (4).

Медистый пентландит (купропентландит) Pentlandite cuprian (cupropentlandite) Cu (Fe, Ni)$_8$S$_8$

Куб. с. *Fm3m*; $a = 10{,}27$; $Z = 4$; описан как разновидность пенландита, однако по современным требованиям КНМ ММА * отвечает категории самостоятельного минерального вида.

Хим. Содержания меди относительно постоянны, отношение Fe к Ni меняется от 3 : 1 до 2 : 1. М-ние в Красноярском крае: Cu 7,0; Ni 17,7; Fe 41,2; S 33,3; Σ 99,2^{мэ}; формула: $Cu_{0,81}(Fe_{5,75}\ Ni_{2,35})_{8,10}S_{8,09}$.

Микр. Каймы замещения, микропрожилки (с халькопиритом и макинавитом) в пентландите, псевдоморфозы по пентландиту. Отраж. умеренное; цв. кремово-розовый, темнее пентландита, в контакте с которым выглядит серовато-кремовым; изотропный. Спектр отраж. пентландитового типа, но *R* на 10 % ниже. VHN 118,5—153,5 (ср. 142).

Нахожд. Редкий, установлен в Cu-Ni *м-нии (Красноярский край)* в сплошных талнахит-кубанитовых и моихукит-кубанитовых рудах, где замещает железистый пентландит.

Изуч. М-ние в Красноярском крае. (сп.-306-7).

Рентген. 3,3 (10); 2,99 (4); 1,994 (4); 1,833 (10).

Шадлунит Shadlunite (Pb, Cd)$_1$(Fe, Cu)$_8$ S$_8$ (1973)

Куб. с. *Fm3m*; $a = 10{,}91$; $Z = 4$; симметрия, возможно, более низкая.

Хим. М-ние в Красноярском крае: Pb 16,6; Cd 3,9; Fe 24,1; Cu 27,5; S 27,4; Σ 99,5^{мэ}; ТНВ; формула: $(Pb_{0,73}Cd_{0,32})_{1,05}\ (Fe_{4,02}Cu_{4,01})_{8,03}\ S_{7,92}$. Известен шадлунит с 9,1 % Cd, который отвечает новому минеральному виду ($Cd_{ф.е.} > Pb_{ф.е.}$).

Микр.^{м} Мелкие зерна и прожилки в кубаните, иногда в талнахите и моихуките, редко в пентландите; мирмекитовые срастания с пентландитом; сростки со сфалеритом, включения в джерфишерите. От-

---

* КНМ ММА — Комиссия по новым минералам при Международной минералогической ассоциации.

раж. умеренно низкое, выше, чем у сфалерита; цв. серовато-кремовый; двуотраж. заметно только в иммерсии; слабо анизотропен. В скрещенных николях хорошо видны полисинт. дв. Профиль спектра отраж. близок к пентландитовому (см. рис. 71). VHN 195—210.

Отл. Очень похож на джерфишерит, поэтому для диагностики требуется комплекс методов (состав, рентген).

Нахожд. Редкий. Поздний минерал пентландит-кубанит-талнахитовых руд; ассоц. в кубанитовых образованиях со сфалеритом, галенитом, серебром, джерфишеритом, платиноидами.

Изуч. М-ние в Красноярском крае.

Рентген. 5,42 (3) (200); 3,84 (4) (220); 3,29 (10) (311); 3,16 (2) (222); 2,72 (1) (400); 2,45 (1) (420); 2,23 (1) (422); 2,11 (4) (333); 1,925 (9) (440); 1,845 (1) (531); 1,666 (2) (533); 1,575 (1) (444); 1,424 (2) (553); 1,359 (1) (800).

Марганцовистый шадлунит (манганшадлунит) Shadlunite manganoan (manganshadlunite) $(Mn, Pb)_1$ $(Fe, Cu)_8S_8$ (1973)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 10{,}73$; $Z = 4$; симметрия, возможно, более низкая; описан как разновидность шадлунита, однако по современным требованиям КНМ ММА отвечает категории самостоятельного минерального вида.

Хим. М-ние в Красноярском крае: Mn 4,6; Pb 4,8; Cd 1,0; Fe 27,21; Cu 31,19; S 31,46; Σ100,26[м3]; ТНВ; формула: $(Mn_{0.69}\ Pb_{0.19}\ Cd_{0.07})_{0.95}\ (Fe_{4.00}Cu_{4.02})_{8.02}S_{8.03}$; отмечались содержания Pb до 8 %, Cd до 1,5 %.

Микр.[м] Мелкие зерна и микропрожилки в моихуките, пентландите, кубаните, каймы замещения (по пентландиту), включения в валлериите; обычно зерна полисинтетически сдвойникованы. Отраж. умеренно низкое; цв. серовато-кремовый, неотличим от шадлунита. Отраж. повышается с увеличением содержания Mn (см. рис. 71). VHN 195.

Отл. От шадлунита и джерфишерита можно отличить только по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. Поздний минерал моихукитовых руд м-ния в Красноярском крае; замещает пентландит вдоль границ его зерен, при этом иногда образуются мирмекитоподобные срастания пентландита и марганцовистого шадлунита; ассоц. с алабандином, иногда образует мельчайшие кристаллики в валлериите и сам замещается им.

Рентген. 3,23 (10); 3,08 (3); 2,07 (3); 1,894 (9); 1,638 (2); 1,397 (2).

Макинавит Mackinawite Fe_9S_8 (1962)

Тетр. $P\ 4/nmm$; $a = 3{,}68$; $c = 5{,}03$; $Z = 2$; устойчив ниже 153°, природные макинавиты выше 120—135° разлагаются с образованием пирротина. Слабо магнитен.

Хим. Теор.: Fe 66,2; S 33,8; примеси достигают: Ni 17, Co 13, Cu 6, Cr 9. Обр. из руд Норильска: Fe 59,53; Ni 4,84; Co 0,36; Cu 0,39; S 33,26; Σ98,38; формула: $(Fe_{8.24}Ni_{0.64}Co_{0.05}Cu_{0.05})_{8.98}\ S_{8.02}$.

Микр. Чешуйки и чешуйчатые агрегаты, часто изогнутые подобно графиту и молибдениту; каймы замещения, червеобразные и пластинчатые выделения. Одноосный, положительный. В светлых положениях (R_e) умеренно высокоотражающий минерал, светлее пирротина, чуть темнее пентландита. Цв. макинавита в зависимости от сечений меняется от светлого кремово-желтого до светло-серого (как сфалерит) или коричневато-серого. Характеризуется исключительно сильным двуотраж., эффект двуотраж. по силе подобен молибдениту и графиту ($\Delta R_{отн.}$ 60 %). Эффекты анизотропии очень сильные в синевато-серых, голубоватых, коричневатых и белых тонах. Спектры отраж. индивидуальны (рис. 61). Сов. сп. по базису. Часто полисинт. сдвойникован. H близок к пирротину; VHN 20—95, чаще 50—60.

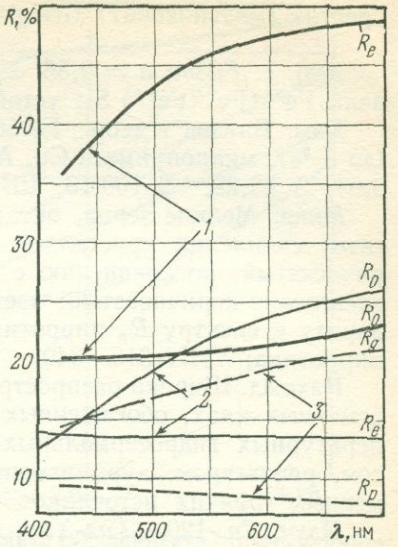


Рис. 61. Спектры отражения макинавита (1), валлериита (2), точилинита (3)

Отл. Сходен с валлериитом (долгое время принимался за последний). Макинавит светлее пирротина и значительно светлее валлериита. От обоих минералов отличается очень сильным двуотраж.

Нахожд. Широко распространенный минерал низкотемпературных ассоц. Cu-Ni, хромитовых, титаномагнетитовых м-ний, где замещает пентландит, кубанит, троилит и пирротин, халькопирит (в ассоц. с валлериитом, магнетитом и др.), во многих скарновых медных и регионально-метаморфизованных медноколчеданных м-ниях, где замещает троилит, кубанит, пирротин; в оруденелых серпентинитах, серпентинизированных кимберлитах; в современных осадках в черных илах, отложениях минеральных источников. Установлен как позднее новообразование по троилиту в породах Луны.

Изуч. Сп.-235 —*Норильское*.

Рентген. 5,04 (10) (001); 2,97 (10) (101); 2,32 (9) (111); 1,845 (6) (200); 1,810 (8) (002); 1,731 (4) (201); 1,571 (3) (211); 1,303 (3) (220).

ТИОШПИНЕЛИ (МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ЛИННЕИТА)

Общая формула минералов $A^2 + B_2^{3+}$ $(S, Se)_4$, где A — Co, Cu, Fe, Ni; B — Co, Ni, Fe. Характерны широкие области твердых растворов: Co_3S_4—$CuCo_2S_4$; Ni_3S_4—Fe_3S_4; Ni_3S_4—$CuCoNiS_4$; Ni_3S_4—$CoNi_2S_4$, а при 250—360° и Co_3S_4—Ni_3S_4. Однотипность структур и близость свойств элементов, входящих в состав тиошпинелей, обусловили значительное сходство минералов по оптическим свойствам, тв., рентгенограммам.

Грейгит (мельниковит) Greigite (melnicovite) Fe_3S_4 (1964)

Куб. с. *Fd3m*; $a = 9{,}88$; $Z = 8$; структура типа обращенной шпинели $Fe^{3+}(Fe^{2+}Fe^{3+})\,S_4$; устойчив ниже 180—200°. Сильно магнитен.

Хим. Близок к теор.: Fe 56,6; S 43,4. Примеси Ni (до 20 %), Co (до 3 %), микропримеси Cu, As, Sb. *Гал-Хая* (Якутия): Fe 56,88; Cu 0,03; S 43,22; Σ 100,13, ШНГ; формула: $(Fe_{3,012}Cu_{0,001})_{3,013}S_{3,987}$.

Микр. Мелкие зерна, октаэдрические кристаллы, зернистые агрегаты, скопления кристаллов. Отраж. умеренное; цв. желтовато-коричневатый, по сравнению с пирротином несколько темнее и более насыщенно-коричневатый; изотропен. Спектры отраж. близки к виолариту и спектру R_p пирротина (рис. 62). *H* несколько выше, чем у пирротина; VHN 315—340.

Нахожд. Широко распространен в осадочных породах, в т. ч. в современных илах, обогащенных органическим веществом. В низкотемпературных гидротермальных м-ниях Hg, Sb, As в ассоц. с антимонитом, реальгаром, аурипигментом, смайтитом. В отложениях современных горячих источников — с макинавитом и пиритом.

Изуч. Сп.-120 —*Гал-Хая*, колл. В. С. Груздева.

Рентген. 3,50 (3); 2,98 (10); 2,47 (6); 1,901 (3); 1,746 (8).

Линнеит Linnaeite $CoCo_2S_4$ (1845)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}40$; $Z = 8$; структура нормальной шпинели $Co^{2+}(Co^{3+}Co^{3+})\,S_4$; устойчив ниже 664°.

Хим. Теор.: Co 58; S 42; примеси: Ni 19, Fe 4, Cu 10, Se 5. Изоморфный ряд линнеит—карролит $CuCo_2S_4$, непрерывный по составу. Никелистый линнеит, *Ичкеульмес* (КазССР): Co 35,01; Ni 22,54; Fe 3,06; Cu 0,52; S 42,52; Se 0,49; Te 0,11; Σ 100,71[мз]; СЭМ; формула: $(Co_{1,62}Ni_{1,16}Fe_{0,17}\,Cu_{0,02})_{2,97}\,(S_{4,01}Se_{0,02})_{4,03}$.

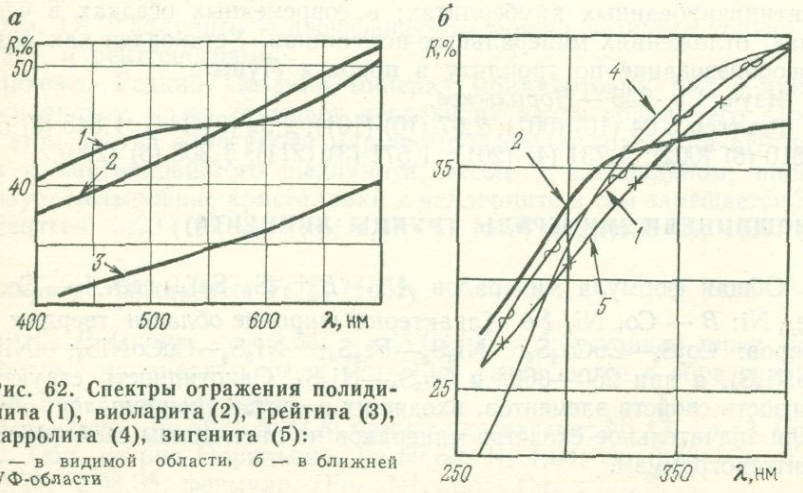


Рис. 62. Спектры отражения полидимита (1), виоларита (2), грейгита (3), карролита (4), зигенита (5):
а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

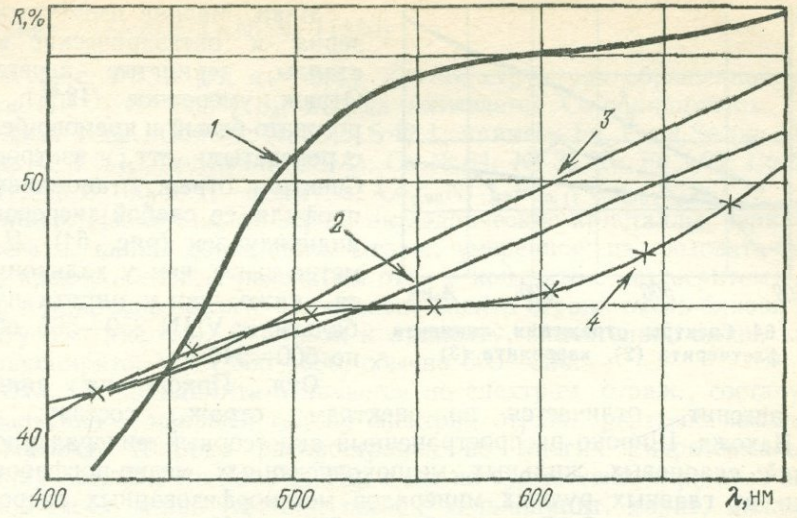


Рис. 63. Спектры отражения пирита (1), зигенита (2), линнеита (3), полидимита (4)

Микр. Зерна неправильной формы (чаще мелкие), цепочки зерен, октаэдрические кристаллы, зернистые агрегаты, графические сростки (с халькопиритом). Отраж. умеренно высокое; цв. кремовый или кремово-розоватый, в массе халькопирита отчетливо розоватый или коричневато-розоватый; изотропен. Спектры отраж. аномального профиля (рис. 63). *H* заметно выше, чем у халькопирита, ниже, чем у пирита и кобальтина; VHN 350—615, *обычно* 450—560.

Отл. От похожих по цв., тв. и ассоц. карролита и зигенита отличается по спектрам отраж., составу; от кобальтина — меньшей. тв. и по спектрам отраж., от герсдорфита и ульманита — розовато-кремовым цв., по спектрам отраж.

Нахожд. Широко распространен в метаморфизованных Cu-Co м-ниях, где образует промышленные скопления; часто встречается в скарновых, гидротермальных и медноколчеданных м-ниях; ассоц.: халькопирит, пирит, кобальтин, карролит, сидерит. В осадочных породах в пирит-марказитовых конкрециях.

Изуч. Сп.-229 —*Ичкеульмес.*

Рентген. 2,83 (10); 2,36 (7); 1,815 (6); 1,670 (8).

Карролит Carrollite $CuCo_2S_4$ (1852)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}47$; $Z = 8$; *структура типа нормальной* шпинели Cu^{2+} $(Co^{3+}Co^{3+})$ S_4.

Хим. Теор.: Cu 20,5; Co 38,0; S 14,5. Ряд Cu_2S_4 —$CoCo_2S_4$ непрерывный по составу. Примеси достигают: Fe 5, Ni 12, Se 5. *Колвези* (Заир): Co 40,57; Cu 20,64; Fe 0,18; Ni 0,14; S 42,18; $\Sigma 103{,}74^{мз}$; формула: $Cu_{0,97}Co_{2,06}Fe_{0,01}Ni_{0,01}S_{3,95}$.

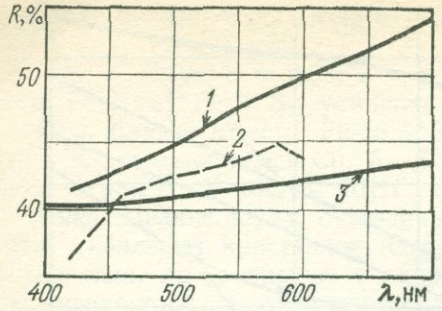


Рис. 64. Спектры отражения линнеита (1), флетчерита (2), карролита (3)

Микр. Мелкие изометричные зерна и октаэдрические кристаллы, зернистые агрегаты. Отраж. умеренное (42%); цв. розовато-белый и кремово-белый с розоватым отт.; изотропен. Спектр отраж. аномального профиля со слабой дисперсией, индивидуален (рис. 64). *H* заметно выше, чем у халькопирита, ниже, чем у пирита и кобальтина; VHN 350—565, обычно 500—540.

Отл. Похож на линнеит и зигенит, отличается по спектрам отраж., составу.

Нахожд. Широко распространенный акцессорный минерал многих м-ний: скарновых, жильных, медноколчеданных, медно-порфировых; один из главных рудных минералов метаморфизованных гидротермально-осадочных Cu-Co м-ний Заира, Замбии, Катанги; ассоц.: халькопирит, борнит, халькозин, пирит, кобальтистый пирит, каттьерит, кобальтин, марказит, магнетит.

Изуч. Сп.-174 —*Колвези*.

Рентген. 2,86 (10); 2,37 (5); 1,825 (6); 1,674 (8). Для ряда карролит — линнеит существует линейная зависимость «состав—параметр решетки»: $a = 9{,}4057 + 0{,}0033\ x$ (x = Cu, %) [34].

Полидимит Polydymite $NiNi_2S_4$ (1876)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}48$; $Z = 8$; структура типа обращенной шпинели $Ni^{3+}(Ni^{2+}Ni^{3+})S_4$; устойчив ниже 356° и 50 МПа.

Хим. Теор.: Ni 57,9; S 42,1; примеси достигают: Fe 9, Co 10, Cu 1, Se следы. Ряд полидимит—виоларит $FeNi_2S_4$ непрерывный по составу. *Камбалда* (Австралия): Ni 54,95; Fe 2,91; Co 0,13; S 41,61; Σ 99,60[мз]; формула: $Ni_{2.86}Fe_{0.16}Co_{0.01}S_{3.97}$.

Микр. Мелкие изометричные зерна, зернистые массы, октаэдрические кристаллы, иногда радиально-лучистые агрегаты. Отраж. умеренное; цв. серовато-белый с розовато-сиреневым отт.; изотропен. Спектр отраж. слабоаномального профиля с небольшим максимумом в центральной части видимой области (см. рис. 63). *H* выше, чем у халькопирита, ниже, чем у пирита; VHN 360—450, обычно 400—440.

Нахожд. Характерный продукт низкотемпературного гидротермального замещения пентландита и миллерита Co-Ni- м-ний; ассоц.: пентландит, миллерит, виоларит, ваэсит, никелистый пирит. В рудных жилах и околорудных метасоматитах гидротермальных м-ний, залегающих в серпентинитах (гипербазитах); ассоц.: герсдорфит, борнит, халькозин, миллерит, ульманнит. Заметные скопления в зонах выветривания некоторых м-ний Ni.

Изуч. Сп.-323 —*Камбалда*; *Березовское* (Урал).

Рентген. 2,85 (9); 2,36 (9); 1,820 (9); 1,674 (10); 1,232 (8).

Зигенит Siegenite $CoNi_2S_4$ (1850)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}43$; $Z = 8$; структура обращенной шпинели $Ni^{3+}(Ni^{2+}Co^{3+})S_4$; иногда называется Co-полидимитом.

Хим. Теор.: Co 19,4; Ni 38,5; S 42,1; примеси Fe, Cu и Se (до 11 %, чаще < 3 %), *Ла-Мотт* (США): Co 18,64; Ni 36,55; Fe 3,09; Cu 0,30; S 41,97; Σ 100,55[м3]; *формула:* $Co_{0,96}Ni_{1,89}Fe_{0,17}Cu_{0,01}S_{3,97}$.

Микр. Изометричные зерна, октаэдрические кристаллы, зернистые агрегаты, каймы обрастания. Отраж. умеренное; цв. розовато-белый или кремово-белый с розоватым отт., в контакте с каттьеритом — белый или кремово-белый. Изотропен. Спектр отраж. очень близок линнеиту (см. рис. 63). *H* близок к линнеиту, значительно выше, чем у халькопирита; VHN 335—580, обычно 500—530.

Отл. От полидимита отличается по спектрам отраж., составу; от кобальтина — меньшей тв., по спектрам отраж., рентгенограммам.

Нахожд. *Широко распространен во многих гидротермальных* м-ниях Cu, Au, Pb-Zn, Ag, Hg; один из существенных рудных минералов Cu-Co м-ний Африки; ассоц.: халькопирит, пирит, миллерит, каттьерит, ваэсит, кобальтин, борнит, халькозин, герсдорфит. Селенистый зигенит — характерный минерал U-Se м-ний.

Изуч. Сп.-152 —*Ла-Мотт*, обр. № 66382 Минерал. музея АН СССР; обр. м-ний Кубы и Марокко.

Рентген. 2,83 (10); 2,35 (5); 2,32 (4); 1,807 (4); 1, 659 (8).

Виоларит Violarite $FeNi_2S_4$ (1924)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}47$; $Z = 8$; структура типа обращенной шпинели $Ni^{3+}(Fe^{2+}Ni^{3+})S_4$; устойчив ниже 461°. Магнитен.

Хим. Теор.: Fe 18,5; Ni 38,95; S 42,55. *Содержания Ni и Fe колеблются* в широких пределах. Примеси Co (до 13 %), Cu, Mn. Железистый виоларит *Шануч* (Камчатка): Ni 27,99; Fe 27,71; Co 1,16; S 42,64; Σ99,50[м3]; формула: $Ni_{1,44}Fe_{1,50}Co_{0,06}S_{4,00}$. Нередко наследует особенности состава замещаемого пентландита.

Микр. Каймы замещения и полные псевдоморфозы по пентландиту, в которых сохраняется типичная для пентландита сп. по октаэдру; *сложные срастания с миллеритом и никелистым пиритом — параморфозы* по пентландиту (виоларит в этих срастаниях обычно пластинчатой формы); *изометричные зерна, зернистые агрегаты; пористые* агрегаты (гипергенные) вдоль границ зерен и по трещинам в пентландите и миллерите. Отраж. умеренное; цв. коричневато-серый с сиренево-фиолетовым отт.; на фоне пентландита — отчетливо сиреневофиолетовый, на фоне пирротина — розовато-кремово-белый, на фоне пирита — буровато-розовый, на фоне миллерита — коричневато-фиолетовый. Изотропен. Спектр отраж. слабоаномального профиля, индивидуален (см. рис. 62). *H несколько выше, чем у халькопирита*, близок к пентландиту, ниже, чем у пирита; VHN 330—460, обычно 370—460, у гипергенного 240—370.

Отл. Сходен с полидимитом и Ni-пиритом, которые в составе Cu-Ni руд нередко развиты в тех же минеральных ассоц., что и виоларит. Надежно отличается по спектрам отраж.

Нахожд. Распространен в низкотемпературных гидротермальных и частью гипергенных ассоц. Cu-Ni м-ний и в оруденелых серпентинитах; ассоц.: пирит, миллерит, магнетит, ваэсит, хизлевудит, годлевскит.

Изуч. Сп.-80 —*Шануч.*

Рентген. Сп.-80: 3,35 (1) (220); 2,857 (10) (311); 2,367 (6) (400); 1,820 (6) (333, 511); 1,674 (8) (440); $a = 9{,}46$. В ряду виоларит $FeNi_2S_4$ — полидимит $NiNi_2S_4$ параметр решетки линейно изменяется от 9,465 до 9,489.

Флетчерит Fletcherite $Cu(Ni, Co)_2S_4$ (1977)

Куб. с. *Fd3m* (?); $a = 9{,}52$; $Z = 8$; структура типа обращенной шпинели.

Хим. Изменяется от $CuCoNiS_4$ до $Cu_{0,5}Co_{0,5}Ni_2S_4$: Cu 12—23; Co 10—17; Ni 19—37; S 38—41; примесь Fe до 1 %.

Микр.[м] Мелкие изометричные зерна (в халькопирите, борните, зигените). Отраж. умеренное (см. рис. 64); цв. кремово-белый; изотропен. *H* выше, чем у халькопирита, ниже, чем у ваэсита; VHN 370—465.

Нахожд. В единственном Cu-Pb-Zn м-нии *Флетчер* (США), в борнит-халькопиритовых рудах; ассоц.: ковеллин, дигенит, пирит, галенит, энаргит, блеклая руда, ваэсит, бравоит, герсдорфит.

Рентген. 3,36 (2); 2,87 (3); 2,39 (3); 1,83 (7); 1,68 (10); 1,37 (4).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ПИРИТА

Гр. пирита включает кубические дисульфиды системы Fe—Co—Ni—Cu—S. FeS_2, CoS_2 и NiS_2 образуют почти непрерывный ряд составов, в котором выделяются поля: пирита (Fe > Co или Ni), каттьерита (Co > Ni или Fe), ваэсита (Ni > Co или Fe). Выделение бравоита как минерального вида представляется излишним и вносит неопределенность; по традиции бравоитом называют Ni, Co-содержащий пирит. Имеется некоторая неопределенность и в названиях «фукучилит» и «вилламанинит»; оба являются существенно медистыми членами рядов: фукучилит — ряд FeS_2—CuS_2; вилламанинит — ряд $(Ni, Co)S_2$—CuS_2. Для минералов гр. пирита характерны примеси Se и As, иногда Sb.

Пирит Pyrite FeS_2

Куб. с. *Pa3*; $a = 5{,}417$; $Z = 4$; устойчив: ниже 742° при $p_S = p_{общ}$, ниже 635° при $p_S = 10$ кПа; ниже 470° в ассоц. с арсенопиритом.

Хим. Близок к теор.: Fe 46,55; S 53,45. Во многих гидротермальных и иных высокотемпературных м-ниях известен пирит с дефицитом серы до $FeS_{1,8}$; в осадочных образованиях известен пирит с избытком серы до $FeS_{2,1}$. Содержания примесей достигают: Ni 25; Co 21; Cu 10 (обычно содержания Ni, Co, Cu составляют 0,0*n* %), Se 5. Пирит, обогащенный As и Sb, рассмотрен отдельно. Вариации состава

пирита (основных компонентов и элементов-примесей) являются одним из признаков зональности рудных м-ний. Для пиритов осадочных образований характерно преобладание Ni над Co, реже — равенство их содержаний; в пиритах гидротермальных м-ний Co ≫ Ni; с увеличением степени метаморфизма руд и горных пород отношение Co : Ni в пирите возрастает. Средние содержания в пиритах, г/т: Au 0,75; Ag 4,7; Se 13; Te 2; Bi 6; Sb 10; As 130.

Микр. Зернистые агрегаты, кристаллы в форме куба, октаэдра, пентагондодекаэдра, агрегаты кристаллов, радиально-лучистые «колломорфные» агрегаты, фрамбоиды, каймы замещения, мирмекитовые и графические сростки с магнетитом (псевдоморфозы по пирротину). Отраж. высокое (53 %); цв. желтовато-белый, соломенно-желтый; кремовато-желтый; изотропен, иногда слабо анизотропен. Часто имеет зональное строение, которое выявляется травлением, в т. ч. воздушным. Пирит может служить хорошим эталоном для сравнительной оценки свойств отраж. и тв. широкого круга ассоц. с ним минералов при определении их под микроскопом.

Пирит с незначительными (< 1 %) примесями Ni и Co не отличается по цв. от чистого пирита. Никелистый пирит — серый, коричневатый с фиолетовым или сиреневатым отт.; никелистый (с Co) пирит — розовато-фиолетовый, розовато-коричневый, на фоне пирита. Отраж. Ni (Co)-пирита заметно ниже, чем у пирита, особенно в красной области (рис. 65); по величине R и форме спектров отраж. можно ориентировочно оценивать содержание Ni в пирите. В большинстве случаев Ni-пирит имеет зональное, чаще тонкозональное строение, чередующие зоны различаются по цв. и H. Цв. медистого пирита розовато-кремовый, коричневато-серый, часто зональный; нередко заметно анизотропен, в ряде случаев наблюдалось двуотраж. Отраж. Cu-пирита заметно ниже, чем у пирита без примесей (см. рис. 65).

Пирит самый твердый из обычных рудных минералов. VHN 1340—2400, обычно 1500—1790; у Ni-пирита ниже — 980—1540, обычно 1200—1300; у Cu-пирита значительно ниже — 890—1100. Полируется прекрасно.

В зависимости от состава и условий образования широко варьируют электрофизические свойства пирита, прежде всего тип проводимости: как правило, относительно высокотемпературные пириты имеют электронный тип проводимости, а относительно низкотемпературные пириты (часто с примесью As 0,1 % и более) — дырочный. Пириты с дырочным типом проводимости — хорошие осадители Au из гидротермальных растворов.

Отл. Свойства пирита очень характерны и погрешности при его диагностике маловероятны. Это первый минерал, который безошибочно определяется и запоминается всеми, кто начинает заниматься минераграфией. Однако существует опасность другого рода: относительно редко встречающиеся минералы — линнеит, зигенит, полидимит, виоларит — при недостаточно внимательном наблюдении и без изучения спектров отраж. могут быть ошибочно приняты за пирит. Надежно отличается во всех случаях по спектру отраж. и тв.

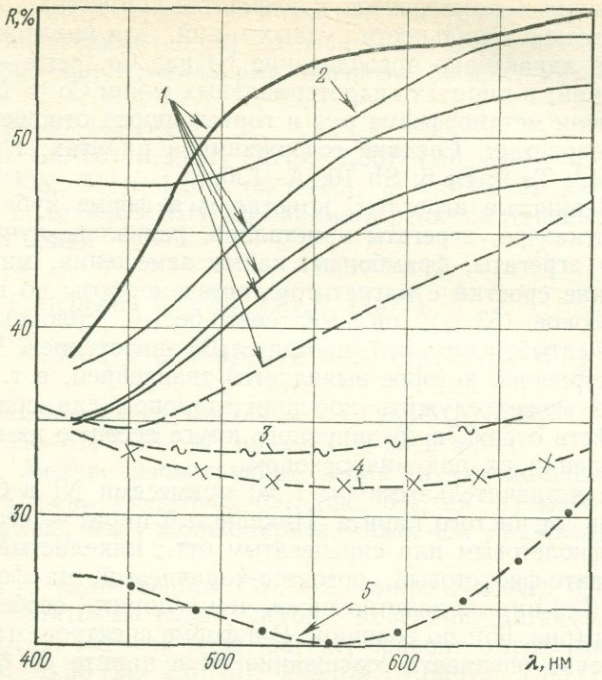


Рис. 65. Спектры отражения пирита (1) разного состава, кобальтина (2), каттьерита (3), ваэсита (4), вилламанинита (5)

Нахожд. Самый распространенный сульфид верхней части земной коры, широко развит в осадочных породах и рудах, в метаморфических породах фации зеленых сланцев и амфиболитовой фации, практически во всех типах гидротермальных м-ний. Никелистый и кобальтникелистый пирит (бравоит) широко распространен в гидротермальных м-ниях, залегающих в породах основного состава,— один из ведущих минералов: 1) гидротермальных и гипергенных парагенезисов Cu-Ni м-ний (особо богаты им Cu-Ni м-ния, залегающие в коматиитах); 2) метаморфизованных гидротермально-осадочных Cu-Co м-ний. Ni-пирит иногда образует каемки на конкрециях пирита в осадочных породах. Медистый пирит характерен для неметаморфизованных вулканогенных медноколчеданных и Ag-Sn-Bi м-ний. Селенистый пирит известен в неметаморфизованных медноколчеданных м-ниях; селенистые пирит и Ni-пирит — в телетермальных и гидротермально-осадочных U-Se м-ниях.

Изуч. См. табл. 18. и прилож. 3.

Рентген. Сп.-313-1: 3,13 (2) (111); 2,71 (8) (200); 2,41 (6) (210); 2,21 (5) (211); 1,916 (4) (220); 1,807 (1) (300); 1,634 (10) (311); 1,564 (2) (222); 1,502 (2) (320); 1,447 (3) (321); $a = 5{,}417$. Параметры решетки никелистого, кобальтистого, медистого, селенистого пирита заметно больше, чем у пирита без примесей.

Таблица 18

Компонент	Сл.-313-0		Сл.-313-1		Сл.-313-2		Сл.-313-3		Сл.-313-4	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Fe	46,93	1,00	41,31	0,88	39,19	0,84	36,53	0,79	36,55	0,78
Ni	*0,01*	—	*4,96*	*0,10*	*6,51*	*0,13*	*0,24*	*0,19*	*8,03*	*0,16*
Co	0,06	0,01	0,87	0,02	1,11	0,02	0,47	0,01	2,43	0,05
S	53,58	1,99	53,41	2,00	53,66	2,01	52,93	2,01	53,95	2,01
Σ	100,58	3	100,55	3	100,47	3	99,17	3	100,96	3
VHN	1750—1790		1325—1395		—		1210—1280		1240—1330	
a	5,417		5,446		—		5,470		5,464	

Примечание. Микрозонд JXA-5 (СЭМ).

Мышьяковистый пирит Pyrite arsenian Fe (S, As)$_2$

Хим. Содержит As до 14,5 % (чаще 3—7 %); Sb до 2 % (чаще $< 0{,}3$ %), изоморфно замещающих серу; соотношение Me: *x* близко к стехиометричному. Примеси Hg (0,5 %); Au (0,4—1 % обычно $< 0{,}02$ %); Cu; Tl; Se. Мышьяковистый Ni-пирит содержит As до 13,5 %. Синт. пирит, равновесный с арсенопиритом, содержит при 600° менее 0,5 % As.

Микр. Радиально-лучистые «колломорфные», гроздевидные, почковидные агрегаты, оолиты, фрамбоиды, глобули, нередко зональные. Цв. пирита, содержащего 3 % As, светлый серовато-желтый, 7—8 % As — серый до темно-серого на фоне пирита, *R* на 6—8 % ниже, чем у пирита, особенно в синей области. Характерно тонкое чередование зон, различающихся по цв., как у Ni-пирита. Изотропен. *H* заметно ниже, чем у пирита, что хорошо заметно в тонкозональных выделениях; VHN 510—870. Характеризуется дырочным типом проводимости.

Нахожд. Характерный низкотемпературный гидротермальный минерал вулканогенных м-ний Au, Pb-Zn и рудных осадков термальных источников вулканических областей; ассоц.: марказит, иорданит, грейтонит, сфалерит, галенит, сульфиды и сульфосоли Ag. Известен в плутоногенных золото-антимонитовых м-ниях; ассоц.: арсенопирит, антимонит, сфалерит, цинкенит, джемсонит, блеклая руда, андорит. Является хорошим осадителем Au.

Рентген. Близок к пириту. С ростом содержания As от 0 до 3 и до 6 % параметр решетки увеличивается от 5,417 до 5,437 и до 5,453.

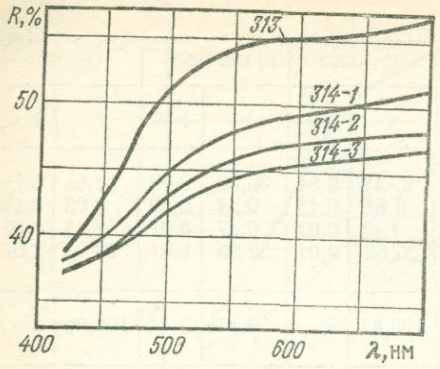


Рис. 66. Спектры отражения пирита (313) и сурьмянистого пирита (314)

Сурьмянистый пирит Pyrite stibian $Fe(S, Sb)_2$

Хим. Sb до 21,7, обычно 11—15; As до 0,5; Cu до 1,9. Высокосурьмянистые пириты несколько нестехиометричны, характерен дефицит катионов.

Микр.[м] Мелкие ксеноморфные выделения — зубчатые, коленчатые, клиновидные; зернистые агрегаты, округлые выделения. В отдельных зернах четко выражена зональность, зоны отличаются отт. цв и значением *H*. Похож на пирит, но темнее, выделяется коричневато-кремовым отт. Спектры отраж. в отличие от пирита имеют более плавный профиль с монотонным подъемом от синей к красной области, без резкого воздымания в зелено-желтой области (как у пирита). Такой профиль кривых объясняет преобладание в цв. сурьмянистого пирита кремово-розовой составляющей в отличие от четко выраженной желтой у пирита. Максимальные различия *R* между крайними по составу образцами сурьмянистого пирита (Sb 2,0 и 17,3 %) составляют не более 4 %, в то же время различия *R* чистого пирита и пирита с 2 % Sb — 6—7 % (рис. 66, табл. 19). *H* несколько выше, чем у халькопирита, значительно ниже, чем у пирита; VHN снижается с ростом содержаний Sb от 925 до 415. С повышением содержания Sb заметно сни-

Таблица 19

Компонент	Сп.-314-1		Сп.-314-2		Сп.-314-3	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Fe	45,76	0,98	39,20	0,91	36,83	0,88
Cu	0,79	0,02	0,80	0,02	0,90	0,02
S	52,86	1,96	48,05	1,94	45,53	1,91
As	0,12	—	0,26	—	0,16	—
Sb	2,00	0,02	11,91	0,13	17,33	0,19
Σ	101,53	—	100,22	—	100,75	—
VHN	865—925		735—875		415—450	
a	5,435		5,462		5,480	

Примечание. Микрозонд JXA-5 (СЭМ).

жается хрупкость, минерал приобретает пластичность. Полируется хорошо и гораздо быстрее пирита.

Нахожд. Сравнительно редкий. Типоморфный минерал бертьерит—антимонитовых м-ний; реакционный, образуется на фронте замещения бертьерита антимонитом при пониженной фугитивности S; ассоц.; антимонит, бертьерит, Sb-содержащий халькопирит, ульманнит, сурьма.

Изуч. Сп.-314(1—3)—*Сарылах* (Якутия), колл. В. С. Груздева.

Рентген. Близок к пириту, с увеличением содержаний Sb параметр решетки заметно увеличивается (см. табл. 19). Сп.-314-2: 3, 17 (3) (111); 2,73 (10) (200); 2,44 (8) (210); 2,23 (6) (211); 1,935 (6) (220); 1,816 (3) (221); 1,646 (10) (311); 1,578 (2) (222); 1,518 (3) (320); 1,462 (4) (321).

Каттьерит Cattierite CoS_2 (1945)

Куб. с. *Pa*3; $a = 5{,}525$; $Z = 4$; устойчив ниже 950°. Ферромагнетик, точка Кюри 173°.

Хим. Теор.: Co 47,9; S 52,1; примеси достигают: Ni 15, Fe 18, Cu 3, Se 4.

Микр. Отдельные зерна и кристаллы кубической и кубооктаэдрической форм, зернистые агрегаты, срастания с пиритом и линнеитом. Отраж. умеренное (33 %); цв. светло-серый с розовато-сиреневым отт.; изотропен (см. рис. 65). *H* высокий, но ниже, чем у пирита; VHN 730—1380, обычно 950—1180.

Нахожд. Редкий. Характерный минерал телетермальных U-Se и метаморфизованных гидротермально-осадочных Cu-Co м-ний.

Рентген. 2,75 (10); 2,463 (4); 2,249 (3); 1,663 (9); 1,063 (7)

Ваэсит Vaesite NiS_2 (1945)

Куб. с. *Pa*3; $a = 5{,}687$; $Z = 4$; устойчив ниже 1022°. В области 0—200° образует непрерывную серию твердых растворов с CoS_2; в области 0—80° — серию твердых растворов с FeS_2 (до 40 % FeS_2).

Хим. теор.: Ni 47,8; S 52,2; примеси достигают Co 23; Fe 24; Cu 14; Se 19.

Микр. Изометричные выделения, зернистые агрегаты, срастания с миллеритом, пирротином, халькопиритом, пиритом, Ni-пиритом. Отраж. умеренное; цв. светло-серый, с розовато-сиреневым отт.; изотропен. Спектр отраж. сходен со спектром каттьерита (см. рис. 65). *H* высокий, выше, чем у пентландита, миллерита, ниже, чем у пирита и Ni-пирита; VHN 595—1115; обычно 730—1030; у обогащенного медью — 535—710.

Отл. От сходных полидимита, виоларита, Ni-пирита отличается по спектру отраж., составу.

Нахожд. Распространен в поздних гидротермальных ассоц. Cu-Ni м-ний (с миллеритом, Ni-пиритом, пиритом); характерный минерал гидротермально-осадочных Cu-Co м-ний и телетермальных U-Se м-ний (селенистый ваэсит). В Co-Ni-As м-ниях ассоц. с никель-скуттеруди-том, герсдорфитом, бравоитом; в лиственитах некоторых м-ний Au — с зигенитом.

Рентген. 2,81 (10); 2,52 (6); 1,992 (5); 1,702 (8); 1,080 (6). В ряду NiS_2—CoS_2 зависимость параметра решетки от состава близка к линейной: при содержании NiS_2 100 % a = 5,688; 50 % — 5,601; 0 %— 5,535.

Фукучилит Fucuchilite Cu_3FeS_8 (до $CuFeS_4$) (1969)

Куб. с. *Pa3*; a = 5,58—5,75; Z = 4; устойчив ниже 200°. Ниже 230° существует непрерывная серия твердых растворов CuS_2—FeS_2 со структурой пирита. В условиях гидротермального синтеза предельные содержания Cu в твердом растворе (Cu, Fe) S_2 уменьшаются линейно с 82 % CuS_2 (100°) до 67 % CuS_2 (250°) и до 10 % CuS_2 (275°). Фукучилит отвечает обогащенным медью членам серии CuS_2—FeS_2: $Cu_{ф.е.} > Fe_{ф.е.}$ и $Fe_{ф.е.} > Ni_{ф.е.}$ или $Co_{ф.е.}$.

Хим. Изменяется от $CuFeS_4$ почти до CuS_2, чаще близок к Cu_3FeS_8 (Cu 37,9; Fe 11,1; S 51,0). Примеси достигают: Ni 7; Co 2; Se 1,5.

Микр.[м] Мелкие выделения. Отраж. умеренное, заметно ниже, чем у пирита, и выше, чем у борнита. По цв. напоминает борнит — светлый розовато-коричневый (в иммерсии пурпурно-коричневый); никелистый фукучилит — красновато-фиолетовый. Изотропен. Для никелистой разновидности характерны бравоитоподобные структуры. *H* близок к халькопириту; VHN никелистого фукучилита 440—520.

Нахожд. Редкий. В неметаморфизованных медноколчеданных м-ниях, в верхних их зонах, обогащенных баритом и гипогенными гипсом и ангидритом; ассоц.: пирит и ковеллин.

Рентген. 3,29 (2); 2,852 (10); 2,548 (3); 2,325 (2,5); 2,014 (2,5); 1,717 (4); 1,643 (0,5); 1,579 (1); 1,522 (1); 1,306 (0,5); для состава $Cu_{0,60}Fe_{0,23}Ni_{0,14}Co_{0,03}S_2$. В ряду твердых растворов FeS_2—CuS_2 зависимость параметра решетки от состава близка к линейной: a = = 5,417 + 0,00403 x (где x — молярное содержание CuS_2, %).

Вилламанинит Villamaninite (Cu, Ni, Fe, Co) S_2 (1920)

Куб. с. *Pa3*; a = 5,59—5,69; Z = 4; устойчив ниже 503°. Отвечает существенно медистым членам ряда CuS_2 — (Ni, Co, Fe) S_2; Cu > Ni (Ni + Co) > Fe.

Хим.: Cu 18—22; Ni 16—18; Co 6—7; Fe 4—6; S 47—49; Se до 1,5.

Микр. Мелкие зернистые и почковидные агрегаты. Отраж. умеренно низкое (23 %), ниже, чем у фукучилита. Цв. розовато-фиолетовый до фиолетово-серого и коричневато-серого. Изотропен. *H* близок к халькопириту. Спектр отраж. индивидуален (см. рис. 65).

Нахожд. Редкий минерал медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, Au м-ний; ассоц. : халькопирит, зигенит, герсдорфит.

Марказит Marcasite FeS_2 (1845)

Ромб. с. *Pnnm* : a = 4,445; b = 5,425; c = 3,388; Z = 2; изоструктурен с фробергитом и ферроселитом. Устойчив ниже 450°.

Хим. Чаще близок к стехиометричному. Содержания примесей

достигают: As 4—11 (чаще около 0,1); Co 2; Ni 3 (5—8 во вторичном марказите по пентландиту или полидимиту); Se 3—51 (в гидротермально-осадочных U-Se м-ниях); Tl 0,85 (в Tl-As-Ba м-ниях).

Микр. Конкреции, почковидные и сферолитовые, радиально-лучистые, «колломорфные» агрегаты, зернистые массы, каймы обрастания и замещения, отдельные зоны в зональных агрегатах пирита — сфалерита — галенита, псевдоморфозы по пирротину (структуры типа «птичьего глаза» и т. п.), кристаллы копьевидной и таблитчатой форм. Отраж. умеренно высокое, в светлом положении несколько выше, чем у пирита (рис. 67). Двуотраж. сильное с изменением цв. от желтовато-зеленоватого в светлом положении до бледно-желтовато-кремового — в темном. Сильно анизотропен с характерными цв. эфф. в насыщенных желтых, ярко-зеленых, фиолетово-серых тонах. Часто сдвойникован. Иногда тонко зонален. Спектры отраж. индивидуальны, имеют сложные профили с аномальной дисперсией. Минимальное значение $\Delta R_{\text{отн.}}$ наблюдается в крайней синей области, к красной области оно увеличивается (см. рис. 67). По характеру спектров отраж. марказит уверенно отличается от сходных с ним по визуальному восприятию арсенопирита и пирита. *H* близок к пириту; VHN 760—1680, обычно 1230—1560.

Нахожд. Широко распространенный минерал осадочных пород, осадочных и гидротермально-осадочных м-ний, ассоц. с пиритом, смайтитом, грейгитом. Характерный минерал зоны выветривания м-ний, первичные руды которых богаты моносульфидами Fe, Fe—Ni; низкотемпературных ассоц. многих гидротермальных м-ний: Pb-Zn, Au-Ag, Ag-Sn, медноколчеданных, Cu, колчеданно-полиметаллических и др.; в отложениях гидротермальных источников на дне океана; ассоц.: пирит, сфалерит, вюртцит, галенит, халькопирит, кубанит, борнит, халькозин, ковеллин, миллерит.

Изуч. Сп.-239 —*Весеннее* (Урал).

Рентген. 3,43 (6); 2,70 (10); 2,41 (6); 2,32 (6); 1,755 (9).

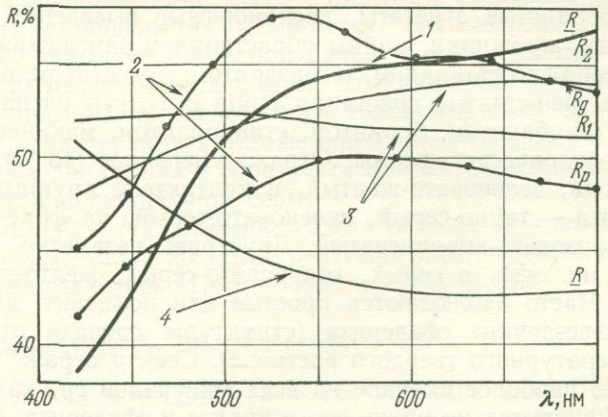


Рис. 67. Спектры отражения пирита (1), марказита (2), арсенопирита (3) галенита (4)

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ХАЛЬКОПИРИТА (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Cu—Fe—S)

Кроме тетрагонального халькопирита, широко распространенного в природе, в этой гр. рассмотрены талнахит, моихукит, путоранит, никелистый путоранит и хейкокит. Эти относительно редкие минералы, по составу близкие к халькопириту, отличаются избытком металлов над серой. Все они представляют собой продукт кристаллизации высокотемпературного недосыщенного серой халькопиритового (промежуточного) твердого раствора, существование которого в центральной части системы Cu—Fe—S экспериментально установлено многими исследователями. При $T > 600°$ он имеет полностью разупорядоченную сфалеритоподобную структуру с гранецентрированной ячейкой ($a = 5{,}29$). По мере охлаждения претерпевает ряд сложных превращений с образованием фаз с частично упорядоченным расположением атомов металлов. Таковы β- и γ-фазы, природными аналогами которых являются талнахит и моихукит, P_c-фаза, аналогами которой являются минералы путоранит и никелистый путоранит. Вследствие сходства оптических свойств и тонких взаимных срастаний уверенная диагностика минералов группы халькопирита с избытком металлов над серой возможна только с помощью рентгеновского метода.

Халькопирит Chalcopyrite $CuFeS_2$ (1725)

Тетр. с $I\bar{4}2d$; $a = 5{,}29$; $c = 10{,}42$; $Z = 4$; структура, производная от структуры сфалерита; при низких давлениях устойчив ниже 550°, при 1 ГПа — ниже 500°, при 4 ГПа — ниже 400°. Проводит электричество. Антиферромагнетик.

Хим. Близок к теор.: Cu 34,6; Fe 30,5; S 34,9; примеси Se до 2; микропримеси Ni, Co, Ag, Zn, Mn, Sn, As, Sb, Ge, In, Tl. Известен железистый халькопирит с Me: S = 1 и Cu: Fe до 0,8. М-ние в Красноярском крае: Cu 34,31; Fe 30,71; Ni 0,30; S 34,78; Σ100,10; формула: $Cu_{0,99}Fe_{1,00}Ni_{0,01}S_2$.

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, почковидные агрегаты, прожилки, каймы обрастания и замещения, мирмекитовые срастания со станнином, тетраэдритом, магнетитом, пирротином, карролитом, решетчатые срастания (типа структур распада твердых растворов) с кубанитом, борнитом, станноидитом, макинавитом, кристаллы тетраэдрической формы. Отраж. умеренное (48 %), цв. насыщенно-желтый, зеленовато-желтый, в контакте с крупными выделениями золота — темно-серый, зеленовато-серый, на фоне теллуридов висмута — розовато-коричневатый. Двуотраж. незаметно. Слабо анизотропен с цв. эфф. в серых, голубовато-серых, желто-зеленоватых полутонах. Часто наблюдаются простые или полисинт. дв., нередко содержит «звездочки» сфалерита (структуры распада относительно высокотемпературного твердого раствора). Спектр отраж. индивидуален. отраж., наиболее высокое из всех минералов гр. халькопирита (рис. 68). *H* значительно ниже, чем у пирита и сфалерита, близок к *H* блеклой руды, несколько выше, чем у галенита; VHN 165—260, обычно 180—205.

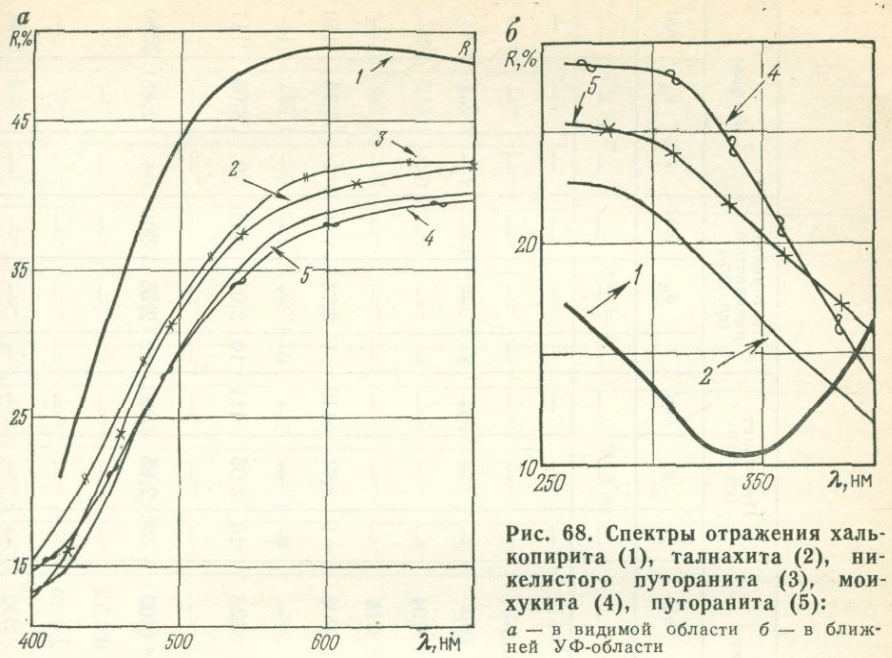


Рис. 68. Спектры отражения халькопирита (1), талнахита (2), никелистого путоранита (3), моихукита (4), путоранита (5):
а — в видимой области *б* — в ближней УФ-области

Отл. От сходных талнахита, кубанита, миллерита, отличается по цв. и дебаеграмме (табл. 20).

Нахожд. Один из наиболее широко распространенных рудных и акцессорных минералов: в магматических породах, прежде всего, основного и щелочного состава, в метаморфических породах всех фаций, в осадочных породах, чаще в углеродсодержащих фациях; в м-ниях любых типов от магматических Cu-Ni до осадочных Co-Cu, медистых сланцев, медистых песчаников; ассоц. практически со всеми рудными минералами, чаще всего с пиритом, сфалеритом, галенитом, пирротином, молибденитом, магнетитом, пентландитом, арсенопиритом; нередко замещается блеклой рудой, в зоне выветривания — ковеллином. Железистый халькопирит известен в Cu-Ni м-ниях в кубанитовых рудах. Ассоц. железистого халькопирита с халькопиритом и борнитом характерна для отложений современных гидротермальных источников на дне океана и образуется при повышенной фугитивности S в присутствии самородной серы.

Изуч. Сп.-440 —*III Интернационал* (Урал), *Норильское*.

Рентген. См. табл. 20. Для рентгенограмм характерны тетрагональные дуплеты отраж. 1,867—1,854 и 1,593—1,573.

Талнахит Talnakhite $Cu_{18}Fe_{16}S_{32}$ (1968)

Куб. с. *I* $4\bar{3}m$; $a = 10{,}59$; $Z = 16$; устойчив ниже 186°; при 186 и 230° превращается в две промежуточные фазы, при 520° переходит в неупорядоченную кубическую фазу.

Таблица 20

Рентгенограммы минералов группы халькопирита

Халькопирит			Талнахит (сп.-386)			Моихукит (сп.-255)			Хейкокит			Путоранит (сп.-330)			Путоранит никелистый (сп.-330-1)			*Pc*-фаза		
I	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*	*I*	d_α	*hkl*
—	—	—	2	7,52	110	2	7,47	110		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	6,82	112	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0,5	5,31	200	1	5,32	220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	4,73	101	—	—	—	1	4,79	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0,5	4,31	211	0,5	4,37	111	2	4,42	204	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	4,10	214	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	2	3,76	220	1	3,75	201	1	3,74	206	1	3,74	110	1	3,74	110	2	3,75	110
—	—	—	5	3,37	310	5	3,37	310		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3,03	112	10	3,06	222	10	3,07	221	10	3,07	226	10	3,05	111	10	3,05	111	10	3,06	111
0,5	2,91	103	—	—	—	1	2,83	311		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	2,65	200	4	2,65	400	1	2,67	002	4	2,67	400	2	2,65	200	2	2,65	200	4	2,651	200
1	2,61	004	—	—	—	3	2,64	400	3	2,62	0.0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	1	2,49	330	—	—	—	0,5	2,42	2.2.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,31	211	—	—	—	0,5	2,26	331	1	2,28	336	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—	—	—	1	2,16	422	1	2,16	421	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2,162	211
—	—	—	4	2,07	431	4	2,07	312		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	9	1,883	402	6	1,889	440	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1,867	220	9	1,873	440	4	1,870	440	8	1,876	4.0.12	9	1,873	220	9	1,875	220	9	1,874	220
9	1,854	204	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	4	1,613	223	6	1,612	626	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1,593	312	8	1,598	622	6	1,597	621	4	1,586	362	6	1,596	311	6	1,597	311	6	1,597	311
4	1,573	116	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,532	224	1	1,533	444	1	1,533	422	1	1,535	4.4.12	—	—	—	—	—	—	2	1,532	222
—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	1,418	321
3	1,322	400	4	1,326	800	3	1,324	800	0,5	1,325	656	2	1,326	400	2	1,326	400	4	1,327	400
2	1,303	008	—	—	—	—	—	—	2	1,313	0.0.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$a = 5{,}28$ $c = 10{,}40$	$a = 10{,}60$ —	$a = 10{,}58$ $c = 5{,}36$	$a = 10{,}71$ $c = 31{,}49$	$a = 5{,}30$ —	$a = 5{,}30$ —	$a = 5{,}31$ —

Хим. Наиболее медистый минерал в гр. халькопирита. Теор.: Cu 37,3; Fe 29,2; S 33,5. Примеси Ni до 1 %. М-ние в Красноярском крае; Cu 36,8; Fe 29,8; Ni 0,7; S 34,0; $\sum$ 101,3; формула; $Cu_{17,49}Fe_{16,12}Ni_{0,36}S_{32,03}$.

Микр. Сплошные массы, тесные срастания с кубанитом, пентландитом, минералами гр. халькопирита; особенно характерны решетчатые пластинчатые срастания с кубанитом. Структура агрегатов чаще крупнозернистая. Отраж. умеренное; цв. желтовато-серый, темнее халькопирита; изотропен. Спектр отраж. подобен спектру халькопирита, но на 10 % ниже (см. рис. 68). Характерная особенность внутреннего строения зерен талнахита — наличие ламмелей халькопирита. Образует тонкие пластинчатые срастания, напоминающие полисинт. дв., с моихукитом; путоранитом, никелистым путоранитом. На воздухе очень быстро и сильно окисляется, покрывается яркой пестрой побежалостью, благодаря чему резко выделяется на фоне других минералов, слабее окисляющихся (кубанит и др.). Микротвердость выше, чем у других минералов гр., VHN 277.

Нахожд. Редкий. В м-ниях норильской гр. развит главным образом в залежах сплошных руд, реже во вкрапленных рудах. Единичные выделения известны во вкрапленных рудах других Cu-Ni м-ний (Кольский п-ов), базальтах Луны. Замещается валлериитом и магнетитом.

Изуч. Сп.-386 — м-ние в Красноярском крае.

Рентген. См. табл. 20. На рентгенограммах отсутствуют халькопиритовые дублеты 1,867—1,854 и 1,593—1,573 и хорошо различается отраж. 7,5, что позволяет отличать талнахит от других куб. фаз.

Моихукит Mooihoekite $Cu_{18}Fe_{18}S_{32}$ (1972)

Тетр. с $P\bar{4}2m$; $a = 10{,}58$; $c = 5{,}37$; $Z = 8$; устойчив ниже 167°; выше 167° превращается в промежуточную высокотемпературную фазу, выше 236° — в неупорядоченную куб. фазу.

Хим. Теор.: Cu 36,0; Fe 31,7; S 32,3 М-ние в Красноярском крае: Cu 35,84; Fe 31,62; Ni 0,44; S 32,32; Σ100,49; формула: $Cu_{17,88}Fe_{17,94}\ Ni_{0,24}S_{31,94}$.

Микр. Крупнозернистые агрегаты, иногда радиально-лучистые, перистые, тонкие пластинчатые срастания с талнахитом, путоранитом, никелистым путоранитом. Отраж. умеренное; цв. кремово-серый; отчетливо анизотропный. Характерно тонкое полисинт. двойникование. По величине отраж. близок к талнахиту и путораниту (см. рис. 68); спектры отраж. минералов подобны; VHN 259—269.

Отл. От халькопирита отличается кремово-серым цв., от талнахита и никелистого путоранита — отсутствием яркой побежалости. В отличие от талнахита не содержит пластинчатых включений халькопирита. От путоранита надежно отличается по рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В сплошных и вкрапленных рудах норильских Cu-Ni м-ний широко распространен вместе с другими минералами гр. халькопирита. В пегматоидных дунитах Бушвелдского плутона (Юж. Африка), ассоц. с хейкокитом, пентландитом, макинавитом, сфалеритом.

Изуч. Сп.-255 — м-ние в Красноярском крае.

Рентген. См. табл. 20. Особенностями рентгенограмм являются: а) обратное, по сравнению с халькопиритом, соотношение интенсивностей отраж. тетрагональных дублетов 1,33 —1,870 и 1,613—1,597; б) присутствие отраж. в области малых углов (*d* 7,47; 5,32; 4,79).

Путоранит Putoranite $Cu_{18}Fe_{18}S_{32}$ (1980)

Куб. с *Pm3m*; $a = 5{,}30$; $Z = 1$; отвечает промежуточной высокотемпературной фазе с составом моихукита; метастабильный (возможно, структура стабилизируется примесью Ni).

Хим. По составу аналогичен моихукиту. Характерны колебания значений Cu: Fe от 1 до 0,94. М-ние в Красноярском крае: Cu 35,82; Fe 31,43; Ni 0,44; S 32,50; Σ100,19; формула: $Cu_{17,85}Fe_{17,82}Ni_{0,24}S_{32,09}$.

Микр. Средне- и крупнозернистые агрегаты, срастания с моихукитом, никелистым путоранитом и талнахитом. Отраж. умеренное, близкое моихукиту. Цв. кремово-серый, неотличимый от моихукита. Очень слабо анизотропен. По спектру отраж. близок моихукиту (см. рис. 68). Микротв. несколько ниже, чем у талнахита, и значительно выше, чем у халькопирита, VHN 259—264.

Отл. Наиболее труден для распознавания. По форме выделений, величине отраж., степени окисляемости на воздухе, цв. и структуре агрегатов не отличается от моихукита. Лишь очень слабая анизотропия позволяет отличать путоранит от явно анизотропного моихукита (и халькопирита). Надежно определяется по рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В Cu-Ni м-ниях норильской гр. один из основных рудных минералов сплошных руд (путоранит-моихукитовых и путоранитовых).

Изуч. Сп.-330 — м-ние в Красноярском крае.

Рентген. См. табл. 20.

Никелистый путоранит Putoranite nickeloan $Cu_{16}(Fe, Ni)_{19}S_{32}$ (1980)

Куб. с.; $a = 5{,}30$; $Z = 1$.

Хим. Характеризуется повышенными содержаниями Ni (до 2 %) и Fe (до 33 %), пониженными Cu (около 32 %). М-ние в Красноярском крае: Cu 32,44; Fe 32,13; Ni 1,70; S 33,32; Σ99,58; формула: $Cu_{15,89}Fe_{17,89}Ni_{0,90}S_{32,32}$.

Микр. Зернистые (аллотриоморфнозернистые) агрегаты. Линзовидные и копьевидные выделения от сотых долей до 2 мм, таблитчатые и пластинчатые выделения шириной до 0,5 мм, в сложном решетчатом срастании с моихукитом, путоранитом, талнахитом. Отраж. умеренное; цв. кремово-серый, близкий к моихукиту и путораниту. Двуотраж. слабое, в «окислившихся» образцах усиливается, как и анизотропия. Характеризуется сильной анизотропией с цв. эфф. в зеленовато-серых, розовато-серых тонах, что резко отличает никелистый путоранит от других минералов гр. халькопирита (см. рис. 68). VHN 252—266.

Нахожд. Редкий. Вместе с путоранитом и моихукитом в сплошных рудах м-ния в Красноярском крае.

Изуч. Сп.-330-1 — м-ние в Красноярском крае.

Рентген. См. табл. 20.

Хейкокит Haycockite $Cu_{16}Fe_{20}S_{32}$ (1972)

Ромб. с P 222; $a = 10{,}71$; $b = 10{,}73$; $c = 31{,}63$; $Z = 12$.

Хим. Наиболее богатый Fe минерал гр. Состав: Cu 32,16; Fe 35,03; Ni 0,40; S 32,41.

Микр. [м] Срастания с моихукитом, талнахитом, пирротином; отраж. умеренное, цв. серовато-желтый с розоватым отт.; слабо анизотропен. Кристаллы почти всегда тонко сдвойникованы.

Нахожд. Редкий: Вместе с моихукитом в составе сульфидной минерализации в пегматоидных дунитах Бушвелдского плутона (Юж. Африка), в расслоенных габброидах плутона Дулут (США), в титаномагнетитовых рудах с пирротином, кобальтистыми пентландитом и макинавитом.

Рентген. См. табл. 20. Надежная диагностика возможна только по рентгенограмме.

Кубанит Cubanite $CuFe_2S_3$ (1843)

Низкий кубанит (или просто кубанит) — ромб. с. $Pcmn$; $a = 6{,}46$; $b = 11{,}12$; $c = 6{,}23$; $Z = 4$; сверхструктура на основе структуры вюртцита; устойчив ниже 200°. Магнитен. Высокий кубанит (или кубический кубанит, или кубанит II по П. Рамдору) — куб. с., $a = 5{,}30$; разупорядоченная структура типа сфалерита; устойчив выше 200°. Превращение «низкий — высокий» кубанит в лабораторных условиях необратимо. При отжиге высокого кубанита происходит его распад с выделением халькопирита.

Хим. Состав кубанита и куб. кубанита близок к теор.: Cu 23,4; Fe 41,2; S 35,4; примеси Ni, Co (в базальтах Луны), As, микропримеси Ag, Zn, Mn и др.

Микр. Зернистые агрегаты, часто пластинчатые; пластинчатые и таблитчатые ламелли в зернах халькопирита, талнахита, моихукита (продукты распада твердого раствора), иногда пластинки кубанита пересекаются под углом 60°, образуя решетчатую структуру, отдельные пластинки представляют обычно сростки сложных пластинчатых дв. Отраж. умеренное, близкое к халькопириту и пирротину. Цв. желтоватый, кремово-розовый с коричневатым отт. Двуотраж. отчетливое с изменением цв. от светло-желтого до коричневатого. Сильно анизотропен с цветными эффектами в коричневатых и голубоватых тонах. Характерна пластинчатая отдельность, часто плоскости отдельности искривлены, как у пирротина. Спектры отраж. индивидуальны (рис. 69). H несколько выше, чем у халькопирита, но значительно ниже, чем у пирротина и пентландита; VHN 220—290, чаще 230.

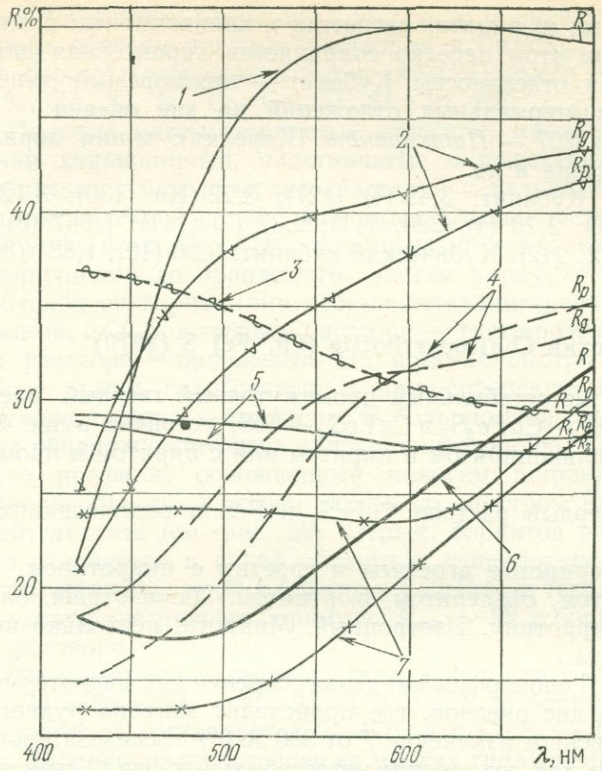


Рис. 69. Спектры отражения халькопирита (1), кубанита (2), халькозина (3), идаита (4), бетехтинита (5), борнита (6), нукундамита (7)

Кубический кубанит образует каймы замещения и микропрожилки в низком кубаните. Отраж. умеренное, близкое к R_p низкого кубанита. Цв. более насыщенный с заметно выраженным розовато-коричневым отт. Изотропный. Характерна сов. сп.

Отл. От сходного халькопирита отличается формами выделения, серо-коричневым или розовато-коричневым отт. цв., по спектрам отраж., магнитностью; от пирротина более желтым цв., значительно меньшей тв., по спектрам отраж.

Нахожд. Широко распространенный минерал Cu—Ni м-ний, один из ведущих сульфидов в м-ниях титаномагнетита, скарновых м-ниях Cu, Sn, Au, залегающих в породах базитового состава; в подчиненных количествах — во многих типах гидротермальный м-ний в базитах: в Cu-колчеданных, золото-кварцевых и др.; ассоц. с халькопиритом, троилитом, пирротином, пентландитом, талнахитом, моихукитом, путоранитом, магнетитом, сидеритом, хлоритом. Мало устойчив под воздействием поздних гидротермальных растворов с повышенной фугитивностью кислорода и (или) серы, легко и часто полностью замещается тонко- мелкозернистыми агрегатами: а) пирита; б) пирита и

халькопирита; в) пирита, магнетита и халькопирита; г) пирита и ковеллина; при этом нередко сохраняется характерная для кубанита пластинчатая отдельность. *Кубанит — типоморфный минерал современных гидротермальных отложений на дне океана.*

Изуч. Сп.-207 — *Питкяранта* (Карелия); м-ния норильской гр., Сев. Казахстана и др.

Рентген. Кубанит: 3,49 (4) (121); 3,22 (10) (130); 3,12 (3) (002); 3,00 (4) (012); 2,79 (4) (220, 211); 2,37 (3) (141); 1,867 (8) (123, 330); 1,750 (7) (312, 242). Кубический кубанит: 3,06 (10); 1,881 (8); 1,602 (7); 1,219 (4).

Халькопирротин Chalcopyrrhotite (Cu, Fe) S (1870)

Куб. с., метастабильный промежуточный твердый раствор в системах $CuFeS_2$—$CuFe_2S_3$ и $CuFeS_2$—FeS, устойчив выше 400° (в равновесии с халькопиритом и пиритом или с пиритом и промежуточным пирротином).

Хим. Твердый раствор $CuFeS_2$ и FeS в соотношениях от 1 : 1,5 до 1 : 3.

Микр. *Зернистые агрегаты и сростки с пирротином, кубанитом,* халькопиритом, сфалеритом, вюртцитом. Цв. и отраж. близки к кубаниту и пирротину. Изотропный. Микротв. несколько выше, чем у халькопирита.

Нахожд. Типоморфный минерал современных гидротермальных отложений на дне океанов, где происходит закалка рудного вещества (почти мгновенное изменение *T* от 300 до 0°) и, следовательно, имеются возможности для сохранения метастабильных фаз. Установлен в ряде м-ний, где халькопирит-пирротиновые или халькопирит-кубанитовые руды локально метаморфизованы при внедрении послерудных даек базальтов или долеритов.

Борнит Bornite Cu_5FeS_4 (1845)

Ромб. с. (псевдотетр.) *Pbca*; $a = 10{,}95$; $b = 21{,}86$; $c = 10{,}95$; $Z = 16$; сложная сверхструктура; отвечает низкотемпературной модификации Cu_5FeS_4, устойчивой ниже 170°; выше переходит в неупорядоченный *кубический (высокий) борнит, который в ассоц. с пиритом* устойчив до 547°, с ковеллином — до 510°. При повышенных температурах (300° и выше) образуются непрерывные твердые растворы Cu_5FeS_4—Cu_2S (Cu_9S_5); область «борнитового» твердого раствора простирается и в сторону состава $CuFeS_2$, до 20 % Fe (при 700°). Метастабильные твердые растворы халькопирита в борните и халькозина (дигенита) в борните могут образоваться и ниже 300°. С понижением *T* твердые растворы частично или полностью распадаются, образуются хорошо известные решетчатые или мирмекитовые структуры распада халькопирита (или дигенита, халькозита) в борните. Высокотемпературные твердые растворы на основе борнита могут содержать значительные количества Ag и Bi. Электропроводен. Парамагнетик.

Хим. Близок к теор.: Cu 63,3; Fe 11,1; S 25,6; значительные колебания состава обязаны твердым раствором с $CuFeS_2$,; Cu_9S_5, Cu_2S. Некоторые борниты содержат избыток серы. Примеси Ag до 0,3 %, Bi до 0,2 %, Zn, Se, Ni, Co, Ge, As, Sb, In, Pb.

Микр. Плотные массы, зернистые агрегаты, каемки обрастания и замещения халькопирита, пластинчатые и решетчатые срастания с халькопиритом, субграфические срастания с халькозином, дигенитом, галенитом, блеклой рудой, энаргитом. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у блеклых руд. Цв. насыщенный коричневато-розовый, розовато-коричневый до оранжевого, иногда пурпурно-розовый; цв. борнита обусловлен вариациями состава: стехиометричный — коричневато-розовый, с Cu_9S_5 в твердом растворе — густо-розовый, с $CuFeS_2$ в твердом растворе — оранжевый. На воздухе быстро приобретает ярко-розовую, затем голубоватую и ярко-сиреневую побежалость. Двуотраж. едва заметно в иммерсии. В большинстве случаев изотропен, иногда обнаруживает очень слабую анизотропию. Спектр отраж. аномального профиля, осложненный пологим широким прогибом в сине-зеленой области, в общем сходен со спектром насыщенно-розового брейтгауптита (см. рис. 69). Отраж. борнитов различного состава мало отличается в синей области и существенно различается в красной области: $R_{660} \sim 33$ у борнитов с $CuFeS_2$ в твердом растворе, $R_{660} \sim 29$ у стехиометричных борнитов, $R_{660} \sim 28$ у борнитов с Cu_9S_5 в твердом растворе.

H заметно ниже, чем у халькопирита, выше, чем у халькозина и галенита. VHN 85—135, чаще 95—110. VHN у борнита с $CuFeS_2$ в твердом растворе составляет 150—170, а с Cu_9S_5 — 110—125.

Нахожд. Широко распространен во многих типах м-ний: 1) в поздних ассоц. и в экзоконтактовых рудах Cu-Ni м-ний вместе с халькопиритом, пентландитом, талнахитом, миллеритом, хизлевудитом, халькозином, галенитом, минералами платиновых металлов; 2) в верхних частях гипогенных руд медно-порфировых м-ний в ассоц. с халькозином, халькопиритом, блеклой рудой; 3) в поздних ассоц. медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических м-ний с пиритом, теннантитом, сфалеритом, баритом, халькопиритом, галенитом, моусонитом, реньеритом, германитом, колуситом, бриартитом; 4) в телетермальных м-ниях типа «медистых песчаников» (*Джезказган*, КазССР и др.) в ассоц. с халькозином, дигенитом, фалеритом, галенитом, бетехтинитом, джезказганитом, халькопиритом; 5) в зоне цементации многих сульфидных м-ний в ассоц. с халькозином. В подчиненных количествах во многих иных типах гипогенных м-ний, в частности, в м-ниях Au, где в борните нередко сконцентрированы вростки золота и теллуридов золота; в отложениях современных гидротерм на дне океанов. Известен в базальтах Луны в ассоц. с троилитом, железом.

Изуч. Сп.-57 — *Питкяранта*; м-ния *III Интернационала* (Урал); КазССР, Юж. Африки.

Рентген. 3.31 (4) (226); 3.18 (6) (444); 2.74 (5) (008); 2.50 (4) (238,456); 1.937 (10) (088); 1.652 (3) (4.4.12); 1.119 (5) (8.8.16).

Идаит Idaite Cu_3FeS_4 (1958)

Тетр. с. История изучения идаита сложная, она связана с историей изучения и открытия моусонита, реньерита, нукундамита и с собирательным названием «оранжборнит». В 30-е годы Е. Е. Захаров и С. А. Юшко в колчеданных рудах Урала описали в борните включения сильно двуотраж. минерала, назвав его «оранжборнитом». Впоследствии под этим названием были описаны разные минералы, приуроченные к борнитовым рудам, и, как выяснилось в последние годы, под ним «скрывались» идаит, моусонит, реньерит, нукундамит, в те времена еще неизвестные. Идаит был открыт в 1958 г. с предположительной формулой Cu_5FeS_6 по аналогии с синт. фазой гекс. с. К. Леви в 1967 г. показал, что идаит отвечает тетр. синт. фазе Cu_3FeS_4, оптические характеристики его отличаются от характеристик минерала, являющегося аналогом гекс. фазы Cu_5FeS_6. Позднее минерал состава Cu_5FeS_6 получил наименование «нукундамит». Несмотря на доказанность существования обоих минеральных видов, И. Костов [17] считает, что название вида «нукундамит» заменило «идаит».

Хим. Теор.: Cu 50, 9; Fe 14,9; S 34,2. Состав минерала: Cu 49, 9—51, 3; Fe 14, 2—15, 1; S 33, 7—34,6.

Микр. Мелкие выделения, сложные срастания с борнитом, ковеллином, халькопиритом. Отраж. умеренно низкое. По величине R и оранжево-розовому цв. близок к борниту. Двуотраж. заметное с плеохроизмом от красновато-оранжевого (светлее борнита) до серовато-коричневатого (темнее борнита). Отчетливо анизотропен с пестрыми цв. эфф. Спектры отражения имеют резко выраженный аномальный профиль, характерна смена оптического знака отраж. при 580 нм (см. рис. 69). Обычны пластинчатые и паркетного типа полисинт. дв. VHN 176—202.

Нахожд. Установлен в борнитовых рудах медноколчеданных м-ний на границе первичных руд и руд зоны выветривания. Замещает халькопирит и борнит, замещается ковеллином.

Нукундамит Nukundamite Cu_5FeS_6 или $(CuFe)_4S_4$ (1979)

Триг. с. $P\bar{3}m1$; $a = 3{,}78$; $c = 11{,}20$; $Z = 1$; слоистая структура типа ковеллина; в основе структуры — гантели S_2, как в пирите и ковеллине; устойчив ниже 501° в ассоц. с пиритом, ниже 482° — с ковеллином.

Хим. Теор.: Cu 56,1; Fe 9,9; S 34,0. Состав минерала постоянен: Cu 56,5—56,7; Fe 9,5—9,6; S 33,5—33,9. Примеси Ag, As. Состав техногенного обр.: Cu 57,5; Fe 8,8; S 34,9; $\Sigma 101{,}2^{мз}$; формула: $Cu_{5,05}Fe_{0,88}S_{6,07}$.

Микр. [м] Мелкие таблитчатые и тонкопластинчатые кристаллы в халькопирите, каймы замещения на халькопирите, срастания с ковеллином, борнитом. Отраж. умеренно низкое, по уровню R и преобладающему насыщенному розовато-оранжевому цв. близок к борниту и идаиту. Оптически одноосный, положительный. Двуотраж. очень сильное с изменением цв. от светлого пурпурно-серого до насыщен-

ного розовато-оранжевого, борнитоподобного. Сила двуотраж. максимальна в зеленой области (около 500 нм $\Delta R_{отн} \sim 0{,}45$) и резко уменьшается к красной, где кривые близки к пересечению (см. рис. 69). Очень сильно анизотропен с цв. эфф. в ярких оранжевых, красно-оранжевых, зеленовато-синих, синевато-серых тонах. Спектры отраж. индивидуальны и надежно определяют минерал. Сов. сп. по базису. Иногда пластинчатые дв. *H* незначительно выше, чем у ковеллина; VHN 102—110.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных медноколчеданных рудах; ассоц.: пирит, сфалерит, халькопирит, борнит, ковеллин, сера. Частично, возможно, гипергенный.

Изуч. Сп.-285 — техногенный, колл. В. М. Качаловской.

Рентген. 11,2 (1); 3,27 (3); 3,14 (10); 2,826 (7); 2,796 (5); 1,891 (6); 1,847 (5).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ВАЛЛЕРИИТА

Основу структур рассматриваемых ниже минералов составляют закономерно чередующиеся сульфидные и гидроксидные слои. В сульфидном слое могут быть «катионные» вакансии, в гидроксидный наряду с Mg^{2+} входят трехвалентные Fe, Al, Cr. Благодаря избыточному положительному заряду гидроксидных и отрицательному — сульфидных слоев создается электронейтральная структура. Слоистый характер структур определяет сильные оптическую анизотропию минералов и двуотраж.

Валлериит Valleriite
$FeCuS_2$ 1,526 [(Mg, Fe, Al) $(OH)_2$] (1870)

В 1870 г. К. Бломстрандом в рудах м-ния *Ниа Коппарберг* (Швеция) был открыт сложный сульфид Cu и Fe, содержащий значительные количества воды, Mg и Al. Затем валлериит был дискредитирован (как смесь фаз). После повторного исследования материала из шведского м-ния *Кавельторп*. П. Рамдором и О. Эдманом была доказана самостоятельность минерала. Очень сильная оптическая анизотропия валлериита и макинавита явилась причиной многолетней путаницы в вопросе о существовании этих двух минералов. Только в 1964 г. Х. Эванс и другие ученые, проведя детальное изучение составов, оптических свойств и рентгенометрических характеристик, показали, что это два различных минерала. В 1968 г. Х. Эвансом и Р. Альманном установлено, что валлериит имеет «гибридную» структуру, благодаря чему в пределах одного кристалла сосуществуют разноименные и пронизывающие друг друга решетки с разной метрикой; сульфидная подрешетка: гекс; с. $R\bar{3}m$; $a = 3{,}792$; $c = 34{,}10$; бруситовая: гекс. с. $P\bar{3}m$; $a = 3{,}07$, $c = 11{,}37$. Из-за несоразмерности ионов серы и гидроксила появляется дробный коэффициент при «бруситовой молекуле».

Хим. Сильно варьирует: Fe 21,1—43,8; Cu 4,9—23,64; S 15,1—26,3; Mg 0—11,5; Al 0—0,88; Cr 0—12,0; примеси Mn до 2,7; Ti до 0,6; Ni до 2,4. *Кавельторп* и м-ние в Красноярском крае: Fe 29,5 и 33,5; Cu

18,6 и 9,0; S 23,3 и 26,3; Mg 11,5 и 11,5; Al 0 и 0,52; Σ 82,9 и 80,82[мз]; ЛИП; формулы: $Fe_{1,19}Cu_{0,81}S_2 \cdot 1{,}51$ $[(Mg_{0,89}Fe_{0,11})(OH)_2]$ и $(Fe, Cu)_2 S_2 \cdot 1{,}43$ $[(Mg, Fe)(OH)_2]$.

Уточнить формулу валлериита можно по данным электронной микродифракции (по соотношению размеров элементарных ячеек «сульфидной» и «бруситовой» составляющей с учетом наличия примеси $Al(OH)_3$).

Микр. Обычно тонкозернистые, чешуйчатые, пластинчатые агрегаты; очень похож на графит; в шлифах всегда наблюдается сов. сп. по базопинакоиду. Отраж. низкое (< 20 %). Цв. в зависимости от сечений меняется от желтовато-коричневого до темно-серого (темнее сфалерита); двуотраж. исключительно сильное, по силе подобно двуотраж. молибденита, графита ($\Delta R_{отн.}$ 0,40); эффекты анизотропии также исключительно сильные в синевато-серых, белых и коричневатых тонах. Спектр отраж. (см. рис. 61). *H* низкий; VHN 50—93. Полируется плохо.

Отл. Очень похож на графит, точилинит, макинавит. Макинавит в светлом положении значительно светлее, графит — темнее валлериита. От точилинита отличается цв. эфф. анизотропии. Для надежной диагностики необходимы спектры отраж. и рентгенограмма (характерны d_α 11,3 и 5,62).

Нахожд. Известен в рудах многих Cu, Cu-Ni и хромитовых м-ний как продукт замещения пирротина, кубанита, халькопирита, пентландита, макинавита, магнетита и минералов типа серпентина и хлорита; ассоц. также с ильваитом; в Cu-Ni м-ниях Зап. Австралии развивается по хромиту и хромовым шпинелям. В Cu-Ni рудах иногда в одной ассоц. с валлериитом находятся минералы платиновых металлов.

Изуч. Сп.-67 — м-ние в Красноярском крае, *Кавельторп* (колл. лаборатории минераграфии ИГЕМ АН СССР).

Рентген. *Кавельторп*: 11,3 (10) (001); 5,62 (10) (002); 3,76 (6) (003); 3,27 (8) (100); 2,84 (6) (004, 102); 2,27 (5) (005); 1,894 (8) (006, 110); 1,867 (7) (105). М-ние в Красноярском крае: 11,34 (10) (003); 5,70 (10) (006); 3,79 (4) (009); 3,21 (8) (101); 2,95 (8) (105); 2,87 (6) (00.12); 2,05 (5) (1.0.13); 1,870 (7) (113); 1,769 (8).

Точилинит Tochilinite $2Fe_{1-x}S \cdot 1{,}67$ $[(Mg, Fe)(OH)_2]$ (1971)

Трикл. с. *CI*; $a = 5{,}37$; $b = 15{,}65$; $c = 10{,}72$; $\alpha = \gamma = 90°$; $\beta = 95°$ (разновидность I); $a = 5{,}42$; $b = 15{,}77$; $c = 10{,}74$; $\alpha = \gamma = 90°$; $\beta = 95°$ (разновидность II). Структура точилинита состоит из переслаивающихся «макинавитовых» (с упорядоченными вакансиями) и «бруситовых» слоев. Разновидности I и II отличаются различным расположением вакансий атомов Fe в «макинавитовом» слое.

Хим. I и II разновидности точилинита (Воронеж): Fe 37,48 и 40,25; S 21,39 и 23,0; FeO 7,34 и 5,56; MgO 15,72 и 16,87; Al_2O_3 5,04 и 1,60; H_2O 12,70 и 11,25; Σ 99,67 и 99,53. Как показала Н. И. Органова в 1971 г. с учетом данных микродифракции электронов, можно представить эти результаты в виде следующих формул:

I — 2 $[Fe_{0,91}S]\cdot 1{,}67\ [Mg_{0,71}Fe_{0,29}(OH)_2] + 0{,}29\ Al(OH)_3$ и
II — 2 $[Fe_{0,86}S]\cdot 1{,}67\ [Mg_{0,71}Fe_{0,29}(OH)_2] + 0{,}09\ Al(OH)_3$.

Микр. Радиально-лучистые агрегаты (от 1 до 10 мм) тонкоигольчатых кристаллов и отдельные игольчатые кристаллы до 2 мм в длину; спутанно-волокнистые агрегаты; «массивные» скопления (до 7 мм в поперечнике), оторочки на зернах граната. Похож на графит: отраж. в самом светлом положении 17 %, в темном — 8 %; двуотраж. очень сильное; цв. в зависимости от сечений изменяется от розовато-кремового до темно-серого; эффекты анизотропии исключительно сильные в кремово-белых и черных тонах (см. рис. 61). В полированных шлифах часто наблюдается волнистое угасание, вызванное деформацией кристаллов при изготовлении препаратов. Очень мягкий: VHN 15—49. Полируется плохо.

Отл. От валлериита и графита отличается по спектрам отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Встречается в серпентинизированных перидотитах Cu-Ni м-ний, в никеленосных ультрамафитах, в кимберлитах и ксенолитах гранатовых и ильменитовых гипербазитов, в кальцитовых брекчиях. Находки точилинита обычно связаны с поздними гидротермальными образованиями, где точилинит ассоц. с троилитом, пирротином, пиритом, сфалеритом, в прожилках серпентина и кальцита. Точилинит нарастает на выделения троилита и пирротина, находится в форме игольчатых кристаллов в кальците. Иногда в тонкозернистых агрегатах вместе с точилинитом находится валлериит.

Рентген. Разновидность I: 10,68 (9) (001); 5,34 (10) (002); 3,57 (4) (131); 2,68 (3) (201, 133); 2,60 (4) (151); 2,20 (6ш) (203, 132); 2,04 (5ш) (203); 1,845 (7ш) (204, 261, 064); 1,722 (4) (205); 1,537 (5ш) (0.10.1). Разновидность II: 10,7 (6) (001); 5,35 (10) (002); 2,24 (9) (20$\bar{3}$, 132); 2,03 (6ш) (203); 1,864 (7ш) (204, 261, 064); 1,759 (5) (262, 372); 1,623 (4) (205); 1,562 (4) (0.10.0).

Хаапалаит Haapalaite $2(Fe, Ni)S\cdot 1{,}61[(Mg, Fe)(OH)_2]$ (1973)

Гекс. с.; $a = 3{,}641$; $c = 34{,}02$. *По структурному мотиву хаапалаит очень близок к валлериту.*

Хим. *Оутокумпу* (Финляндия): Fe 29,4; Ni 14,9; Mg 11,5; S 22,04; O 24,4. Формула: $Fe_{1,26}Ns_{0,74}S_2\cdot 1{,}61\ [Mg_{0,84}Fe_{0,16}(OH)_2]$. Хаапалаит — никелевый аналог валлериита.

Микр. Чешуйчатые агрегаты, ср. размер чешуек 2 × 40 мкм. Цв. коричневатый; сильно двуотраж. от светло-коричневого до серовато-коричневого; анизотропия очень сильная в бронзово-красных, серовато-белых тонах. Тв. низкая; VHN 9—11. Полируется очень плохо. Из-за плохого качества полированной поверхности отраж. не измерялось.

Нахожд. Известна единственная находка в *Оутокумпу*. В серпентинитах ассоц. с магнетитом, хромитом, хромсодержащим хлоритом, пеннином, лизардитом, иногда с карбонатом.

Рентген. 11,37 (10) (003); 5,67 (10) (006); 3,16 (8) (010); 2 015 (3) (10.10); 1,842 (5) (1.0.15); 1,823 (5) (110); 1,607 (3) (1.1.10).

Юшкинит Jushkinite $V_{1-x}S \cdot n[(Mg, Al)(OH)_2]$ (1984)

Гекс. с. *P3m*1 (?); $a_{сульф} = 3{,}06$; $a_{«брусит»} = 3{,}20$; $c = 11{,}3$. Предполагается, что V^{3+}.

Хим. *Пай-Хой*: V 32,48; Fe следы; Mg 10,17; Al 5,66; S 32,93 O 19,89; H 1,26; Σ102,48[мз]; ТНВ (значения O и H получены расчетным путем); формула: $V_{0.62}S \cdot 0{,}612\ [(Mg_{0,67}Al_{0,33})(OH)_2]$; Mg : Al = = 2 : 1, коэффициенты при V и «бруситовом» компоненте близки.

Микр. Тонкочешуйчатые агрегаты, отраж. умеренное, одноосный, оптически отрицательный. Двуотраж. сильное. В зависимости от сечений цв. сильно меняется: в изотропных — оранжево-красный со слабым сиреневым отт., в анизотропных — от красновато-сиреневого до темно-серого с розоватым отт. Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в огненно-красных тонах (напоминает ковеллин). Спектры отраж сложного профиля, индивидуальны, размах R 17—40%, минимум при 515 нм, профиль спектра R_e более пологий. *H* крайне низкий; VHN2—6. Пластичный.

Нахожд. В гидротермальных кварц-кальцитовых жилах с флюоритом, кадмийсодержащим сфалеритом, сульванитом.

Рентген. 11,4 (3) (001); 5,68 (10) (002); 3,72 (1) (003); 2,76 (6ш) (100); 2,66 (2ш) (101); 2,52 (1ш) (102); 1,872 (2ш) (006); 1,755 (1ш) (105); 1,596 (4ш) (110); 1,575 (6ш) (111, 106); 1,534 (3ш) (112); 1,469 (1) (113); 1,420 (1ш) (008); 1,386 (3ш) (200, 201).

СУЛЬФИДЫ Fe, Ni, Cu—K, Na, Tl

Все рассматриваемые ниже минералы структурно и генетически тесно связаны с пентландитом.

Джерфишерит Djerfisherite $K_6(Fe, Ni, Cu)_{24}S_{26}Cl$ (1966)

Куб. с. *Pmmm*, $P\bar{4}3m$ или *P* 432; $a = 10{,}26$—$10{,}46$ (в зависимости от состава); $Z = 1$. Основу структуры составляют тетраэдры (Fe, Ni, Cu) S_4. K и Cl занимают позиции между кластерами, состоящими из восьми тетраэдров (Fe, Cu, Ni) S_4.

Хим. Непостоянный: Fe 36,58—50,1; Ni 17,3—1,4; Cu 0,41—15,5; S 29,8—33,87; K 7,40—10,6; Cl 0,69—1,8. Идеализированная формула: $K_6(Fe, Ni, Cu)_{24}S_{26}Cl$. Наиболее богаты Fe джерфишериты метеоритов и скарнов, Ni — джерфишериты из кимберлитов и ксенолитов глубинных пород, Cu — из Cu-Ni руд и щелочных пород; для джерфишеритов из кимберлитов характерна примесь Co (до 0,22 %). В джерфишеритах из алмазоносных кимберлитов значение Ni/Cu выше, чем из неалмазоносных.

Микр.[м] Обычно мелкие ($\leqslant 0{,}4$ мм, редко до 1 мм) выделения в массе силикатов, прожилки и каймы замещения в талнахите, халькопирите, пентландите. Отраж. умеренное; цв. пирротиноподобный с оливково-коричневатым отт.; изотропный. *H* ниже, чем у кубанита и халькопирита. VHN 155—193. Полируется хорошо. Очень похож на шадлунит, аргентопентландит, талфенисит (рис. 70). Отличается от них по спектру отраж., но более надежно по рентгенограмме.

Нахожд. Распространен сравнительно мало. В метеоритах в ассоц. с никелистым железом, троилитом; в Cu-Ni рудах норильского типа и кимберлитах — реакционный минерал по халькопириту, *кубаниту*, *пирротину*, пентландиту; в щелочных пегматитах; наблюдался также в срастаниях с пентландитом, халькопиритом, пирротином в виде вростков в алмазе.

Изуч. *Сп.-135 — щелочные* пегматиты (Хибины), колл. Р. П. Тихоненковой; м-ние в Красноярском крае и кимберлиты Якутии, колл. лаборатории минераграфии ИГЕМ АН СССР.

Рентген. *М-ние* в Красноярском крае: 10,4 (6) (100); 3,33 (7) (310); 3,17 (7) (311); 3,03 (7) (222); 2,38 (6) (331); 2,01 (4) (510,431); 1,843 (10) (440); 1,355 (4) (731,553); 1,301 (5) (800).

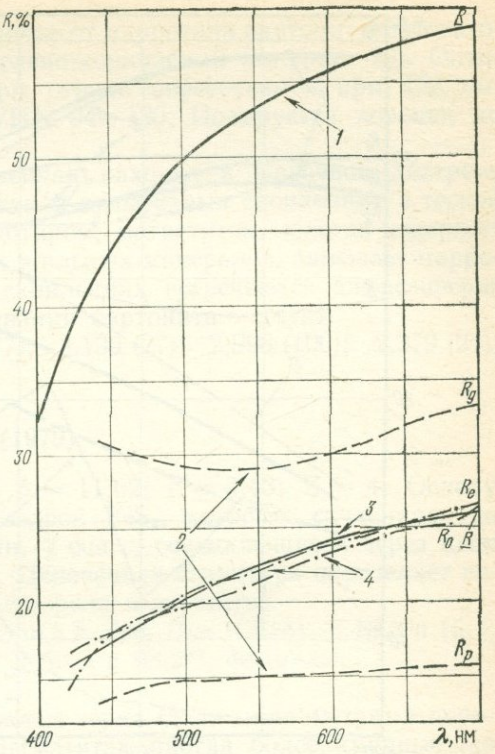


Рис. 70. Спектры отражения пентландита, (1), расвумита (2), джерфишерита (3) бартонита (4)

Талфенисит Thalfenisite (Tl, K)$_6$ (Fe, Ni, Cu)$_{25}$S$_{26}$Cl$_1$ (1979)

Куб. с. *Pm3m*, *P* $4\bar{3}$ *m* или *P* 432; $a = 10{,}29$; $Z = 1$. Структурный аналог джерфишерита.

Хим. Относительно постоянный; однако встречались также зональные зерна, краевые части которых обогащены K. *М-ние в Красноярском крае*: Tl 33,4 и 26,1; Fe 29,4 и 31,1; Ni 10,3 и 10,0; Cu 1,74 и 2,11; K 0,03 и 1,51; S 24,8 и 26,1; Cl 0,84 и 1,01; Σ 100,51 и 98,03[мз]; РНС; формулы:
$(Tl_{5,58}K_{0,03})_{5,61}$ $(Fe_{17,96}Ni_{5,99}Cu_{0,93})_{24,88}S_{26,39}Cl_{0,81}$ и
$(Tl_{4,15}K_{1,52})_{5,67}$ $(Fe_{18,01}Ni_{5,51}Cu_{1,07})_{24,59}S_{26,33}Cl_{0,92}$.

Микр. [м] Агрегаты зерен неправильной формы размером до 0,1—0,3 мм. Отраж. умеренно низкое (25 %); цв. коричневатый. Изотропный. *VHN* 147. *В шлифах похож на аргентопентландит, но заметно темнее, отличается по спектрам отраж.* (рис. 71).

Нахожд. Очень редок, обнаружен в пентландите в массивных пентландит-галенит-халькопиритовых рудах, локализующихся в зальбандах халькопиритовых жил; ассоц. с халькопиритом, галенитом, гесситом, алтаитом, самородным серебром, аргентопентландитом и минералами элементов гр. платины.

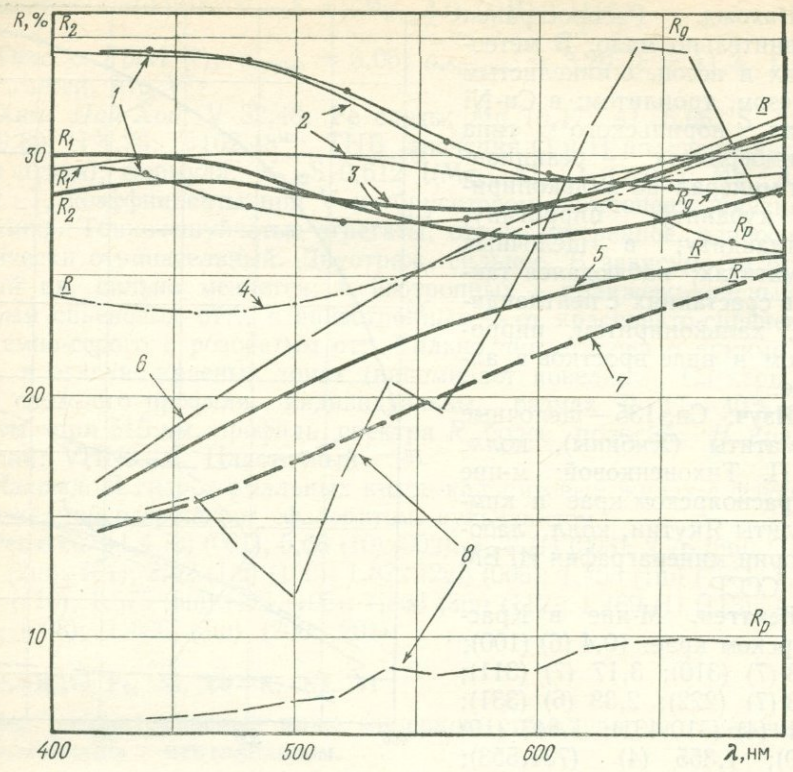


Рис. 71. Спектры отражения халькоталлита (1), буковита (2), талькусита (3) талфенисита (4), джерфишерита (5), шадлунита (6), мурунскита (7), эрдита (8)

Рентген: 4,16 (5) (211); 3,42 (9) (300); 3,24 (7) (310); 2,96 (10) (222); 2,35 (6) (331); 1,965 (4) (511,333); 1,810 (7) (440).

Бартонит Bartonite $K_6Fe_{21}S_{26}$ (S,Cl) (1981)

Тетр. с. *I* 4/*mmm*; $a = 10{,}424$; $c = 20{,}626$; $Z = 2$. Структурно тесно связан с пентландитом и джерфишеритом, однако кластеры Fe_8S_{14} размещаются по другой системе. Бартонит — первый сульфидный минерал, для которого проведено прямое изотопное определение возраста. Слабо магнитен.

Хим. Известны две разновидности бартонита — без хлора и хлорсодержащая: K 9,54 и 10,46; Fe 51,2 и 48,98; S 38,4 и 37,90; Cl 0,02 и 1,21; Σ 100,13 и 99,82. Примеси достигают: Na 0,21; Ni 0,32; Co 0,11; Cu 0,74; формулы:
$(K, Na)_{5,70}(Fe,Ni, Co, Cu)_{21,24}S_{26,93}$ и $K_6Fe_{20}S_{26}(Cl_{0,75}S_{0,25})_1$.

Микр. Встречен в виде коричневато-черных комковатых масс с полуметаллическим бл. Отраж. низкое; цв. желтовато-коричневатый, чуть светлее магнетита. Двуотраж. едва заметное. Анизотропия от-

четливая, но без цв. эфф. В отличие от пирротина бартонит желтовато-зелено-серый или желтовато-зелено-коричневый (см. рис. 70). Оптически положительный. Спектры отраж. пересекаются при 450 нм. В шлифах наблюдалась сп. VHN 94—120. Полируется хорошо, но не без царапин.

Нахожд. Известна единственная находка в щелочной диатреме *Койот Пик* (Калифорния) в редких сульфидных скоплениях в тесной ассоц. с промежуточным пирротином, магнетитом. Иногда содержит включения флогопита и других жильных минералов, замещает пирротин. В этих же сульфидных скоплениях встречаются джерфишерит и расвумит. Продукт выветривания бартонита — гётит.

Рентген. 9,31 (27); 5,99 (77); 3,139 (27); 2,998 (100); 2,379 (24); 1,841 (25); 1,833 (40).

Расвумит Rasvumite KFe_2S_3 (1970)

Ромб. с. *Cmcm*; $a = 9{,}05$; $b = 11{,}02$; $c = 5{,}43$; $Z = 4$. *Основу структуры слагают пары тетраэдров* FeS_4, которые, сочленяясь по ребрам, образуют двойные цепи, $\parallel$ оси c, соединяющиеся через цепи из K-полиэдров, также $\parallel$ оси c. *Цепочечная структура определяет волокнистый облик кристаллов минерала и агрегатов.*

Хим. Близок к теор. *Расвумчорр* и *Койот Пик* (США): K 16,3 и 16,1; Fe 45,2 и 44,8; S 38,0 и 37,3; Σ 99,5 и 98,2[мз]; формулы: $K_{1,04}Fe_{2,01}S_{2,95}$ и $K_{1,04}Fe_{2,02}S_{2,94}$.

Микр. Мелкие тонковолокнистые зерна (доли миллиметра) в породообразующих силикатах; в пегматитах иногда более крупные (до 5 мм) выделения, по форме напоминающие кристаллы эгирина. Очень мягкий и хрупкий, полируется плохо и сильно выкрашивается. Отраж. умеренно низкое; сильное двуотраж. от светло-серого до темно-серого со слабым кремовым отт.; сильно анизотропен с цв. эфф. в светло-желтовато-кремовых, серо-фиолетовых тонах (см. рис. 70). VHN 34.

Отл. От ассоц. сульфидов легко отличается по двуотраж. и сильной анизотропии (см. рис. 70); характерна сов. сп. по удлинению и ассоц. со щелочными силикатами. От похожих сульфидов K, Na, Fe и Cu отличается высоким отраж. и сильными цв. эфф. анизотропии.

Нахожд. Редкий. Открыт в пегматитах нефелиновых сиенитов апатитовых м-ний (Хибины) вблизи контакта уртитов с нефелин-апатитовыми породами в тесной ассоц. с пирротином и джерфишеритом. В мафической щелочной диатреме *Койот Пик* ассоц. с бартонитом, эрдитом, джерфишеритом.

Рентген. 7,03 (7) (110); 5,57 (7) (200); 3,43 (4) (310); 2,97 (10) (221); 2,55 (4) (131); 2,45 (4) (401); 2,00 (7) (511); 1,944 (7) (402); 1,787 (7) (332); 1,754 (7) (440).

Эрдит Erdite $NaFeS_2 \cdot 2H_2O$ (1977)

Монокл. с. $C2/c$; $a = 10{,}693$; $b = 9{,}115$; $c = 5{,}507$; $\beta = 92{,}17°$; $Z = 4$. *Тетраэдры* FeS_4, *соединяясь по ребрам, формируют цепочки вдоль оси* c; ионы Na присоединяются попеременно к тетраэдриче-

ским цепочкам, образуя сложные нейтральные цепи $(NaFeS_2)_n$, через молекулы H_2O объединенные в общую структуру. Слабо магнитен.

Хим. Ср. содержания: Na 14,1; Fe 36,0; S 40,5; O 9,4 (по разности); формула: $Na_{0,97}Fe_{1,02}S_2 \cdot 2H_2O$.

Микр. Мелкие игольчатые кристаллы до 0,5—1,0 мм с сов. сп. по призме {110}; агрегаты неправильной формы. Цв. медно-красный с металлическим бл. (на свежем сколе похож на медь). В отраж. свете имеет исключительные свойства: в разных сечениях отраж. изменяется от 35 до 6 % (см. рис. 71); цв.— от ярко-красновато-оранжевого до темно-серого (очень сильное двуотраж.); исключительно сильно анизотропен в черных и ярко-оранжево-желтых тонах. На воздухе очень быстро окисляется, при этом сечение R_2 становится более красным и появляются пурпурные тона. Очень мягкий; VHN 39 (22—67). Полируется плохо.

Отл. Сильное двуотраж. с необычными цв. эфф. прекрасная сп., сочетание в пределах отдельных зерен полосок оранжевого и серого цветов, а также характерная щелочная ассоц. позволяют однозначно идентифицировать минерал.

Нахожд. В мафических щелочных породах диатремы *Койот Пик* (США); ассоц. с магнетитом, пирротином, расвумитом, замещает джерфишерит и является, очевидно, наиболее поздним образованием.

Рентген. 6,935 (10); 5,342 (7); 4,556 (4); 3,467 (3); 2,310 (2); 1,748 (1).

СУЛЬФИДЫ Tl—Cu, Fe—(Sb) (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМ Tl—Cu, Fe — (Sb) — S, Se)

Большинство рассматриваемых ниже минералов имеют слоистые структуры, в основе которых лежат макинавитоподобные слои, построенные из S-тетраэдров (с халькофильными элементами внутри). В талкусите, буковите и мурунските эти слои соединяются через атомы щелочей и таллия, находящиеся в 8-мерной координации; в халькоталлите они чередуются с более толстыми слоями, содержащими Sb и дополнительные атомы Cu; в рохаите все сульфидные слои содержат Sb и Cu.

Буковит Bukovite $Tl_2Cu_3FeSe_4$ (1971)

Тетр. $I\,\bar{4}m2$ (или $I\bar{4}2m$, $I4mm$, $I422$, $I4/mmm$); $a = 3{,}976$; $c = 13{,}70$; $Z = 1$.

Хим. *Буков* (ЧССР): Tl 41,85; Cu 20,89; Fe 5,70; Se 30,78; Ag 0,02; Sb 0,01; Pb 0,05; Σ 99,30; формула: $Tl_{1,97}Cu_{3,16}Fe_{0,98}Se_{3,86}$.

Микр[м]. Изометричные зерна или таблитчатые кристаллы, уплощенные $\perp$ [001]. Отраж. (30 %), двуотраж. несильное, но с заметным плеохроизмом от серовато-зеленоватого до серовато-коричневатого; анизотропия отчетливая с цв. эфф. в голубовато-серых, коричневатых тонах. Сп. хорошая по (001) и несов. по (100). Полируется хорошо, однако плоскости сп. часто деформированы. Спектры отраж. (см. рис. 71) пересекаются при 600 нм. VHN 61.

Отл. По характерной ассоц. с селенидами, по спектру отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Встречается в U-Se м-ниях Моравско-Дунайской зоны в карбонатных жилах, залегающих в гнейсах и амфиболитах. В *Букове* ассоц. с умангитом, эскеборнитом, клаусталитом, берцелианитом, клокманитом, эвкайритом, крукситом, тиррелитом; в *Пржедборжице* (ЧССР), кроме того, с тиманнитом, науманнитом.

Изуч. Сп.-61 — *Пржедборжице*.

Рентген. 3,818 (4) (101); 3,428 (5) (004); 2,998 (10) (103); 2,815 (4) (110); 2,600 (9) (112); 2,255 (7) (105); 1,987 (7) (200); 1,771 (8) (116); 1,713 (5) (008); 1,656 (6) (213).

Талкусит Thalcusite $Tl_2Cu_3FeS_4$ (1976)

Тетр. с. $I\bar{4}m2$ (или $I\bar{4}2m$, $I4mm$, $I422$, $I4/mmm$); $a = 3{,}86$; $c = 13{,}16 \div 13{,}44$; $Z = 1$. Структура аналогична структуре буковита; параметр c увеличивается с ростом содержания K.

Хим. Состав непостоянный, наиболее значительны колебания в содержании Tl, Cu и K. М-ние в Красноярском крае: Tl 52,2; Cu 22,6; Fe 9,1; S 16,3; Σ 100,3[мз]; формула: $Tl_{2,01}Cu_{2,79}Fe_{1,28}S_4$. *Раджпура-Дариба* (Индия): Tl 51,9; Cu 25,06; Fe 7,39; Zn 0,03; Ag 0,04; As 0,46; Se 0,02; S 16,33; Σ 100,53[мз]; формула: $Tl_{1,94}Cu_{3,06}(Fe_{1,06}Zn_{0,01})_{1,07}(S_{4,0}As_{0,06})_{4,06}$. Содержания примесей достигают: Pb 0,24; Zn 0,6; Ag 0,04; As 0,68; Sb 0,23; Te 0,04.

Микр[м]. Хрупкий. Очень мелкие таблички, пластинки, тонкие чешуйки до 0,1 мм. В отраж. свете розово-серый, чуть темнее блеклой руды. Двуотраж. слабое, но с заметным плеохроизмом — от розовато-сиреневого до лиловатого; одноосный, отрицательный; анизотропия отчетливая с цв. эфф. в желтоватых, голубовато-серых, темно-серых тонах. Спектры отраж. сложного профиля, оба с пологим минимумом в центральной части; пересекаются при 500 нм (см. рис. 71). *H* минерала чуть выше, чем у галенита; VHN 88—119.

Отл. Спектры отраж. надежно определяют минерал. От визуально похожего буковита отличается по ассоц. (буковит наблюдается только с селенидами).

Нахожд. Редкий. Известен: 1) в Cu-Ni рудах в ассоц. с пенландитом, кубанитом, халькопиритом, минералами благородных металлов, алтаитом, галенитом, джерфишеритом (м-ние в Красноярском крае); 2) в нефелиновых сиенитах интрузии *Илимаусак* (Гренландия) в ассоц. с троилитом, джерфишеритом, галенитом и др.; 3) в чароитовых породах Мурунского массива в ассоц. с халькопиритом, халькозином, борнитом, идаитом; 4) в полиметаллических рудах (*Раджпура-Дариба*, Индия) в ассоц. с блеклой рудой, халькопиритом, рейитом, Tl-содержащими галенитом, геокронитом, менегинитом.

Изуч. Сп.-385 — *Раджпура-Дариба*, колл. Н. Н. Мозговой; обр. м-ний норильской гр., колл. В. А. Коваленкера.

Рентген. М-ние в Красноярском крае: 3,73 (8) (101); 3,31 (4) (004); 2,91 (10) (103); 2,53 (10) (112); 2,18 (4) (105); 1,941 (5) (200); 1,717 (5) (116); $a = 3{,}87$; $c = 13{,}16$.

Мурунскит Murunskite $K_2Cu_3FeS_4$ (1981)

Тетр. с. $I\bar{4}m2$ (или $I\bar{4}2m$, $I4mm$, $I422$, $I4/mmm$); $a = 3{,}88$; $c = 13{,}10$; $Z = 1$. Полный структурный аналог талкусита (и буковита).

Хим. Мурунский массив: K 14,57; Cu 44,38; Fe 12,07; S 28,14; Σ 99,16[мз]; ЦАИ; формула: $K_{1,72}Cu_{3,23}Fe_{1,0}S_{4,05}$.

Микр. Мельчайшие пластинки и тонкопластинчатые агрегаты (*не более 0,2 мм*) *в силикатах. Цв. серовато-кремовый. Отраж. низкое* (20 %) (см. рис. 71). Двуотраж. не наблюдается; анизотропия заметная с цв. эфф. в серых, буровато-серых, синеватых тонах. Погасание *прямое. Очень мягкий, хрупкий, полируется плохо, быстро окисляется* и покрывается черными сажистыми продуктами.

Отл. По спектру отраж. несколько похож. на джерфишерит, шадлунит. Отличается пластинчатой формой выделений, низкой тв., постоянным присутствием сажистого налета и ассоц. с чароитовыми K-содержащими породами.

Нахожд. Известна единственная находка мурунскита в богатых K чароитовых щелочных породах, где он ассоц. с идаитом, халькопиритом, замещает K-силикаты.

Рентген. 6,52 (10) (002); 2,90 (6) (103); 2,53 (8) (112); 2,10 (3) (114); 1,940 (5) (200); 1,715 (4) (116,121).

Халькоталлит Chalcothallite (Tl, K)$_2$Cu$_6$SbS$_4$ (1967)

Тетр. с. $I4/mmm$; $a = 3{,}827$; $c = 34{,}280$; $Z = 2$. Структура слоистая; половина сульфидных слоев содержит только Cu и вакансии, вторая половина содержит одновременно Sb и Cu; слои закономерно чередуются и соединяются атомами Tl (K). Тетр. структура представляет на самом деле «сверхструктуру», образовавшуюся за счет двойникования на микроуровне ромб. структуры с $a = 2a$ тетр. и разупорядоченным статистическим заполнением позиций в ромб. слоях.

Хим. Первоначально был определен состав Cu_3TlS_2, позднее было установлено значительное количество Sb, Fe, Ag в минерале: Tl 33,94—33,72; K 0,78—0,79; Cu 34,26—34,33; Fe 3,88—3,78; Ag 1,32—1,78; Sb 12,15—11,96; S 12,54—12,52; Pb 0,06—0,08; Se 0—0,02; Σ 98,93—98,98[мз]; ЛИП; формулы:
$(Tl_{1,70}K_{0,20}Ag_{0,12})_{2,02}(Cu_{5,52}Fe_{0,71})_{6,23}Sb_{1,02}S_4$
и $(Tl_{1,69}K_{0,21}Ag_{0,17})_{2,07}(Cu_{5,53}Fe_{0,70})_{6,23}Sb_{1,00}S_4$.

Микр. *Тонкие пластинки, часто изогнутые; пластинчатые агрегаты* размером до 3 см. Отраж. умеренное (30 %). Двуотраж. отчетливое с изменением тональности от практически бесцветной в светлом *положении до сиреневато-кремовой — в темном* (см. рис. 71). *Анизотропия* сильная в светло-кремовых, густо-красно-коричневых, темно-серых тонах. В шлифах часто наблюдаются полисинт. дв. и сп. в двух направлениях: ∥ удлинению — сов., ⊥ — менее сов. По тв. и *H* близок к халькозину; VHN 60—90. Полируется хорошо, полированная поверхность быстро покрывается плотным налетом (до сажистого).

Отл. Несколько похож на круксит, талкусит, рохаит. Отличается по спектру отраж., рентгенограмме, ассоц.

Нахожд. Редкий. Известен в уссингитовых жилах нефелиновых сиенитов массива *Илимаусак* (Гренландия); ассоц: серебро, халькозин, талькусит, гудмундит.

Изуч. Сп.-442 — *Илимаусак*, колл. Х. Соренсена, Е. И. Семенова.

Рентген. 3,803 (7) ($011_{тетр.}$), 3,630 (5) (013), 3,015 (7) (017); 2,704 (5) (110), 2,580 (5) (114), 2,447 (10) (116), 2,117 (4) (0.1.13), 1,913 (10) (020), 1,710 (4) (121), 1,615 (5) (127).

Рохаит Rohaite $Tl_2Cu_{8,67}Sb_2S_4$ (1978)

Первоначально рохаит был описан как соединение с тетр. структурой и параметрами $a = 3{,}801$; $c = 20{,}986$. Однако более детальные исследования показали, что на рентгенограмме имеются слабые сверхрефлексы, обязанные присутствию двух разноориентированных примитивных ромб. ячеек с $a = 2a_{тетр.}$, $b = b_{тетр.}$ и $c = c_{тетр.}$. Возможна одна из трех пространственных гр.: $P\,222$, $Pmmm$ или $Pmm2$. Структ. отклонения от псевдотетр. ячейки очень малы.

Хим. *Илимаусак*: Tl 27,90; Cu 41,99; Sb 18,80; S 9,81; Ag 0,03; Pb 1,15; K 0,13; Σ 99,82[мэ]; формула: $(Tl_{1,77}Pb_{0,07}K_{0,04})_{1,88} \times Cu_{8,55}Sb_2S_{3,96}$.

Микр[м]. Обычно таблитчатые кристаллы и агрегаты таблитчатых, чешуйчатых кристалликов неправильной формы размером до 0,2 мм. Отраж. умеренное. Сильно двуотраж. (рис. 72). Цв. в светлом поло-

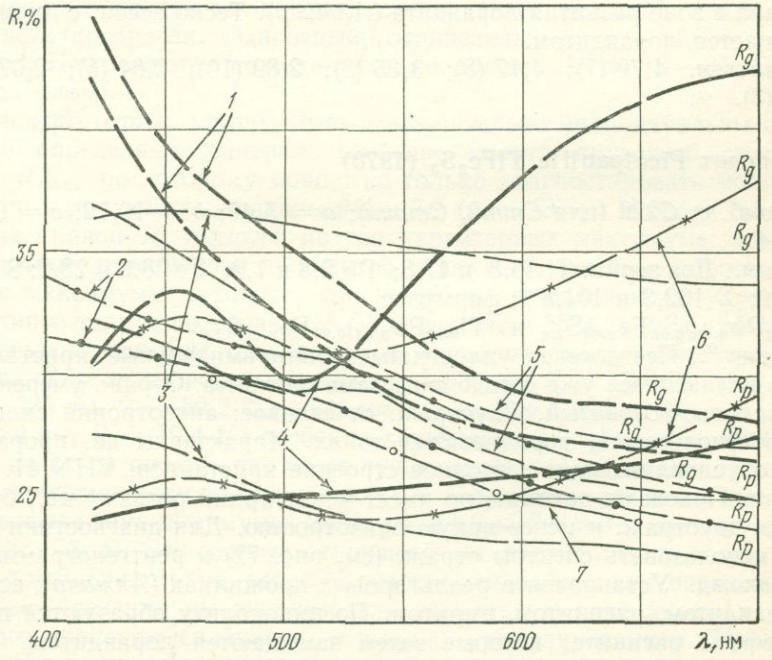


Рис. 72. Спектры отражения врбаита (1), рутьеита (2), рохаита (3), рагинита (4), гутчинсонита (5), пикополита (6), христита (7)

жении нейтральный, голубовато-серый, в темном — серовато-кремовый. Сильно анизотропен с цв. эфф. в светло-кремовых, темно-серых тонах. VHN 88—103. Часто полисинт. сдвойникован.

Отл. Похож на халькоталлит, с которым часто ассоц. Отличается более сильным двуотраж., по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Известен в анальцим-содалитовых жилах щелочного массива *Илимаусак* (Гренландия) в ассоц. с купростибитом, халькоталлитом, халькозином, сфалеритом, купритом, лёллингитом и сурьмянистым серебром.

Рентген. 3,800 (9); 3,078 (10); 2,623 (5); 2,605 (5); 2,577 (5); 2,393 (10); 2,158 (5); 1,902 (9); 1,877 (5); 1,618 (5).

Рагинит Raguinite $TlFeS_2$ (1969)

Ромб. с. (?); $a = 12{,}40$; $b = 10{,}44$; $c = 5{,}26$; $Z = 8$. Возможно, монокл. с.

Хим. *Аллшар* (СФРЮ): Tl 62,5; Fe 17,1; S 19,5; Σ 99,1[мз]; формула: $TlFeS_2$.

Микр [м]. Волокнистые агрегаты, псевдоморфозы по пикополиту. Отраж. умеренное (33 %); отчетливо двуотраж.; по удлинению светлый, розоватый, перпендикулярно к волокнистости более темный, кремовый; сильно анизотропен в ярко-оранжевых и серых тонах. Спектры отраж. индивидуальны (см. рис. 72).

Нахожд. Псевдоморфозы по кристаллам пикополита в жилах реальгара в зоне развития лорандита (*Аллшар*). Тесно ассоц. с пиритом, замещается лорандитом.

Рентген. 4,70 (7); 4,17 (8); 3,35 (8); 2,89 (10); 2,64 (5); 2,07 (7); 2,02 (3).

Пикополит Picotpaulite $TlFe_2S_3$ (1970)

Ромб. с. *C*222 (или *Cmm*2, *Cmmm*); $a = 5{,}40$; $b = 10{,}72$; $c = 9{,}04$; $Z = 4$.

Хим.. Два зерна: Tl 46,8 и 47,8; Pb 2,8 и 1,9; Fe 28,6 и 28,2; S 24,1 и 23,9; Σ 102,3 и 101,8[мз]; формулы:
$(Tl_{0.91}Pb_{0.05})_{0.96}Fe_{2.04}S_{3.0}$ и $(Tl_{0.93}Pb_{0.04})_{0.97}Fe_{2.03}S_{3.0}$.

Микр [м]. Псевдогекс, уплощенные, бипирамидальные кристаллы, часто являющиеся уже псевдоморфозами рагинита. Отраж. умеренное; цв. кремово-розоватый. Двуотраж. отчетливое; анизотропия сильная в серо-фиолетовых, коричневатых тонах. Характерны дв. прорастания, обусловливающие секторное строение кристаллов. VHN 41.

Отл. Похож на рагинит, но имеет менее яркий розовый цв., более слабое двуотраж. и менее яркую анизотропию. Для диагностики следует использовать спектры отраж. (см. рис. 72) и рентгенограммы.

Нахожд. Установлен в реальгаровых прожилках (*Аллшар*); ассоц. с лорандитом, рагинитом, пиритом. По пикополиту образуются псевдоморфозы рагинита, которые затем замещаются лорандитом.

Рентген. 5,40 (5); 4,53 (5); 4,26 (9); 3,80 (7); 3,33 (7); 2,912 (10); 2,556 (5); 2,513 (5); 2,410 (5); 1,748 (5); 1,730 (5).

Молибденит Molybdenite MoS_2 (1782)

Гекс. с., $P6_3/mmc$; $a = 3{,}160$; $c = 12{,}294$; $Z = 2$ — политип $2H$. Триг. с., $R\bar{3}m$; $a = 3{,}163$; $c = 18{,}37$; $Z = 3$ — политип $3R$. Оба политипа могут присутствовать в одном кристалле. Структура молибденита типично слоистая, что определяет исключительно сильную анизотропию всех свойств. Изотипен с тунгстенитом и дрисдаллитом. Рентгеноаморфный сажистый MoS_2 выделен под названием «иордизит».

Хим. Близок к теор.: Mo 59,94; S 40,06; примеси Re, Cu, W, Se, Sn; высокие содержания рения характерны для политипа $3R$. Образует непрерывный ряд твердых растворов с WS_2.

Микр. Обычно тонкие, нередко изогнутые пластинки, таблички, тонкопластинчатые, чешуйчатые агрегаты с весьма сов. сп. по базису, всегда отчетливо проявленной в шлифах. Отраж. сильно меняется в зависимости от сечения — от галенитоподобного (48 %) до почти сфалеритоподобного (20—23 %), следствием чего является исключительно сильное, свойственное лишь немногим минералам, двуотраж. молибденита $\Delta R_{отн.}0{,}50$. Цв. ярко-белый в светлом положении, серый — в темном. Анизотропия исключительно сильная, в темно-серых, черных, ярко-белых тонах. Погасание прямое, нередко волнистое, вследствие изогнутости пластинок. В. р. отсутствуют, хотя в тончайших частицах молибденит просвечивает зеленым, в ближнем ИК-свете прозрачен. Одноосный, отрицательный; $n_o = 4{,}336$; $n_e = 2{,}03$. Наблюдаются полисинт. дв. Тв. низкая. VHN 16—84. Полируется плохо.

Спектры отраж. молибденита исключительно индивидуальны и надежно определяют минерал, особенно спектр кругового сечения, $R_o = R_{max}$, по которому можно не только диагностировать молибденит, но и различить политипы $2H$ и $3R$ (рис. 73, *а*). У обоих политипов на кривой R_o имеются по три характерных максимума: один — в коротковолновом участке спектра и два — в красном; коротковолновые максимумы находятся при λ 460 нм и отличаются у разных политипов только по уровню R: 58,5 % у $3R$ и 55,3 % у $2H$. Длинноволновые максимумы отличаются и по положению в спектре, и по уровню R: у $3R$ второй максимум при λ 636 нм, $R = 49$ % и третий — при λ 286 нм, $R = 50{,}2$ %; у $2H$ соответственно λ 615 нм, $R = 47{,}8$ % и λ 680 нм, $R = 49{,}4$ %; особенно характерен 2-й максимум, который у $2H$ на 1,5 % ниже и, что более существенно, на 20 нм сдвинут в область коротких волн по сравнению с $3R$. Отчетливые различия имеются и в профиле двух минимумов (между 1-м и 2-м, 2-м и 3-м максимумами, см. рис. 73, *а*). Эти данные отличаются от имеющихся в литературе и от полученных нами ранее. В настоящей работе для определения кругового сечения мы использовали зеркальную поверхность естественного скола по спайности, не затронутую полированием. Прежние наши результаты были получены не на зеркальной поверхности кругового сечения (0001), а в отполированном, другом главном сечении

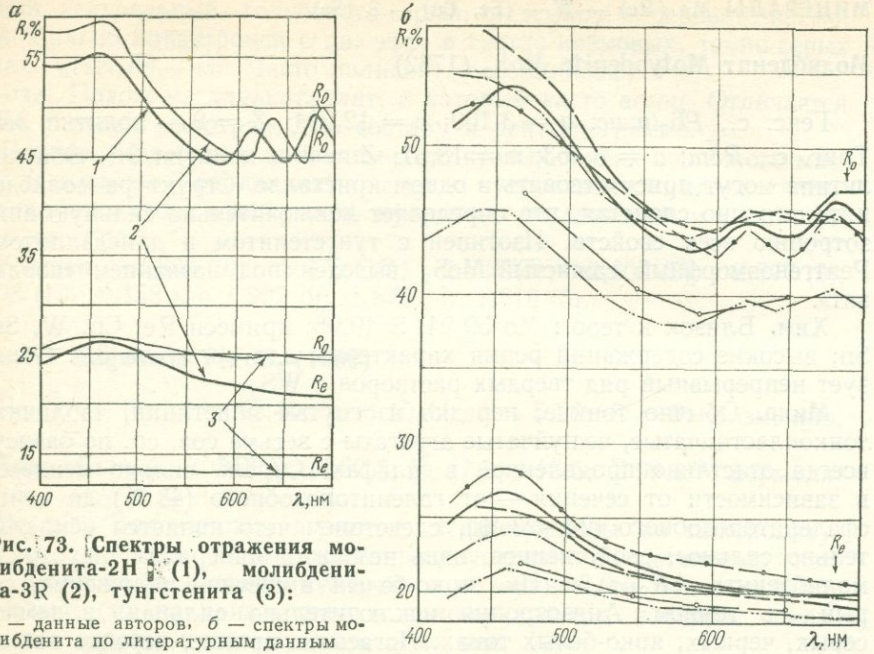


Рис. 73. Спектры отражения молибденита-2H (1), молибденита-3R (2), тунгстенита (3):

а — данные авторов, *б* — спектры молибденита по литературным данным

R_o—R_e, перпендикулярном к спайности. Отличие прежних результатов состоит в более низком общем уровне R_o и в выполаживании 2-го и 3-го максимумов практически до полного их исчезновения, как это описано в работах [35, 50]. Такое искажение спектра кругового сечения, присутствующего в каждом случайном разрезе молибденита как минерала одноосного, связано с особенностями слоистой структуры и чрезвычайно низкой тв. молибденита. В слоистой структуре молибденита связь между слоями и чешуйками осуществляется лишь с помощью очень слабых остаточных связей; поэтому в процессе шлифования и полирования, и особенно при большой частоте вращения полировальных дисков, неизбежно происходят отслаивание чешуек, пластинок, растирание их, размазывание тончайших, растертых разноориентированных, микронного размера частиц и образование на полированной поверхности минерала. т. н. «наклепа». Очевидно, чем толще этот слой, тем ниже отраж. R_o и тем ближе профиль его к R_e, т. е. без 2-го и 3-го максимумов. Увеличение времени полирования приводит, по-видимому, к утолщению растертого слоя. Полностью избежать искажающего влияния наклепа, появляющегося на полированной поверхности слоистых минералов, подобных молибдениту, нельзя, так как оно обусловлено свойствами самого минерала. Только измерение неполированной, естественной поверхности скола по сп. гарантирует получение правильных результатов.

Отл. Не всегда можно отличить от тунгстенита, в особенности от разностей, промежуточных по составу. Здесь даже рентгенограммы могут оказаться недостаточными — необходимы определения состава

на микрозонде. Во всех других случаях диагностика молибденита не вызывает затруднений. По силе двуотраж. и анизотропии без измерения отраж. может быть ошибочно принят за графит, валлериит, макинавит. Графит и валлериит отчетливо коричневатые и значительно темнее молибденита даже в самых светлых своих положениях; макинавит в светлом положении насыщенно-кремово-желтый.

Нахожд. Распространенный минерал; генетически связан с гранитоидными интрузивами, концентрируется преимущественно в грейзеновых, контактово-метасоматических и гидротермальных м-ниях; ассоц.: вольфрамит, касситерит, арсенопирит, пирротин, висмутин, шерл, берилл; сульфиды Cu, Pb, Zn. Кроме того, в U-Mo м-ниях (иордизит) в возгонах вулканов.

Изуч. Сп.-256 (политип 2H)— *Тырныауз* (Кавказ); сп.-257 (политип 3*R*)—*Слюдгора* (Урал), колл. В. И. Степанова.

Рентген. 2H: 6,01 (10); 2,50 (1); 2,27 (8); 1,82 (5); 1,58 (2). 3*R*: 6,09 (10); 2,34 (6); 2,19 (6); 1,89 (4); 1,75 (3). Качественное и количественное определение политипов молибденита удобно проводить по рентгеновской дифрактограмме, для получения которой достаточно одного небольшого зерна минерала (препарат растирается на стекле).

Тунгстенит Tungstenite WS_2 (1917)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}19$; $c = 12{,}50$; $Z = 2$ — политип $2H$; Триг. с. (ромбоэдр). $P\bar{3}m$; $a = 3{,}16$; $c = 18{,}50$; $Z = 3$ — политип $3R$. Образует непрерывный ряд твердых растворов с MoS_2.

Хим. Теор.: W 74,16; S 25,84; примеси: Mo 23,5 (чаще < 1); Sb 4; Fe 2,5. М-ние на Северо-Востоке СССР: W 73,65; Mo 0,18, Sn 0,01; Fe 0,84; Mn 0,11; S 25,49; As 0,04; Sb 1,32; Σ 101,64[мз]; СЭМ; формула: $(W_{0,980}Mo_{0,005}Fe_{0,037}Mn_{0,005})_{1,027}(S_{1,946}As_{0,006}Sb_{0,026})_{1,973}$.

Микр. Чаще тонкозернистые, тонкочешуйчатые агрегаты, примазки с размером индивидов до 5 мкм, реже пластинчатые выделения до 0,5 мм и более, обычно изогнутые или сложно деформированные; каемки замещения вокруг вольфрамита или шеелита. Отраж. умеренное. Двуотраж. очень сильное: от светло-серого до темно-серого, $R_{отн.}$ 0,5 (см. рис. 73, *а*). Сильно анизотропен в коричневато-серых тонах. Весьма сов. сп. по базису. VHN 14—60. Полируется плохо — хуже, чем молибденит.

Отл. Очень похож на молибденит и графит; графит заметно темнее и имеет коричневатый отт.; сходство с молибденитом способствовало тому, что тунгстенит ошибочно диагностировался как молибденит и потому считался редким минералом.

Нахожд. Относительно редкий. Характерен для комплексных гидротермальных м-ний: W-Hg, W-Sb-Hg, Au-редкометалльных, Ag-редкометалльных; образуется при наложении низкотемпературной Hg, Au или Ag минерализации на раннюю редкометалльную с вольфрамитом (или шеелитом). Типичная ассоц.: молибденит, шеелит, пирит, пирротин, арсенопирит, нередко битумоиды. В шеелитовом м-нии *Фельберталь* (Австрия) наблюдались скопления крупночешуйчатого молибденита без примеси W и тонкочешуйчатые образования

WS_2-MoS_2 твердых растворов в виде микровростков и оторочек на зернах шеелита.

Изуч. Сп.-412 — *Эмма* (США), колл. В. И. Степанова; *Тамватней* (Чукотка).

Рентген. 2H: 6,18 (10); 2,73 (3); 2,67 (3); 2,28 (4); 1,834 (2). Рентгенограмма тунгстенита *3R* весьма сходна с молибденитом *3R*. Нередко трудно получить рентгенограмму тунгстенита хорошего или даже удовлетворительного качества.

Дрисдаллит Drysdallite $MoSe_2$ (1973)

Гекс. с., $P6_3/mmc$; $a = 3{,}29$; $c = 12{,}93$; $Z = 2$; изоструктурен с молибденитом *2H*.

Хим. Теор.: Mo 37,79; Se 62,21. *Капинджимба* (Замбия): Mo 35,3; Se 60,4; S 3,4; Σ 99,1[мз]; формула $Mo_{0,89}(Se_{1,85}S_{0,26})_{2,11}$.

Микр. Тонкочешуйчатые выделения. Отраж. умеренное, близкое к молибдениту. Двуотраж. очень сильное: $R_o = R_{max}$ — белый (*R* 35 %); R_e — розовато-коричневатый (*R* 18 %); $\Delta R_{отн.} = 0{,}5$. Сильно анизотропен. Весьма сов. сп. по базису. VHN 37—58.

Нахожд. Известна единственная находка в м-нии *Капиджимба*, ассоц. с уранинитом.

Рентген. 8,37 (10); 6,46 (8); 2,85 (6); 2,37 (10); 1,913 (5); 1,643 (4); 1,615 (4).

Кастаньит Castaingite $CuMo_2S_5$ (1963)

Монокл. с. *Pbnm*, отвечает синт. фазе $CuMo_2S_5$.

Хим. Теор.: Cu 15,28; Mo 46,16; S 38,56. Состав обр. из *Мансфельда* (ГДР): Mo 47—44; Cu 13; S 34—40; Re до 1,8.

Микр. Радиально-лучистые, волокнистые, скорлуповатые, мелкочешуйчатые агрегаты. Отраж. умеренное, выше, чем у блеклых руд, *R* 36—39 %. Серовато-белый с кремовым отт. Двуотраж. очень слабое, слабо анизотропен. *H* выше, чем у молибденита; VHN 90—160, обычно 100—120. Полируется плохо.

Нахожд. Редкий. В «рюкенах» (секущих жилах) в медистых сланцах *Мансфельда*, в ядрах выделений молибденита, ассоц.: кобальтин, идаит, халькопирит, халькозин, дигенит, ковеллин; в гнездах германита в Cu-Pb-Zn рудах м-ния *Цумеб* (Намибия); гипергенный с сульфидами Cu в месторождениях Чили.

Рентген. 6,33 (5); 4,27 (7); 3,50 (7); 3,40 (10); 3,05 (10); 2,78 (5); 2,60 (7).

Джезказганит Dzhezkazganite $CuReS_4$ (?) (1962)

Хим. Теор.: Cu 16,81; Re 49,26; S 33,93. Примеси Mo, Pb, Ag; микропримеси Fe, As, Se. Рентгеноаморфен.

Микр[м]. Тончайшие петлевидные прожилки и фестончатые оторочки в борните, псевдоморфозы по борниту. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у теннантита, близкое к борниту. Цв. сиреневато-кре-

мовый. Изотропен. По визуальному восприятию и по спектру отраж. близок к бетехтиниту, последний отчетливо анизотропен. *H* близок к борниту: VHN 209—280 (ср. 230).

Нахожд. Известен в единственном м-нии *Джезказган* (КазССР) в поздних халькозиновых рудах; ассоц.: ковеллин, блеклые руды, штромейерит, дискразит, альгодонит, домейкит, галенит, сфалерит.

Изуч. Сп.-133 — *Джезказган*, колл. Е. М. Поплавко.

СУЛЬФИДЫ И СУЛЬФОСОЛИ Sn—Pb— Sb

Герценбергит Herzenbergite SnS (1934)

Ромб. с. *Pmcn*; $a = 4{,}328$; $b = 11{,}190$; $c = 3{,}978$; $Z = 4$. Сильно деформированная структура галенита — переходный тип от кубической структуры к слоистой. Минерал соответствует низкотемпературной модификации β-SnS с узкой областью гомогенности (S <1 ат%); устойчив ниже 600°; изоструктурен с тиллитом (непрерывный ряд твердых растворов).

Хим. Теор.: Sn 78,73; S 21,27; состав герценбергита боливийских м-ний: Sn 34,0—30,4; Pb 42,8—20,8; S 18,5—19,9 свидетельствует о существовании изоморфного ряда герценбергит — тиллит SnS—$PbSnS_2$ («монтезиты»).

Микр. Таблитчатые, лучистые, тонкочешуйчатые, часто разлистованные агрегаты, похожие на графит. Отраж. практически такое же, как у галенита; двуотраж. в воздухе чрезвычайно слабое, в иммерсии более отчетливое: от голубовато-белого до желтовато-белого (рис. 74). Эффекты анизотропии отчетливые до сильных в буро-красных, желтовато-красных, сероватых, зеленовато-синих тонах. В. р. очень гу-

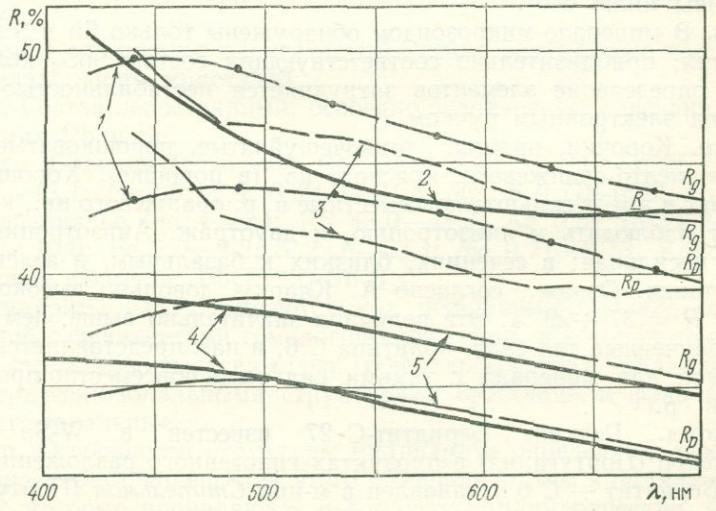


Рис. 74. Спектры отражения тиллита (1), галенита (2), герценбергита (3), франкеита (4), цилиндрита (5)

стые, темно-красно-коричневые. VHN 48—114. Похож на галенит, тиллит и франкеит. От галенита отличается анизотропией, франкеит заметно темнее герценбергита; от тиллита без исследования состава трудно отличить.

Нахожд. Сравнительно редкий. В Sn-Ag м-ниях Боливии замещает станнин; ассоц. с кварцем, пиритом, сфалеритом, арсенопиритом, халькопиритом; в скарнах *Стильпман Майн* (Африка) ассоц. с норденшилдитом, станнином, висмутином, кубанитом, касситеритом.

Рентген. 4,03 (4) (110), 3,43 (8) (120), 3,25 (7) (021), 2,93 (5) (101). 2,83 (10) (111, 130), 2,80 (6) (040), 2,02 (4) (141), 1,982 (4) (150), 1,871 (4) (022,211), 1,623 (3) (042), 1,449 (3) (251).

Оттеманит Ottemannite Sn_2S_3 (1964)

Ромб. с. *Pnam*; $a = 8{,}79$; $b = 14{,}02$; $c = 3{,}74$; $Z = 4$; природный аналог низкотемпературной β-модификации Sn_2S_3. Устойчив ниже 661°.

Микр. Мелкие идиоморфные кристаллы. Похож на берндтит. $R \sim 30$ %. Изучен недостаточно.

Нахожд. В Sn-Ag м-ниях Боливии, Юго-Западной Африки, ассоц. с касситеритом, станнином, пиритом, герценбергитом; замещает станнин, герценбергит, сам замещается берндтитом.

Берндтит Berndtite SnS_2 (1964)

В природе известны две модификации SnS_2; триг. с. $P\bar{3}mI$; $a = 3{,}64$; $c = 5{,}87$, $Z = 1$ — политип *C* 6 и гекс. с. $P6_3mc$; $a = 3{,}65$; $c = 11{,}81$, $Z = 2$ — политип *C* 27. Обе модификации синтезированы; устойчивы ниже 680°.

Хим. В минерале микрозондом обнаружены только Sn и S в соотношениях, приблизительно соответствующих составу SnS_2; количественное определение элементов затрудняется нестабильностью минерала под электронным пучком.

Микр. Корочки, налеты, тонкочешуйчатые, порошковатые образования желто-оранжевого, красного цв. (в порошке). Хорошо просвечивает и имеет сильные повсеместные в. р. оранжевого цв., которые мешают наблюдать и анизотропию, и двуотраж. Анизотропия, очевидно, несильная; в сечениях, близких к базальным, в зеленовато-серых тонах. Отраж., согласно А. Кларку, довольно высокое: при 546 нм $R = 37 \div 29$ %. Эта величина значительно выше, чем значения, полученные для синт. политипа *C* 6, и нам представляется маловероятной для минерала с такими сильными повсеместно проявленными в. р.

Нахожд. Редкий. Берндтит-*C* 27 известен в W-Sn м-нии *Панаскейра* (Португалия) в продуктах гипогенного разложения станнина. Берндтит — *C* 6 установлен в м-нии *Стипельман* (Португалия) в продуктах замещения касситерита.

Рентген. Берндтит-*C* 6: 5,89 (10); 3,16 (?); 2,78 (6); 2,16 (3); 1,824 (3)

Тиллит Teallite $PbSnS_2$ (1904)

Ромб. с. (псевдотетр.) *Pmcn*; $a = 4{,}04$; $b = 4{,}28$; $c = 11{,}33$; $Z = 2$. Изоструктурен с герценбергитом (непрерывный ряд твердых растворов).

Хим. *Теор.: Pb 53,05; Sn 30,51; S 16,44. Минералы, отвечающие* крайним членам ряда $PbSnS_2$—SnS, крайне редки; обычны тв. растворы («монтезиты»); примеси Fe, Zn, Ag.

Микр. Таблитчатые, листоватые агрегаты. По отраж. близок к галениту; почти чисто белый со слабым темноватым отт. (см. рис. 74). Двуотраж. слабое, заметно по границам зерен, у «монтезитов» и герценбергита несколько сильнее; анизотропия отчетливая, в иммерсии сильная с цв. эфф. В шлифах часто заметна сп., тверже франкеита, значительно мягче сфалерита.

Отл. Светлее и желтее франкеита, эффект анизотропии сильнее.

Нахожд. Мало распространен. Известен в кварце и карбонате вулканогенных гидротермальных сульфидно-касситеритовых м-ний в ассоц. с вюртцитом, сфалеритом, галенитом, пиритом, касситеритом, *франкеитом, буланжеритом (м-ния Боливии, Приморского края,* Забайкалья).

Рентген. 3,46 (6); 3,30 (4); 2,84 (10); 2,33 (4); 2,03 (4).

Цилиндрит Cylindrite $Pb_3FeSn_4Sb_2S_{15}$ (1893)

Трикл. с. Структура сложная, состоит из двух взаимопроникающих и перемежающихся трикл. решеток:

1) $a = 11{,}73$; $b = 5{,}79$; $c = 5{,}81$; $\alpha = 90°00'$; $\beta = 92°23'$; $\gamma = 93°52'$,

2) $a = 11{,}71$; $b = 3{,}67$; $c = 6{,}32$; $\alpha = 90°00'$; $\beta = 92°35'$ $\gamma = 90°50'$.

Объем и содержание элементарной ячейки значительно варьируют *в пределах одного кристалла.*

Хим. Состав непостоянный, особенно значительны колебания в содержаниях Pb и Sn:

Поопо, Боливия (по 6 ан.): Pb 33,0—34,9; Ag 0,6; Sn 25,1—26,6; Sb 12,5—13,1; Fe 2,5—2,9; S 24,0—24,5; Me : S 0,71—0,72. *Смирновское*, Забайкалье (по 4 ан.): Pb 43,0—44,7; Ag 0,6; Sn 20,2—20,5; Sb 10,2—10,9; Fe 2,0—2,2; S 22,6—23,1; Me 0,71—0,73. Кристаллохимическая формула: $Pb_3FeSn_4\ Sb_2S_{15}$.

Цилиндриты рассматриваются как нестехиометрические соединения одной с франкеитами гомологической серии, в которой по особенностям структуры выделены два минеральных вида: цилиндриты с концентрически-зональными структурами срастаний и франкеиты — полосчато-зональные.

Микр. Особенности структуры цилиндрита определяют своеобразные, характерные только для этого минерала формы кристаллов и агрегатов, которые проявляются и в шлифах: цилиндрические, концентрически-скорлуповатые образования, напоминающие валки, состоят из концентров толщиной 2—5 мкм, легко отслаивающихся по ци-

линдрической поверхности. П. Рамдор полагает, что в механизме концентрического отслаивания значительная роль принадлежит сп., которая в шлифах проявлена как продольная в разрезах, параллельных удлинению, и как концентрическая в сечениях, перпендикулярных к удлинению. Характерно тонкопластинчатое двойникование. Полируется плохо из-за низкой тв. и отслаивания. *H* ниже, чем у станнина, сфалерита, халькопирита. Отраж. умеренно высокое (38 %), галенитоподобный, белый, двуотраж. слабое, отчетливое с иммерсией: параллельно удлинению — светлый, перпендикулярно — более темный; эффекты анизотропии не очень сильные в блеклых тонах. Погасание косое и никогда не бывает полным из-за различно ориентированных тонкодисперсных частиц минерала; в поперечных сечениях наблюдается неподвижный темный крест. В. р. отсутствуют.

Отл. Очень своеобразная морфология надежно определяет цилиндрит. По спектрам отражения сходен с франкеитом (см. рис. 74).

Нахожд. Редкий. Известен лишь в некоторых Ag—Sn м-ниях Боливии; ассоц.: франкеит, станнин, джемсонит, сфалерит, пирит, касситерит; в Sn-Pb-Zn рудах Вост. Забайкалья; ассоц.: галенит, геокронит, буланжерит, джемсонит, касситерит.

Рентген. 3.90 (8); 3.85 (10); 3.06 (7); 2.88 (10); 2.85 (7).

Франкеит Franckeite $Pb_5FeSn_3Sb_2S_{14}$ (1893)

Монокл. с., $a = 46{,}94$; $b = 11{,}64$, $c = 17{,}31$, $\beta = 94°48'$, $Z = 16$. По структуре близок к цилиндриту. В природе часты сложно чередующиеся с цилиндритом срастания.

Хим. Состав непостоянен, особенно большие колебания в содержаниях Pb и Sn.

Поопо, Боливия (по 8 ан.): Pb 38,6—51,6; Ag 1,5; Sn 12,2—22,3; Sb 12,0—13,4; Fe 2,4—2,5; S 20,7—21,8; Me : S 0,78—0,79. *Уануни*, Боливия (по 2 ан.): Pb 47,7—48,3; Ag 1,1; Sn 15,0—15,1; Sb 12,5—12,8; Fe 2,4—2,7; S 20,6—20,7; Me : S 0,80. Некоторые исследователи [17] присутствие Fe относят за счет механических примесей и в формулу не вводят: $Pb_5Sn_3Sb_2S_{14}$.

Микр. Обычно тонколистоватые, плотные агрегаты; часто агрегаты изогнутых толстых табличек, незакономерно сросшихся по краям. Сп. сов. по (001). Нередки полисинт. дв. паркетного типа. Тв. очень низкая и крайне неоднородная в разных сечениях; полируется плохо, особенно рядом с ассоц. твердыми минералами, и в разных сечениях по-разному. Отраж. умеренно высокое (37 %); серовато-белый, галенитоподобный, но несколько темнее и в контакте с галенитом едва заметно желтоватый. Двуотраж. слабое, отчетливое лишь по границам зерен и с иммерсией; слабо анизотропен в блеклых серовато-коричневатых тонах. VHN_{7-10} 23—52 (обр. из Боливии).

Отл. Сходен с цилиндритом, тиллитом (см. рис. 74), с которыми нередко ассоц. Цилиндрит отличается своеобразной морфологией агрегатов; тиллит заметно светлее и более желтый, лучше полируется и не имеет полисинт. дв.; *H* франкеита ниже, чем у тиллита.

Нахожд. Встречается чаще цилиндрита. Характерен для вулкано-

генных Ag-Sn м-ний боливийского типа, где ассоц. с цилиндритом, тиллитом, станнином, вюртцитом, касситеритом, известен в поздних Sn-Pb-Zn рудах некоторых м-ний Вост. Забайкалья и Ср. Азии; ассоц.: галенит, геокронит, буланжерит, джемсонит, касситерит, пирит, карбонаты.

Изуч. Сп.-427 — *Сан-Жозе* (Боливия).

Рентген. 3,44 (10); 291 (10); 2,86 (10); 2,82 (10); 2,05 (8).

СУЛЬФИДЫ И СУЛЬФОСОЛИ Pb—Bi (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Pb (Cu, Fe, Ag) — Bi (Sb, As) — S (Se))

Структуры всех сульфосолей Pb и Bi построены на основе структуры галенита и поэтому близки между собой. Структурная близость и родство химических составов определили и исключительное сходство оптических и других физических свойств и, как следствие,— большие трудности индивидуализации минералов внутри группы. По уровню отраж. все сульфосоли в этой гр. располагаются между галенитом и висмутином, спектры отраж. имеют почти подобные профили; встречаются в рудах, как правило, в тесных совместных срастаниях.

Галенит Galena PbS

Куб. с. $Fm3m$; $a = 5{,}936$; $Z = 4$; структура типа NaCl; a увеличивается с возрастанием содержания Se, уменьшается с ростом содержаний в твердом растворе $AgSbS_2$, $AgBiS_2$, Cu и Sb; $T_{пл.} \sim 1100°$; детектор и полупроводник. В процессе синтеза при повышенных T установлены широкие области твердых растворов PbS с $AgBiS_2$, $AgSbS_2$, с PbSe, PbTe, Tl_2S, Cu_9S_5, а также с Sb_2S_3, SnS, MnS; с понижением T растворимость всех компонентов резко снижается; при отжиге высокотемпературных твердых растворов происходит распад их с обособлением телец алтаита, миаргирита, матильдита, полибазита, хейровскиита-Ag и -Sb, пираргирита, тетрадимита и т. п.

Хим. Близок к теор.: Pb 86,6; S 13,4; примеси Se, Bi, Ag, Cu, Sb, As обычно не превышают 0,0 n — 0, n %. Известны галениты с содержаниями: Bi до 12,5 (одна находка 33,5); Ag до 17; Cu до 14,5; Sb до 8; As до 2,5; Te до 0,5; в природе установлен изоморфный ряд PbS—PbSe. Показательна величина Bi/Sb, наибольшая у высокотемпературных галенитов.

Микр. Зернистые до тонкозернистых агрегаты, прожилки; субграфические и мирмекитовые срастания с различными сульфосолями, сульфотеллуридами и сульфидами. Отмечались пластинчатые дв. как результат динамического воздействия. Отраж. умеренно высокое (43 %), используется как эталон сравнения при визуальной оценке отраж. минералов с R 35—50 % и эталон нейтрального (белого) цв. Однако в контакте с золотом, электрумом — серый, до темно-серого; в контакте с дискразитом, серебром и в особенности алтаитом имеет нежный сиреневатый, розовато-сиреневатый отт. Кривая дисперсии R галенита (см. рис. 74) очень характерна и довольно стабильна — обычные примеси в галените в количестве 0,0 n—0, n % не оказывают

влияния на уровень отраж. и профиль кривой. В изоморфном ряду PbS—PbSe отраж. повышается и форма спектров изменяется от галенита до клаусталита. У галенитов с высокими содержаниями Sb отраж. снижается в синей и красной областях спектра [46]. Изотропен, но иногда аномально анизотропен, что объясняют динамометаморфизмом или высокими содержаниями в галените Bi, Sb или As. Полируется хорошо, но часто в крупнозернистых агрегатах трудно избежать трещин и царапин; вследствие весьма сов. сп. по кубу происходит выкрошивание минерала, и в шлифах постоянно наблюдаются «треугольники выкрошивания» — характерный признак галенита. У галенита с высокими содержаниями Bi характерна сп. по октаэдру. *H* очень низкий — ниже, чем у халькопирита, блеклой руды, близок к бурнониту и халькозину, выше, чем у акантита, полибазита, ковеллина, прустита, клаусталита, петцита, колорадоита. VHN 60—110, обычно 60—80; более низкие значения характерны для галенитов с высокими содержаниями Bi и Se.

Отл. В мелких выделениях сходен с клаусталитом, петцитом, колорадоитом, иногда с высокосвинцовистыми сульфосолями Bi и Sb. Достаточно надежно определяется по спектру отраж. и VHN.

Нахожд. Очень широко распространенный минерал, известен практически во всех генетических типах м-ний, наиболее характерен в гидротермальных м-ниях средних и низких *T*, где ассоц. с широким кругом сульфидов (пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, сфалеритом), сульфосолей, с селенидами, теллуридами, золотом или серебром. Галениты низкотемпературных парагенезисов, в т. ч. образовавшиеся в зоне цементации, как правило, содержат лишь микропримеси.

Изуч. Сп.-91 — *Курусай* (Ср. Азия) и др. м-ний.

Рентген. 3,44 (9); 2,98 (10); 2,10 (8); 1,791 (5); 1,327 (4).

Хейровскиит Heyrovskyite $Pb_6Bi_2S_9$ (1971)

Ромб. с. *Bbmm*; $a = 13{,}7$; $b = 31{,}2$; $c = 4{,}13$; $Z = 4$; структура на основе структуры галенита; синт. аналог устойчив при 830—200°, ниже 200° распадается на галенит и козалит; в природных условиях при низких температурах устойчив, вероятно, за счет примесей, Ag, Sb, Cu. Комиссия при ММА предлагает ранее описанный вартаит и гунгаррит считать хейровскиитом.

Хим. Теор.: Pb 63,76; Bi 21,44; S 14,80; часто отмечается небольшой дефицит Pb и избыток Bi, Pb/Bi изменяется в пределах 1,96—2,46; примеси Ag до 1,7; Cu до 0,2. Хейровскиит-Ag : Pb 28,03; Ag 10,94; Bi 44,77; S 16,26. *Якуки* (Япония): Pb 58,3; Bi 25,0; Ag 1,3; S 14,7; Σ $99{,}3^{\text{мз}}$.

Микр [м]. Удлиненно-призматический. По отраж. близок к галениту (рис. 75); двуотраж. заметное от бесцветного до бледно-кремового; отчетливо анизотропен в воздухе без цв. эфф., в иммерсии заметны коричневые тона. Наблюдались структуры распада хейровскиита в виде мелкозернистых мирмекитовых агрегатов галенита и козалита. VHN_{50} 166—299.

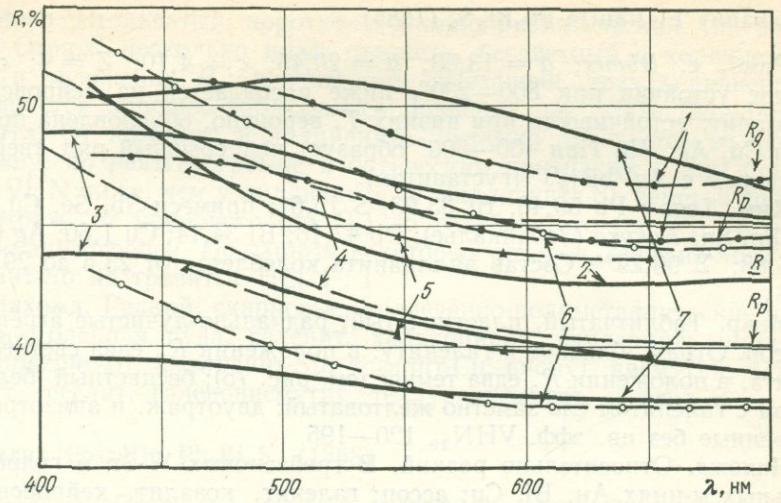


Рис. 75. Спектры отражения галеновисмутита (1), галенита (2), виттита (3), козалита (4), хейровскиита (5), лиллианита (6), висмутина (7)

Нахожд. Относительно редкий. В гидротермальных м-ниях Au, W, Bi, Mo; ассоц.: висмут, золото, минералы гр. айкинита, матильдит, молибденит, шеелит, халькопирит.

Рентген. 3,38 (10); 3,33 (3); 2,93 (5); 2,84 (4); 2,17 (3); 2,09 (5); 2,06 (3); 2,03 (4); 1,762 (5); 1,398 (3); 1,349 (4); 1,207 (3).

Ашамальмит Aschamalmite $Pb_6Bi_2S_9$ (1983)

Монокл. с. $C\ 2/m$, Cm или $C2$; $a = 13{,}71$; $b = 4{,}09$; $c = 31{,}43$; $\beta = 91°$; $Z = 4$; структура, сходная с хейровскиитом, отличается значительной упорядоченностью Bi в ячейке. Н. Н. Мозгова [22] ашамальмит отождествляет с гунгарритом; дискутируются отношения с хейровскиитом.

Хим. Обр. из альпийской жилы долины Унтерзульцбах (Австрия): Pb 62,95; Bi 22,56; S 14,89; Σ 100,40[мз]. *Согласно микрозондовым анализам*, область переменного состава гунгарритов находится в пределах 13,6—24,9 % Bi_2S_3.

Микр. Лейстовидные кристаллы до 5 см с сов. сп. по (001); содержат ламелли козалита и галенита. Отраж. умеренно высокое (R_g чуть выше, а R_p одинаковое с галенитом); отт. кремовый; двуотраж. в воздухе не наблюдалось, анизотропия умеренная с цв. эфф. в красновато-коричневатых тонах. VHN_{25} 150—181.

Нахожд. Единственная находка: кварцевая жила в гнейсах; ассоц.: альбит, адуляр, хлорит, флюорит, галенит.

Рентген. 3,426 (10); 3,378 (9); 2,941 (5); 2,926 (5); 2,861 (5).

Лиллианит Lillianite $Pb_3Bi_2S_6$ (1885)

Ромб. с. *Bbmm*; $a = 13{,}53$; $b = 20{,}45$; $c = 4{,}10$; $Z = 4$; синт. аналог устойчив при 800—230°, ниже распадается на хейровскиит и козалит; устойчивость при низких T, вероятно, обусловлена примесями Cu, Ag, Sb. *При 400—500° образует непрерывный ряд твердых растворов с* $AgPbBi_3S$ (густавитом).

Хим. Теор.: Pb 50,46; Bi 33,93; S 15,61; примеси Sb, Se, Cu, Ag, Fe, Zn, Sn. *Букука* (Забайкалье): Pb 47,16; Bi 34,14; Cu 1,60; Ag 0,51; S 15,88; Σ 99,29[мз]. Состав лиллианита колеблется от 23,5 до 29,2 % Bi_2S_3.

Микр. Таблитчатый, пластинчатый, радиально-лучистые агрегаты, сп. сов. Отраж. близкое к галениту: в положении R_g едва светлее галенита, в положении R_p едва темнее (см. рис. 75); бесцветный (белый), рядом с галенитом еле заметно желтоватый; двуотраж. и анизотропия умеренные без цв. эфф. VHN_{20} 120—195.

Нахожд. Относительно редкий. В грейзеновых W-Sn и гидротермальных м-ниях Au, Bi, Cu; ассоц: галенит, козалит, хейровскиит, *арсенопирит, пирит.*

Рентген. 3,50 (4); 3,36 (8); 2,97 (5); 2,89 (10); 2,76 (7); 2,13 (9); 2,03 (10); 1,757 (4).

Гиссенит Giessenite $Pb_8Bi_6S_{17}$ (?); $Pb_9Cu_{0,5}Bi_6SbS_{20}$ (1963)

Ромб. с. $P\,2_12_12_1$, *Pnnm* или *Pnn*2; $a = 34{,}5$; $b = 38{,}3$; $c = 4{,}08$; $Z = 4$ (с ростом содержания Sb параметры решетки несколько уменьшаются).

Хим. Теор.: Pb 47,95; Bi 36,27; S 15,77; иногда примеси достигают: Sb 8; Cu 1,5; Ag, Fe. Состав обр. с оз. Церврайла: Pb 50,75; Bi 21,56; Sb 8,18; Cu 0,76; Fe 0,34; Ag 0,34; S 17,13; Σ 99,15 %; формула: $(Pb_{7,30}Cu_{0,38}Fe_{0,19}Ag_{0,19})_8\,(Bi_{3,30}Sb_{2,14}Pb_{0,52})_{5,96}S_{17,04}$.

Микр. *Игольчатый, часты срастания с галенитом. Отраж.* умеренно высокое: по R_g чуть светлее, а по R_p — чуть темнее галенита; отт. кремовый, по мнению некоторых авторов, розоватый; двуотраж. слабое, в иммерсии заметное; анизотропия умеренная в блеклых красновато-фиолетовых тонах. *H* выше, чем у галенита. VHN 65—190, у сурьмянистого гиссенита 110—120. Сходен с козалитом и лиллианитом, отличаются по составу.

Нахожд. Известен в двух гидротермальных м-ниях Cu-Pb и Cu-Bi в ассоц. с галенитом, пирротином, халькопиритом, козалитом, жозеитом, брейтгауптитом, ульманнитом, макинавитом, висмутом, станнином.

Рентген. 3,62 (10); 3,32 (5); 3,15 (5); 2,59 (4); 1,75 (4).

Бурсаит Bursaite $Pb_5Bi_4S_{11}$ (1955)

Монокл. с. (псевдоромб). Некоторые авторы относят бурсаит к гомологической серии густавита.

Хим. Теор.: Pb 46,57; Bi 37,58; S 15,85; иногда примеси достигают: Sb 11,5; Cu 2; Ag 1,5; Fe 1.

Микр. Игольчатый, коротко- и длиннопризматический. Сп. весьма сов. Отраж. несколько ниже галенита, бесцветный с коричневатым отт. в положении R_p; анизотропия отчетливая, тона коричневатые; полируется хорошо; наблюдались полисинт. дв. VHN 126—146.

Отл. От козалита и лиллианита уверенно отличается только по составу; по рентгенограмме и оптическим признакам к ним близок; H и VHN ниже, чем у лиллианита. У лиллианита-Sb заметно сильнее двуотраж. от кремового (по R_p) до голубоватого (по R_g). Козалит слабо анизотропен. По данным некоторых авторов, бурсаит-Sb и лиллианит-Sb не травятся HCl 1 : 1.

Нахожд. Редкий; скарновые, колчеданно-полиметаллические руды; ассоц.: блеклая руда, галенит, халькопирит, валлериит, пирротин, буланжерит-Bi, лиллианит-Sb, козалит-Cu, висмут, висмутин, молибденит, шеелит, галеновисмутит, теллуровисмутит, жозеит B.

Козалит Cosalite $Pb_5Bi_2S_5$ (1868)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 19{,}1$; $b = 23{,}9$; $c = 4{,}06$; $Z = 8$; структура представляет искаженную структуру галенита с упорядоченным распределением атомов Pb и Bi. В системе $PbS—Bi_2S_3$ достоверно не получен, образуется, по данным Дж. Крейга (1967 г.), при субсолидусных превращениях хейровскиита и лиллианита ниже 260° или ниже 425°. В системе $PbS—Bi_2S_3—Sb_2S_3$ при 400—500° синтезирован козалит-Sb, с Bi : Sb = 4 : 1.

Хим. Теор.: Pb 41,75; Bi 42,10; S 16,15; иногда примеси достигают: Sb 5; Se 6,5; Cu 2,5; Ag 1,5; Te 1; As 0,8; Fe и Zn 0,7.

Микр. Игольчатые по оси c и призматические кристаллы, тонковолокнистые агрегаты с характерным занозистым окончанием зерен, мирмекитовые срастания с айкинитом, висмутином. Отраж. близкое к галениту, в положении R_p несколько темнее последнего (см. рис. 75); цв. галенитово-белый; двуотраж. слабое, заметно лишь по границам зерен; в продольных сечениях с многочисленными трещинками. Двуотраж. практически незаметное; анизотропия умеренная в блеклых тонах. Спектры отраж., полученные разными авторами, близки по форме, но отличаются по абсолютным значениям R, вследствие ошибочного завышения R_{max} и занижения R_{min}. На основании данных ряда авторов у козалита должно быть сильное (20 %) двуотраж. Наиболее близки к визуальным оценкам отраж. и двуотраж. козалита результаты, полученные Р. Кайе (сп.-192). H выше, чем у галенита, VHN 75—230, чаще 90—160. Сечения, $\perp$ к удлинению, полируются хорошо, $\parallel$ удлинению — плохо. Характерно замещение козалита тонкозернистыми агрегатами висмута и галенита. Наблюдались мирмекиты с айкинитом и висмутином; замещения теллуридами Bi.

Отл. Визуально и по спектрам отраж. козалит сходен со многими сульфосолями Bi: гиссенитом, хейровскиитом, лиллианитом, канниццаритом, кобеллитом, густавитом, с редкими Pb-Sb сульфосолями. Надежно диагностируется только с помощью микрозонда.

Нахожд. В группе висмутовых сульфосолей Pb — один из самых распространенных минералов. Довольно широко известен в гидро-

термальных ассоц. м-ний W (особенно характерен для грейзеновых его м-ний), Au, Ag, Co-Ni, Bi, колчеданно-полиметаллических; ассоц.: галеновисмутит, галенит, висмут, хейровскиит, минералы гр. айкинита, эмплектит, золото, теллуриды Bi, вольфрамит, сфалерит, сульфосоли Ag, Pb и Bi, арсенопирит, пирротин.

Рентген. 5,61 (3); 4,46 (4); 3,95 (5); 3,44 (10); 3,36 (5); 2,95 (6); 2,82 (5); 2,15 (6); 2,04 (5); 1,386 (4).

Кобеллит Kobellite $Pb_6FeBi_4Sb_2S_{16}$ (1839)

Ромб. с. *Pnmm*; $a = 22{,}6$; $b = 34{,}1$; $c = 4{,}02$; $Z = 4$; в литературе предложено несколько вариантов формул: Bi_8S_{16} [40] и $Pb_5Bi_8S_{17}$ [17]. Нами принята формула, предложенная Е. Наффилдом в 1948 г., подтвержденная М. Хабером и В. Стрешко в 1969 г. По мнению ряда авторов, кобеллит образует серию твердых растворов с тинтинаитом.

Хим. Теор.: Pb 42,53; Bi 28,59; Sb 8,33; Fe 1,91; S 18,64; содержания Bi и Sb несколько колеблются; примеси Se, Ag, Cu; *Устарасай* (Ср. Азия): Pb 42,15; Bi 24,67; Sb 10,13; Fe 1,89; Cu 0,66; S 18,43; Σ 98,23; ШНГ.

Микр^{м}. Таблитчатые, призматические, игольчатые кристаллы. По уровню отраж. близок к галениту, но данные R у разных авторов не совпадают. По Р. Кайе, кобеллит во всех положениях светлее галенита и имеет едва заметное двуотраж.; по П. Рамдору, П. Пико,, П. Симпсону и Л. Н. Соболевой, кобеллит в светлом положении неотличим от галенита, в темном — несколько темнее, отчетливо двуотраж.; похож на козалит, но отличается более сильными эффектами двуотраж. и анизотропии. Полируется хорошо; сп. параллельна удлинению; дв. H выше висмута и слегка выше галенита, VHN на плоскости (100) составляет 135—170 (ср. 155), на плоскости (010) — 165—180, на плоскости (001) — 85—105.

Отл. Отличается от других сульфосолей Bi с помощью микрозонда и по рентгенограмме.

Нахожд. Описан в гидротермальных м-ниях W, Au, Ag, Co, Bi, Sn; ассоц.: висмут, висмутин, козалит, сульфотеллуриды-Bi, пирротин, золото.

Рентген. 4,75(0,5)(170); 4,56(0,5)(360); 4,37 (1) (450); 3,98 (4) (111); 3,74 (4) (221); 3,57 (4) (301); 3,52 (10) (560); 3,44 (3) (151); 3,39 (8) (480); 3,27 (4) (161); 3,12 (2) (730); 2,99 (3) (521); 2,91 (1) (531); 2,83 (2) (800); 2,72 (2) (471); $a = 22{,}60$; $b = 33{,}88$; $c = 4{,}04$ *Устарасай*.

Канниццарит Cannizzarite $Pb_{46}Bi_{54}S_{127}$ (1925)

Монокл. с. $P\ 2_1/m$; $a = 189{,}8$; $b = 4{,}09$; $c = 74{,}06$; $\beta = 119{,}3°$; $Z = 2$; в системе PbS—Bi_2S_3 образуется за счет реакции между лиллианитом и галеновисмутитом, устойчив в области 470—380°, при более низких T вновь распадается на лиллианит и галеновисмутит. Устойчивость при низких T, вероятно, обусловлена наличием примесей Cu, Ag, Fe, Sb. По данным Е. Матзат, изоструктурен с виттитом, имеет две подрешетки.

Хим. Состав непостоянный, теор.: Pb 38,29; Bi 45,35; S 16,36; примеси достигают: Se 5; Ag 2; Sb 1; Te, Fe, Cu. *Высокогорское* (Приморье): Bi 49,0—49,3; Pb 31,8—30,7; Ag 1,5—1,9; Sb 0,7—0,6; Fe 0,1; S 16,9—17,1; Se 0,4—0,8; Te 0,1.

Микр. Агрегаты тонкопластинчатых, игольчатых кристаллов, войлокоподобные массы, чешуйчатый, легко расщепляется на пластинки. По отраж. близок, но несколько выше галенита; в светлом положении R одинаковое с висмутином, в темном — выше, чем R_p висмутина; отт. желтоватый; двуотраж и анизотропия очень слабые, наблюдались полисинт. дв. VHN 30—116.

Отл. Сходен со многими сульфосолями Pb и Bi. Надежно определяется только с помощью микрозонда и по рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В возгонах вулканов. Наиболее полно исследован по обр. из *Высокогорского* м-ния; ассоц.: висмутин, сульфотеллуриды Bi, касситерит, турмалин, анатаз, кварц. В м-нии *Вулькано* (Италия) ассоц.: хейровскит-Se, лиллианит-Se, галеновисмутит-Se, галенит с Se и Bi.

Рентген. 3,82 (10); 3,49 (3); 3,38 (3); 3,01 (6); 2,87 (5); 2,68 (6); 2,22 (5); 2,03 (5); 1,910 (4); 1,791 (3).

Виттит Wittite $Pb_5Bi_6S_{14}$ (1924)

Монокл. с $C2/m$, Cm или $C2$; $a = 32{,}0$; $b = 4{,}12$; $c = 36{,}7$; $\beta = 110°$ (параметры решетки колеблются в зависимости от состава, прежде всего от содержания Se); $Z = 4$. Имеет две подрешетки. В. Г. Мюмме считает, что структурный аналог канниццарита, возможно, является его селенсодержащей разновидностью. В литературе приводятся и другие варианты формулы.

Хим. Теор. для $Pb_5Bi_6S_{14}$: Pb 37,8; Bi 45,8; S 16,4. Характерно изоморфное замещение серы селеном до 15 %; остальные примеси могут достигать: Cu 2; Ag 1; Sb, As, Te, Fe, Zn; м-ние на Урале: Pb 38,25; Bi 45,59; Ag 0,53; Cu 0,16; Fe 0,17; Zn 0,08; S 16,42; Se следы; Te 0,19; Sb 0,02; Σ 100,93[мз]; СЭМ, формула:
$(Pb_{4,85}Ag_{0,13}Cu_{0,07}Fe_{0,08}Zn_{0,03})_{5,16}\ (Bi_{5,88}Pb_{0,12})_6\ (S_{13,79}Te_{0,04}Sb_{0,01})_{13,84}$,

Микр. Таблитчатый, игольчатый; отраж. умеренно высокое, в положении R_g едва светлее галенита; отт. кремовый, по R_p темнее, бесцветный; сильно анизотропен, в крупных выделениях заметна сп., ‖ удлинению. H близок к галениту. VHN 40 — 90, примесь Cu повышает тв.; VHN 130—240.

Отл. Сходен с хаммаритом, отл. по кривым отраж.

Нахожд. Редкий, в гидротермальных м-ниях Au, W, Cu, в составе Bi-S-Se-Te минерализации; сопутствующие минералы: магнетит, хлорит, антофиллит, кордиерит, вольфрамит, сфалерит, пирротин, халькопирит, золото, висмут, хаммарит, джуноит, вейббуллит, козалит, висмутин, гаунахуатит.

Изуч. М-ние на Урале, колл. Н. А. Ершовой.

Рентген. 3,83 (5); 3,49 (7); 2,86 (10); 2,066 (6); 3,38 (10); 2,99 (6) 2,895 (9); 2,043 (8) 2,059 (9).

Галеновисмутит Galenobismutite $PbBi_2S_4$ (1878)

Ромб. с. *Pnam*; $a = 11{,}79$; $b = 14{,}59$; $c = 4{,}10$; $Z = 4$; синт. аналог в системе $PbS—Bi_2S_3$ устойчив в области 750—300°, ниже 300° распадается на лиллианит и висмутин или на козалит и висмутин. При низких *T* устойчив, вероятно, за счет наличия примесей.

Хим. Теор.: Pb 27,50; Bi 55,48; S 17,02; небольшие примеси Sb, Se, Cu, Ag, Fe, Te; *Букука* (Забайкалье): Pb 27,2; Bi 55,6; Sb 0,5; S не опр.; СЛН.

Микр. Игольчатый, пластинчатый, лучистые сростки, волокнистые массы, графические и мирмекитовые срастания с галенитом, висмутином. Характерно остроугольное окончание зерен и крайне мелкозернистое сложение выделений. Отраж. близкое к галениту, несколько выше; самый светлый из сульфосолей Pb и Bi (см. рис. 75); белый с очень слабым желтовато-кремовым отт., изменяющимся при двуотраж. до голубоватого; умеренно анизотропен без заметного цв. эфф. Сп. наблюдается редко. *H* выше, чем у галенита. VHN 146—197. Полируется различно в зависимости от сечения. Часто наблюдаются продукты частичного замещения галеновисмутита с обильной сыпью висмута.

Отл. От висмутина отличается значительно менее сильными эффектами двуотраж. и анизотропии; галенит изотропен и не содержит микровростков висмута.

Нахожд. Довольно распространенный минерал W, Sn, Pb-Zn, Au, Cu, Bi м-ний, в отложениях фумарол вулканов; ассоц.: висмутин, висмут, козалит, галенит, лиллианит, золото, пирротин, тетраэдрит, сфалерит.

Рентген. 3,67 (4); 3,47 (10); 3,03 (7); 2,79 (4); 2,47 (7); 2,38 (6); 1,975 (7); 1,882 (6); 1,662 (7); 1,451 (6); 1,415 (6); 1,378 (6).

Висмутин Bismuthinite Bi_2S_3 (1850)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 11{,}11$; $b = 11{,}25$; $c = 3{,}97$; $Z = 4$; сходную структуру имеет антимонит, Pb-Bi (галеновисмутит, козалит и др.) и Cu-Pb-Bi (гр. айкинита) сульфиды. При 300—350° образует непрерывный ряд твердых растворов с Sb_2S_3, с $CuPbBiS_3$, с Bi_2Se_3 (до 67 % Bi_2Se_3), с As_2S_3 (до 60 % As_2S_3), растворяет 0,1 % CuS.

Хим. Теор.: Bi 81,3; S 18,7; иногда примеси достигают: Sb 12; Se 20; Pb 3; Cu 2; Te 0,7; Fe 0,5; As, Ag Zn, Hg; *Ингодинское* Забайкалье; *Ичкеульмес* (КазССР): Bi 81,31 и 78,83; Sb следы и 0,06; Pb 0 и 2,41; Hg 0 и 0,09; Ag 0 и 0,07; Cu следы и 0,92; FeO и 0,02; S 18,72 и 18,64; Se 0 и 0,57; Te 0,03 и 0; Σ 100,06[мз] и 100,55[мз], СЭМ.

Микр. Призматический, игольчатый; мирмекитовые и графические срастания с козалитом, халькопиритом, висмутом, тетрадимитом, псевдоморфозы по висмуту, гладиту, тетрадимиту. Отраж. умеренно высокое — в положении R_g выше, чем у галенита, в положении R_p — ниже (см. рис. 75); двуотраж. в зернистых агрегатах выражено отчетливо с едва заметным изменением цв. от кремово-зеленоватого (∥ удлинению) до бесцветного (⊥ к удлинению); сильно анизотропен

в блеклых коричневатых и желтоватых тонах, погасание прямое. В ближнем ИК-свете просвечивает. Спектры отраж. индивидуальны; для кривой R_g характерен небольшой пологий максимум в области 500—550 нм (см. рис. 75). Отраж. свинцовисто-медистого висмута пониженное с несколько иным профилем спектра R_g. Наблюдаются сп., дв. давления; крупные зерна нередко изогнуты. *H* близок к галениту, выше, чем у теллуридов висмута, ниже, чем у халькопирита и минералов гр. айкинита; VHN 65—215, чаще 110—135.

Отл. Сравнительно с другими сложными Pb-Bi сульфидами висмутин имеет максимальное отраж., максимальную силу эффектов анизотропии ($\Delta R_{отн.} = 0{,}20$), как правило, крупнозернистое сложение с прямолинейно-ступенчатым окончанием зерен, наличие, наряду с типичными удлиненными формами, агрегатов зерен, близких к изометричным, т. е. «округлых». Все Cu-Pb-Bi сульфиды (гр. айкинита) ниже по отраж., имеют отчетливые кремовые или зеленовато-кремовые (виттихенит) отт., более слабые эффекты анизотропии.

Нахожд. Широко распространен в гидротермальных ассоц. м-ний W (особенно грейзеновой формации), Au, Bi, Sn, Cu, U 5-элементной формации, среди продуктов вулканических эксгаляций; ассоц.: висмут, вольфрамит, молибденит, касситерит, станнин, козалит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, гладит, блеклые руды, акантит, Ag-Pb сульфосоли.

Изуч. Сп.-82 — *Ингодинское*, *Чокадам-Булак* (Ср. Азия), колл. Л. Н. Соболевой, *Кировское* (Забайкалье), *Ичкеульмес* (КазССР) и др.; синт. фаза Bi_2S_3.

Хоробетсуит Horobetsuite $(Bi, Sb)_2S_3$ (1955)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 11{,}23$; $b = 11{,}27$; $c = 3{,}91$; $Z = 4$; отвечает промежуточному составу твердого раствора Bi_2S_3—Sb_2S_3 (неограниченная растворимость при 300—500°).

Хим. Теор. (для Bi Sb S_3): Bi 48,95; Sb 28,52; S 22,53; примеси: Se, Te; *Хоробетсу* (Япония), м-ние в Ср. Азии: Bi 56,93 и 44,80; 46,9; Sb 21,49 и 32,30; 29,5; S 21,57 и 23,00; 24,1; Σ 99,99 и 100,10[мз], 100,5[мз]. Г. Шпрингер в 1969 г. провел исследования на зонде многих образцов висмутина и антимонита из различных м-ний, в результате которых показал все степени возможного замещения висмута сурьмой до 42 % Sb_2S_3; в то же время все образцы антимонита содержали только Sb и S. Он считает, что хоробетсуит является членом ряда твердых растворов Sb_2S_3 в висмутине с пределом смесимости составов до $(Bi_{0,45}Sb_{0,55})\,S_3$.

Микр[м]. Вытянутые кристаллы, срастания с золотом и сульфотеллуридами Bi, эмульсионная вкрапленность в золоте. Изучен недостаточно; известно лишь, что в срастаниях с сульфотеллуридами хоробетсуит светлее; двуотраж. отчетливое; анизотропия очень сильная; *H* незначительно выше, чем у сульфотеллуридов Bi.

Нахожд. Известен в двух вулканогенных м-ниях Au: *Хоробетсу* и в УзССР.

Рентген. 3,56 (9); 3,10 (10); 2,79 (6); 2,13 (4); 1,952 (8); 1,478 (5)

Икунолит Ikunolite Bi_4S_3 (1959)

Гекс. с. (ромбоэдр.) $R\bar{3}m$; $a_h = 4{,}15$; $c_h = 39{,}19$; $Z = 3$; структура слоистая, родственна структурам селенидов Bi; образует непрерывный ряд твердых растворов с лайтакариитом Bi_4Se_3.

Хим. Теор.: Bi 89,68; S 10,32; иногда примеси достигают: Pb 11 (обычно 6); Se до 11 (обычно 2); Te 3 (обычно 0,5); *Икуно* (Япония) и *Кара-Оба* (Ср. Азия): Bi 87,99 и 82,0; Pb 0 и 7,0; S 9,82 и 10,6; Se 2,19 и 0; Te 0 и 0,6; Σ 100,0[мз] и 99,6[мз].

Микр[м]. Пластинчатые и листоватые выделения с сов. сп. по базису; по форме выделений напоминает сульфотеллуриды Bi. Отраж. близкое к висмутину, в контакте икунолит выглядит кремовым, висмутин голубоватым; двуотраж. в воздухе заметно; анизотропия отчетливая в блеклых коричневатых, синевато-серых тонах; *H* несколько ниже висмутина и галеновисмутина. VHN 50—82. Отраж. икунолита из м-ния *Кара-Оба* (Pb 7 %) ниже по уровню, чем спектры у минерала из м-ния *Икуно*. В базальных сечениях изотропен; оптически отрицателен.

Отл. Похож на висмутин, отличается от него более слабыми эффектами двуотраж. и анизотропии. Надежно определяется на микрозонде и по рентгенограмме.

Нахожд. Относительно редкий. Характерный минерал кварцево-жильных вольфрамитовых м-ний грейзеновой формации, а также Bi, Mo, Sn м-ний; ассоц.: висмут, висмутин, козалит, сульфотеллуриды Bi, молибденит, касситерит, пирротин, арсенопирит, галенит, золото.

Рентген. 4,36 (5); 3,01 (10); 2,20 (8); 1,836 (7); 1,387 (6).

СУЛЬФОСОЛИ Ag—Bi (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Ag (Cu) — Bi (Sb, Pb) — S)

Аркубисит Arcubisite Ag_6CuBiS_4 (1973)

Хим. *Ивигтут* (Гренландия): Ag 62,1; Cu 6,3; Fe 0,7; Bi 16,7; Pb 1,4; S 12,3; Te 2,2; Σ 101,7[мз]; формула: $(Ag_{5,88}Cu_{0,12})_6\,(Cu_{0,89}Fe_{0,13})_{1,01}\,(Bi_{0,82}Pb_{0,07})_{0,89}\,(S_{3,92}Te_{0,18})_{4,10}$.

Микр[м]. Мелкие (до 0,05 мм) вростки в галените, мирмекитовые срастания с галенитом и гесситом. Отраж. умеренное (34 %), близкое к тетраэдриту. Цв. оливково-коричневатый. Двуотраж. слабое, анизотропия отчетливая, в масле с цв. эфф. в коричневатых и голубовато-серых тонах. *H* несколько выше, чем у галенита.

Нахожд. Очень редкий. В криолитовом м-нии *Ивигтут*; ассоц.: галенит, матильдит, айкинит, берриит, теллуристый канфильдит, гессит, акантит, висмутин.

Матильдит — шапбахит Matildite $AgBiS_2$ (1883)

В природе известны две модификации со сверхструктурами на основе структуры галенита: шапбахит — псевдокуб. с.; $a = 5{,}64$; $Z = 2$; высокотемпературный; матильдит — триг. с.; $P3mI$; $a = 3{,}93$;

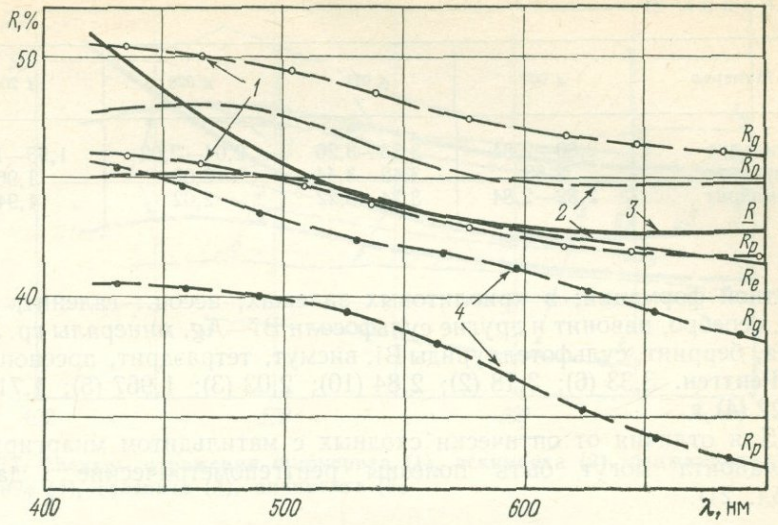


Рис. 76. Спектры отражения павонита (1), матильдита (2), галенита (3), арамайоита (4)

$b=4{,}05$; $c=5{,}67$; $Z=4$; отвечает низкотемпературной модификации, устойчивой ниже 195°; образует неограниченные твердые растворы с $AgSbS_2$ при любых T, с галенитом — выше 216°, с миаргиритом — выше 380°; ограниченные твердые растворы ниже 380° с миаргиритом, трехманнитом, смититом, аргентитом, павонитом. Для галенита, содержащего в твердом растворе $AgBiS_2$, характерны октаэдрические формы, нередко анизотропия.

Хим. Теор. Ag 28,33; Bi 54,84; S 6,83; содержания примесей достигают: Pb 5 (редко 30); Se 5; Sb, As, Cu и Fe 1; в ассоц. с акантитом и серебром состав близок к стехиометричному.

Микр. Зернистые агрегаты, удлиненно-призматические кристаллы; очень характерны скелетные, решетчатые, мирмекитовые срастания с галенитом; ламелли в галените и акантите (продукты распада высокотемпературных твердых растворов). Отраж. близкое к галениту; в светлом положении (// удлинению) бледно-кремовый, несколько светлее галенита, в темном — серовато-зеленоватый, чуть темнее галенита (рис. 76). Двуотраж. слабое. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. Очень характерно наличие нескольких систем тонких пластинчатых дв. (результат фазового перехода высокий → низкий $AgBiS_2$). В. р. не наблюдались. *H* ниже, чем у халькопирита, несколько выше, чем у галенита. VHN 55—120, обычно 60—90. Полируется хорошо. Внутренняя структура галенит-матильдитовых срастаний легко выявляется травлением HNO_3 или KCN (галенит травится гораздо сильнее).

Нахожд. Довольно широко распространен в относительно высокотемпературных м-ниях: в вулканогенных ксенотермальных Ag, Ag-Sn, Ag-Bi, Au-Ag; в грейзеновых Sn-W; кварцево-жильных Bi, W; 5-эле-

Таблица 21

Минерал	*d* 002	*d* 011	*d* 020	*d* 200
Матильдит	2,80—2,84	3,33—3,26	2,04—2,02	1,96—1,98
Миаргирит	2,88	3,42—3,44	2,05	1,96
Арамайоит	2,82—2,84	3,24—3,22	2,02	1,94

ментной формации; в криолитовых залежах; ассоц.: галенит, акантит, серебро, павонит и другие сульфосоли Bi—Ag, минералы гр. айкинита, берриит, сульфотеллуриды Bi, висмут, тетраэдрит, арсенопирит.

Рентген. 3,33 (6); 3,18 (2); 2,84 (10); 2,03 (3); 1,967 (5); 1,714 (3); 1,322 (4).

Для отличия от оптически сходных с матильдитом миаргирита и арамайоита могут быть полезны рентгенометрические данные (табл. 21).

Арамайоит Aramayoite $Ag(Sb, Bi)S_2$ или $Ag_5Sb_4BiS_{10}$ (1926)

Трикл. с. *P*1; $a = 7{,}76$; $b = 8{,}85$; $c = 8{,}23$; $\alpha = 100{,}18°$; $\beta = 90{,}72°$; $\gamma = 103{,}83°$; $Z = 6$; слоистая сверхструктура на основе структуры галенита; в синт. аналоге Sb : Bi = 4 : 1 при 300°.

Хим. Теор. (для Sb: Bi-4 : 1): Ag 34,77; Bi 14,02; Sb 30,55; S 20,66. Примеси Cu, Se, As.

Микр. Зернистые, пластинчатые агрегаты. Отраж. несколько ниже, чем у галенита. Цв. белый. Двуотраж. заметное, отчетливо анизотропен. В. р. густого темно-красного цв. Характерны грубые дв. Наблюдаются квадраты выкрошивания по сп. *H* ниже, чем у пираргирита. Отмечается слабое светотравление.

Нахожд. Известен в двух вулканогенных Ag-Sn м-ниях: *Анимае* (Боливия) и *Сьерро-де-Паско* (Перу); ассоц.: галенит, тетраэдрит, матильдит, пираргирит и другие сульфосоли Ag, сульфосоли Pb—Sn.

Рентген. 3,44 (2); 3,22 (4); 2,82 (10); 2,05 (2); 1,945 (3); 1,710 (2ш); 1,406 (2).

Бенжаминит Benjaminite $(Ag, Cu)_3(Bi, Pb)_7S_{12}$ (1924)

Монокл. с. *C*2/*m*; $a = 13{,}3$; $b = 4{,}05$; $c = 20{,}2$; $\beta = 103{,}34°$; $Z = 2$.

Хим. В опубликованных анализах бенжаминита из разных м-ний постоянными компонентами наряду с Ag, Bi и S являются Cu и Pb : Cu от 2 до 13 %, Pb от 2 до 11 %. На основании этих данных Cu и Pb были введены в формулу минерала. Однако Х. К. Херберт и В. Г. Мюмме, изучавшие в 1981 г. бенжаминит из Боливии, пришли к выводу, что в природных условиях могут существовать как «замещенные» бенжаминиты (с частичной заменой Ag и Bi на Cu и Pb), так и «незамещенные» с формулой $Ag_3Bi_7S_{12}$.

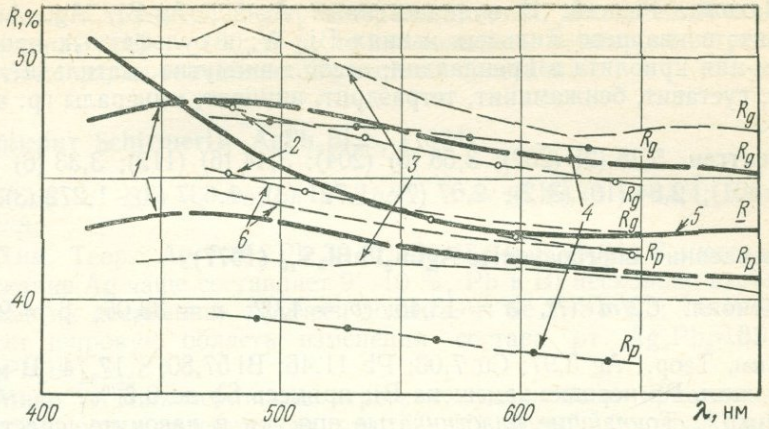


Рис. 77. Спектры отражения ширмерита (1), эскимоита (2), бенжаминита (3), берриита (4), галенита (5), викингита (6)

Микр. По составу и оптическим свойствам очень близок к павониту и купропавониту (рис. 77, см. рис. 76), от которых отличается только по данным монокристального рентгенографического исследования.

Нахожд. Наиболее детально исследован материал из м-ний *Манхэттен* (США) и AW (Боливия); в СССР описан в ряде м-ний Bi; ассоц.: молибденит, золото, висмутин, сульфотеллуриды Bi.

Рентген. 3,54 (8); 3,43 (8); 2,85 (10); 2,81 (6); 2,02 (6).

Павонит Pavonite $AgBi_3S_5$ (1954)

Монокл. с. $C2/m$; $a = 13{,}31$; $b = 4{,}04$; $c = 16{,}42$; $\beta = 94{,}2°$; $Z = 2$; отвечает синт. фазе того же состава с узкой областью гомогенности (значительно < 1 %), $T_{пл}$ 732°, $T_{пл}$ эвтектики павонит + висмутин 725°.

Хим. Теор.: Ag 21,52; Bi 62,50; S 15,98. Серебро замещается медью до состава $Ag_2CuBi_9S_{15}$ (2,4 % Cu); висмут — свинцом (до 5 % Pb), мышьяком и сурьмой (до 0,5 %), сера — селеном.

Микр [м]. Агрегаты пластинчатых зерен; ламелли в висмутине, матильдите, галените; срастания с густавитом, купропавонитом. Отраж. близкое к галениту, в положении R_g ($\perp$к удлинению пластинок и сп.) белый со слабым розовато-кремовым отт., светлее галенита; в положении R_p (// удлинению и сп.) серовато-белый (см. рис. 76). Двуотраж. ясное в агрегатах. Анизотропия отчетливая в блеклых тонах. Характерны пластинчатые дв., расположенные // сп.; H выше, чем у галенита и висмутина, близок (немного ниже) к халькопириту; VHN 130—225. Полируется хорошо.

Отл. Берриит несколько сильнее двуотраж., козалит значительно мягче и слабо двуотраж., у галеновисмутита и викингита двуотраж. в воздухе практически незаметное, эскимоит и хейровскиит тверже павонита. Надежно диагностируется по рентгенограмме и составу.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных Ag-Sn, Ag-Bi, Ag, Au-Ag, м-ниях; в кварцево-жильных м-ниях Bi, W; в сульфидных прожилках м-ния криолита в Гренландии; ассоц.: висмутин, матильдит, берриит, густавит, бенжаминит, тетраэдрит, аннивит, минералы гр. айкинита.

Рентген. 5,36 (2) ($\bar{2}02$); 3,58 (6) ($\bar{2}04$); 3,44 (6) (112); 3,33 (6) (204, 400, $\bar{4}01$); 2,84 (10) ($\bar{3}12$); 2,07 (7); 1,721 (3); 1,637 (3); 1,272 (3).

Купропавонит Cupropavonite $AgCu_2PbBi_5S_{10}$ (1977)

Монокл. $C2/m$ (?), $a = 13{,}45$; $b = 4{,}02$; $c = 33{,}06$; $\beta = 93{,}5°$; $Z = 16$.

Хим. Теор.: Ag 5,97; Cu 7,03; Pb 11,46; Bi 57,80; S 17,74. В минерале часть Pb нередко замещена Bi; примесь Sb до 0,5 %.

Микр [м]. Тончайшие пластинчатые вростки в павоните, срастания с густавитом. По величине отраж., двуотраж. и цв. неотличим от павонита. VHN 130—205.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных W, Bi, Sn, Au-Ag м-ниях; ассоц.: павонит, густавит, висмутин, матильдит, сульфотеллуриды Bi; срастания павонит—купропавонит являются, очевидно, результатом распада твердого раствора.

Рентген. 5,36 (7); 3,60 (9); 3,47 (10); 3,00 (7); 2,97 (7); 2,86 (9); 2,84 (7); 2,02 (7).

СУЛЬФОСОЛИ Ag—Pb—Bi (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Ag (Cu) — Pb—Bi (Sb) — S)

Минералы гр. густавита представляют сверхструктуры на основе структуры галенита, структуры их близки к лиллианиту; нередко рассматриваются как члены густавит-лиллианитовой гомологической серии. Однако данные состава минералов гр. густавита находятся на линии павонит—галенит с небольшими отклонениями в сторону матильдит-галенитового твердого раствора (чаще) или в сторону лилианита (реже). Их «строительными кирпичиками» являются павонит (П) $AgBi_3S_5$, галенит (Г) PbS, матильдит (М) $AgBiS_2$, лиллианит (Л) $Pb_3Bi_2S_6$: ширмерит = П + 2Г; оурэйит = 8П + 17М + 30Г; эскимоит = 4П + 3М + 10Г; хейровскиит-Ag-Bi = 5П + 4М + 12Г; викингит = 4П + М + Л + 5Г; трёжерит = 4П + 3М + 6Г; густавит = П + Г.

В системе Ag_2S—PbS—Bi_2S_3 при 400° (и выше) синтезированы густавит и непрерывная серия твердых растворов густавит—лиллианит. На основании этих данных можно полагать, что большая часть минералов группы, вероятно, образуется ниже 400°, при субсолидусных превращениях высокотемпературных твердых растворов Ag_2S—Pb S—Bi_2S_3.

В отраж. свете минералы гр. чрезвычайно близки и различить их оптическими методами практически невозможно. Все бесцветные (белые), имеют близкое к галениту отраж., очень слабые двуотраж. и ани

зотропию. Структура спектров отраж. простая, дисперсия R нормального типа; VHN ~ 160; в. р. не наблюдались. В природе встречаются обычно в форме тончайших совместных сростков.

Ширмерит Schirmerite $AgPb_2Bi_3S_7$ (1874)

Ромб. с. *Bbmm*, *Bb*2_1*m* и *Bbm*2; $a = 13{,}49$; $b = 44{,}4$; $c = 4{,}02$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Ag 7,85; Pb 30,17; Bi 45,64; S 16,34. В минерале содержание Ag чаще составляет 9—10 %, Pb и Bi несколько варьируют (сумма их постоянна), примеси достигают: Se 2; Sb 1,5; Te 1; Cu 0,7. Имеет широкую область изменения состава от $Ag_3Pb_6Bi_7S_{18}$ до $Ag_3Pb_3Bi_{10}S_{18}$.

Микр [м]. Тонкозернистые агрегаты, удлиненные кристаллы. Отраж. близкое к галениту (см. рис. 77). Цв. белый; двуотраж. и анизотропия слабые; VHN 150—205.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных сульфидно-касситеритовых, Ag-Sn Bi-W-Mo, вулканогенных Au м-ниях, в сульфидных ассоц. криолитового м-ния Гренландии; в СССР отмечен в одном из м-ний Ср. Азии.

Рентген. 3,66 (6); 3,50 (4); 3,465 (5); 3,207 (9); 3,080 (5); 2,923 (9); 2,878 (7); 2,837 (7); 2,786 (7); 2,610 (5); 2,382 (7); 2,282 (7); 2,035 (10); 1,536 (5); 1,382 (5); 1,376 (5).

Оурэйит Ourayite $Ag_{25}Pb_{30}Bi_{41}S_{104}$ (1977)

Ромб. с. *Bbmn* или *Bb*2_1*m*; $a = 13{,}46$; $b = 44{,}04$; $c = 4{,}10$; $Z = 1/2$.

Хим. Теор.: Ag 12,95; Pb 29,87; Bi 41,16; S 16,02. Примеси Cu (до 0,5 %), Sb, As.

Микр [м]. Мелкие пластинчатые выделения, ламелли и лейсты в галените. Неотличим от густавита, викингита, эскимоита и др. минералов гр.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных Ag-Pb, Ag-Sn, Bi-W м-ниях, в криолитовых залежах.

Рентген. 3,43 (10); 3,33 (6); 2,96 (9); 2,85 (6); 2,09 (9); 2,04 (7); 1,79 (7).

Эскимоит Eskimoite $Ag_7Pb_{10}Bi_{15}S_{36}$ (1977)

Монокл. с. *B*2/*m* или *Bm*; $a = 13{,}46$; $b = 30{,}19$; $c = 4{,}10$; $\beta = 93{,}35°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Ag 10,62; Pb 29,12; Bi 44,07; S 16,22. Примеси иногда достигают: Te 1,5, Sb 1, Cu 0,6.

Микр. [м]. Пластинчатые выделения, срастания с ширмеритом, густавитом, трежеритом. Отраж. близкое к галениту. Цв. белый; двуотраж. слабое; анизотропия умеренная. Неотличим от викингита и густавита. Сходные галеновисмутит, павонит, берриит мягче, козалит значительно мягче и более темный. VHN 162—223.

Нахожд. Редкий. В грейзеновых W-Sn и вулканогенных Au, Ag-Sn, Ag-Pb м-ниях; в криолитовых залежах; ассоц.: галенит-матильдитовые твердые растворы, козалит, густавит, другие сульфосоли Ag—Pb—Bi.

Рентген. 3,36 (10); 2,96 (5); 2,87 (6); 2,05 (5); 1,754 (5).

Викингит Vikingite $Ag_5Pb_8Bi_{13}S_{30}$ (1977)

Монокл. с. $B2/m$ или Bm; $a = 13{,}60$; $b = 25{,}25$; $c = 4{,}11$; $\beta = 95{,}50°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Ag 9,18; Pb 28,22; Bi 46,23; S 16,37. Содержания примесей достигают: Se 2,5; Te и Sb 1; Cu 0,5.

Микр [м]. Пластинчатые выделения, срастания с другими минералами гр. густавита, с галенит-матильдитовым твердым раствором, с сульфосолями Cu-Bi. Отраж., как у галенита (см. рис. 77). Цв. белый; двуотраж. и анизотропия очень слабые; VHN 153—207.

Нахожд. Редкий. В ассоц. с другими минералами гр. густавита, козалитом, галенит-матильдитовым твердым раствором в криолитовом м-нии *Ивигтут* (Гренландия) и вулканогенном м-нии Au в Ср. Азии.

Рентген. 3,40 (10); 2,91 (5); 2,06 (8); 1,754 (9).

Трежерит Treasurite $Ag_7Pb_6Bi_{15}S_{32}$ (1977)

Монокл. с. $B2/m$; $B2$ или Bm; $a = 13{,}35$; $b = 26{,}54$; $c = 4{,}09$; $\beta = 92{,}77°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Ag 12,26; Pb 20,18; Bi 50,90; S 16,66. Содержания примесей достигают: Se 2,5; Cu 2; Te и Sb 1,5.

Микр [м]. Пластинчатые выделения, срастания с другими минералами гр. густавита и с павонитом, замещает ширмерит. Практически неотличим от ширмерита, викингита, эскимоита, оурэйита.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных Au, Ag-Pb м-ниях. Впервые определен в музейном обр. ширмерита м-ния *Трежери* (США); описан в м-нии Ср. Азии и *Агенозава* (Япония).

Рентген. 3,63 (5); 3,49 (10); 3,22 (8); 2,93 (5); 2,86 (5); 2,82 (5); 1,989 (6); 1,955 (6).

Густавит Gustavite $AgPbBi_3S_6$ (1970)

Монокл. с. $P2_1/c$; $a = 7{,}08$; $b = 19{,}56$; $c = 8{,}27$; $\beta = 107{,}18°$; $Z = 4$; Bi-аналог андорита; выше 400° образует непрерывную серию твердых растворов с лиллианитом ($2Pb^{2+} \rightleftarrows Ag^{1+} + Bi^{3+}$).

Хим. Близок к теор.: Ag 9,51; Pb 18,26; Bi 55,27; S 16,96. Содержания примесей достигают: Sb 3; Se 2; Te и Cu 1.

Микр [м]. Пластинчатые агрегаты, срастания с павонитом, галенит-матильдитовым твердым раствором, минералами гр. густавита, гр. айкинита, берриитом, козалитом. Отраж. близкое к галеновисмутиту, несколько светлее козалита и айкинита; в положении R_g заметно светлее галенита, в положении R_p очень близок к галениту. Цв. бе-

лый; двуотраж. и анизотропия слабые. *H* близок к галеновисмутиту и гладиту, выше, чем у галенита; VHN 135—245, обычно 175—220.

Нахожд. Довольно распространенный. В вольфрамитовых и касситеритовых м-ниях грейзеновой формации, в сульфидно-касситеритовых, *Ag-Pb, вулканогенных Au м-ниях, в криолитовых залежах*; ассоц.: галенит-матильдитовые твердые растворы, павонит, минералы гр. густавита и гр. айкинита, козалит, висмутин, сульфосоли Cu-Bi, сульфотеллуриды Bi, арсенопирит.

Рентген. 3,38 (10); 3,01 (5); 2,91 (7); 2,05 (5); 1,756 (7).

СУЛЬФОСОЛИ Cu—Bi (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Cu (Fe) — Bi (Pb, Sb) — S)

Сульфовисмутиды Cu часто встречаются совместно, причем наиболее богатый медью минерал в гр.— виттихенит — преимущественно в условиях резкого преобладания в рудах минералов Cu над минералами Bi; эмплектит — наоборот, в рудах с висмутином. Все минералы гр. близки по свойствам. Имеют более низкое, по сравнению с другими минералами Bi, отраж.; величина отраж. находится в зависимости от относительного содержания Bi — самым низкоотраж. является виттихенит, наиболее бедный Bi минерал гр. Для всех минералов гр. характерны: отчетливый желтый отт. цв., умеренные двуотраж. и анизотропия, отсутствие в. р.

Виттихенит Wittichenite Cu_3BiS_3 (1853)

Ромб. с. $P\,2_12_12_1$; $a = 7{,}68$; $b = 10{,}35$; $c = 6{,}71$; $Z = 4$; устойчив ниже 525°, в ассоц. с халькозином ниже 390°.

Хим. Как правило, близок к теор.: Cu 38,46; Bi 42,15; S 19,39. Примеси достигают: As 9, Ag и Se 5, Pb 2, Sb 1. М-ние в Ср. Азии: Cu 35,05; Ag 4,73; Pb 0,09; Bi 41,21; S 19,35; Σ 101,43[мз]; ССМ; формула: $(Cu_{2,77}Ag_{0,22})_{2,99}Bi_{0,99}S_{3,02}$.

Микр. Таблитчатые выделения и агрегаты, каймы обрастания и замещения на минералах гр. айкинита, висмутине, халькопирите, срастания с висмутистой блеклой рудой, эмплектитом, субграфические срастания с борнитом, дигенитом, ламелли в борните. Среди минералов системы Cu—Bi—S самый темный по уровню отраж. (*R* 36—33 %), заметно светлее тетраэдрита (рис. 78). Цв. отчетливо коричневатый или оливково-коричневатый; двуотраж. слабое, анизотропия отчетливая. *R* свинцовисто-мышьяковистого виттихенита несколько понижено. *H* выше, чем у висмута и эмплектита, ниже, чем у тетраэдрита, близок к борниту. VHN 157—229, обычно 180—195; у серебросодержащего виттихенита 172—188. Полируется хорошо.

Отл. От висмутина и эмплектита отличается более низким R и по форме спектров отраж., от аннивита, тетраэдрита-Bi и теннантита-Bi— анизотропией и несколько большей величиной *R*; бурнонит зеленоватый и обычно сдвойникован.

Нахожд. Довольно широко распространен в гидротермальных ассоц. минералов Bi; обычно образуется при наложении висмутовой минерализации на халькопирит и блеклые руды, реже — медной ми-

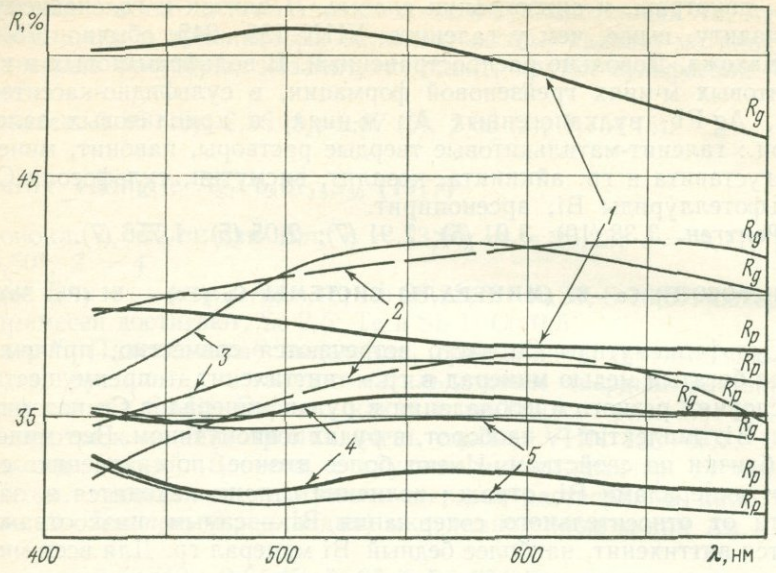


Рис. 78. Спектры отражения висмутина (1), купровисмутита (2), эмплектита (3), виттихенита (4), Ag-виттихенита (5)

нерализации на висмутин, козалит, минералы гр. айкинита, также при распаде высокотемпературных твердых растворов на основе борнита. В Cu (в т. ч. скарновых, медно-порфировых, в прожилках медистых сланцев), 5-элементной формации, W-Mo-Sn, Bi, Au (и плутоногенных и вулканогенных), Au-Ag (вулканогенных) м-ниях; ассоц.: халькопирит, борнит, халькозин, барит, энаргит, минералы гр. айкинита, теннантит-Bi, аннивит, эмплектит, сульфосоли Ag, михараит. В зоне цементации м-ний меди, богатых минералами Bi, гипергенный виттихенит замещает минералы гр. айкинита.

Изуч. Сп.-85-1 — *Виттихен* (ФРГ); сп.-85-2 — м-ние в Ср. Азии; *Ичкеульмес* (Каз.ССР).

Рентген. 4,55 (4); 3,83 (3); 3,19 (3); 3,08 (8); 2,85 (10); 2,66 (4); 2,39 (3); 1,895 (3); 1,762 (3); 1,681 (3). Примесь Ag заметно влияет на параметры решетки.

Эмплектит Emplectite $CuBiS_2$ или $Cu_{24}Bi_{26}S_{51}$ (1853)

Ромб. с. *Pnma*; $a = 6{,}14$; $b = 3{,}91$; $c = 14{,}53$; $Z = 4$; изоструктурен с халькостибитом; устойчив ниже 366°.

Хим. Теор. ($Cu_{24}Bi_{26}S_{51}$): Cu 17,74; Bi 63,23; S 19,03. Содержания примесей достигают: Ag 4,5; Se 3; Fe 2; Pb 1,5; Sb 1.

Микр. Сноповидно-пластинчатые выделения, таблитчатые и игольчатые кристаллы, каймы обрастания на виттихените. Отраж. умеренное, ниже, чем у галенита, близкое к R_p висмутина. Цв. желтоватый, в контакте с висмутином отчетливый кремово-желтый; двуотраж. слабое, в иммерсии с изменением цв. от желтоватого до бледного го-

лубовато-зеленоватого. Анизотропия умеренная с цв. эфф. в синевато-зеленых, оливково-желтых тонах. Спектры отраж. имеют широкий (пологий) максимум в желтой области (см. рис. 78). Иногда наблюдаются сп., ‖ удлинению, и пластинчатые дв. *Н* ниже, чем у висмутина, близок к виттихениту; VHN 157—232, обычно 175—185.

Нахожд. Довольно широко распространен в гидротермальной минерализации м-ний: грейзеновых W, Mo, Sn; скарновых Cu, Pb, W; *гидротермальных Bi; 5-элементной формации; вулканогенных* Ag-Bi-Sn, Au, Au-Ag, колчеданно-полиметаллических, барит-полиметаллических; нередко, как и виттихеит, может быть реакционным образованием; ассоц.: висмутин, галеновисмутит, галенит, сульфотеллуриды Bi, минералы гр. айкинита, виттихенит, теллуристый тетраэдрит, моусонит, колусит.

Изуч. Сп.-477 — м-ние в Ср. Азии.

Рентген. 7,38 (5); 3,23 (9); 3,13 (7); 3,05 (10); 2,34 (5); 2,17 (4); 1,863 (3); 1,804 (3).

Купровисмутит Cuprobismutite $Cu_{10}Bi_{12}S_{23}$ или $Cu_6Bi_8S_{15}$

Монокл. с. *C2/m*; $a = 17{,}52$; $b = 3{,}93$; $c = 15{,}26$; $\beta = 100{,}18°$; $Z = 1$; устойчив ниже 442—474°.

Достоверный природный купровисмутит минераграфически не изучен; другие сведения, приводимые в литературе по этому минералу, разноречивы; бо́льшая часть данных относится к синт. материалу. Купровисмутит был описан В. Гиллербрандом в 1883 г.; в 1934 г. дискредитирован М. Н. Шортом и в 1940 г.— Ч. Пэлачем как смесь висмутина и эмплектита; в 1952 г. восстановлен Е. Ф. Наффилдом. Определение структуры было выполнено в 1976 г. на синт. материале состава $Cu_{2{,}58}Bi_{3{,}14}S_6$, который авторы рассматривали как аналог природного купровисмутита. Имеются и другие написания формулы минерала.

Хим. Теор. ($Cu_{10}Bi_{12}S_{23}$): Cu 16,38; Bi 64,62; S 19. Примеси Ag (до 1 %) Sb, Se, As, Fe, Zn.

Микр. Зернистые агрегаты, удлиненные до игольчатых кристаллы *и их скопления. Отраж. несколько ниже*, чем у *галенита*, 41—37 % (см. рис. 78); двуотраж. и анизотропия заметные. Отмечались полисинт. дв. VHN 115—160.

Нахожд. В м-ниях W (грейзеновой формации), Cu, Cu-Bi; ассоц.: халькопирит, висмутин, висмут, вольфрамит, минералы гр. айкинита, эмплектит.

Рентген. 4,31 (3); 3,65 (4ш); 3,23 (4); 3,10 (10); 2,73 (6); 1,961 (3); 1,719 (3).

Ходрушит Hodrushite Cu_4 (Bi, Fe) Bi_5S_{11} (1968)

Монокл. с. A 2/*m*; $a = 27{,}21$; $b = 3{,}93$; $c = 17{,}58$; $\beta = 92{,}15°$; $Z = 2$; *структура близка к структуре купровисмутита.*

Хим. *Банска-Ходруша* (ЧССР): Cu 13,88; Fe 0,44; Ag 0,24; Bi 64,92; Pb 0,47; S 18,98; Σ 98,93[мз]; формула: $(Cu_{4{,}04}Ag_{0{,}04})_{4{,}08}\ (Bi_{0{,}80}Fe_{0{,}15})_{0{,}95} \times (Bi_{4{,}96}Pb_{0{,}04})_5S_{10{,}97}$.

Микр [м]. Игольчатые кристаллы, агрегаты. Отраж. умеренное, близкое к галениту, незначительно ниже. Цв. светло-серый с кремово-розовым отт; двуотраж. заметное; анизотропен в блеклых тонах. VHN 185—215. Сходен с купровисмутитом.

Нахожд. В единственном м-нии *Банска-Ходруша*, в кварцевых жилах в ассоц. с виттихенитом, гематитом, халькопиритом.

Рентген. 3,62 (8); 3,48 (5); 3,22 (7); 3,10 (10); 2,715 (8); 2,545 (4ш); 1,722 (4); сходна с рентгенограммой купровисмутита.

Михараит Miharaite $Cu_4FePbBiS_6$ (1980)

Ромб. с. *Pbmm*, *Pb2m* или *Pb*2_1*m*; $a = 10{,}85$; $b = 11{,}98$; $c = 3{,}87$; $Z = 2$.

Хим. Близок к теор.: Cu 27,67; Fe 6,08; Pb 22,56; Bi 22,75; S 20,94. Примеси Ag, Sb, As, Se. М-ние в Ср. Азии: Cu 27,04; Ag 0,50; Fe 6,22; Pb 22,30; Bi 23,08; S 21,18; Σ 100,32[мз]; ССМ; формула: $(Cu_{3,90}Ag_{0,04})_{3,94}Fe_{1,02}Pb_{0,98}Bi_{1,01}S_{6,05}$.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения в срастании с виттихенитом, борнитом. Отраж. умеренно низкое, несколько выше, чем у тетраэдрита, такое же, как у виттихенита. Цв. светло-серый, в контакте с виттихенитом отчетливо нежно-розоватый; виттихенит рядом с михараитом желтоватый. Двуотраж. очень слабое, в воздухе может быть не замечено. Анизотропия умеренная, в блеклых розовато-коричневатых тонах. Спектры отраж. R_g и R_p//, имеют слабоаномальный про-

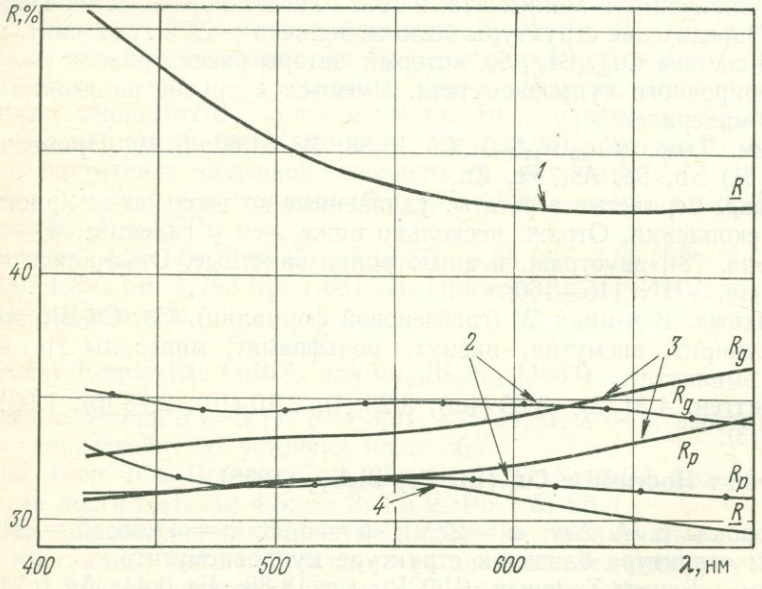


Рис. 79. Спектры отражения галенита (1) Ag-виттихенита (2), михараита (3), тетраэдрита (4)

филь с легким прогибом в желто-зеленой области (рис. 79). *H* несколько выше, чем у виттихенита; VHN 181—230. Полируется хорошо.

Отл. Сходный виттихенит травится HNO_3 и KCN (на михараит не действуют); различаются по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Известен в нескольких м-ниях, однако, очевидно, не редок. Характеризуется исключительным постоянством состава и минеральных парагенезисов. Установлен в полиметаллических рудах и в поздних гидротермальных ассоц. скарнов, в W, Cu, Au, Au-Ag рудах; ассоц.: борнит, виттихенит (часто богатый Ag), халькопирит, блеклая руда, галенит, айкинит, энаргит, кёстерит, станноидит, гессит, теллуровисмутит, сульфиды Ag. Возможно, частично образуется при распаде высокотемпературных твердых растворов на основе борнита.

Изуч. Сп.-253 — м-ние в Ср. Азии, колл. В. М. Мясникова.

Рентген. 3,75 (6); 3,25 (7); 3,11 (5); 3,03 (10); 3,00 (9); 2,68 (8); 2,18 (6); 1,935 (7).

Гаравеллит Garavellite $FeBiSbS_4$ (1979)

Ромб. с. *Pnam*; $a = 11{,}44$; $b = 14{,}09$; $c = 3{,}75$; $Z = 4$; структура близка к бертьериту; Bi — аналог бертьерита.

Хим. Теор.: Bi 40,59; Sb 23,65; Fe 10,85; S 24,91. Примеси Cu, As, Se.

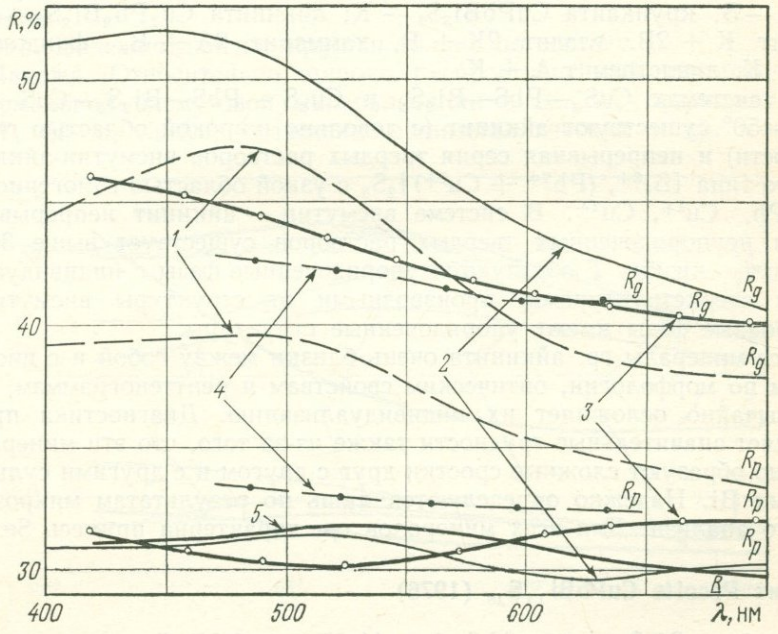


Рис. 80. Спектры отражения халькостибита (1), антимонита (2), бертьерита (3), гаравеллита (4), тетраэдрита (5)

Микр м. Ксеноморфные выделения, мелкозернистые агрегаты, игольчатые кристаллы. По уровню отраж. близок к бертьериту (рис. 80). *Двуотраж. отчетливое — от светло-серого (бесцветного)* до оливково-коричневатого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневатых, голубоватых тонах. *H* выше, чем у висмутина, несколько выше, чем у халькопирита, и ниже, чем у тетраэдрита; VHN 212—222.

Отл. От бертьерита отличается буровато-зеленым отт. (бертьерит *розоватый*).

Нахожд. Известен в единственном гидротермальном м-нии Италии; ассоц.: сурьмянистый висмутин, тетраэдрит, халькопирит, теллуриды Bi, пирротин, галенит, менегинит, ваэсит, ульманит, сидерит.

Рентген. 14,0 (5); 7,08 (5); 3,62 (10); 3,49 (5); 3,34 (5); 3,20 (10); *3,10 (5); 2,98 (8); 2,89 (8); 2,63 (10); 2,51 (10); 2,16 (5); 1,677 (5);* по рентгенограмме близок к бертьериту.

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ АЙКИНИТА (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Cu—Pb—Bi—S, Se)

Структуры минералов гр. близки к висмутину. Практически весь ряд айкинит-висмутин описывается общей формулой $Cu_xPb_xBi_{12-x}S_{18}$ ($x = 0$ — висмутин; $x = 1$ — пекоит; $x = 2$ — гладит; $x = 3$ — крупкаит; $x = 4$ — *хаммарит*; $x = 5$ — *фридрихит*; $x = 6$ — айкинит). Кристаллические структуры минералов представляют различные сочетания структурных лент (блоков) трех минералов (висмутина Bi_4S_6 — B, крупкаита $CuPbBi_3S_6$ — K; айкинита $Cu_2Pb_2Bi_2S_6$ — A): пекоит K + 2B, гладит 2K + B, хаммарит 2A + B, фридрихит 2A + K, линдстремит A + K.

В системах CuS_2—PbS—Bi_2S_3 и Cu_2S — PbS—Bi_2S_3—CuS при 440—450° существуют айкинит (с довольно широкой областью гомогенности) и непрерывная серия твердых растворов висмутин-айкинитового типа $[Bi^{3+}, (Pb^{2+} + Cu^{1+})]_2S_3$ с узкой областью гомогенности по Pb, Cu^{1+}, Cu^{2+}. В системе висмутин — айкинит непрерывная серия неупорядоченных твердых растворов существует выше 300°; по более низких *T* образуются упорядоченные фазы с индивидуальными сверхструктурами, производными от структуры висмутина. Природные фазы имеют упорядоченные структуры.

Все минералы гр. айкинита очень близки между собой и с висмутином по морфологии, оптическим свойствам и рентгенограммам, что чрезвычайно осложняет их индивидуализацию. Диагностика представляет значительные трудности также из-за того, что эти минералы обычно образуют сложные сростки друг с другом и с другими сульфосолями Bi. Надежно определяются лишь по результатам микрозондового анализа. Для всех минералов гр. характерна примесь Se.

Пекоит Pecoite $CuPbBi_{11}S_{18}$ (1976)

Ромб. с. *Pb* 2_1m; $a = 33{,}5$; $b = 11{,}32$; $c = 3{,}99$; $Z = 2$; у пекоита с Se (9,5 % или 4 ф. е.): $a = 33{,}74$; $b = 11{,}47$; $c = 4{,}02$; $T_{пл.}$ 670°.

Хим. Теор.: Cu 2,0; Pb 6,6; Bi 73,1; S 18,3. Примесь Se до 10 %. Содержит CuS (до 1,9 %) в твердом растворе.

Микр. Весьма похож на висмутин. VHN 170—245.

Нахожд. Известен в Bi-рудах; ассоц;: висмутин, джуноит и др. минералы гр. айкинита, эмплектит, блеклые руды. По-видимому, широко распространен, принимался за Cu- и Pb-содержащий висмутин.

Рентген. 3,59 (3); 3,14 (10); 3,02 (4); 1,971 (3).

Гладит Gladite $CuPbBi_5S_9$ (1924)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 33{,}5$; $b = 11{,}5$; $c = 4{,}00$; $Z = 4$; $T_{пл.}$ 650°.

Хим. Обычно близок к теор.: Cu 4,0; Pb 12,9; Bi 65,1; S 18,0. Нередко часть Pb замещена Bi или наоборот. Содержит CuS (до 2,8 %), в твердом растворе Se до 3 %. *Ичкеульмес* (КазССР): Cu 4,45; Fe 0,10; Pb 10,98; Bi 66,05; S 18,35; Σ 99,93; ШНГ; формула: $(Cu_{1,10}Fe_{0,03})_{1,13}Pb_{0,84}Bi_{4,99}S_{9,04}$.

Микр. Таблитчатые и пластинчатые выделения, агрегаты, метасоматические вростки и прожилки. Отраж. умеренно высокое, несколько выше, чем у галенита. Отчетливо двуотраж. от голубовато-сероватобелого до кремово-белого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневато-бурых и голубовато-серых тонах. Спектры отраж. сходны с висмутином, особенно кривая R_g, отличается небольшим максимумом в крайней синей области (рис. 81). Величина R_g гладита заметно выше, чем у айкинита. *H* ниже, чем у айкинита, близок к висмутину; VHN 58—215, обычно 90—150. Полируется хорошо, легко переполировывается.

Отл. Надежно диагностируется только по составу.

Нахожд. Относительно широко распространенный минерал гидротермальной висмутовой минерализации в Bi, W, скарновых Cu, Cu-W, Cu-Co, Cu-Au, колчеданно-полиметаллических и др. м-ниях;

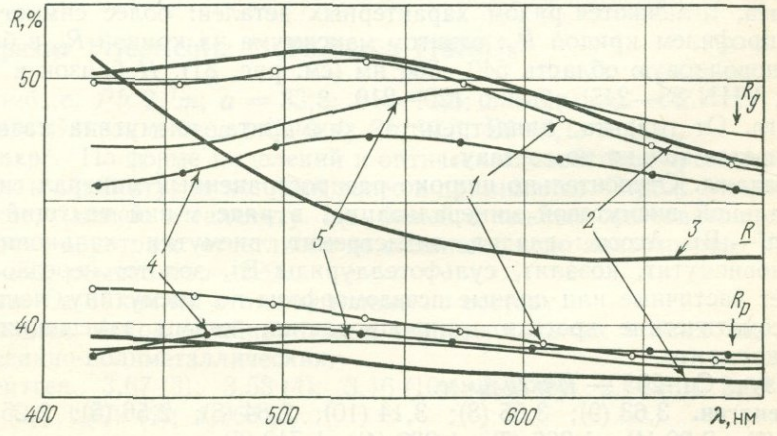


Рис. 81. Спектры отражения гладита (1), висмутина (2), галенита (3), айкинита (4), крупкаита (5)

чаще образуется при наложении висмутовой минерализации на более ранние халькопирит и блеклые руды или при наложении медной минерализации на более ранний висмутин; ассоц.: халькопирит, крупкаит, пекоит, висмутин, виттихенит, эмплектит, сульфосоли Bi и Pb, Bi, Pb, Cu и Ag, висмутистые блеклые руды, кобальтин, магнетит, карбонаты, хлорит; нередко содержит тонкие вростки золота; в некоторых м-ниях — ведущий минерал Bi. В зоне цементации замещается гипергенным виттихенитом.

Изуч. Сп.-114 — *Ичкеульмес* (КазССР).

Рентген. Сп.-114: 5,65 (2) (020); 5,05 (1,5) (320); 3,97 (3) (620); 3,78 (1) (011); 3,75 (0,5) (301); 3,73 (1) (900); 3,558 (10) (330); 3,530 (7) (910); 3,270 (1) (021); 3,251 (1) (601); 3,117 (5) (611); 2,849 (1) (040); 2,809 (3) (621); 2,792 (1) (12.00); 2,714 (1) (901); 2,641 (1) (930); 2,545 (2) (640); 2,520 (4) (12.20); 2,464 (0,5) (631); 2,453 (0,5) (921); 2,325 (0,5) (041); 2,270 (1) (341); 2,208 (2) (931); 2,189 (0,5) (15.10); 2,123 (1) (12.21); 2,077 (1) (15.20); 1,991 (1) (002); 1,985 (1) (051); 1,951 (3) (351); 1,928 (2) (312); 1,920 (2) (15.30); 1,882 (2) (022); 1,856 (1) (18.00); a = = 33,38; b = 11,435; c = 3,980.

Крупкаит Krupkaite $CuPbBi_3S_6$ (1974)

Ромб. с. $Pb2_1m$ ($Pmc2_1$); a = 11,2; b = 11,5; c = 4,0; Z = 2 $T_{пл}$ 627°.

Хим. Обычно близок к теор.: Cu 5,8; Pb 19,0; Bi 57,5; S 17,7. Примеси Se, Ag, Fe (до 1 %), CuS (до 6,9 %). *Ичкеульмес* (КазССР): Cu 5,61; Ag 0,01; Fe 0,05; Hg 0,03; Pb 18,50; Bi 58,28; Sb 0,07; S 17,88; Se 0,51; Te 0,04; Σ 100,93[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{0.95}Fe_{0.01})_{0.96}Pb_{0.96}$ $(Bi_{3.00}Sb_{0.01})_{3.01}$ $(S_{6.00}Se_{0.07})_{6.07}$.

Микр. По форме выделений и оптическим свойствам чрезвычайно похож на гладит. Величина относительного двуотраж. несколько меньше, чем у гладита. Спектры отраж. крупкаита близки к спектрам гладита, отличаются рядом характерных деталей: более симметричным профилем кривой R_g; сдвигом максимума на кривой R_g в более длинноволновую область 540—560 нм (см. рис. 81). H близок к гладиту; VHN 85—245, обычно 120—210.

Отл. От гладита, линдстремита, хаммарита, висмутина надежно отличается только по составу.

Нахожд. Относительно широко распространенный минерал гидротермальной висмутовой минерализации, в ряде м-ний ведущий минерал — Bi. Ассоц.: гладит, линдстремит, висмутин, халькопирит, галеновисмутит, козалит, сульфотеллуриды Bi, золото; нередко образует частичные или полные псевдоморфозы по висмутину, чаще — метасоматические вростки, микропрожилки, каймы замещения на халькопирите.

Изуч. Сп.-203 — *Ичкеульмес*.

Рентген. 3,63 (9); 3,55 (8); 3,14 (10); 2,84 (8); 2,56 (5); 2,25 (4); 2,13 (6); 2,00 (4); 1,966 (7); 1,930 (4); 1,749 (6).

Линдстрёмит Lindstromite $Cu_3Pb_3Bi_7S_{15}$ (1924)

Ромб. с. *Pbnm* (*Pb*2_1*m*); $a = 56{,}1$; $b = 11{,}57$; $c = 4{,}00$; $Z = 4$; $T_{пл.}$ 579°.

Хим. Теор.: Cu 6,9; Pb 22,6; Bi 53,1; S 17,4. Примеси Se, Sb, Fe; CuS (до 3,4 %), в твердом растворе.

Микр. Обычно в тесных и тонких срастаниях с другими минералами гр. айкинита, от которых оптически неотличим. Спектры отраж. очень близки к крупкаиту. VHN 145—265.

Нахожд. Совместно с другими сульфосолями Cu-Pb-Bi и Pb-Bi; как правило, содержит микровростки (ламелли) крупкаита.

Рентген. 3,66 (7); 3,57 (7); 3,17 (7); 3,15 (10); 2,85 (7).

Хаммарит Hammarite $Cu_2Pb_2Bi_4S_9$ (1924)

Ромб. с. *Pbnm* (*Pnam*); $a = 33{,}5$; $b = 11{,}58$; $c = 4{,}01$; $Z = 4$; $T_{пл.}$ 555°.

Хим. Обычно близок к теор.: Cu 7,7; Pb 24,9; Bi 50,2; S 17,3. Нередко содержит Se (до 14 %).

Микр. Неправильной формы и таблитчатые выделения, метасоматические вростки и прожилки, короткопризматические и игольчатые кристаллы, включения (в айкините). Отраж. умеренно высокое; двуотраж. сильное с плеохроизмом от голубовато-серовато-белого до кремоватого; отчетливо анизотропен. VHN 135—190.

Отл. Весьма сходен с айкинитом, хаммарит отличается несколько более высоким отраж. и менее насыщенным кремовым отт.

Нахожд. Вероятно, довольно широко распространенный минерал гидротермальной Bi минерализации; часто принимается за айкинит. Ассоц.: айкинит, халькопирит, козалит, галеновисмутит, лиллианит, галенит.

Рентген. 4,01 (9); 3,63 (10); 3,56 (8); 3,14 (10); 2,73 (8).

Фридрихит Friedrichite $Cu_5Pb_5Bi_7S_{18}$ (1978)

Ромб. с. *Pb* $2_1/m$; $a = 33{,}8$; $b = 11{,}6$; $c = 4{,}01$; $Z = 2$.

Хим. Близок к теор.: Cu 9,4; Pb 30,5; Bi 43,1; S 17,0.

Микр^{м}. По форме выделений и оптическим свойствам чрезвычайно близок к айкиниту, за который ранее и принимался. Отраж. умеренно высокое, близкое к галениту. Цв. белый с нежным желтовато-кремовым отт.; двуотраж. отчетливое до сильного; ясно анизотропен. VHN 175—250, обычно 190—220.

Отл. От айкинита отличим только по составу.

Нахожд. Ассоц. с айкинитом в гидротермальных м-ниях Bi, Au, колчеданно-полиметаллических.

Рентген. 3,67 (3); 3,58 (4); 3,16 (10); 2,85 (5); 2,74 (3); 2,67 (3); 1,981 (3); 1,879 (3); 1,760 (3).

Айкинит Aikinite $CuPbBiS_3$ (1843)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 11{,}3$; $b = 11{,}65$; $c = 4{,}0$; $Z = 4$; $T_{пл.}$ 540°.

Хим. Близок к теор.: Cu 11,0; Pb 36,0; Bi 36,3; S 16,7. Примеси Sb до 3 %, Se до 6 %. *Березовское* (Урал): Cu 10,94; Ag 0,05; Fe 0,09; Pb 36,15; Bi 35,98; Sb 0,12; S 16,93; Se следы, Te 0,08; Σ 100,34[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{0,98}Fe_{0,01})_{0,99}Pb_{1,00}[(Bi_{0,98}Sb_{0,01})_{0,99}S_{3,02}$.

Микр. Зернистые агрегаты, метасоматические вростки, прожилки, каймы замещения, призматические и игольчатые кристаллы, мирмекитовые и пойкилитовые микросрастания (чаще с галенитом, реже с козалитом). Отраж. умеренно высокое, выше, чем у галенита. Двуотраж. отчетливое до сильного с изменением цветовой тональности от нежно-лимонно-желтого до серовато-кремового. Сильные эффекты анизотропии. Спектр R_g характеризуется пологим максимумом в желто-зеленой области, спектр R_p близок к горизонтальной линии (см. рис. 81). *H* выше, чем у галенита, ниже, чем у халькопирита, близок (несколько выше) к висмутину; VHN 140—285, обычно 180—240.

Отл. От других минералов группы несколько отличается более ярким желто-кремовым отт., пониженной величиной R_g. От сходного козалита отличается кремовым отт., более отчетливым двуотраж., по спектрам отраж. Надежно диагностируется по составу.

Нахожд. Довольно широко распространен в составе гидротермальной висмутовой минерализации, во многих м-ниях Bi, Au, W, Mo, Cu—Mo, 5-элементной формации. Ассоц.: галенит, тетраэдрит, золото, халькопирит, козалит, сфалерит, тетрадимит, фридрихит, хаммарит, сульфосоли Ag.

Изуч. Сп.-з — *Березовское*; *Тары-Экан* (Ср. Азия).

Рентген. Сп.-з: 5,17 (1) (120); 4,07 (5) (220); 3,81 (2) (101); 3,68 (10) (130); 3,62 (6) (111); 3,59 (7) (310); 3,32 (1) (021); 3,19 (8) (121);3,17 (8) (211); 2,90 (0,5) (040); 2,88 (7) (221); 2,84 (0,5) (400); 2,76 (1) (401); 2,69 (4) (311); 2,59 (5) (240); 2,56 (1) (420); 2,51 (2) (231); 2,36 (1) (041); 2,32 (0,5) (141); 2,28 (2) (411); 2,25 (0,5) (331); 2,18 (2) (241); 2,16 (3) (421); 2,025 (4) (440, 002); 1,991 (5) (431, 151); 1,959 (5) (530); 1,890 (3) (600, 202); 1,810 (1) (441, 222); 1,771 (2) (132); 1,763 (2) (312, 531); 1,730 (0,5) (161, 360); 1,661 (0,5) (042); 1,643 (0,5) (451, 402); 1,600 (3) (270, 460, 710); 1,530 (4) (171, 370); $a = 11{,}35$; $b = 11{,}64$; $c = 4{,}051$.

В гр. айкинита ранее был описан рецбаниит; детальными исследованиями не подтверждена самостоятельность минерального вида; по составу одни образцы близки к гладиту, другие — к крупкаиту.

К минералам гр. айкинита близки проудит, нордстремит, нейит, джуноит, наффильдит, берриит.

Проудит Proudite $Cu_2Pb_{15}Bi_{18}(S, Se)_{43}$ (1976)

Монокл. с. *P* $2_1/m$; $a = 19{,}0$; $b = 4{,}09$; $c = 74{,}7$; $\beta = 119{,}3°$; структура близка к структуре джуноита.

Хим. Теор. для бесселенистой разновидности: Cu 1,5; Pb 37,1;

Bi 44,9; S 16,5. Минерал обычно содержит Cu меньше, чем следует из формулы; Se до 7—16 %.

Микр [м]. Чрезвычайно похож на виттит, козалит, джуноит.

Нахожд. Единственная находка в селенидно-висмутовых рудах золото-медно-магнетитового м-ния *Джуно* (Австралия); ассоц.: джуноит, минералы гр. айкинита, халькопирит, золото.

Рентген. 3,83 (5); 3,49 (6); 2,96 (10); 2,07 (6); 2,05 (9).

Нордстремит Nordströmite $CuPb_3Bi_7(S, Se)_{14}$ (1980)

Монокл. с. $P2_1/m$; $a = 18{,}0$; $b = 4{,}11$; $c = 17{,}6$; $\beta = 94{,}3°$; $Z = 2$.

Хим. Теор. для бесселенистой разновидности: Cu 2,4; Pb 23,9; Bi 56,3; S 17,3. Содержания Se до 12 %.

Микр. Сходен с минералами гр. айкинита и Pb-Bi сульфосолями. VHN 130—143.

Нахожд. Совместно с другими минералами Bi в гидротермальных Pb-Zn и колчеданно-полиметаллических м-ниях.

Нейит Nayite $(Cu, Ag)_2Pb_7Bi_6S_{17}$ (1969)

Монокл. с. $C\,2/m$; $a = 37{,}5$; $b = 4{,}07$; $c = 41{,}6$; $\beta = 96{,}8°$; $Z = 8$.

Хим. Теор. для разновидности без серебра: Cu 3,8; Pb 43,0; Bi 37,1. Примеси Ag (до 5 %), Se.

Микр. Сходен с козалитом, наффилдитом.

Нахожд. Совместно с другими сульфосолями в гидротермальных Bi, Au-Ag, Pb-Zn м-ниях.

Рентген. 3,72 (10); 3,51 (10); 2,92 (10); 2,27 (5); 2,08 (5); 2,04 (6).

Джуноит Junoite $Cu_2Pb_3Bi_8(S, Se)_{16}$ (1975)

Монокл. с. $C2/m$; $a = 26{,}6$; $b = 4{,}1$; $c = 17{,}0$; $\beta = 127°$; $Z = 2$; с ростом содержания Se параметры решетки увеличиваются.

Хим. Теор. бесселенистой разновидности: Cu 4,3; Pb 21,2; Bi 57,0; S 17,5. Содержания Se до 15 % ($\sim$ 6 ф. е.).

Микр [м]. Таблитчато-призматические, зернистые агрегаты. Отраж. умеренно высокое, близкое к висмутину. Двуотраж. отчетливое от белого до кремово-белого. Сильно анизотропен в серовато-зеленоватых, лиловато-серых тонах. Хорошо выражена сп. вдоль удлинения таблитчатых зерен. VHN 114—213.

Нахожд. В составе селенидно-висмутовой минерализации, наложенной на халькопирит-магнетитовые скарны и иные метасоматиты, а также в вулканогенных медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических м-ниях; ассоц.: халькопирит, магнетит, хлорит, минералы гр. айкинита, виттит, лайтакарит, проудит, борнит, золото.

Рентген. 3,90 (8); 3,55 (10); 3,23 (5); 2,97 (5); 2,92 (7).

Наффилдит Nuffieldite $Cu_4Pb_{10}Bi_{10}S_{27}$ (1968)

Ромб. с. *Pbnm* (*Pnam* ?); $a = 14{,}4$; $b = 21{,}0$; $c = 4{,}05$; $Z = 1$.

Хим. Теор.: Cu 4,8; Pb 39,2; Bi 39,6; S 16,4. Содержания Pb и Bi несколько варьируют. Примеси Se, Ag, Fe, Sb. *Ичкеульмес* (КазССР): Cu 4,61; Ag 0,42; Fe 0,08; Pb 38,94; Bi 39,81; Sb 0,05; S 15,65; Se 0,51; Te следы; Σ 100,98[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{3,78}Ag_{0,20}Fe_{0,07})_{4,05}Pb_{9,78}(Bi_{9,92}Sb_{0,02})_{9,94}(S_{26,89}Se_{0,34})_{27,23}$.

Микр [м]. Мелкие призматические, игольчатые, пластинчатые выделения, метасоматические вростки, прожилки, каемки замещения. Отраж. умеренно высокое. Двуотраж. заметное с плеохроизмом от белого или серовато-голубоватого до желтовато-кремового; отчетливо анизотропен. Спектры отраж. сходны со спектрами гладита, отличаются несколько меньшими (< 45 %) значениями R_g и крайне малыми (38—39 %) вариациями величины R_p. Сов. сп. // удлинению призматических зерен. *H* близок к минералам гр. айкинита.

Нахожд. Редкий. Развит совместно с Cu-Pb-Bi и Pb-Bi сульфосолями, халькопиритом, магнетитом, хлоритом, кобальтином; в грейзеновых и кварцево-жильных W, Mo-W, Sn-Mo-W м-ниях с висмутином и теллуридами Bi, в участках наложения поздней медной минерализации; в скарновых магнетит-халькопиритовых м-ниях в участках наложения поздней висмутовой минерализации.

Изуч. Сп.-274 — *Ичкеульмес*.

Рентген. *4,00 (9); 3,66 (10); 3,54 (10); 3,16 (8); 2,54 (7).*

Берриит Berryite $(Cu, Ag)_3Pb_2Bi_5S_{11}$ (1966)

Монокл. с. $P2_1/m$; $a = 12{,}7$; $b = 4{,}02$; $c = 58{,}1$; $\beta = 102{,}5°$; $Z = 6$.

Хим. Теор. для разновидности без серебра: Cu 9,5; Pb 20,7; Bi 52,2; S 17,6. Примеси Ag до 8 %, Sb, Te, Se.

Микр. Призматические и удлиненно-призматические зерна, реже зернистые агрегаты, метасоматические вростки, мирмекитовые срастания (с галенитом). Отраж. умеренно высокое, близкое к висмутину, гладиту, матильдиту (см. рис. 77). Цв. голубовато-зеленоватый, в контакте с айкинитом выглядит чисто белым. Двуотраж. более слабое, чем у айкинита, гладита, висмутина, но сильнее, чем у матильдита. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в голубоватых, светло-желтых тонах, более чистых, чем у минералов гр. айкинита. Часто обнаруживается тонкое полисинт. дв. VHN 160—210.

Нахожд. Относительно редкий. В состав гидротермальной висмутовой минерализации в м-ниях различногот ипа: скарновых Fe-Cu, Fe-Cu-Co; жильных висмутовых, золотых, в криолитовых залежах Гренландии; ассоц.: айкинит, матильдит, галенит, халькопирит, гематит, блеклая руда, золото.

Рентген. 3,47 (10); 2,89 (8); 2,80 (7); 2,18 (4); 2,00 (4).

СУРЬМЯНЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Pb

Сурьмяные сульфосоли свинца представляют довольно обширную гр. широко распространенных рудных минералов. В соответствии с особенностями структур, которые определяют внешний облик

кристаллов, принято выделять игольчатые (буланжерит, фалькманит, робинсонит, цинкенит) и таблитчатые (семсейит, гетероморфит, плагионит, фюлеппит) Pb-Sb сульфосоли. Близость химических составов и родство структур определили сходство оптических и других физических свойств минералов гр. Такие свойства, как плотность, отраж., VHN, находятся в определенной связи с величиной $PbS : Sb_2S_3$, которая изменяется от 5 : 1 (в геокроните, самом богатом Pb минерале гр.) до 0,75 : 1 (в фюлёппите, самом бедном Pb и самом богатом Sb минерале гр.). В большинстве гидротермальных м-ний (полиметаллических, колчеданно-полиметаллических, плутоногенных Au и др.) в ходе рудообразования галенит является относительно ранним, Pb-Sb сульфосоли — более поздними, антимонит — наиболее поздним образованиями; в этих м-ниях последовательность формирования Pb-Sb сульфосолей примерно отвечает снижению в их составе величины $PbS : Sb_2S_3$. В некоторых телетермальных и вулканогенных Pb, Sb, Hg, Ag м-ниях установлен обратный или более сложный ход рудообразования, когда антимонит и Pb-Sb сульфосоли замещаются галенитом. У всех минералов гр. в. р. густые красные.

Во всех рассматриваемых ниже группировках минералы систематизированы в последовательности уменьшения в их составе величины $PbS : Sb_2S_3$. Здесь же в этой системе обсуждаются бертьерит, антимонит, метастибнит, обычно ассоц. с богатыми сурьмой сульфоантимонидами Pb.

Буланжерит Boulangerite $Pb_5Sb_4S_{11}$ (1837)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 21{,}24$; $b = 23{,}51$; $c = 4{,}036$; $Z = 4$; устойчив ниже 637°.

Хим. Близок к теор.: Pb 55,42; Sb 25,69; S 18,89. Содержания примесей обычно незначительны: Bi <0,1 (редко до 5), As <0,5 (редко до 6), Ag — до 2,5; микропримеси Fe, Cu, Zn, Sn; особенно характерной примесью в буланжерите является Tl. *Тамдыкол* (Ср. Азия): Pb 55,24; Ag 0,04; Cu 0,01; Fe 0,22; Zn 0,10; Sb 25,0; As 0,52; S 18,21; н. о. 0,62; Σ 99,96; ПАИ; формула: $(Pb_{5,07}Ag_{0,01}Fe_{0,07}Zn_{0,03})_{5,18}\ (Sb_{3,90}As_{0,13})_{4,03}S_{10,79}$.

Микр. Призматические, спутанно-волокнистые, зернистые агрегаты, игольчатые кристаллы (почти всегда без конечных ограничений), *ксеноморфные выделения, мирмекитовые и субграфические срастания* с галенитом, ламелли в галените. Отраж. умеренно высокое (44—36 %), близкое к галениту. Цв. в контакте с галенитом нежно-зеленоватый, зеленовато-серый, голубовато-зеленоватый. Двуотраж. отчетливое до сильного; анизотропия умеренно сильная с цв. эфф. в желтовато-коричневых, голубовато-зеленоватых, серовато-синих тонах. Спектры отраж. нормального профиля, практически ‖ (рис. 82). Сп. в одном направлении (по удлинению). *H* несколько ниже, чем у галенита; VHN 110—185, обычно 125—170, у висмутистого буланжерита — 100—165. Полируется лучше галенита.

Отл. От сходного джемсонита отличается более сильными эффектами двуотраж. и анизотропии, по спектрам отраж., повышенной тв.,

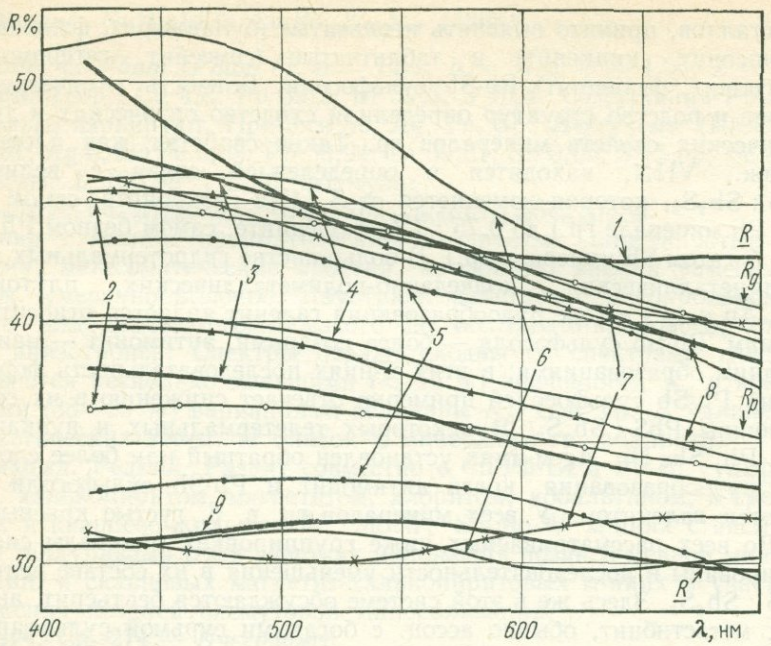


Рис. 82. Спектры отражения галенита (1), менегинита (2), буланжерита (3), джемсонита (4), плагионита (5), антимонита (6), бертьерита (7), цинкенита (8)

отсутствием поперечной сп. и дв., столь характерных для джемсонита; от семсейита — игольчатой, призматической формой выделений. В отличие от джемсонита и робинсонита не травится КОН. От менегинита надежно отличается по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Наиболее распространенная сурьмяная сульфосоль Pb во многих типах гидротермальных м-ний: полиметаллических, колчеданно-полиметаллических, Ag, Au, Sn, Cu; ассоц.: галенит, геокронит, менегинит, бурнонит, робинсонит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит. Висмутистый буланжерит известен в гидротермальных Bi, Cu-Bi, колчеданно-полиметаллических (с обильной Bi минерализацией) м-ниях.

Изуч. Сп.-62 — *Тамдыкол*; м-ния Алайского хр., Нагольного кряжа, ЧССР, Италии, Великобритании.

Рентген. 3,72 (10); 3,33 (3); 3,22 (5); 3,03 (4); 2,82 (8); 2,67 (3); 2,34 (5); 2,15 (4); 1,866 (7); 1,757 (6).

Фалькманит Falkmanite $Pb_3Sb_2S_6$ (или $Pb_5Sb_4S_{11}$) (1940)

Монокл. с. $a = 21{,}63$; $b = 23{,}52$; $c = 8{,}12$; $\beta = 100{,}83°$.

Хим. Близок к теор.: Pb 58,79; Sb 23,02; S 18,19. Примеси Bi (до 1 %), Se (до 0,5 %), Cu, Ag.

Микр. Агрегаты длиннопризматических кристаллов, зернистые массы, ксеноморфные выделения, реликтовые выделения в галените

и бурноните. Очень похож на буланжерит, за который ранее, очевидно, и принимался; рассматривался как синоним буланжерита. *H* близок к галениту. VHN 110—155.

Нахожд. Редкий, в полиметаллических м-ниях *Байерланд* (ФРГ) и *Болиден* (Швеция); ассоц.: галенит, бурнонит, буланжерит.

Рентген. 3,73 (10); 3,04 (5); 2,81 (9); 2,06 (6); 1,864 (7); рентгенограмма близка к буланжериту.

Робинсонит Robinsonite $Pb_4Sb_6S_{14}$ (1952)

Трикл. с. *P*1; $a = 16{,}56$; $b = 17{,}69$; $c = 3{,}982$; $\alpha = 96{,}46°$; $\beta = 96{,}77°$; $\gamma = 91{,}09°$; $Z = 2$; синт. аналог устойчив ниже 583° и выше 335°.

Хим. Близок к теор.: Pb 41,94; Sb 36,97; S 21,09. Примеси Bi, (до 22 %), As (до 0,5 %), Ag, Cu, Cl.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, длиннопризматические кристаллы и их агрегаты, срастания с цинкенитом. Сходен с буланжеритом и джемсонитом. Цв. серовато-белый с зеленоватым отт. (рис. 83); двуотраж. заметное; анизотропия умеренно сильная; сп. не наблюдалась, VHN 118—125. Полируется хорошо.

Отл. В отличие от буланжерита легко травится КОН; от джемсонита отличается отсутствием полисинт. дв. Надежно отличается по составу и рентгенограмме.

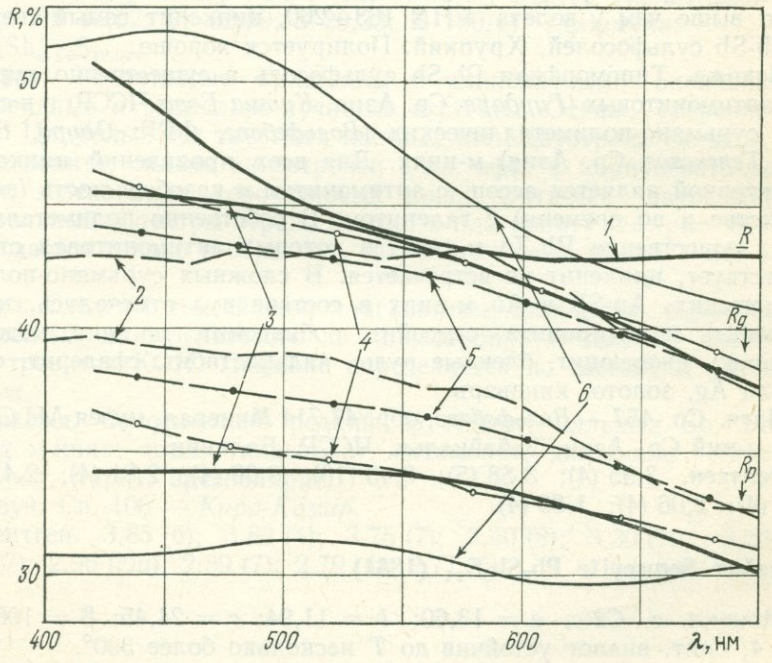


Рис. 83. Спектры отражения галенита (1), фюлёппита (2), гетероморфита (3), робинсонита (4), семсейита (5), антимонита (6)

Нахожд. Редкий (возможно, пропускается из-за сходства с буланжеритом). В гидротермальных Hg, Pb-Ag, As м-ниях; ассоц.: буланжерит, цинкенит, пирит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, мышьяк.

Рентген. 4,06 (5); 3,97 (5); 3,81 (4); 3,67 (4); 3,44 (9); 3,41 (10); 3,21 (5); 3,04 (4); 2,90 (3); 2,78 (3); 2,69 (4); 2,67 (4).

Цинкенит Zinkenite $Pb_6Sb_{14}S_{27}$ или $PbSb_2S_4$ (1826)

Гекс. с. $P6_3$; $a = 44{,}24$; $c = 8{,}64$; $Z = 12$; устойчив ниже 545°.

Хим. Обычно близок к теор.: Pb 32,6; Sb 44,7; S 22,7. Содержания примесей достигают: Ag 6,5 (чаще $<0{,}5$); Hg 2,5; Cu 1; Ag, Fe и Se 0,5; Bi и Mn 0,2; микропримеси Zn, Co, Ni, Sn, Tl, In. *Вольфсберг* (ФРГ): Pb 34,02; Sn 0,05; Cu 0,22; Fe 0,11; Sb 42,57; S 22,76; н. о. 0,24; Σ 99,67; НЛЕ; формула: $(Pb_{6.28}Sn_{0.02}Cu_{0.13}Fe_{0.07})_{6.50}Sb_{13.37}S_{27.13}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые, радиально-лучистые агрегаты, игольчатые и призматические кристаллы. Отраж. близкое к галениту. Цв. серовато-белый с голубовато-зеленоватым отт.; отчетливо двуотраж. в агрегате зерен; анизотропия умеренная без цв. эфф. в отличие от большинства Pb-Sb сульфосолей. Одноосный, положительный, с прямым погасанием. Спектры отраж. параллельны (*см. рис. 82*), в гр. Pb-Sb *сульфосолей наиболее близки к джемсониту*. В. р. густые красные. Дв. не характерны. Сп. отсутствует. *H* значительно ниже, чем у сфалерита, несколько ниже, чем у галенита, заметно выше чем у золота. VHN 163—200, цинкенит самый твердый из Pb-Sb сульфосолей. Хрупкий. Полируется хорошо.

Нахожд. Типоморфная Pb-Sb сульфосоль в существенно сурьмяных антимонитовых (*Гурдара*, Ср. Азия, *Кутна Гора* ЧССР) и в сложных сурьмяно-полиметаллических (*Вольфсберг*, ФРГ; *Оруро*, Боливия; *Терекское*, Ср. Азия) м-ниях. Для всех проявлений цинкенита характерной является ассоц. с антимонитом и разобщенность (в пространстве и во времени) с галенитом. В собственно полиметаллических, существенно Pb-Zn м-ниях, в которых антимонитовая стадия отсутствует, цинкенит не встречается. В сложных сурьмяно-полиметаллических, Au-Sb и Au м-ниях в составе руд отмечались, кроме цинкенита и антимонита, семсейит, робинсонит, твиннит, мэдокит, бурнонит, джемсонит, блеклые руды, халькостибит, сфалерит, сульфосоли Ag, золото, киноварь.

Изуч. Сп.-457 — *Вольфсберг*, обр. 47 714 Минерал. музея АН СССР; обр. м-ний Ср. Азии, Забайкалья, ЧССР, Боливии.

Рентген. 3,95 (4); 3,58 (5); 3,45 (10); 3,09 (4); 2,81 (4); 2,42 (4); 2,27 (4); 2,06 (4); 1,88 (4).

Семсейит Semseyite $Pb_9Sb_8S_{21}$ (1881)

Монокл. с. $C2/c$; $a = 13{,}60$; $b = 11{,}94$; $c = 24{,}45$; $\beta = 106{,}05°$; $Z = 4$; синт. аналог устойчив до T несколько более 300°.

Хим. Близок к теор.: Pb 53,10; Sb 27,73; S 19,17. Примеси As до 0,3 % (чаще следы); Ag до 0,2 % (чаще следы).

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, таблитчатые, изометричные кристаллы с характерными ромбовидными поперечными сечениями; метельчатые (радиально-лучистые) агрегаты, слойки в ритмических агрегатах радиально-лучистого пирита. Семсейит самый светлый (высокоотраж). из таблитчатых Pb-Sb сульфосолей. Цв. белый и серовато-белый с зеленовато-голубоватым отт. Двуотраж. отчетливое до сильного: // удлинению — белый со слабым зеленоватым отт., $\perp$ к удлинению — голубовато-зеленовато-серый, похожий на блеклую руду, но светлее (см. рис. 83). Анизотропия сильная с отчетливыми цв. эфф. Оптически двуосный, отрицательный. Сп. проявлена слабо. *H* близкий к галениту; VHN 115—180, обычно 135—155. Полируется хорошо.

Отл. В отличие от многих Pb-Sb сульфосолей не травится KOH.

Нахожд. Относительно мало распространен: в гидротермальных Sb, Pb-Sb, Pb-Ag, Sn-Ag, Au-Sb, Au м-ниях; ассоц.: гетероморфит, плагионит, цинкенит, буланжерит, геокронит, галенит, сфалерит, пирит, пирротин, арсенопирит, тетраэдрит, миаргирит.

Рентген. 3,85 (5); 3,38 (8); 3,27 (10); 2,98 (9); 2,87 (4).

Гетероморфит Heteromorphite $Pb_7Sb_8S_{19}$ (1849)

Монокл. с. *C2/c*; $a = 13{,}60$; $b = 11{,}94$; $c = 21{,}22$; $\beta = 90{,}92°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Pb 47,82; Sb 32,10; S 20,08. *Кара-Камар* (Ср. Азия): Pb 46,92; Sb 32,89; S 20,33; Σ 100,14[мз]; формула: $Pb_{6,81}Sb_{8,12}S_{19,07}$.

Микр. Таблитчатые кристаллы с клиновидными окончаниями, сноповидные и радиально-лучистые агрегаты. Отраж. умеренно высокое. Цв. белый без заметных цветных отт.; двуотраж. сильное, как у плагионита; сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневато-желтоватых, зеленоватых, серо-лиловых тонах. Оптически двуосный, отрицательный. Спектры отраж. близки к плагиониту (см. рис. 83). Сп. наблюдается только в образцах, затронутых окислением. VHN 135—185.

Отл. Сходен с семсейитом, плагионитом; отличается коричневато-желтоватым до зеленоватого цв. анизотропии и тем, что слабо, но явно травится KOH. Надежно определяется по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Относительно редкий. В гидротермальных Sb, Pb-Sb, Pb-Ag м-ниях; ассоц.: плагионит, антимонит, джемсонит, семсейит, сфалерит, пирит, арсенопирит.

Изуч. Сп.-106 — *Кара-Камар*.

Рентген. 3,85 (6); 3,82 (4); 3,75 (7); 3,40 (8); 3,30 (10); 3,25 (8); 3,10 (7); 2,96 (7ш); 2,89 (7); 2,79 (4); 2,71 (5).

Плагионит Plagionite $Pb_5Sb_8S_{17}$ (1833)

Монокл. с. $C2/c$; $a = 13{,}49$; $b = 11{,}87$; $c = 19{,}98$; $\beta = 107{,}17°$, $Z = 4$; синт. в гидротермальных условиях при 200°.

Хим. Близок к теор.: Pb 40,55; Sb 38,12; S 21,33. Примесь As до 2,5 %. *Вольфсберг* (ФРГ): Pb 40,20; Cu 0,05; Fe 0,22; Ag 0,002; Sb 37,80; S 21,22; н. о. 0,46; Σ 99,95; НЛЕ; формула: $(Pb_{4,97}Cu_{0,02}Fe_{0,10})_{5,09}Sb_{7,95}S_{16,96}$.

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, почти изометричные толстотаблитчатые, таблитчато-призматические кристаллы, пластинчатые срастания с семсейитом, эпитаксические срастания с семсейитом, фюлёппитом, микропрожилки, друзовые образования в пустотах. Отраж. умеренно высокое, заметно изменяющееся в разных сечениях, благодаря сильному двуотраж. (наиболее сильное из всех Pb-Sb сульфосолей). Цв. белый с оливково-зеленоватым отт. в светлом положении; в наиболее темном положении наблюдается коричневато-розоватый отт., не характерный для других Pb-Sb сульфосолей. Эта особенность тональности плагионита отражена и в параметрах цв: цветовой тон λ темного положения плагионита на 10—14 нм сдвинут в длинноволновую область (490 нм) по сравнению с λ светлого его положения (476 нм), зеленовато-голубоватого буланжерита (476 нм), и зеленоватых менегинита, джемсонита, цинкенита (480 нм). Цв. эфф. двуотраж. более отчетлив в иммерсии. Сильно анизотропен с цв. эфф. в нежно-розовых, коричневых, серовато-синих тонах. В. р. густые красновато-коричневые. Сп. проявляется нечасто вдоль удлинения. Один из наиболее твердых минералов гр. Pb-Sb сульфосолей; VHN 160—205. Полируется хорошо.

Отл. Сходен с гетероморфитом по форме спектров (см. рис. 82), силе двуотраж. и анизотропии. Особенностью плагионита является развитие синей побежалости при травлении KOH. Надежно диагностируется по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Относительно широко распространен в гидротермальных Sb, Sb-Pb-Zn, Pb, Pb-Ag, Sn-Ag, Au м-ниях; ассоц.: цинкенит, семсейит, фюлёппит, бурнонит, антимонит, джемсонит, твиннит, тетраэдрит, андорит, франкеит.

Изуч. Сп.-320 — *Вольфсберг*, обр. 58115 Минерал. музея АН СССР; *Пршибрам* (ЧССР), Боливии.

Рентген. 3,85 (6); 3,29 (10); 2,92 (9); 2,79 (3); 2,63 (8); 2,14 (6).

Фюлёппит Fülöppite $Pb_3Sb_8S_{15}$ (1929)

Монокл. с. $C2/c$; $a = 13{,}44$; $b = 11{,}73$; $c = 16{,}93$; $\beta = 94{,}71°$; $Z = 4$; устойчив ниже 415°.

Хим. Близок к теор.: Pb 29,93; Sb 46,91; S 23,16.

Микр. Ксеноморфные выделения, короткопризматические и таблитчатые кристаллы, агрегаты, микровростки в антимоните, пластинчатые срастания с антимонитом, микропрожилки. Отраж. самое низкое из таблитчатых Pb-Sb сульфосолей (см. рис. 83). Цв. белый до бело-серого, с умеренным двуотраж., в самом темном положении бли-

зок к тетраэдриту. Анизотропия средней силы с очень резкими цв. поляризации — сине-зелеными до коричнево-желтых. Обильны в. р. красно-коричневого цв. *H* близок к антимониту; VHN 120—150.

Отл. Травление KOH выявляет систему ‖ трещин отдельности.

Нахожд. Относительно редкий. В гидротермальной антимонитовой минерализации; ассоц.: антимонит, плагионит, цинкенит, джемсонит, бертьерит, марказит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит. Нередко пропускается из-за значительного сходства с антимонитом.

Рентген. 6,26 (5); 3,89 (10); 3,68 (4); 3,63 (5); 3,38 (5); 3,23 (7); 3,20 (9); 3,13 (5); 2,92 (8); 2,82 (8).

СУЛЬФОСОЛИ Pb—Sb с Cu

Менегинит Meneghinite $Pb_{13}CuSb_7S_{24}$ (1852)

Ромб. с. *Pbnm* или $Pn2_1m$; $a = 11{,}36$; $b = 24{,}06$; $c = 4{,}182$ (x24); $Z = 1$; составу природного менегинита отвечает синт. фаза, полученная ниже 300°.

Хим. Близок к теор.: Pb 61,51; Cu 1,45; Sb 19,47; S 17,57; примеси Bi (до 3 %), As, Ag, Fe, Sn. *Алгачи* (Забайкалье): Pb 61,41; Cu 1,15; Fe 0,47; Ag 0,012; Sb 19,62; S 17,12; *н. о.* 0,36; Σ 100,14; НЛЕ; формула: $Pb_{13,10}(Cu_{0,80}Fe_{0,37})_{1,17}Sb_{7,12}S_{23,61}$.

Микр. Короткостолбчатые, призматические кристаллы, зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, мирмекитовые срастания с галенитом, буланжеритом, бурнонитом, халькопиритом. Отраж. умеренно высокое (44—36 %), близкое к галениту; двуотраж. сильное, отчетливо проявляется не только в агрегате зерен, но и в изолированных выделениях в галените — в светлом положении подобен галениту, в темном — значительно темнее. Цв. серовато-белый с нежным зеленоватым отт., особенно очевидным в контакте с галенитом. Сильно анизотропен с цв. эфф. в зеленовато-желтых, серо-фиолетовых тонах. Погасание прямое. Оптически двуосный, положительный. Спектры отраж. нормального профиля с широким пологим максимумом (более отчетливым у R_p) в зеленой области в отличие от монотонного подъема к синей области кривых дисперсии *R* буланжерита (см. рис. 82). Часто проявлена хорошая сп., ‖ удлинению, и несовершенная, ⊥ к удлинению. *H* близок к галениту; VHN 140—180. Полируется хорошо.

Отл. От буланжерита отличается по габитусу, характеру сп., спектрам отраж.; у буланжерита в цв. анизотропии нет зеленой составляющей; у джемсонита и цинкенита слабее двуотраж. и анизотропия, в ассоц. отсутствует галенит.

Нахожд. Широко распространен в гидротермальных м-ниях с галенитовой минерализацией: Pb, полиметаллических, колчеданно-полиметаллических, Pb-Ag, Pb-Sb, Ag-Sn; ассоц.: галенит, буланжерит, геокронит, джемсонит, бурнонит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, тетраэдрит, пирит.

Изуч. Сп.-248 — *Алгачи*, обр. 136/12 Горного музея; м-ний Забайкалья; *Боттино*, Италия.

Рентген. 3,71 (9); 3,30 (10); 2,92 (8); 2,08 (5); 1,199 (5).

Бурнонит Bournonite $PbCuSbS_3$ (1805)

Ромб. с. $Pn2_1m$; $a = 8{,}16$; $b = 8{,}71$; $c = 7{,}79$; $Z = 4$; изоструктурен с зелигманнитом, структура, сходная с айкинитом; устойчив ниже 522°.

Хим. Чаще близок к теор.: Pb 42,54; Cu 13,04; Sb 24,65; S 19,77. Примеси As (до 8 %); Fe, Zn, Se и Ag (до 1 %), Bi, Mn, Hg. *Херодсфут* (Англия): Pb 42,53; Cu 12,77; Fe 0,84; Zn 0,04; Sb 21,11; As 2,03; Bi 0,20; S 19,69; н. о. 1,19; Σ 99,80; НЛЕ; формула: $Pb_{1,003}(Cu_{0,936}Fe_{0,073}Zn_{0,003})_{1,012}(Sb_{0,847}As_{0,132}Bi_{0,005})_{0,984}S_3$.

Микр. Ксеноморфные выделения, прожилки, микровростки, зернистые агрегаты, короткопризматические, короткостолбчатые, конвертообразные кристаллы, мирмекитовые срастания с галенитом, халькопиритом, сфалеритом, алтаитом, ламелли в галените. Отраж. умеренное, темнее галенита, светлее блеклых руд. Цв. нейтральный (белый) со слабым голубовато-зеленоватым отт. (рис. 84). Двуотраж. и анизотропия умеренные. Оптически двуосный, отрицательный. Очень характерны решетчатые, «паркетные» пластинчатые полисинт. дв. *H* ниже, чем у халькопирита, сфалерита, блеклых руд, выше, чем у буланжерита, галенита; VHN 165—215, обычно 175—205. Полируется хорошо.

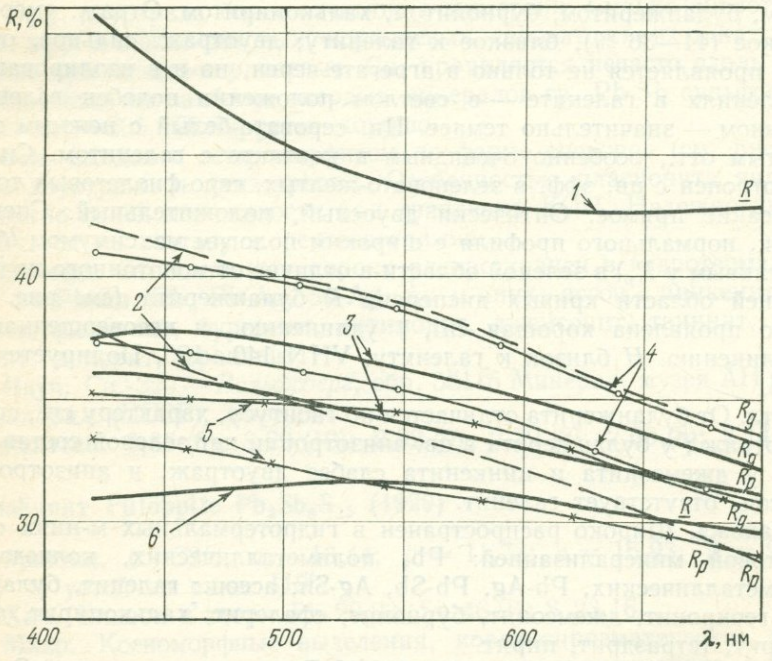


Рис. 84. Спектры отражения галенита (1), ратита (2), бурнонита (3), дюфренуазита (4), зелигманнита (5), тетраэдрита (6)

Отл. От весьма сходного зелигманнита отличается зеленовато-голубоватым отт.; ассоц. с минералами Sb; сходный буланжерит светлее, более явно зеленый, не имеет решетчатых дв.

Нахожд. Широко распространен в гидротермальных Cu, Pb, Pb-Zn, колчеданно-полиметаллических, Pb-Ag, Pb-Sb, Ag, сульфидно-касситеритовых, Au, Bi м-ниях; ассоц.: галенит, буланжерит, тетраэдрит, сфалерит, халькопирит, джемсонит, цинкенит, алтаит, нагиагит, гессит, миаргирит, серебро, дадсонит, сурьма, киноварь.

Изуч. Сп.-63 — *Херодсфут*, обр. 145/17 Горного музея; обр. м-ний Забайкалья, Ср. Азии, Казахстана, СРР.

Рентген. 5,79 (3); 4,37 (4); 3,90 (8); 2,99 (4); 2,74 (10); 2,69 (4); 2,59 (5); 1,848 (4); 1,756 (6).

Тинтинаит Tintinaite $Pb_{11}Cu_2Sb_{16}S_{36}$ (1968)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 22{,}3$; $b = 34{,}0$; $c = 4{,}04$; $Z = 2$; устойчив до $T < 500°$.

Хим. Теор.: Pb 39,33; Cu 2,41; Sb 36,97; S 21,29. Примеси Bi до 10 % (чаще следы), Ag до 0,5 %. *Тинтина* (Канада): Pb 41,04; Cu 2,28; Ag 0,15; Sb 34,91; S 21,31; Σ 99,69[мз]; формула: $Pb_{10,85}(Cu_{1,97}Ag_{0,08})_{2,05}Sb_{15,70}S_{36,40}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, агрегаты изометричных или короткопризматических зерен, призматические кристаллы. Отраж. ниже, чем у галенита, заметно выше, чем у тетраэдрита. Цв. белый; двуотраж. заметное; анизотропия умеренная без цв. эфф.; сп. сов. в одном направлении. Наблюдались крупносдвойникованные зерна. VHN 149—157.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных серебро-полиметаллических м-ниях; ассоц.: джемсонит, робинсонит, кобеллит, халькопирит, галенит, пирит, тетраэдрит, арсенопирит.

Рентген. 3,96 (4); 3,51 (8); 3,40 (10); 3,27 (4); 2,87 (5); 2,83 (4); 2,71 (7); 2,022 (6).

СУЛЬФОСОЛИ Pb—Sb с Fe, Mn

Джемсонит Jamesonite $Pb_4FeSb_6S_{14}$ (1825)

Монокл. с. $P2_1/a$; $a = 15{,}57$; $b = 18{,}98$; $c = 4{,}03$; $\beta = 91{,}8°$; $Z = 2$; составу джемсонита отвечает состав синт. фазы, полученной при $T < 400°$.

Хим. Близок к теор.: Pb 40,15; Fe 2,71; Sb 35,39; S 21,75. Примеси достигают: Bi 18 (обычно < 0,2); As 2 (чаще < 0,5); Mn и Zn 1; Ag и Cu 0,5; микропримеси In, Hg, Sn, Cd. *Центральное* (Забайкалье): Pb 40,35; Fe 2,68; Sb 34,39; S 21,86; н. о. 0,52; Σ 99,80; НЛЕ; формула: $Pb_{4,03}Fe_{0,99}Sb_{5,86}S_{14,12}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые, лучистые, радиально-лучистые агрегаты, игольчатые, волосовидные кристаллы. Отраж. умеренно высокое (рис. 85). Цв. белый с зеленоватым отт., заметно двуотраж.; ∥ удлинению — белый, близок к галениту, со слабым

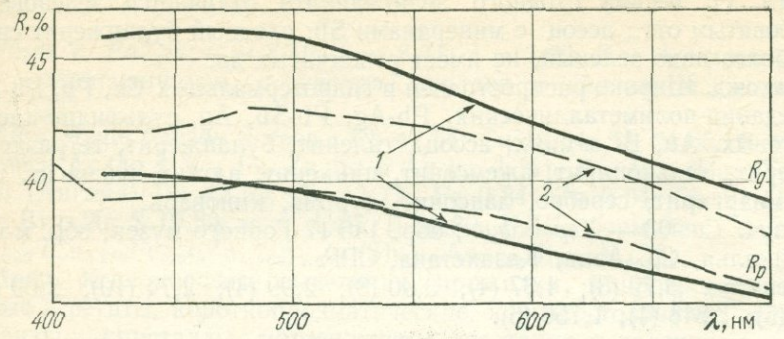


Рис. 85. Спектры отражения джемсонита (1) и бенавидесита (2)

зеленовато-желтоватым отт.; ⊥ к удлинению — серо-белый с зеленоватым отт. Умеренно анизотропен с блеклыми цв. эфф. Сов. сп. ∥ удлинению, хорошая сп. ⊥ к удлинению (и та и другая плохо проявлены в мелких и отсутствуют в очень мелких выделениях). Характерны тонкие пластинчатые полисинт. дв., ∥ удлинению. *H* ниже, чем у галенита и цинкенита; VHN 90—155, обычно 90—125, тв. Bi-содержащего джемсонита ниже. Полируется довольно хорошо.

Отл. От буланжерита отличается наличием поперечной сп., меньшей тв., меньшей силой эффектов двуотраж. и анизотропии, наличием полисинт. дв., тем, что травится KOH, по рентгенограмме; для буланжерита характерна ассоц. с галенитом.

Нахожд. Широко распространен в гидротермальных Pb-Zn, Pb-Sb, Sb, Sb-Hg, колчеданно-полиметаллических, Pb-Ag, Au, Ag-Sn м-ниях, 5-элементной формации, в рудах без галенита; ассоц.: антимонит, цинкенит, бертьерит, бурнонит, тетраэдрит, халькостибит, пирит, пирротин, сфалерит, арсенопирит, тинтинаит, сульфосоли Ag—Bi; висмутистый джемсонит (с кобеллитом, висмутистым антимонитом).

Изуч. Сп.-134 — *Центральное*, обр. м-ний Забайкалья, Алтая, Казахстана, Ср. Азии, Урала, ЧССР, КНР, США, ФРГ, ВНР, Великобритании.

Рентген. 3,44 (10); 3,18 (5); 3,09 (5); 2,84 (9); 2,75 (8).

Бенавидесит Benavidesite Pb_4 Mn Sb_6 S_{14} (1982)

Монокл. с. $P2_1/a$ (?); $a = 15{,}74$; $b = 19{,}14$; $c = 4{,}06$; $\beta = 91{,}5°$; $Z = 2$; Mn-аналог джемсонита; синтезирован в гидротермальных условиях при 300—500°.

Хим. Теор.: Pb 40,25; Mn 2,47; Sb 35,48; S 21,80. Примеси достигают: Fe 1,4; Bi 3,5; Cu и Zn 0,2.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения, длиннопризматические кристаллы (с ромбовидными поперечными сечениями) и их агрегаты. Очень похож на джемсонит; цв. серовато-белый с зеленоватым отт., двуотраж., анизотропия умеренные (см. рис. 85). Анизотропия с цв. эфф. в коричневых и голубых тонах. Отчетливо проявлена сп., ∥ уд-

линению, менее — $\perp$ к удлинению. Характерны тонкопластинчатые полисинт. дв., $\parallel$ удлинению. VHN 75—115.

Отл. От джемсонита отличается только по составу.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных вулканогенных Ag-Bi-Sn, Pb-Ag м-ниях; ассоц.: пирит, алабандин, марганцовистые сфалерит и вюртцит, пирротин, сульфосоли Pb—Sb; Ag, Pb—Sb; Ag—Pb—Bi—Sb. По экспериментальным данным парагенез с галенитом запрещенный.

Рентген. 4,10 (3); 3,85 (2); 3,45 (10); 3,17 (2); 3,10 (2); 2,96 (2); 2,829 (4); 2,737 (3); 2,247 (2); 2,058 (2); 1,835 (2); 1,794 (2).

Бертьерит Berthierite $FeSb_2S_4$ (1827)

Ромб. с. *Pnam*; $a = 11{,}44$; $b = 14{,}12$; $c = 3{,}76$; $Z = 4$; структура близка к антимониту, сходная с галеновисмутитом; устойчив ниже 530°.

Хим. Обычно близок к теор.: Fe 13,06; Sb 56,95; S 29,99. Примеси достигают: Mn 5; As 3; Pb, Zn и Cu 0,5; микропримеси: Ag, Bi, In. *Удерей* (Енисейский кряж): Fe 12,62; Zn 0,26; Pb 0,28; Cu 0,02; Sb 56,66; Bi 0,03; S 30,06; Σ 99,93; НЛЕ; формула: $(Fe_{0,968}Zn_{0,017}Pb_{0,006}Cu_{0,001})_{0,992}Sb_{1,993}S_{4,015}$.

Микр. Игольчато-призматические, зернистые агрегаты, срастания с антимонитом. Отраж. умеренно высокое до умеренного. Двуотраж. очень сильное за счет изменения и яркости и цветовой тональности: в самых светлых положениях — белый (близкий к галениту), в самых темных — светло-серый, подобен блеклой руде с насыщенным коричневато-розовым отт. На воздухе довольно быстро тускнеет, цв. минерала становится более насыщенным, явно коричневатым, что позволяет легко определять бертьерит в срастаниях с антимонитом (см. рис. 82). Сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневато-розоватых, серо-белых, синевато-серых тонах. Оптически двуосный, отрицательный. Нередко наблюдаются дв., как у антимонита. Сп. в одном направлении. *H* несколько выше, чем у антимонита, ниже, чем у сфалерита и блеклых руд; VHN 90—245, обычно 100—215. Полируется хорошо.

Отл. От сходного антимонита (и многих Pb-Sb сульфосолей) отличается розовым отт., по спектрам отраж. В широко распространенных антимонит-бертьеритовых агрегатах легко определяется травлением холодным раствором KOH, антимонит травится гораздо легче и быстро покрывается оранжевым налетом.

Нахожд. Довольно широко распространен в гидротермальных Sb, Au, W, Sn, Ag, Pb-Sb м-ниях; ассоц.: антимонит, пирротин, сфалерит, джемсонит, бурнонит, ульманнит, сурьмянистый пирит, альбит; нередко замещается агрегатами пирита (марказита) с антимонитом.

Изуч. Сп.-48 — *Удерей*; обр. м-ний Вост. Сибири, Ср. Азии, Казахстана, СРР.

Рентген. 7,14 (5); 4,37 (6); 3,68 (10); 3,02 (4); 2,63 (8); 2,18 (4); 1,771 (4).

Антимонит Antimonite (Stibnite) Sb_2S_3 (1845)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 11{,}29$; $b = 11{,}30$; $c = 3{,}84$; $Z = 4$; структура родственна со структурой висмутина; $T_{пл}$ 556°, при низком давлении улетучивается выше 800°; в присутствии Sb устойчив ниже 518°, при избытке S — ниже 496°. При $T > 400°$ неограниченная смесимость с Bi_2S_3.

Хим. Чаще близок к теор.: Sb 71,68; S 28,32. Примеси достигают: As 7 (обычно $< 0{,}2$); Bi 5 (обычно $< 0{,}1$); Tl 3,2 (чаще — следы); Pb и Fe; Cu, Hg, Ag и Zn 0,2. *Удерей (Енисейский кряж):* Sb 69,83; Bi 0,09; Pb 0,19; Zn 0,16; Fe 0,68; S 28,46; н. о. 0,52; Σ 99,93; НЛЕ; формула: $(Sb_{1,942}Bi_{0,001}Pb_{0,003}Zn_{0,008}Fe_{0,041})_{1,995}S_{3,005}$.

Микр. Зернистые, радиально-лучистые агрегаты, призматические, длиннопризматические, игольчатые кристаллы, ксеноморфные выделения, войлокоподобные массы. Отраж. сильно меняется в зависимости от сечения: от белого галенитоподобного (светлее галенита!) с голубовато-зеленоватым отт. в светлом положении до умеренного, близкого с блеклой рудой — в темном. По величине двуотраж. антимонит — один из немногих сильно двуотраж. минералов ($\Delta R_{отн}$ 0,34). Очень сильно анизотропен с цв. эфф. в синевато-серых, желтовато-желто-, розовато-коричневых тонах. Погасание прямое, часто волнистое. Оптически двуосный, отрицательный. Спектры отраж. индиви-

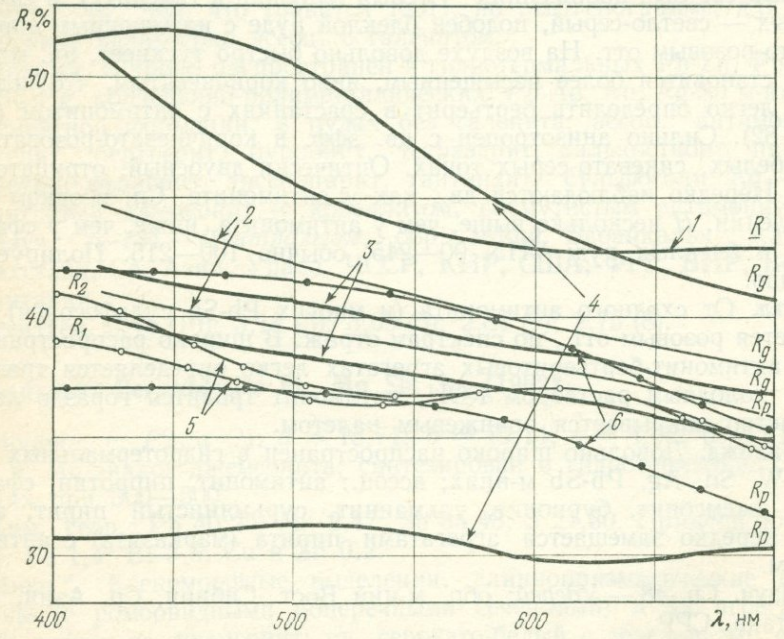


Рис. 86. Спектры отражения галенита (1), геокронита (2), иорданита (3), антимонита (4), грейтонита (5), твиннита (6)

дуальны (рис. 86). Сп. сов. в одном направлении. Очень характерны тонкие пластинчатые дв., изогнутые дв., иногда несколько систем дв. *H* выше, чем у реальгара и аурипигмента, несколько ниже, чем у бертьерита, бурнонита; VHN 42—165, обычно 65—155. Полируется хорошо. Прозрачен в ИК-свете.

Отл. Бертьерит отличается розовым отт., почти не травится холодным раствором KOH; у сульфосолей Pb—Sb значительно менее сильные эффекты двуотраж. и зеленоватый отт.; ливингстонит имеет более низкое отраж. во всех сечениях отчетливый зеленоватый отт., сильные в. р.

Нахожд. Широко распространен в низкотемпературных гидротермальных сурьмяных минеральных ассоц. в м-ниях многих типов: Sb-Hg, Au, Ag; ассоц.: Pb, Ag, Cu, Hg сульфосоли, пирит, сфалерит, киноварь, реальгар, гетчелит, сурьма, бертьерит. Запрещенные парагенезы — с галенитом (но не с сурьмянистым галенитом), бурнонитом, пирротином, медистым тетраэдритом.

Изуч. Сп.-21 — *Удерей*; обр. м-ний Ср. Азии, Кавказа, Марокко.

Рентген. 5,64 (3); 5,07 (3); 3,58 (10); 3,05 (9); 2,76 (3); 2,52 (4); 2,10 (3); 1,933 (5); 1,692 (4).

Метастибнит Metastibnite Sb_2S_3 (1888)

Рентгеноаморфен.

Хим. Близок к Sb_2S_3. Примеси достигают: Pb 2, Tl 1, As 3.

Микр. Коркообразные массы, почковидные колломорфные агрегаты, часто ритмичного строения. По уровню отраж. близок к тетраэдриту (28 %). Цв. светло-серый с голубоватым отт.; изотропен; яркие кровавокрасные в. р.; *H* низкий; VHN 46.

Отл. От кермезита отличается отсутствием анизотропии, формой агрегатов; от блеклой руды — по спектру отраж. (рис. 87).

Нахожд. Редкий. Низкотемпературный (частью гипергенный?) минерал эпитермальных Sb, Hg, As и Tl м-ний; в отложениях горячих источников; ассоц.: реальгар, киноварь, антимонит.

Изуч. Сп.-249 — м-ние в Якутии, обр. В. С. Иванова.

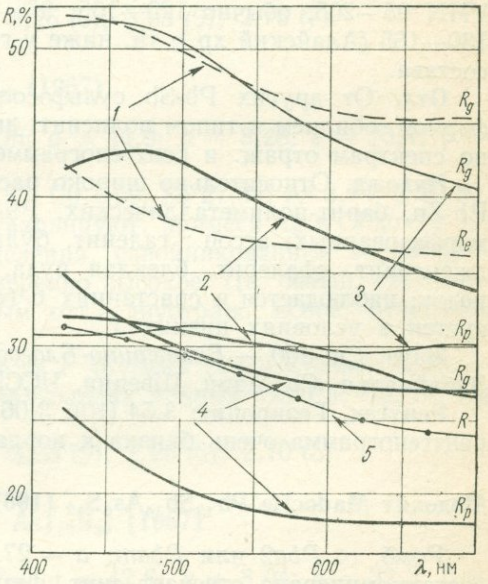


Рис. 87. Спектры отражения пяккёненита (1), ливингстонита (2), антимонита (3), аурипигмента (4), метастибнита (5)

МЫШЬЯКОВО-СУРЬМЯНЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Pb (Cu)

Геокронит Geocronite $Pb_{14}Sb_{4-2}As_{2-4}S_{23}$ (1852)

Шульцит Schulzite $Pb_{14}Sb_{6-4}As_{0-2}S_{23}$ (1847)

Монокл. с. $P2_1/m$; $a = 8{,}96$ и $8{,}97$; $b = 31{,}93$ и $32{,}03$; $c = 8{,}50$ и $8{,}47$; $\beta = 118{,}02$ и $117{,}75°$; $Z = 2$; устойчивы до $T > 400°$.

Хим. Теор. (для $Pb_{14}Sb_4As_2S_{23}$ и $Pb_{14}Sb_2As_4S_{23}$): Pb 67,85 и 69,87; Sb 11,39 и 5,82; As 3,51 и 7,17; S 17,25 и 17,64. По составу ряд шульцит (от $Sb_{5,5}As_{0,5}$) — иорданит (до As_6) почти непрерывен. Примеси достигают: Bi 2; Ag 1,5; Tl и Fe 0,5, микропримеси Cu, Sn. Геокронит — один из главных минералов-концентраторов и носителей Tl в полиметаллических рудах. *Екатерино-Благодатское* (Забайкалье): $Sb_{3,45}As_{2,55}$; Алайский хр.: $Sb_{2,35}As_{3,65}$.

Микр. Агрегаты изометричных или стебельчатых зерен, срастания с галенитом, буланжеритом, таблитчатые, конвертообразные кристаллы. Отраж. умеренно высокое, близкое к галениту. Цв. белый с зеленоватым (голубовато-зеленоватым) отт. Двуотраж. слабое, наиболее слабое из всех Pb-Sb сульфосолей, но отчетливо заметное (см. рис. 86) благодаря обилию дв. Умеренно анизотропен со слабыми цв. эфф. в блеклых коричневатых и серых тонах. Очень характерны полисинт. пластинчатые и сложной формы дв., часто нескольких систем, иногда паркетовидные, как у бурнонита. Сп. наблюдается редко. *H* ниже, чем у галенита, у Sb-геокронита ниже, чем у геокронита; VHN 95—205, обычно 120—165; 95—140 (*Екатерино-Благодатское*); 130—165 (Алайский хр.); тв. ниже у геокронита более сурьмянистого состава.

Отл. От других Pb-Sb сульфосолей отличается изометрической формой, обилием и типом полисинт. дв., наиболее слабым двуотраж., по спектрам отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Относительно широко распространен в гидротермальных Pb-Zn, барит-полиметаллических, Pb-Sb м-ниях, в том числе метаморфизованных; ассоц.: галенит, буланжерит, менегинит, бурнонит, джемсонит, сфалерит, блеклая руда, халькопирит. Шульцит более редок; наблюдается в срастаниях с геокронитом и галенитом, образуется в условиях низких *T*.

Изуч. Сп.-100 — *Екатерино-Благодатское*; Алайский хр., м-ния Забайкалья, Ср. Азии, Швеции, ЧССР.

Рентген. Геокронит: 3,54 (10); 3,06 (9); 2,89 (9); 2,24 (9); 1,831 (8); рентгенограмма очень близка к иорданиту.

Мэдокит Madocite $Pb_{19}Sb_{14}As_2S_{43}$ (1967)

Ромб. с. $Pba2$ или $Pbam$; $a = 27{,}2$; $b = 34{,}1$; $c = 8{,}12$; $Z = 4$; составу минерала отвечает синт. фаза, полученная при $T < 300°$.

Хим. Близок к теор.: Pb 54,91; Sb 23,77; As 2,09; S 19,23.

Микр. Агрегаты призматических и длиннопризматических «занозистых» зерен, длиннопризматические до игольчатых кристаллы.

Отраж. умеренно высокое. Цв. белый и серовато-белый с зеленовато-голубоватым отт. Двуотраж. умеренное, несколько слабее, чем у буланжерита; отчетливо анизотропен. Спектры отраж. близки к цинкениту. Нередко наблюдаются пластинчатые полисинт. дв., ‖ удлинению; сп. в одном направлении. VHN 140—170.

Нахожд. Редкий, возможно распространен шире, но пропускается из-за сходства с цинкенитом. В сфалерито-пиритовых рудах на флангах гидротермальных Pb, Sb и Sb-Hg м-ний; ассоц.: сульфосоли Pb—Sb—As; Pb—As; Pb—Sb—As—Cl, пирит, реальгар, киноварь. Образуется в условиях относительно повышенных *T*.

Рентген. 3,67 (7); 3,40 (10); 3,36 (9); 2,93 (6); 2,72 (8).

Веенит Veenite Pb_2 (Sb, As)$_2$ S_5 (1967)

Ромб. с $P2_1cn$; $a = 8{,}44$; $b = 26{,}2$; $c = 7{,}90$; $Z = 8$; ранее этот минерал именовался стибиодюфренуазитом.

Хим. Pb 50—53; Sb 19—20; As 6—8; S 19—22; Cu и Ag до 0,1; состав минерала близок к $Pb_2(Sb_{1,2}As_{0,8})_2S_5$.

Микр м. Агрегаты призматических и длиннопризматических зерен, удлиненные кристаллы, микровростки и «прослои» в почковидных агрегатах сульфидов. Отраж. умеренно высокое. Цв. белый с розоватым отт.; двуотраж. умеренное; заметно анизотропен. Наблюдаются полисинт. дв., иногда сп. в одном направлении. VHN 155—170.

Нахожд. Редкий. В зальбандах рудных тел Pb, Sb и Sb-Hg м-ний; ассоц.: сульфосоли Pb—Sb—As; Pb—As, пирит, сфалерит, реальгар.

Рентген. 3,81 (10); 3,42 (8); 3,26 (8); 3,03 (9); 2,76 (7).

Сорбиит Sorbyite $Pb_9CuSb_9As_2S_{26}$ (1967)

Монокл. с. $C2$, Cm или $C2/m$; $a = 44{,}9$; $b = 8{,}28$; $c = 26{,}4$; $\beta = 113{,}4°$; $Z = 8$.

Хим. Близок к теор.: Pb 46,53; Cu 1,59; Sb 27,34; As 3,74; S 20,80. Содержания As и Sb несколько варьируют; примеси Ag и Cl до 0,2 %.

Микр м. Ксеноморфные выделения, сдвойникованные зерна призматической формы. Отраж. умеренно высокое. Цв. белый, серовато-белый с голубовато-зеленоватым отт.; двуотраж. ясное; отчетливо анизотропен, VHN 170—185.

Нахожд. Очень редкий. Вместе с другими сульфосолями и хлорсульфосолями Pb—Sb—As в зальбандах рудных тел Pb, Sb, Sb-Hg м-ний.

Рентген. 4,13 (6); 3,44 (10); 3,38 (9); 2,96 (6); 2,10 (5).

Лонэит Launayite $Pb_{10}Cu$ (Sb, As)$_{13}S_{30}$ (1967)

Монокл. с. $C2$, Cm или $C2/m$; $a = 42{,}6$; $b = 8{,}04$; $c = 32{,}3$; $\beta = 102{,}1°$; $Z = 8$.

Хим. Pb 44—48,5; Cu 1,3—1,4; Sb 29—32; As 1,5—1,8; S 20,7—21,5; отношение Sb к As около 12 : 1; примеси Ag и Cl до 0,1 %.

Микр м. Длиннопризматические, игольчатые (до волокнистых) выделения. Отраж. умеренно высокое. Цв. белый с зеленовато-голубоватым отт.; двуотраж и анизотропия отчетливые. Наблюдалась сп. в двух направлениях. VHN 170—195.

Нахожд. Очень редкий. В зальбандах рудных тел Pb-Sb м-ний, в пирит-сфалеритовых агрегатах, с сульфосолями Pb—Sb—Pb—Sb—As; Pb—Sb—As—Cl, преимущественно с буланжеритом и веенитом.

Рентген. 4,17 (8); 3,45 (10); 3,40 (6); 2,92 (8); 2,01 (7); рентгенограмма сходна с козалитом.

Твиннит Twinnite $Pb(Sb, As)_2S_4$ (1967)

Ромб. с. *Pnmn*; $a = 19{,}6$; $b = 7{,}99$; $c = 8{,}60$; $Z = 4$; ранее именовался геттардитом; представляет сурьмяный аналог сарторита; устойчив до $T > 400°$, с понижением T синтеза сурьмянистость заметно увеличивается (в равновесии с цинкенитом).

Хим. Варьирует Sb : As от 1 : 1 до 3 : 1; теор.: $Pb(Sb_{2/3}As_{1/3})_2S_4$: Pb 37,83; As 9,12; Sb 29,64; S 23,41. Примеси Ag до 1 %, Tl и Cu до 0,5 %; микропримеси Fe, Zn, Cd, Sn. М-ние в КазССР: Pb 36,17; Zn 0,04; Cd 0,15; Sn 0,17; Ag 0,61; Tl 0,34; Cu 0,29; Hg и Mn — следы; Sb 28,54; As 10,42; S 23,51; Se — следы; Σ 100,24[мз]; СЭМ; формула: $(Pb_{0,942} \times Zn_{0,003}Cd_{0,007}Sn_{0,008}Ag_{0,031}Tl_{0,009}Cu_{0,025})_{1,025}$ $(Sb_{1,266}, As_{0,751})_{2,017}S_{3,959}$.

Микр м. Зернистые агрегаты, призматические, длиннопризматические и игольчатые кристаллы и агрегаты, срастания с цинкенитом, вростки в реальгаре. Отраж. умеренно высокое до умеренного. Цв. белый с зеленовато-голубоватым отт. (см. рис. 86). Двуотраж. и анизотропия отчетливые. Характерны полисинт. дв., ‖ удлинению, нередко наблюдается сп. вдоль удлинения. VHN 130—195, обычно 180—190. Полируется хорошо.

Отл. От сходного цинкенита отличается наличием дв., по рентгенограмме. Легко травится KOH с образованием системы параллельных трещинок.

Нахожд. Относительно редкий, возможно, распространен шире — пропускается из-за сходства с сульфосолями Pb—Sb. В низкотемпературных гидротермальных Sb, Sb-As, Pb-Sb м-ниях; ассоц.: сфалерит, пирит, антимонит, реальгар, теннантит, сульфосоли и хлор-сульфосоли Pb—Sb, Pb—Sb—As, сульфиды и сульфосоли Tl, аурипигмент, вюртцит, энаргит. Твиннит, обогащенный Sb, фиксирует низкотемпературные условия формирования руд.

Изуч. Сп.-390 — м-ние в КазССР.

Рентген. 9,08 (4); 4,18 (5); 3,91 (5); 3,70 (3); 3,51 (10), 3,26 (3); 3,09 (3); 3,01 (4); 2,83 (4); 2,78 (8); 2,69 (5); 2,645 (5); 2,345 (8); 2,155 (5); 2,087 (4).

ХЛОРСОДЕРЖАЩИЕ СУРЬМЯНЫЕ И МЫШЬЯКОВО-СУРЬМЯНЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Pb

Ардаит Apdaite $Pb_{19}Sb_{13}S_{35}Cl_7$ (1979)

Монокл. с.; $a = 22{,}09$; $b = 21{,}11$; $c = 8{,}05$; $\beta = 103{,}02°$; $Z = 2$; синтезирован в гидротермальных условиях.

Хим. Теор.: Pb 57,13; Sb 22,98; S 16,28; C 3,61. Состав минерала несколько варьирует: PbS 60—61; Sb_2S_3 23,5—25; Pb Cl_2 14,5—16,5. Примеси Fe до 1,7 % (чаще следы), Ag до 0,2 %.

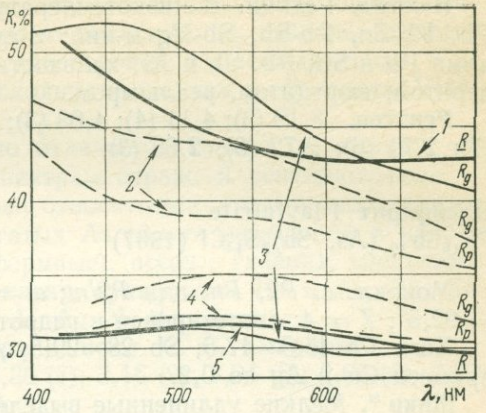


Рис. 88. Спектры отражения галенита (1), дадсонита (2), антимонита (3), ардаита (4), тетраэдрита 398-2 (5)

Микр м. Мелкие и мельчайшие игольчатые кристаллы и агрегаты, округлые и удлиненные микровростки в галените. Отраж. умеренное (рис. 88), несколько светлее тетраэдрита. Цв. светло-зеленовато-серый, светло-голубовато-зеленый; двуотраж. слабое; сильно анизотропен.

Нахожд. Редкий. В низкотемпературных гидротермальных Pb, Pb-Zn, Pb-Ag м-ниях; ассоц.; галенит, сульфосоли и хлор-сульфосоли Pb—Sb, сфалерит, пирротин, магнетит, станнин, арсенопирит, пираргирит, фрейбергит, англезит, андорит. Образуется в условиях крайне высокой активности Cl^{-1} в гидротермальных условиях. Частью, возможно, гипергенный.

Рентген. 3,38 (10); 2,83 (7); 2,00 (4).

Дадсонит Dadsonite $Pb_{23}Sb_{25}S_{60}Cl$ (1969)

Монокл. с. *P*2, *Pm* или *P*2/*m*; $a = 19{,}04$; $b = 8{,}226$; $c = 17{,}33$ $\beta = 96{,}3°$; $Z = 1$; синтезирован в гидротермальных условиях при 400—420° и высокой активности Cl^{-1} ($NaCl$, NH_4Cl).

Хим. Близок к теор.: Pb 48,79; Sb 31,16; S 19,69; Cl 0,36. Вариации состава минерала: PbS 40,5—42,5; Sb_2S_3 56,5—57,5; $PbCl_2$ 1,1—2,1. Примеси As (до 1 %), Fe, Ag.

Микр м. Призматические, длиннопризматические, игольчатые кристаллы и сростки; поперечные сечения кристаллов ромбовидные. Отраж. умеренно высокое (см. рис. 88), близкое к галениту. Цв. белый и зеленовато-белый до голубовато-белого; двуотраж. заметное; *отчетливо анизотропен. Наблюдаются простые и полисинт. дв., косо* расположенные по отношению к удлинению. Сп. по удлинению. *H* низкий; VHN 86.

Отл. Сходен с буланжеритом и джемсонитом, отличается низкой тв., сильными кроваво-красными в. р.

Нахожд. Редкий. В низкотемпературных гидротермальных ассоц. Pb, Pb-Zn, Pb-Sb, Sb-Hg м-ний; с сульфосолями и хлор-сульфосолями Pb и Sb; Pb, Sb и As, халькостибитом, блеклыми рудами, сфалеритом, вюртцитом, реальгаром.

Рентген. 8,19 (3); 4,11 (4); 4,03 (3); 3,78 (7); 3,62 (6); 3,38 (10); 2,84 (7); 2,79 (6); 2,72 (3); 2,65 (3).

Плейферит Playfairite $Pb_{16}Sb_{16}$ (As, Sb)$_3S_{44}Cl$ (1967)

Монокл. с. *P2*, *Pm* или *P2/m*; $a = 45{,}4$; $b = 8{,}29$; $c = 21{,}3$; $\beta = 92{,}5°$; $Z = 4$; синтезирован в гидротермальных условиях при 400°.

Хим. Pb 45,5—47,5; Sb 28—29,5; As 2,5—3; S 20,5; Cl 0,2—0,4; примеси Cu и Ag до 0,2.

Микр [м]. Мелкие удлиненные выделения, агрегаты призматических зерен, прожилки, каймы обрастания (на буланжерите, джемсоните). Отраж. умеренно высокое, несколько ниже, чем у галенита. Цв. белый с буроватым отт.; отчетливо двуотраж.; анизотропия ясная. Наблюдаются дв. и сп., ‖ удлинению. VHN 150—170.

Нахожд. Редкий, в низкотемпературных гидротермальных ассоц. Pb-Zn и Sb-Hg м-ний, с сульфосолями и хлор-сульфосолями Pb—Sb, Pb—Sb—As, пиритом, сфалеритом, реальгаром.

Рентген. 3,98 (4); 3,39 (10); 3,32 (10); 2,79 (7); 2,09 (6).

МЫШЬЯКОВЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Pb (Cu)

Мышьяковые сульфосоли Pb менее распространены, чем сурьмяные. Когда те и другие развиты в пределах одного м-ния, мышьяковые сульфосоли Pb, как правило, представляют более ранние образования (несколько более высокотемпературные). В полированных шлифах сульфосоли Pb—As похожи и мало отличаются от сульфоантимонидов свинца.

Иорданит Jordanite $Pb_{14}As_6S_{23}$ (1864)

Монокл. с. $P2_1/m$; $a = 8{,}92$; $b = 31{,}9$; $c = 8{,}46$; $\beta = 117{,}79°$; $Z = 2$; As — аналог геокронита; устойчив ниже 549° в ассоц. с галенитом и ниже 487° — с дюфренуазитом; непрерывный ряд твердых растворов $Pb_{14}As_6S_{23}$—$Pb_{14}Sb_6S_{23}$.

Хим. Теор.: Pb 70,96; As 11,00; S 18,04. Состав минерала варьирует от As_6 до As_4Sb_2; примеси Tl (до 1,5 %), Fe, Cu, Ag, Sn, Zn. М-ние на Урале: Pb 69,77; Ag 0,04; Fe 0,04; As 10,37; Sb 2,19; S 17,34; н. о. 0,13; Σ 99,87; НЛЕ; формула: $(Pb_{13,99}Ag_{0,02}Fe_{0,03})_{14,04}$ $(As_{5,74}Sb_{0,75})_{6,49}S_{22,47}$.

Микр. Почковидные агрегаты, таблитчатые кристаллы, срастания с галенитом, отдельные прослои в концентрически-ритмичных агрегатах сфалерита, вюртцита, марказита, мирмекитовые срастания с энаргитом. Отраж. умеренное (40—38 %), немного ниже, чем у галенита, но выше, чем у других сульфосолей Pb и As (см. рис. 86). Цв.

серовато-белый со слабым зеленоватым отт.; двуотраж. слабое, заметно *благодаря широкому развитию полисинт. дв. нескольких пересекающихся систем.* Отчетливо анизотропен в блеклых тонах. Сп. сов. в одном направлении. *H* несколько ниже, чем у сфалерита. VHN 140—190.

Отл. От геокронита уверенно отличается только по составу, от других сульфосолей Pb — по спектрам отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Характерный минерал относительно низкотемпературных гидротермальных м-ний Pb, богатых As (м-ния замещения в карбонатных толщах, в т. ч. стратиформные); ассоц.: галенит, маложелезистый сфалерит, вюртцит, марказит, сульфосоли Pb и As; Pb, Sb и As, теннантит, энаргит; в Au, Au-Ag, W-Mo м-ниях.

Изуч. Сп.-166 — м-ние на Урале, колл. С. С. Смирнова.

Рентген. 3,68 (7); 3,51 (10); 3,35 (7); 3,16 (9); 3,04 (8); 2,96 (5); 2,87 (8); 2,22 (7); 2,11 (4); 1,821 (6).

Грейтонит Gratonite $Pb_9As_4S_{15}$ (1939)

Триг. с. *R3m*; $a = 17{,}76$; $c = 7{,}81$; $Z = 3$; *устойчив ниже* 250°.

Хим. Близок к теор.: Pb 70,49; As 11,33; S 18,18. Примеси Sb, Fe. *Санта-Лючия* (Куба): Pb 70,22; As 11,26; S 18,06; Σ 99,54[мз]; БЮС; формула: $Pb_{9.02}As_{4.00}S_{14.98}$.

Микр. Мелкие тригональные и гексагональные кристаллы, в т. ч. скелетные, лучистые агрегаты, срастания с галенитом, корки. Отраж. умеренное (37 %), ниже галенита, геокронита, близкое к иорданиту. Цв. серовато-белый со слабым желтовато-коричневатым отт. Двуотраж. заметно лишь в иммерсии по границам зерен; анизотропия слабая. Спектры отраж. индивидуальны (см. рис. 86). Оптически одноосный, отрицательный. Иногда наблюдаются темно-красные в. р. *H* незначительно ниже, чем у иорданита.

Отл. От сходных иорданита и геокронита отличается крайне слабой анизотропией, по спектрам отраж., рентгенограмме; своеобразны и формы выделений грейтонита — кристаллы с тригональными и гексагональными сечениями.

Нахожд. Относительно редкий. В низкотемпературных гидротермальных Pb-Zn, *серноколчеданных, а также Ag-Sn-Bi м-ниях; ассоц.:* скорлуповатый низкожелезистый сфалерит, марказит, пирит, галенит, иорданит, блеклая руда. Легко замещается иорданитом.

Изуч. Сп.-121 — *Санта-Люсия*, колл. Э. А. Марковой.

Рентген. 3,74 (8); 3,43 (10); 2,86 (7); 2,71 (7); 2,20 (6); 2,05 (6); 1,746 (4); 1,425 (3); 1,352 (3); 1,094 (3).

Дюфренуазит Dufrenoysite $Pb_2As_2S_5$ (1845)

Монокл. с. $P2_1$; $a = 7{,}90$; $b = 25{,}74$; $c = 8{,}37$; $\beta = 90{,}35°$; $Z = 8$; устойчив ниже 485°, в более свинцовистой области — ниже 474°; непрерывный ряд твердых растворов $Pb_2As_2S_5$—Pb_2AsSbS_5.

Хим. Теор.: Pb 57,20; As 20,68; S 22,12. Примеси Sb, Tl, Cu, Ag.

Микр. Таблитчатые, короткопризматические кристаллы и агрегаты. Отраж. умеренное (39—36 %), ниже, чем у галенита, выше, чем у баумгауерита, зелигманита (см. рис. 84). Цв. со слабым зеленоватым отт., двуотраж. очень слабое, заметно лишь в агрегате зерен. Отчетливо анизотропен в серо-фиолетовых, серо-зеленых тонах. Иногда наблюдаются темно-красные в. р.

Отл. От баумгауерита отличается почти полным отсутствием дв.

Нахожд. Редкий минерал низкотемпературных гидротермальных м-ний; ассоц.: сфалерит, блеклая руда, реальгар, аурипигмент, баумгауерит, галенит, халькопирит.

Рентген. 3,74 (10); 3,56 (5); 3,40 (5); 3,21 (6); 3,00 (9); 2,90 (5); 2,70 (8); 2,36 (6); 2,23 (6); 1,910 (4); 1,831 (4).

Ратит Rathite

Монокл. с. $P2_1$ выделяются следующие разновидности: ратит-I $Pb_7As_9S_{20}$ ($a = 8{,}43$; $b = 25{,}80$; $c = 7{,}91$; $\beta = 90°$; $Z = 2$); ратит-II $Pb_9As_{13}S_{28}$ ($a = 8{,}43$; $b = 70{,}9$; $c = 7{,}91$; $\beta = 90°$; $Z = 4$); ратит-III $Pb_3As_5S_{10}$ ($a = 8{,}43$; $b = 24{,}52$; $c = 7{,}91$; $\beta = 90°$; $Z = 4$). Наиболее распространен ратит-I. Ратиту-II отвечает ливейнгит. Известен и недостаточно изученный ратит-III.

Ратит-I

Устойчив ниже 474°.

Хим. Теор.: Pb 52,43; As 24,38; S 23,19. Примеси Sb (до 5 %); Tl (до 3,5 %), Ag, Fe, Cu, Zn.

Микр. Призматические и короткопризматические кристаллы, агрегаты изометричных зерен, срастания с баумгауеритом. Отраж. умеренное (39—34 %), ниже, чем у галенита, выше, чем у баумгауерита и сарторита (см. рис. 84). Цв. серовато-белый с очень слабым зеленоватым отт.; двуотраж. отчетливое; сильно анизотропен в оливково-зеленоватых, желтых, синевато-серых тонах, темно-красные в. р. Характерны полисинт. дв.— в одних сечениях широкопластинчатые (правильные «альбитовые»), в других — тонкие веретенообразные, перекрещивающиеся под косым углом. Сп. сов. в одном направлении. VHN 159—163. Полируется хорошо.

Отл. При травлении KOH становится коричневым.

Нахожд. Редкий гидротермальный минерал; ассоц.: сульфосоли Pb—As, теннантит, гутчинсонит, реальгар. Нередко замещается баумгауеритом, ливейнгитом, сарторитом, гутчинсонитом.

Рентген. 4,19 (6); 3,60 (8); 3,39 (7); 2,97 (6); 2,87 (7); 2,75 (10); 2,30 (4ш); 2,22 (5); 2,12 (5).

Ратит-II (ливейнгит) $Pb_9As_{13}S_{28}$ или $Pb_{10}As_{12}S_{28}$

Хим. Теор.: Pb 49,90; As 26,07; S 24,03. Примеси Sb, Tl, Ag, Cu.

Микр. Короткопризматические кристаллы, агрегаты. Отраж. умеренное, ниже, чем у галенита, близкое к баумгаэриту. Двуотраж. отчетливое; сильно анизотропен с цв. эфф. в зеленовато-желтых, фиолетовых (сиреневых, синеватых), темно-красных тонах; в. р. темно-красные. Почти постоянно сдвойникован. Полируется хорошо.

Нахожд. В единственном м-нии *Бинненталь* (Швейцария); ассоц.: другие Pb и As сульфосоли, теннантит; замещает ратит-I, замещается сарторитом.

Рентген. 3,72 (4); 3,39 (6); 3,20 (7); 2,99 (10); 2,75 (8); 2,72 (8); 2,35 (8); 2,22 (5); 2,09 (6); 1,914 (5); 1,821 (5); 1,421 (4).

Баумгауерит Baumhauerite $Pb_5As_9S_{18}$ или $Pb_3As_4S_9$ (1902)

Трикл. с. $P\bar{1}$; $a = 22{,}78$; $b = 8{,}33$; $c = 7{,}90$; $\alpha = 90°$; $\beta = 97{,}45°$; $\gamma = 90°$; $Z = 2$; устойчив ниже 458°.

Хим. Теор.: Pb 45,29 (51,38); As 29,48 (24,77); S 25,23 (23,85). Примесь Sb до 19 %.

Микр. Короткопризматические, таблитчатые, изометричные зерна, срастания с ратитом и сарторитом. Отраж. умеренное (40—36 %), ниже, чем у галенита, близкое к сарториту. Цв. серовато-белый со слабым зеленоватым отт.; двуотраж. заметное, сильно анизотропен с цв. эфф. в зеленоватых, сиреневых, синеватых и желтых тонах. Часто наблюдаются темно-красные в. р. Характерны пластинчатые полисинт. дв., двойниковые пластинки нередко незакономерные и прерывистые.

Отл. От сарторита отличается заметным двуотраж. При травлении КОН покрывается иризирующим налетом.

Нахожд. Редкий. В м-ниях *Бинненталь*, *Мэдок* (Канада), *Новое* (КиргССР); ассоц.: сульфосоли и хлор-сульфосоли Pb—As; Pb—Sb—As, чаще — ратит, сарторит, сфалерит, реальгар; замещается пиростильпнитом и гутчинсонитом.

Рентген. 4,11 (8); 3,74 (3); 3,56 (6); 3,43 (8); 3,25 (8); 3,00 (10); 2,94 (10); 2,85 (5); 2,76 (10); 2,70 (5); 2,33 (6); 2,08 (6); 1,926 (4); 1,542 (4); 1,528 (4); *a* и *c* заметно увеличиваются с ростом содержания Sb.

Сарторит (склероклаз) Sartorite $PbAs_2S_4$ (1868)

Монокл. с. $P2_1/m$; $a = 8{,}38$; $b = 19{,}62$; $c = 7{,}89$; $Z = 8$; устойчив ниже 305°.

Хим. Близок к теор.: Pb 42,70; As 30,87; S 26,43, Tl до 3,9.

Микр. Пластинчатые кристаллы и сростки. Отраж. умеренное (38—34 %), ниже, чем у галенита и других сульфосолей Pb и As; бесцветный. Двуотраж. наблюдается только в иммерсии по границам дв.; анизотропия слабая в блеклых тонах; темно-красные в. р. Нередко наблюдаются полисинт. дв. одной или двух систем, характерны прерывистые веретенообразные дв. пластины. *H* выше, чем у галенита; VHN 195—200. Полируется хорошо.

Отл. При травлении КОН темнеет, становится серым.

Нахожд. Достоверный материал известен только из м-ния *Бинненталь* (Швейцария); где сарторит является самым распространенным из сульфоарсенидов Pb; ассоц.: другие сульфосоли Pb и As, теннантит, сфалерит, реальгар, аурипигмент, галенит; нередко замещает баумгауерит и ратит, сам замещается гутчинсонитом.

Рентген. 4,15 (4); 3,87 (5); 3,49 (10); 2,96 (8); 2,76 (9); 2,64 (5); 2,33 (6); 2,09 (4); 1,937 (4); 1,737 (3).

Зелигманнит Seligmannite $PbCuAsS_3$ (1901)

Ромб. с. $Pn2_1m$; $a = 8{,}08$; $b = 8{,}74$; $c = 7{,}63$; $Z = 4$; изоструктурен с бурнонитом.

Хим. Чаще близок к теор.: Pb 46,89; Cu 14,38; As 16,99; S 21,74. Примеси Sb, Bi, Ag, Tl, Zn, Mn.

Микр. Преимущественно в микровыделениях, игольчатый и призматический; мирмекитовые срастания с иорданитом и энаргитом, каймы замещения на галените, иорданите, теннантите, дюфренуазите. Отраж. умеренное (35—31 %), ниже, чем у галенита, бурнонита и иорданита, выше, чем у теннантита (см. рис. 84). Цв. со слабым коричневатым отт. Двуотраж. очень слабое, в иммерсии заметное; анизотропия отчетливая в блеклых синевато-зеленоватых тонах. В. р. густо-красные наблюдаются редко. Очень характерны полисинт. паркетные дв., как у бурнонита. *H* выше, чем у галенита, отчетливо ниже, чем у теннантита; VHN 151—205. Полируется хорошо.

Отл. От бурнонита и сульфосолей Pb—As отличается коричневатым отт., игольчатой формой кристаллов,— наиболее надежно по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. Наблюдается в низкотемпературных гидротермальных Cu-As, колчеданно-полиметаллических, Pb-Zn-Cu, Pb, Ag-Sn м-ниях; ассоц.: теннантит, галенит, энаргит, сульфосоли Pb, иорданит, дюфренуазит, сфалерит, пирит, реальгар. Часто является реакционным минералом — развивается на контакте галенита с теннантитом.

Изуч. Сп.-166 — *Эльбрусское* (Кавказ).

Рентген. 5,72 (6); 4,70 (4); 3,85 (8); 2,97 (4); 2,72 (10); 2,56 (5); 1,973 (4); 1,914 (5); 1,749 (7); 1,656 (4); 1,414 (5).

СУЛЬФИДЫ Ag, Cu (Fe)

Сульфиды Ag и Cu (штромейерит, маккинстриит и ялпаит) — характерные низкотемпературные образования, часто встречаются вместе, нередко в зоне вторичного сульфидного обогащения, образуют совместные сростки, величина отдельных зерен которых составляет несколько микрон; имеют близкие физические свойства.

В системе Ag—Fe—S в настоящее время известны два достоверных минерала, относящихся к гр. серебряных колчеданов (штернбергит и аргентопирит).

Штромейерит Stromeyerite AgCuS (1832)

Высокотемпературная α-модификация куб. с. Низкотемпературная (устойчива ниже 78°) β-модификация ромб. с. *Cmcm*; $a = 4{,}06$; $b = 6{,}66$; $c = 7{,}99$; $Z = 4$.

Хим. Теор. Ag 53,05; Cu 31,19; S 15,76. *Иртышское* (Алтай); Ag 52,75; Cu 31,94; S 16,40; Fe 0,09; Σ 100,85[мз]; формула: $Ag_{0.98}Cu_{1.00}S_{1.02}$.

Микр. Сплошные массы, неравномернозернистые агрегаты, тонкие жилки, пластинки. Отраж. умеренно низкое, близкое к блеклым ру-

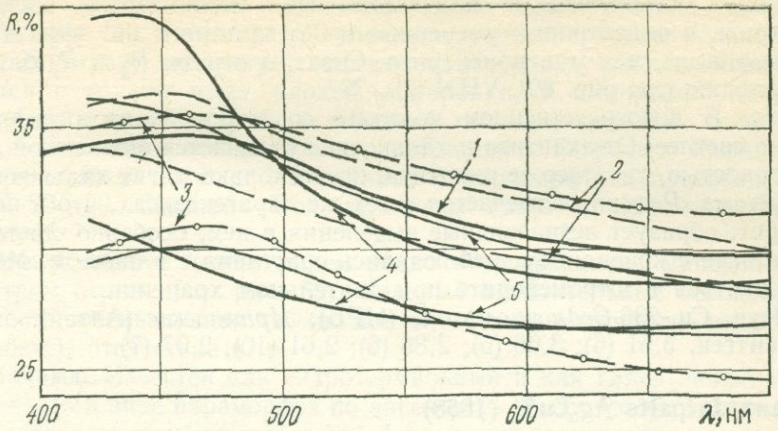


Рис. 89. Спектры отражения акантита (1), ялпаита (2), балканита (3), штромейерита (4), маккинстрита (5)

дам, чуть ниже. Двуотраж. отчетливое с изменением цв. от голубовато-зеленоватого в светлом положении до сиреневато-коричневатого — в темном. Эффекты анизотропии отчетливые цветные в синефиолетовых, серо-зеленоватых, коричневато-серых тонах, нередко выявляют своеобразную двойниковую структуру в виде агрегата ланцетовидных пластинок («олеандровых листьев»), в процессе проваривания появляющуюся при параморфном превращении штромейерита в шлифах; в. р. нет. *H* ниже, чем у халькозина, галенита, маккинстрита; VHN_{10} 40—54.

Отл. Похож на полибазит. Отличается меньшей тв., более сильными эффектами анизотропии, структурой «олеандровых листьев». Спектры отраж. индивидуальны (рис. 89): $R_g \neq R_p$, особенно в синезеленой области, где на кривой R_g имеется характерный для минерала крутой максимум; кривая R_p — с обширным прогибом в центральной части, с резким подъемом к синему участку и с пологим — к красному.

Нахожд. В мелких выделениях штромейерит встречается довольно часто, особенно в зоне вторичного сульфидного обогащения; в гипогенных рудах ассоц. с блеклой рудой, халькозином, маккинстриитом, балканитом, борнитом. В гипогенном парагенезисе штромейерит и маккинстриит не встречаются вместе с пираргиритом и пруститом.

Изуч. Сп.-472-*Седмочисленицы* (НРБ), *Иртышское*.

Рентген. 3,30 (6); 2,61 (10); 2,03 (5); 1,985 (5); 1,884 (5).

Маккинстриит Mackinstryite $(Ag, Cu)_2S$ (1966)

Высокотемпературная α-модификация куб. с. Низкотемпературная β-модификация ромб. с. *Pnam*; $a = 14{,}04$; $b = 15{,}68$; $c = 7{,}80$; $Z = 32$. T инверсии 130°.

Хим. Теор.: Cu 25,10; Ag 60,0; S 15,0. Примеси — As. *Седмочисленицы* (НРБ): Cu 25,5; Ag 60,4; S 13,8; Σ 99,7[мз].

Микр [м]. Лезвиевидные выделения. Цв. светло-серый, эффекты двуотраж. и анизотропии умеренные и без заметного цв. эфф. *H* несколько выше, чем у штромейерита. Спектры отраж. R_g и R_p близки по профилю (см. рис. 89). VHN 60—77.

Отл. В непосредственном контакте со штромейеритом незначительно светлее. От акантита и халькозина отличается оптической анизотропностью, тв. (тверже акантита, но несколько мягче халькозина).

Нахожд. Редкий, встречается в тех же парагенезисах, что и штромейерит, образует лезвиевидные выделения в нем, особенно обильные в контакте с ковеллином; наблюдались срастания с ялпаитом. Может образоваться в штромейерите при длительном хранении.

Изуч. Сп.-236-*Седмочисленицы* (НРБ), *Иртышское* (Алтай).

Рентген. 3,51 (6); 3,06 (6); 2,86 (6); 2,61 (10); 2,07 (7).

Ялпаит Jalpaite Ag_3CuS_2 (1858)

Тетр. с. (псевдокуб.) $I4_1/amd$; $a = 8{,}69$; $c = 11{,}76$; $Z = 16$. Выше 112° превращается в куб. модификацию. При синтезе образуется при термическом распаде маккинстриита при 94,5°.

Хим. Теор.: Cu 15,1; Ag 77,2; S 7,7.

Микр. Обычно в виде корочек, прожилков в замещаемых им минералах, чрезвычайно тонких пластинчатых, иногда лучистых выделениях.

Сходен с акантитом (см. рис. 89), но не имеет голубовато-зеленоватого тона, двуотраж. различимо только в иммерсии; анизотропен. Рядом с акантитом (в иммерсии) — темнее с розовато-коричневым отт. *H* выше, чем у акантита, но ниже, чем у галенита; в. р. нет. В скрещенных николях наблюдаются тонкие пластинчатые дв. VHN_{10} 23—30. Ковкий.

Отл. Сходный маккинстриит по сравнению с ялпаитом, голубоватый и отчетливее двуотраж.

Нахожд. Встречается в тех же ассоц., что и другие минералы гр. Однако по некоторым наблюдениям в м-ниях (*Сильвер Плюм* и *Боулдер Конти*), в рудах которых установлены все минералы гр., ялпаит ни разу не встречался в шлифах вместе с халькозином и штромейеритом.

Рентген. 4,32 (6); 2,75 (10); 2,80 (10); 2,43 (10); 2,35 (10).

Акантит Acanthite Ag_2S (1855)

Монокл. с. $P2_{1/n}$; $a = 4{,}23$; $b = 6{,}91$; $c = 7{,}87$; $\beta = 99{,}35°$; $Z = 4$.

Ag_2S известен в двух полиморфных модификациях: куб. с.— аргентит, устойчивый выше 105°, и монокл. с.— акантит, устойчивый ниже 105°. Аргентит — куб. В природе аргентит неизменно переходит в акантит. *T* перехода 105—145 °С.

Хим. Теор.: Ag 87,06; S 12,94.

Микр. Зернистые агрегаты, изометричные кристаллы, мирмекитовые срастания с галенитом, полибазитом, фрейбергитом, пираргиритом, субмикроскопические зернышки в «серебряной черни», эмуль-

сионная вкрапленность в галените. Отраж. незначительно ниже, чем у галенита. Цв. в контакте с галенитом имеет голубовато-зеленоватый отт.; двуотраж. незаметно; эффекты анизотропии слабые, обнаруживаются с трудом из-за плохой полировки, в иммерсии — отчетливые. Очень мягкий (*H* ниже только у галоидов серебра), вследствие чего практически всегда сильно исштрихован. В. р. нет. Характерно тонкое пластинчатое дв., связанное с параморфным превращением. VHN 20—30. Ковкий. Под действием света поверхность быстро тускнеет.

Отл. Сходен с целым рядом редко встречающихся минералов по *спектрам отраж.* (см. рис. 89). *Главные отличительные особенности:* ковкость, очень низкая тв. (и, как следствие, постоянная исштрихованность), *отсутствие* в. р.

Нахожд. Известен как гидротермальный и как гипергенный минерал, часто в виде параморфоз по аргентиту. Наиболее характерен для низкосреднетемпературных м-ний Ag руд, где встречается вместе с др. минералами Ag. Менее характерен для Ag-Co-Ni и Pb-Zn м-ний. В зоне вторичного сульфидного обогащения ассоциирует с халькозином и самородным серебром.

Изуч. Большое число отечественных и зарубежных м-ний.

СУЛЬФИДЫ Ag—Fe

Штернбергит Sternbergite $AgFe_2S_3$ (1826)

Ромб. с. *Cmma*; $a = 6{,}62$; $b = 11{,}06$; $c = 12{,}70$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Ag 34,17; Fe 35,57; S 30,46. *Иоганнгеоргенштадт* (ГДР): Ag 34,50; Cu 0,04; Fe 35,62; S 28,97; As 0,04; Σ 99,18[мз]; *формула:* $Ag_1Fe_{1.99}S_{2.82}$.

Микр. Характерны пластинчатые выделения со сп. и нередко полисинт. дв. Отраж. умеренно высокое, несколько ниже, чем у пирротина (см. рис. 59). Цв. желтовато-коричневато-розовый. Двуотраж. очень сильное: от светлого коричневато-розового до темного розовато-коричневого. Анизотропия сильная в фиолетово-синевато-серых, красновато-коричневых тонах. *H* — низкий; VHN 60—180. Полируется очень хорошо.

Отл. От пирротина и кубанита по парагенезису, форме кристаллов, низкой тв. и сильному двуотраж.

Нахожд. По-видимому, встречается чаще, чем до сих пор полагали, однако, как правило, в незначительных количествах. Известен в Au-Ag, Pb-Zn и м-ниях Ag-Co-Ni формации в ассоц. с сульфосолями Ag, арсенидами Ni и Co, урановой смолкой, галенитом, сфалеритом, халькопиритом и пиритом. Часто замещается марказитом или пиритом, что, как правило, связано с процессами гипогенного изменения минерала.

Изуч. Сп.-470 — *Иоганнгеоргенштадт*, обр. 47397 Минерал./музея АН СССР, м-ния ЧССР и ФРГ.

Рентген. Сп.-470: 4,75 (3); 4,25 (10); 3,25 (8); 2,79 (8); 2,64 (5); 2,36 (3); 1,945 (5); 1,895 (5); 1,79 (7); 1,66 (5); 1,59 (3).

Аргентопирит Argentopyrite $AgFe_2S_3$ (1866)

Ромб. с. *Pmmn*; $a = 6{,}64$; $b = 11{,}47$; $c = 6{,}45$; $Z = 4$. Диморфен со штернбергитом.

Хим. *Андреасберг* (ФРГ): Ag 35,26; Cu 0,66; Fe 35,70; As 0,38; S 28,65; Σ 100,65[мз]; формула $Ag_{1,0}Fe_{1,96}S_{2,73}$.

Микр. Короткопризматические кристаллы, зернистые агрегаты. Минераграфические свойства близки к таковым штернбергита. Отраж. несколько ниже, чем у пирротина. Цв. коричневато-желтый; двуотраж. сильное; эффекты анизотропии яркие. *H* низкий, но выше, чем у штернбергита; VHN 250.

Отл. От штернбергита надежно лишь по порошкограмме. От пирротина — см. штернбергит.

Нахожд. В тех же типах м-ний, что и штернбергит.

Изуч. Сп.-24 — *Андреасберг*.

Рентген. Сп.-24: 5,81 (3); 5,68 (2); 4,67 (2); 4,30 (2); 3,624 (5); 3,341 (10); 3,318 (10); 3,226 (1); 3,110 (4); 2,902 (3); 2,878 (3); 2,291 (2); 2,523 (1); 2,434 (3); 2,323 (1); 2,276 (1); 2,178 (1); 2,120 (1); 2,040 (1); 2,017 (1); 1,988 (1); 1,931 (5); 1,908 (4); 1,890 (1); 1,835 (2); 1,810 (1); 1,790 (1).

СУРЬМЯНЫЕ И МЫШЬЯКОВЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Ag (Cu)

Группа полибазита — пирсеита

Минералы гр. являются членами двух рядов непрерывных твердых растворов: полибазит $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$-арсенполибазит $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$ и пирсеит $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$-стибиопирсеит $(Ag, Cu)_{16}(Sb, As)_2S_{11}$.

Составы минералов гр. определяются широкими взаимосвязанными изоморфными замещениями Sb и As, Ag и Cu, S и Se. Чем выше содержание As, тем больше Cu и меньше Se в минерале.

В минералах ряда пирсеит — стибиопирсеит содержание Cu изменяется от 3 до 18 %, в минералах ряда полибазит — арсенполибазит — от 0,04 до 9,9 %. Содержание Se во втором ряду находится в пределах 0—8,2 %. Наиболее изученными в гр. являются конечные члены изоморфных рядов — полибазит и пирсеит.

П о л и б а з и т Polybasite $Ag_{16}Sb_2S_{11}$

Монокл. с. *C* 2/*m*; $a = 26{,}17$; $b = 15{,}11$; $c = 23{,}94$; $\beta = 90°$; $Z = 8$. Арсен- и селенполибазит имеют элементарную ячейку с параметрами, вдвое меньшими, чем полибазит. Известны минералы с промежуточной ячейкой, в которой нет удвоения по оси *c*.

Хим. Р-к Килей (Канада): Ag 70,97; Cu 2,50; Sb 9,46; As 2,37; S 14,69; Σ 99,99.

Микр. Таблитчатые кристаллы, зерна, корки, мирмекитовые срастания со многими рудными минералами. Сульфосоли обоих рядов практически неразличимы. Отраж. умеренное (рис. 90); двуотраж. заметное, с плеохроизмом от зеленовато-серого до сиреневато-коричневатого; эффекты анизотропии цветные в сиреневатых, зеленовато-голубоватых тонах; в. р.— темные вишнево-красные, нередко заметны на воздухе. С увеличением содержания Cu эффекты анизотропии ста-

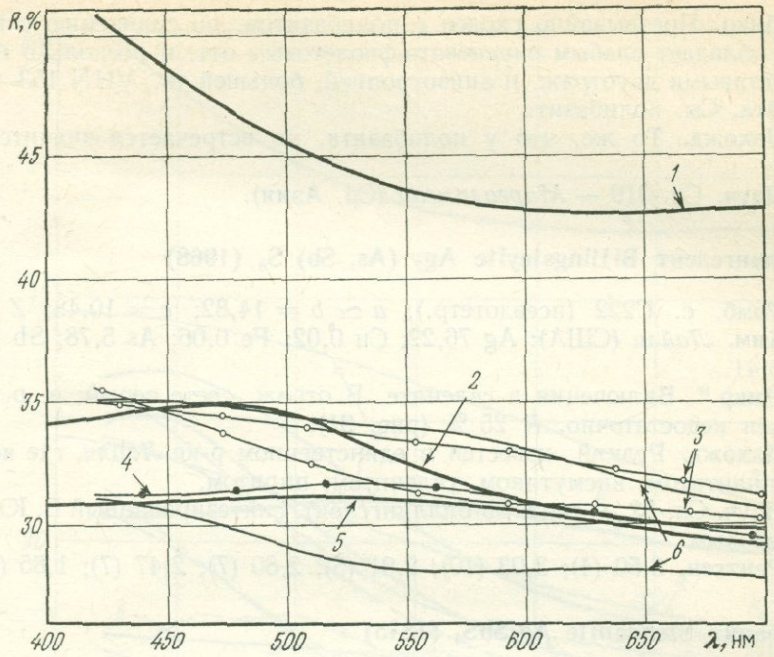


Рис. 90. Спектры отражения галенита (1), акантита (2), полибазита (3), тетраэдрита (4), фрейбергита (5), пирсеита (6)

новятся отчетливее, в. р. гуще и в богатых Cu разностях не обнаруживаются. *Легко подвергаются светотравлению. Н низкий, ниже,* чем у пираргирита, стефанита, но выше, чем у акантита. VHN 98—129. Полируется плохо, обычны царапины.

Отл. От акантита отличается наличием в. р. и анизотропией, от штромейерита — светотравлением; от минералов ряда пирсеит—стибиопирсеит — только комплексом методов.

Нахожд. Полибазит — распространенный минерал (арсенполибазит, по-видимому, достаточно редок). Может иметь как гипогенное, так и гипергенное происхождение. Встречается в Ag, Pb-Zn и Au-сульфидных м-ниях вместе с др. минералами Ag: стефанитом, пираргиритом, аргентитом, штернбергитом, фрейбергитом, среди которых обычно является одним из наиболее поздних.

Изуч. Сп.-322 — Ср. Азия, м-ния Северо-Востока СССР.

Рентген. Рудник *Килей*: 3,18 (9); 2,99 (10); 2,87 (8); 2,52 (6); 1,886 (6).

Пирсеит $(Ag, Cu)_{16}As_2S_{11}$

Монокл. с. $C2/m$; $a = 12{,}6$; $b = 7{,}29$; $c = 11{,}90$; $\beta = 90°$; $Z = 2$. *Фазы, не содержащие Cu, характеризуются удвоенной элементарной* ячейкой; так же как и в полибазитовом ряду, здесь известны разности с промежуточными размерами элементарной ячейки.

Хим. *Стрежанское* (Алтай): Ag 61,0; Cu 18,0; As 6,0; S 16,0; Sb 2,0; Σ 103,0[мз].

Микр. Чрезвычайно сходен с полибазитом, по сравнению с которым обладает слабым сиреневато-фиолетовым отт. и несколько более отчетливыми двуотраж. и анизотропией, большей тв., VHN 153—165.

Отл. См. полибазит.

Нахожд. То же, что у полибазита, но встречается значительно реже.

Изуч. Сп.-319 — *Миргалимсай* (Ср. Азия).

Биллингслеит Billingsleyite Ag_7 (As, Sb) S_6 (1968)

Ромб. с. *C*222 (псевдотетр.); $a \simeq b = 14{,}82$; $c = 10{,}48$; $Z = 8$.

Хим. *Лайли* (США): Ag 76,22; Cu 0,02; Fe 0,06; As 5,78; Sb 1,51; S 16,41.

Микр [м]. Включения в галените. В отраж. свете серый; в. р. нет; изучен недостаточно. *R* 25 % (рис. 91).

Нахожд. Редкий, известен в единственном р-ке *Лайли*, где ассоц. с теннантитом, висмутином, галенитом, пиритом.

Изуч. Сп.-52 — синт. Sb-биллингслеит, синтезированный В. Ю. Чевычеловым.

Рентген. 3,50 (4); 3,03 (10); 2,91 (5); 2,80 (7); 2,47 (7); 1,85 (5).

Стефанит Stephanite Ag_5SbS_4 (1845)

Ромб. *Cmc*2: $a = 7{,}84$; $b = 12{,}47$; $c = 8{,}54$; $Z = 4$.

Хим. Теор.: Ag 68,33; Sb 15,42; S 16,25.

Микр. Отраж. умеренное, выше, чем у блеклых руд и акантита, но ниже, чем у галенита. Цв. серовато-белый с розоватым отт. Двуотраж. незначительное: белый, бледный коричневато-розовый до розового. Эффекты анизотропии четкие, цветные, в. р. нет. Часты дв. *H* выше, чем у акантита, полибазита, пираргирита. VHN_{10-20} 112—130. В ближнем ИК-свете (λ 850 нм) прозрачен. Полируется хорошо. Светотравление малоактивно.

Отл. Сходен с рядом Ag минералов. От прустита, пираргирита и миаргирита отличается отсутствием в. р. Штромейерит сильнее анизотропен и почти всегда обнаруживает структуру в виде «олеандровых листьев». Акантит и полибазит значительно мягче и полируются значительно хуже; различаются по спектрам отраж.

Нахожд. В виде мелких выделений довольно часто встречается в эпитермальных серебряных жилах, а также в Ag-Co-Ni- м-ниях. Сопровождается акантитом, самородным серебром, полибазитом, пираргиритом. Известен в зоне вторичного сульфидного обогащения.

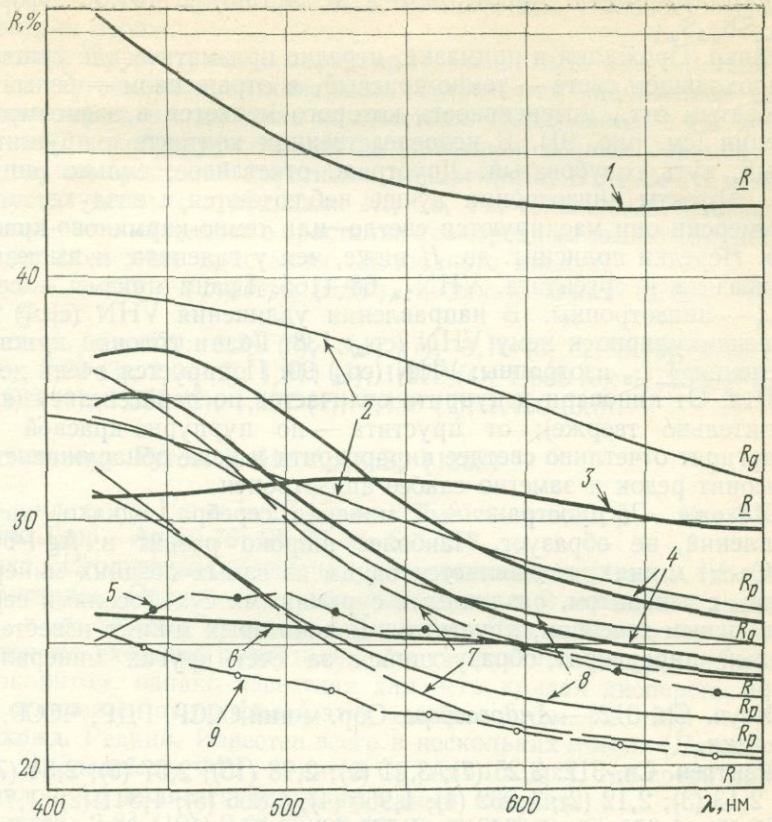
Изуч. Сп.-376 — СВ. СССР; синт. Ag_5SbS_4.

Рентген. 2,25 (10); 2,19 (10); 1,985 (4); 1,570 (5); 1,275 (4).

Пираргирит Pyrargyrite Ag_3SbS_3 (1835)

Триг. с. *R*3*c*; $a_h = 11{,}06$; $c_h = 8{,}73$; $Z = 6$. Изоструктурен с пруститом.

Хим. Теор.: Ag 59,76; Sb 22,48; S 17,76. Микропримеси As, Se.



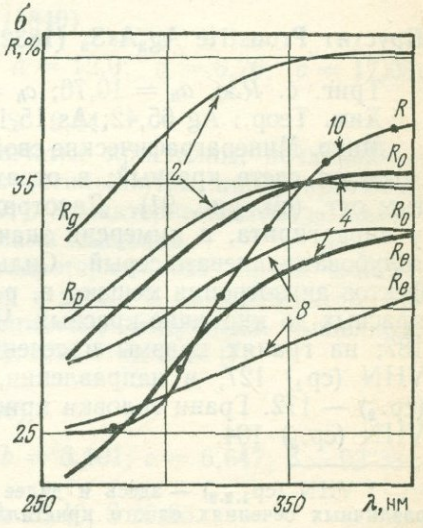


Рис. 91. Спектры отражения галенита (1), миаргирита (2), тетраэдрита (3), пираргирита (4), пиростильпнита (5), биллингслеита-Sb (6), ксантоконита (7), прустита (8), дервиллита (9), акантита (10):

а — в видимой области *б* — в ближней УФ-области

Андреасберг (ФРГ): Ag 61,0; Sb 21,0; S 19,0; Σ 101,0[м3]; формула: $Ag_{3,0}Sb_{0,9}S_{3,1}$.

Микр. Прожилки и примазки, нередко призматические кристаллы. В проходящем свете — темно-красный, в отраженном — белый с голубоватым отт., интенсивность которого меняется в зависимости от сечения (см. рис. 91). В непосредственном контакте с пруститом — белый, чуть голубоватый. Двуотраж. отчетливое; сильно анизотропен. Эффекты анизотропии лучше наблюдаются в воздухе, так как в иммерсии они маскируются светло- или темно-карминово-красными в. р. Нередки полисинт. дв. *H* ниже, чем у галенита, и выше, чем у полибазита и аргентита. VHN_{20} 68—165. Грани призмы и сечения $\| L_3$ — анизотропны. В направлении удлинения VHN (ср.$_1$) * 116, перпендикулярно к нему VHN (ср$_2$) 138. Грани головки кристаллов и сечения $\perp L_3$ изотропны: VHN (ср$_3$) 90. Полируется очень хорошо.

Отл. От киновари и куприта отличается по парагенезису (куприт значительно тверже); от пруститa — по пурпурно-красной черте. Миаргирит отчетливо светлее пираргирита и реже обнаруживает в. р. Самсонит редок и заметно слабее анизотропен.

Нахожд. Распространенный минерал серебра, однако, крупных скоплений, не образует. Наиболее широко развит в Ag-Pb-Zn и Ag-Co-Ni м-ниях, где является одним из самых поздних минералов. Ассоц. с галенитом, различными сурьмяными сульфосолями серебра, самородным серебром, пруститом. В некоторых м-ниях известен вторичный пираргирит, образующийся за счет других минералов серебра.

Изуч. Сп.-312.— *Андреасберг*. Обр. м-ний СССР, ГДР, ЧССР, ВНР, Мексики.

Рентген. Сп.-312: 3,25 (7); 3,21 (9); 2,78 (10); 2,57 (8); 2,54 (7) 2,27 (3); 2,13 (3); 2,12 (2); 1,962 (4); 1,960 (4); 1,866 (5); 1,841 (2); 1,754 (3); 1,685 (3); 1,670 (2); 1,611 (2); 1,599 (2); 1,584 (1).

Прустит Proustite Ag_3AsS_3 (1832)

Триг. с. *R3c*, $a_h = 10{,}76$; $c_h = 8{,}66$; $Z = 6$.

Хим. Теор.: Ag 65,42; As 15,14; S 19,44.

Микр. Минераграфические свойства сходны с пираргиритом. В проходящем свете красный; в отраженном — светло-серый с голубоватым отт. (см. рис. 91). Двуотраж. отчетливое, более сильное, чем у пираргирита, в иммерсии значительно усиливается. R_o — светлый голубовато-синевато-серый. Сильно анизотропен. Наблюдению эффектов анизотропии мешают в. р., интенсивные и яркие: от кроваво-красных до кирпично-красных. Часты пластинчатые дв. VHN_{20} 80—187; на гранях призмы и сечениях $\| L_3$ в направлении удлинения VHN (ср$_1$) 127, в направлении, перпендикулярном к нему, VHN (ср.$_2$) — 172. Грани головки кристалла в сечении $\perp L_3$ — изотропны: VHN (ср.$_3$) 104.

---

* VHN (ср$_{1,2,3}$) — здесь и далее средние значения VHN, измеренные в различных сечениях одного кристалла.

Отл. От пираргирита при известном навыке. Наиболее надежно по спектрам отраж.

Нахожд. Прустит, как и пираргирит, может быть как гипогенного, так и гипергенного происхождения. Встречается значительно реже, чем пираргирит, и в меньших количествах. Наблюдается в тех же типах м-ний, но образуется лишь из растворов, бедных сурьмой. Нередки случаи срастаний прустита и пираргирита. В Ag-Co-Ni м-ниях, где прустит ассоц. с арсенидами Ni, Co, Fe, селенидами, иногда настураном, часто находится в срастании с самородным мышьяком; иногда замещает скелетные кристаллы самородного висмута.

Изуч. Сп.-329 —*Фрейберг* (ГДР), а также м-ния СССР, ЧССР, Чили, ФРГ.

Рентген. Сп.-329: 3,24 (5); 3,17 (7); 3,15 (5); 2,73 (9); 2,55 (10); 2,48 (9); 2,23 (3); 2,09 (2); 1,971 (1); 1,922 (4); 1,850 (3); 1,728 (1); 1,715 (2); 1,639 (1); 1,555 (2); 1,497 (1); 1,433 (1); 1,400 (0,5).

Пиростильпнит Pyrostilpnite Ag_3SbS_3 (1868)

Монокл. с. $P2\ 1/c$: $a = 12{,}15$; $b = 15{,}81$; $c = 6{,}23$; $\beta = 90°$; $Z = 2$.

Хим. Теор.: Ag 59,76; Sb 22,48; S 17,76.

Микр. Игольчатые выделения, сноповидные агрегаты, таблитчатые кристаллы. Оптически изучен недостаточно. В отраж. свете светло-серый, в. р. желтые до желто-коричневых (без красного тона). Указывается на сходство пиростильпнита с пруститом, пираргиритом и ксантоконитом, однако известная для него кривая дисперсии R заметно отличается от профилей этих минералов (см. рис. 91).

Нахожд. Редкий. Известен всего в нескольких м-ниях (*Пршибрам*, ЧССР, *Андреасберг*. ФРГ, м-ние в Ср. Азии и др.), где среди прочих минералов Ag является одним из самых поздних.

Рентген. 2,84 (10); 2,64 (5); 2,42 (5); 1,890 (5).

Ксантоконит Xanthoconite Ag_3AsS_3 (1840)

Монокл. с. (псевдоромб.) $C2/c$; $a = 12{,}0$; $b = 6{,}26$; $c = 17{,}08$; $\beta = 110°$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Ag 65,42; As 15,14; S 19,44.

Микр. Таблитчатые, тонкопластинчатые кристаллы, почковидные агрегаты. В отраж. свете сходен с пиростильпнитом, пираргиритом и, в особенности, с пруститом (см. рис. 91). Характерны желтые до желто-коричневых в. р. и ассоц. с минералами мышьяка.

Нахожд. Редкий. Известен в гидротермальных Ag-As м-ниях; один из наиболее поздних минералов в ассоц. с халькопиритом, аргентопиритом, пруститом, пиростильпнитом, самородным мышьяком.

Рентген. 3,13 (6); 3,07 (3); 3,01 (8); 2,97 (10); 2,82 (7).

Самсонит Samsonite Ag_4MnSbS_6 (1910)

Монокл. с. $P2\ 1/n$; $a = 10{,}362$; $b = 8{,}101$; $c = 6{,}647$; $\beta = 93°38'$; $Z = 2$.

Хим. Теор.: Ag 46,79; Mn 5,96; Sb 26,40; S 20,85.

Микр. Призматические кристаллы, лучистые агрегаты. Отраж. умеренное (30 %). Цв. голубоватый, как у пираргирита. Двуотраж. очень слабое, в воздухе едва заметное, в иммерсии отчетливое: от оливково-зеленоватого в светлом положении до синевато-серого — в темном (сходного с темным положением полибазита). Анизотропия слабая, заметна в агрегатах зерен. В. р. темно-красные, менее интенсивные, чем у прустита. Световое травление проявляется по границам зерен. Полируется хорошо.

Нахожд. Редкий гидротермальный минерал. Известен в *Андреасберге* (ФРГ) в кварцево-кальцитовой жиле, где ассоц. с дисразитом, штернбергитом, пираргиритом, галенитом, халькопиритом, блеклой рудой, пиролюзитом. Является поздним минералом, образовавшимся в результате воздействия гипогенных растворов на дискразит и минералы марганца.

Рентген. 3,20 (10); 3,01 (9); 2,86 (5); 2,59 (6); 2,43 (5).

Миаргирит Miargyrite $AgSbS_2$ (1829)

Монокл. с. $C2/c$; $a = 13{,}20$; $b = 4{,}40$; $c = 12{,}86$; $\beta = 98°38'$; $Z = 8$.

При 381° переходит в псевдокуб. модификацию.

Хим. Теор.: Ag 36,72; Sb 41,45; S 21,83.

Микр. Зернистые агрегаты, изометричные кристаллы, мозаичные (до мирмекитовых) срастания с пруститом, пираргиритом, овальной формы включения в галените. Отраж. умеренное (37—30 %), ниже, чем у галенита (см. рис. 91). Цв. сравнительно с галенитом сероватоголубоватый, в контакте с фрейбергитом — отчетливо синеватый, рядом с пираргиритом — светлее, той же тональности. Двуотраж. сильное ($\Delta R_{отн}$ 0,20) лишь в главном сечении. Двуосный нейтрального знака — круговое сечение находится в середине интервала R_g—R_p, в темном положении (R_p) цв. более насыщенный голубоватый. В шлифах преобладают сечения с умеренным двуотраж. Анизотропия сильная с цв. эфф. в блеклых тонах. В. р. малиново-красные, в воздухе заметны неповсеместно и реже, чем у пираргирита. H ниже, чем у галенита, равен или несколько выше, чем у пираргирита. VHN 104—124. Полируется легко.

Отл. От сходных пираргирита и ксантоконита по спектрам отраж.

Нахожд. Встречается в эпитермальных Ag м-ниях в ассоц. с блеклыми рудами, пираргиритом, полибазитом, стефанитом, андоритом.

Изуч. Сп.-251 — м-ние в Ср. Азии, КазССР.

Рентген. 3,44 (9); 3,18 (5); 3,10 (5); 2,88 (10); 2,75 (7).

Дервиллит Dervillite Ag_2AsS_2 (1941)

Монокл. с.; $a = 6{,}833$; $b = 12{,}932$; $c = 9{,}638$; $\beta = 99°33'$; $Z = 2$.

Хим. *Габе Готес* (Франция): Ag 61,39; As 19,35; S 18,06; Σ 98,80[мз].

Микр. Мелкие кристаллики в пустотах самородного мышьяка. Отраж. умеренное (22 %), заметно темнее тетраэдрита и светлее сфа-

лерита (см. рис. 91). Цв. серый; двуотраж. очень слабое; анизотропия отчетливая в блеклых зеленоватых, коричневатых тонах. В. р. красные, достаточно хорошо заметны только в иммерсии. Полируется плохо; тв. очень низкая, ниже гипса. VHN_{50-100} 19,5; отпечатки сильно деформированы.

Нахожд. Известен в одном м-нии *Габе Готес*, где ассоц. с арсенидами Co, Ni, Fe, самородными As и Ag, пруститом, пираргиритом, арамайоитом, лаутитом.

Рентген. 3,251 (3); 3,075 (10); 3,019 (8); 2,843 (5); 2,659 (3).

Трехманнит Trechmannite $AgAsS_2$ (1904)

Гекс. с. $R3$; $a = 13{,}98$; $c = 9{,}12$; $\alpha = 108°17$; $Z = 18$.

Хим. Данные количественного анализа отсутствуют. Качественно определены Ag, As, S. Предполагается, что состав аналогичен составу смитита $AgAsS_2$.

Микр. Исследован только в проходящем свете: одноосный, отрицательный, показатели преломления и двупреломления очень высокие; при λ 671 нм n 2,6; что соответствует R 19,8 %. По цв. черте и тв. подобен гутчинсониту и смититу.

Нахожд. Редкий. Известен в м-нии *Ленгенбах* (Швейцария), где наблюдается в виде мелких (до 1 мм) призматических кристаллов на теннантите, в сопровождении зелигманнита, сфалерита, пирита в белом кристаллическом доломите.

Смитит Smithite $AgAsS_2$ (1905)

Монокл. с. $C2/c$ или Cc; $a = 17{,}23$; $b = 7{,}78$; $c = 15{,}19$; $\beta = 101°41$; $Z = 8$.

Хим. Теор.: Ag 44,0; As 30,0; S 26,0.

Микр. Очень мелкие изометричные и таблитчатые кристаллы. В отраж. свете серовато-зеленовато-белый, двуотраж. и анизотропия слабые, спектры отраж. нормальной дисперсии; хорошо просвечивает.

Нахожд. Очень редкий минерал. Известен в *Биннентале* (Швейцария) в ассоц. с гутчинсонитом, ленгенбахитом, реальгаром, аурипигментом, сфалеритом, в *Жа-Ру* (Франция) — с акташитом, лаффититом, рутьеритом.

Рентген. 3,21 (8); 2,81 (10); 2,72 (6); 1,953 (5); 1,701 (4).

Лаффитит Laffittite $AgHgAsS_3$ (1974)

Монокл. с. $P2_1/c$ или Aa; $a = 7{,}732$; $b = 11{,}285$; $c = 6{,}646$; $\beta = 115{,}16°$; $Z = 4$. Структура, производная от структуры PbS. Гомотипен с пиростильпнитом Ag_3SbS_3.

Хим. *Чаувай* (Ср. Азия): Ag 21,5; Hg 41,3; As 14,7; Sb 1,3; S 20,4; Σ 99,2[мз]. *Жа-Ру*: Ag 21,9; Hg 41,0; As 15,6; Sb 0; S 20,30; Σ 98,8[мз].

Микр. Ксеноморфные выделения размером до 0,2 мм. Отраж. умеренное, близкое к блеклой руде и акташиту, а также к таллиевым минералам — лорандиту, пьерротиту, рутьериту. (рис. 92). Цв.

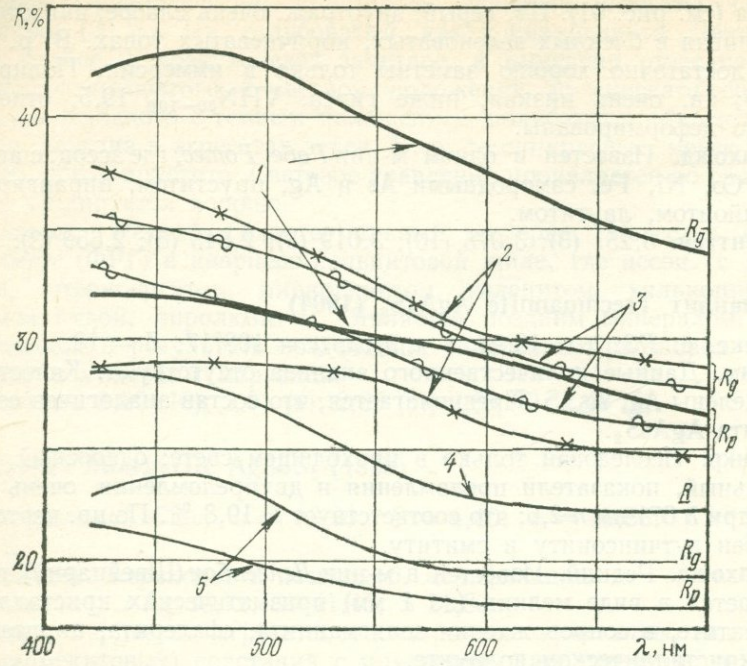


Рис. 92. Спектры отражения ливингстонита (1), лорандита (2), лаффитита (3), галхаита (4), реальгара (5)

нейтральный со слабым голубоватым отт. в контакте с акташитом. У киновари рядом с лаффититом цв. слабый сиреневый. Двуотраж. слабое, на монокристаллах незаметное, достаточно отчетливое только в сростках различно ориентированных зерен; анизотропия умеренная, в серовато-лиловатых, серовато-голубоватых тонах. В. р. густые красные, в воздухе заметны неповсеместно. *H* чуть ниже, чем у киновари. VHN_{25} 92—138 (ср. 115).

Отл. Оптически близок к рутьериту и смититу, с которым встречается в одной ассоц. Лаффитит светлее, синий отт. более отчетлив, чем у рутьерита и смитита, эффекты анизотропии значительно сильнее; в. р. более темные и менее частые; полисинт. дв., характерные для рутьерита, не наблюдались; дебаеграмма лаффитита индивидуальна.

Нахожд. Редкий. Известен в Sb-As-Hg м-ниях в ассоц. с гетчелитом, реальгаром, киноварью, акташитом, рутьеритом, смититом.

Изуч. Сп.-222 — *Чаувай*, колл. В. Ю. Волгина.

Рентген. 3,505 (7); 3,20 (8); 3,00 (8); 2,68 (10); 2,133 (6).

Балканит Balkanite $Ag_5Cu_9HgS_8$ (1964)

Ромб. с. *P*222, *Pmm*2 или *Pmmm*; $a = 10{,}62$; $b = 9{,}42$; $c = 3{,}92$; $Z = 1$.

Хим. *Седмочисленицы* (НРБ): Ag 33,1; Cu 37,4; Hg 14,0; S 17,2; Σ 101,7[мз].

Микр. Агрегаты призматических и ксеноморфных зерен. Отраж. умеренное (36—28 %), близкое к халькозину в светлом положении и к теннантиту — в темном (см. рис. 89). Цв. серый, в контакте с виттихенитом, киноварью — отчетливо голубоватый. Двуотраж. и анизотропия сильные. Характерны полисинт. дв. *H* выше, чем у штромейерита; VHN_{10} 79—92.

Отл. В *слабоанизотропных сечениях почти неотличим от халькозина*, джарлеита, штромейерита, маккинстриита. От штромейерита отличается отсутствием структур «олеандровых листьев», от остальных минералов — уверенно только по порошкограмме.

Нахожд. Установлен в теннантит-борнитовых рудах стратиморфного м-ния *Седмочисленицы*. В составе руд, кроме того, наблюдаются: халькозин, джарлеит, дигенит, халькопирит, пирит, штромейерит, маккинстриит, киноварь, ртутьсодержащее серебро, виттихенит, висмут, раммельсбергит, кальцит, барит, арагонит.

Рентген. 3,01 (8); 2,98 (10); 2,61 (9); 2,55 (10); 1,962 (3).

СУЛЬФОСОЛИ Ag—Pb—Sb

Среди Ag-Pb-Sb сульфосолей на основе структурного родства и близости физических свойств выделяют три гр.: 1) фрейеслебенит + диафорит; 2) андорит и андоритоподобные минералы; 3) овихиит + рейт.

Фрейеслебенит Freieslebenite $AgPbSbS_3$ (1720)

Монокл. с. $P2_1/a$; $a = 7{,}52$; $b = 12{,}81$; $c = 5{,}94$; $\beta = 92{,}25°$; $Z = 4$; сверхструктура на основе структуры типа PbS (NaCl).

Хим. Теор.: Ag 20,23; Pb 38,87; Sb 22,84; S 18,06. Микропримеси Cu, Fe, As, Bi. *Иендельэнсина* (Испания): Ag 20,1; Pb 40,2; Sb 23,9; S 17,0; Σ 101,2[мз]; БЮС; формула: $Ag_{1,0}Pb_{1,0}Sb_{1,0}S_{2,7}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, короткопризматические кристаллы. Отраж. умеренно высокое, немного ниже, чем у галенита. Цв. белый, в контакте с галенитом голубоватый. Двуотраж. очень слабое, заметное лишь по границам зерен; отчетливо анизотропен. Спектры отраж. с дисперсией нормального типа и пологим максимумом в области 460—540 нм (рис. 93). Прозрачен в ближнем ИК-свете, где обнаруживает два направления сп. под углом 78°. Угол погасания с одним из направлений сп. — прямой, с другим — составляет 22°. Иногда наблюдаются широкие пластинчатые дв. *H* несколько ниже, чем у галенита. VHN_{20} 95—190. Сечения ⊥ к плоскости сп. — *анизотропны*: (VHN (ср.$_1$) 142, VHN (ср.$_2$) 176); *сечения*, ∥ плоскости сп. — изотропны: (VHN (ср.$_3$) 116). Полируется хорошо.

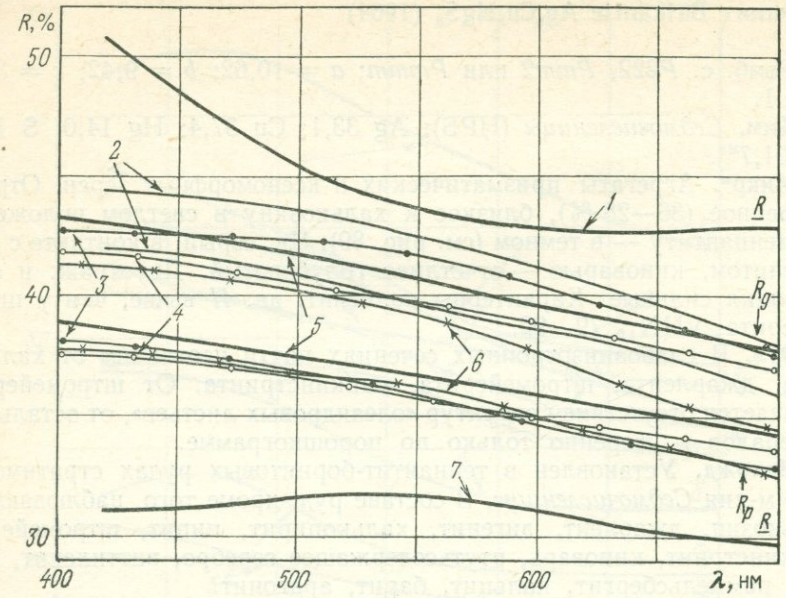


Рис. 93. Спектры отражения галенита (1), овихиита (2), андорита (3), диафорита (4), фрейеслебенита (5), физелиита (6), тетраэдрита (7)

Отл. Очень похож на диафорит, от которого надежно отличается лишь по порошкограмме; под микроскопом по наличию анизотропных в отношении микротвердости сечений.

Нахожд. Редкий минерал серебро-полиметаллических и оловянно-серебряных м-ний; ассоц. с галенитом, фрейбергитом, сульфоантимонитами свинца (буланжеритом, джемсонитом, семсейитом).

Изуч. Сп.-431 — *Иендельэнсина*, обр. 47781 Минерал. музей АН СССР, обр. м-ний *Фрейберг* и *Бройнсдорф* (ГДР).

Рентген. Сп.-431: 3,59 (2); 3,46 (8); 3,22 (4); 2,96 (9); 2,88 (2); 2,81 (10); 2,22 (1); 2,18 (2); 2,07 (5); 2,01 (4); 1,870 (1); 1,791 (4); 1,778 (3); 1,758 (2); 1,728 (2); 1,719 (2); 1,661 (1); 1,634 (1); 1,551 (1); 1,485 (1); 1,404 (1); 1,364 (1); 1,337 (1); 1,327 (1); 1,274 (1); 1,217 (1).

Диафорит Diaphorite $Ag_3Pb_2Sb_3S_8$ (1871)

Монокл. с. $C2_1/a$; $a = 15{,}85$; $b = 17{,}91$; $c = 5{,}90$; $\beta = 116{,}41°$; $Z = 4$.

Хим. Теор.: Ag 23,78; Pb 30,48; Sb 26,87; S 18,87. Микропримеси Cu, Fe. *Альте-Груне Цвейг* (ГДР): Ag 25,1; Pb 31,0; Sb 28,5; S 17,5; Σ 102,1[мз]; БЮС; формула: $Ag_{3.20}Pb_{2.06}Sb_{3.22}S_{7.52}$.

Микр. Зернистые агрегаты, короткопризматические кристаллы. Мирмекитовые срастания с галенитом и фрейбергитом. Отраж. умеренно высокое, близкое к галениту. Цв. белый, в контакте с галенитом нежного фисташково-зеленого отт., рядом с овихиитом — белый

со слабым коричневатым отт. Двуотраж. слабое, в иммерсии усиливается. Анизотропия слабая, отчетливо проявляется благодаря частому присутствию полисинт. дв. Оптически двуосный, положительный. Спектры отраж. с дисперсией нормального типа (см. рис. 93). Прозрачен в ближнем ИК-свете, при этом выявляется косое погасание относительно двух систем сп. VHN_{30} 100—250 (ср. 190). Полируется хорошо.

Отл. От фрейеслебенита и минералов гр. андорита надежно по порошкограмме. От последних также по парагенезису. Диафорит всегда ассоц. с галенитом, в то время как минералы гр. андорита, как правило,— с антимонитом и высокосурьмянистыми сульфосолями.

Нахожд. Характерен для серебро-свинцово-цинковых м-ний, где встречается чаще, чем сходный с ним фрейеслебенит. В ряду последовательности выделения минералов занимает место после галенита и сульфосолей Pb (буланжерита, джемсонита) до сульфосолей Ag (*стефанита, полибазита, пираргирита*). *Часто ассоц. с овихинитом*, который в одних случаях следует за диафоритом, в других — предшествует ему.

Изуч. Сп.-137 — *Альте Груне Цвейг*, обр. 20811 Музея МГРИ, м-ния ГДР, ЧССР, Испании.

Группа андорита

К этой гр. в настоящее время относят андорит (различают андорит-IV и андорит-VI) *, а также несколько андоритоподобных минералов: рамдорит, физелиит, накасеит и учукчакуаит. Все минералы обнаруживают столь тесное химическое и структурное родство, что диагностика их невозможна без одновременного исследования состава и структуры. До последнего времени подобные исследования не проводились. Характеристики минералов гр. андорита, приводимые в различных справочниках, достаточно условны, так как выполнены, в лучшем случае на материале, охарактеризованном только химически (без соответствующей увязки с его структурой).

Хим. Качественный состав минералов гр. практически одинаков. Все разнообразие их составов связано главным образом с различным количественным соотношением основных компонентов: Ag, Pb, Sb и S. В качестве примесей, играющих определенную структурную роль, установлены: в андорите — Cu, в физелиите — Fe, в рамдорите — Fe и Mn. Упорядоченное расположение Cu и Mn приводит к возникновению накасеита и учукчакуаита.

В представлениях о природе минералов гр. до сих пор много спорных и неясных моментов. В настоящее время большинство исследователей рассматривает их как упорядоченные соединения, образующие последовательный гомологический ряд продуктов распада твердого раствора со структурой андорита. Переход от одного минерала

---

* Андорит-IV и андорит-VI первоначально были выделены на основе различий в морфологии и структуре кристаллов. В настоящее время доказано различие их составов.

Таблица 22

Минерал	Содержание $AgPb_3Sb_3S_6$, %	Идеализированная формула
Андорит-VI	102—110	$Ag_{24}Cu_2Pb_{20}Sb_{74}S_{144}$
Андорит-IV	94—99	$Ag_{15}Pb_{18}Sb_{47}S_{96}$
Рамдорит	75	$Ag_3Pb_6Sb_{11}S_{24}$
Физелиит	62,5	$Ag_5Pb_{14}Sb_{21}S_{48}$
Учукчакуаит	50	$AgPb_3MnSb_5S_{12}$
Накасеит*	—	$Ag_3CuPb_4Sb_{12}S_{24}$

* См. табл. 23.

к другому в ряду андорита связан с механизмом изоморфных замещений: $Ag^+ + Sb^{3+} \rightleftarrows 2\,Pb^{2+}$. Путем подобного замещения может быть получен весь ряд андоритоподобных минералов, состав которых выражают в процентном содержании андоритового минала $AgPbSb_3S_6$, аналогично тому, как это было предложено Е. Маковицким и С. Каруп-Мюллером для лиллианитовой гомологической серии (табл. 22).

Для минералов гомологической серии андорита характерно наличие сверхструктур, появление которых связано с явлением упорядочения твердых растворов. Все минералы имеют близкие параметры *a* и *b* и различаются практически лишь величиной параметра *c*, равного нескольким периодам субъячейки *c'* (табл. 23).

Таблица 23

Компонент	Андорит VI (Приморье)	Андорит IV (*Оруро*, Боливия)	Физелиит (*Бая Маре*, СРР)	Физелиит (*Хержа*, СРР)*	Рамдорит (*Потоси*, Боливия)	Учукчакуаит (*Учукчакуа*, Перу)	Накасеит (*Накаси*, Япония)
Pb	19,05	25,46	38,10	39,0	34,46	34,8	22,7
Fe	0,70	—	0,51	Не опр.	0,21	0,2	0,1
Mn	Не опр.	—	0,20	»	—	2,8	—
Cd	»	0,10	—	—	0,60	—	—
Ag	12,05	10,87	7,37	7,3	8,79	5,9	9,3
Cu	0,50	0,23	—	Не опр.	—	—	2,0
Sb	43,50	40,36	33,25	35,0	34,40	34,4	42,4
Другие	0,10As	—	—	—	0,20In	0,3Se	—
S	23,10	22,23	20,79	19,5	20,41	21,1	23,5
Σ	99,90мз	99,35мз	100,02мз	100,8мз	99,07мз	99,5мз	100,0
a	12,9±0,1	13,04	13,21	—	13,09	12,67	13,03
b	19,1±0,1	19,18	19,27	—	19,24	19,32	19,18
c	25,4±0,1 = = 6*c'*	17,07 = = 4*c'*	8,68 = = 2*c'*	—	7,73 = = 2*c'*	4,38 = = 1*c'*	102,24 = = 24*c'*

Примечание. Микрозонд JXA-5 (БЮС); химический анализ приведен к 100 % за вычетом из смеси 10 % фрейбергита и сфалерита.

Микр^{м}. Часты срастания отдельных минералов гр. друг с другом. В частности, андорит в большинстве находок представлен срастанием в параллельной ориентации андорита-IV и андорита-VI. Оптические свойства минералов гр. весьма близки. В отраженном свете они — белые (сходны с галенитом) с едва уловимым в контакте с последним зеленоватым отт. Двуотраж. слабое, заметное лишь по границам зерен и дв.; анизотропия слабая. В. р. у учукчакуаита красные, у остальных — не видны. Почти для всех сульфосолей характерны дв. Не наблюдаются они лишь у андорита-VI. Андорит-IV практически всегда сдвойникован. Дв. часто имеют неправильные очертания, иногда обнаруживают предпочтительную ориентировку в одном направлении; встречаются также тонкие полисинт. дв. Для физелиита и рамдорита характерны полисинт. дв. двух типов. Одна система дв. $\parallel$ удлинению кристаллов (оси *c*), другая — $\parallel$ плоскости (001). Результатом этого является сложное «паркетное» двойникование минералов. Учукчакуаит всегда отличают полисинт. дв., ориентированные в одном направлении. VHN_{30} андорита-VI 170—245. VHN_{20} физелиита 113—182. VHN_{100} учукчакуаита 168. Полируются хорошо.

Отл. Среди свинцово-серебряных сульфосолей гр. в целом выделяется по порошкограмме, в значительной мере по парагенезису. Надежная диагностика сульфосолей внутри гр. возможна только на основе данных о составе в сочетании с определением параметра *c*.

Нахожд. Наиболее распространен андорит, для остальных минералов известны лишь единичные находки. Встречаются в оловянно-серебряных, золото-сульфидных и серебро-полиметаллических м-ниях. Как правило, относятся к числу редких минералов в рудах, лишь андорит (*Оруро*, *Потоси*) встречается в промышленных количествах. Среди минералов, ассоц. с сульфосолями, для гр. андорита наряду с обычными для свинцово-серебряных сульфосолей спутниками: фрейбергитом, джемсонитом и буланжеритом, весьма характерны антимонит и высокосурьмянистые разности сульфосолей (цинкенит и менегенит). Для учукчакуаита, кроме того, характерна ассоц. с марганцевыми минералами (алабандин и бенавидесит).

Изуч. Сп.-17 — андорит VI, (Приморье), а также андориты из Казахстана, СРР, Боливии; рамдорит из *Потоси*. Сп.-423 — физелиит (*Хержа*).

Рентген. Порошкограммы всех сульфосолей гр. близки. Различия в величинах межплоскостных расстояний и интенсивностей некоторых отраж. отдельных минералов невелики и не могут быть использованы для их уверенной диагностики.

Андорит-VI. Сп.-17: 3,87 (0,5); 3,73 (2); 3,42 (5); 3,30 (6); 3,25 (0,5); 3,20 (1); 3,00 (2); 2,89 (10); 2,75 (6); 2,27 (1); 2,13 (1); 2,09 (1); 2,07 (3); 2,01 (3); 1,973 (2); 1,923 (2); 1,895 (1); 1,824 (1); 1,791 (1); 1,723 (1); 1,692 (2); 1,654 (1); 1,597 (1); 1,446 (1); 1,428 (1).

Овихиит Owyheete $Ag_{3+x}Pb_{10-2x}Sb_{11+x}S_{28}$(1868)

Ромб. с. *Pnam*; $a = 22{,}82$; $b = 27{,}20$; $c = 8{,}19$; $Z = 8$.

Хим. По последним данным, к овихииту относят область твердых растворов, ограниченную составами: $Ag_3Pb_{10}Sb_{11}S_{28}$ и $Ag_2Pb_7Sb_8S_{20}$

или в общем виде $Ag_{3+x}Pb_{10-2x}Sb_{11+x}S_{28}(-0.13 \leqslant x \leqslant +0.20)$. Постоянно содержит изоморфные примеси Cu и As, иногда Sn и Bi. Овихиит состава $Ag_{2.93}Cu_{0.37}Pb_{10.41}Sb_{11.58}S_{26.84}$ (*Усть-Теремки*, Забайкалье): Ag 6,8; Cu 0,5; Pb 46,4; Sb 30,3; As не опр.; S 18,5; Σ 102,5[мз]; БЮС.

Микр. Часты тонкоигольчатые агрегаты. Цв. серовато-белый, в контакте с галенитом с оливковым отт. Отраж., близкое к галениту, в наиболее светлом положении почти полностью с ним сливается. Двуотраж. слабое; анизотропия отчетливая; в. р. не наблюдались. В ближнем ИК-свете прозрачен. Встречаются дв., ‖ удлинению. Полируется хорошо. VHN_{20} 110—232. Сечения, ‖ *c*, анизотропны (VHN (ср.$_1$) 125, ‖ удлинению, VHN (ср.$_2$) 205 ⊥ к удлинению). Изометричные и линзовидные сечения изотропны (VHN (ср.$_3$) — 130).

Отл. Похож на джемсонит, от которого отличается более слабым двуотраж. и менее резкой анизотропией, надежно — по порошкограмме.

Нахожд. По-видимому, не столь редок, как ранее полагали. В ряде м-ний принимался за джемсонит. Характерен для Ag-Pb-Zn м-ний, известен также в Sn-Ag м-ниях. Постоянно ассоц. с галенитом, фрейбергитом, буланжеритом, джемсонитом, нередко с диафоритом.

Изуч. Сп.-286 — *Мангазейское* (Якутия), *Усть-Теремки* и др. м-ния СССР, Боливии, США.

Рентген. *Усть-Теремки*: 3,90 (1); 3,69 (2); 3,58 (5); 3,45 (8); 3,35 (6); 3,24 (10); 3,14 (4); 3,02 (2); 2,91 (6); 2,84 (2); 2,75 (1); 2,62 (2); 2,40 (2); 2,27 (3); 2,23 (8); 2,12 (6); 2,05 (8); 2,01 (3); 1,952 (1); 1,913 (1); 1,869 (4); 1,817 (1); 1,781 (3); 1,739 (3); 1,688 (3); 1,636 (1); 1,625 (1); 1,514 (1); 1,464 (1); 1,416 (1); 1,399 (1); 1,360 (1); 1,298 (1); 1,296 (1); 1,216 (1).

Рейит Rayite $(Ag, Tl)_2 Pb_8Sb_8S_{21}$ (1983)

Монокл. с., $a = 13{,}6$; $b = 11{,}96$; $c = 24{,}49$; $\beta = 103{,}94°$.

Хим. *Раджпура-Дариба* (Индия): Ag 4,54; Tl 2,04; Cu 0,03; Pb 47,06; Sb 27,42; S 19,59; Σ 100,68.

Микр. Таблитчатый; срастания с галенитом, менегинитом, овихиитом. Отраж. умеренно высокое, ниже, чем у галенита. Цв. бледно-зеленовато-голубоватый. Двуотраж. слабое; заметно анизотропен в блеклых голубовато-серых коричневатых тонах. Спектры отраж. (R_g и R_p) параллельны.

Нахожд. Известен в единственном в полиметаллическом м-нии *Раджпура-Дариба*.

Рентген. 3,37 (10); 3,26 (9); 2,98 (5); 2,06 (3).

Фурутобеит Furutobeite $(Cu, Ag)_6Pb\,S_4$ (1981)

Монокл. с. *Cm* или *C2/m*; $a = 20{,}0$; $b = 3{,}96$; $c = 9{,}705$; $\beta = 101°34'$; $Z = 4$. При T 100° разлагается на смесь галенита и гекс. фазы Cu_5AgS_3.

Хим. *Фурутоби* (Япония): Cu 40,4; Ag 15,7; Pb 26,6; S 16,8 Σ 99,5; формула: $Cu_{4.88}Ag_{1.12}Pb_{0.99}S_{4.02}$.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения размером менее 0,3 мм. Отраж. умеренное (35—33 %) — несколько светлее теннантита и штромейерита. Отт. слабый кремово-желтый, двуотраж. слабое, анизотропия умеренная в желтых и коричневых тонах. В. р. и дв. не наблюдались. VHN 100—109.

Отл. Сходен с бетехтинитом, ялпаитом, маккинстриитом. Отличается по спектрам отраж. и рентгенограмме; бетехтинит, кроме того, имеет отчетливо игольчатую форму и более высокую тв.

Нахожд. Известен в двух Cu-Pb-Ag-баритовых м-ниях *Фурутоби* и *Шаканаи* (Япония); ассоц.: борнит, теннантит, галенит, *штромейерит*. *Фурутобеит замещает штромейерит; при Т ниже* 100°, по экспериментальным данным, может сосуществовать с галенитом, штромейеритом, халькозином, но не с маккинстриитом, ялпаитом и акантитом.

Рентген. 3,43 (5); 2,95 (9); 2,61 (5); 2,55 (7); 2,50 (10); 2,14 (4); 2,09 (4).

Маррит Marrite $AgPbAsS_3$ (1905)

Монокл. с. $P2_1/a$; $a = 7{,}270$; $b = 12{,}632$; $c = 5{,}985$; $\beta = 91°14'$; $Z = 4$. Изоструктурен с фрейеслебенитом. Недостаточно изучен.

Хим. Теор.: Ag 22,19; Pb 42,62; As 15,41; S 18,8. *Ленгенбах* (Швейцария): Ag 23,7; Pb 41,0; As 17,9; S 18,8.

Микр. Таблитчатые, изометричные зерна, агрегаты. Оптически близок к фрейеслебениту; VHN 161—171.

Рентген. 3,45 (10), 3,00 (7); 2,91 (4); 2,75 (10); 2,05 (5).

Ленгенбахит Lengenbachite $Ag_7Cu_6Pb_{37}As_{23}S_{78}$ (1904)

Трикл. с. $P1$ или $P\bar{1}$; $a' = 35{,}10$; $b' = 5{,}75$; $c' = 36{,}92$; $\alpha = 90°$; $\beta = 90°35'$ $\gamma = 90°$; параметры приведены для монокл. подъячейки; a' и c' близки к ушестеренному параметру a галенита.

Хим. Теор.: Pb 59,4; Ag 5,7; Cu 2,9; As 13,0; S 19,0. *Ленгенбах* (Швейцария): Pb 54,5; Ag 9,4; Cu 2,5; As 13,5; S 20,8.

Микр. Кристаллы тонкотаблитчатые, изогнутые, наросшие на иорданите. Отраж. умеренное (~ 37 %); цв. белый, двуотраж. не наблюдалось, анизотропия очень слабая; дв. неизвестной ориентировки, полируется очень плохо.

Нахожд. Известен в единственном м-нии *Ленгенбах*.

Рентген. 4,60 (3); 3,06 (10); 2,93 (2); 2,84 (9); 2,04 (2).

СУЛЬФИДЫ Cu (МИНЕРАЛЫ СИСТЕМЫ Cu—S)

Несмотря на обширную литературу, опубликованную в последние годы по минералам системы Cu—S, многие вопросы фазовых переходов, химических составов, диагностики и особенно различий в оптических свойствах в группе сульфидов меди все еще остаются недостаточно ясными. В настоящее время в этой группе известно восемь минеральных видов. А. Т. Гоббл в 1981 г., используя собственные дан-

Таблица 24

Минерал, формула	Фактический состав	Сингония	Верхний предел уступчивости, T °C
Халькозин Cu_2S	$Cu_{1,99-2,00}S$	Монокл., гекс.	103,5
Джарлеит $Cu_{49}S_{25}$ (или $Cu_{31}S_{16}$)	$Cu_{1,93-1,97}S$	Монокл., ромб.	93
Дигенит Cu_9S_5	$Cu_{1,75-1,80}S$	Куб.	83
Анилит Cu_7S_4	$Cu_{1,75-1,80}S$	Псевдо-куб.	70
Гирит Cu_8S_5	$Cu_{1,5-1,6}S$	То же	?
Спионкопит $Cu_{39}S_{28}$	$Cu_{1,3-1,5}S$	Гекс.	157
Ярроуит Cu_9S_8	$Cu_{1,0-1,2}S$	То же	157
Ковеллин Cu_2S_2	$Cu_{1,00}S$	»	507

ные и результаты исследований Л. Г. Берри, Н. Моримото, Г. Х. Моха, Г. Куллеруда, Е. Х. Розебума, К. Кото, Х. Т. Эванса, Р. В. Поттера, дал сводку по химическим составам, пределам устойчивости в природе и некоторым другим особенностям минералов системы Cu—S (табл. 24).

По типу структуры Р. Т. Гоббл объединяет минералы в три гр.: 1) с низким содержанием Cu, гекс, упаковкой и ковалентными связями в слоях серы: ковеллин, ярроуит, спионкопит; 2) с близкой к куб. упаковкой слоев серы: гирит, анилит, дигенит; 3) с повышенным содержанием Cu и близкой к гекс. упаковкой слоев S, но бóльшим, чем это должно быть при гекс. структуре, расстоянием между слоями: джарлеит, халькозин.

Наиболее устойчивыми среди низкотемпературных сульфидов Cu в гипергенных условиях являются дигенит и ковеллин. Уже при T около 100° минералы этой системы испытывают полиморфные превращения, поэтому при изготовлении шлифов цементацию образцов следует проводить холодным способом.

Халькозин Chalcocite Cu_2S (1832)

Монокл. с. $P2_1/c$; $a = 15{,}25$; $b = 11{,}88$; $c = 13{,}49$; $\beta = 116{,}26°$; $Z = 28$; отвечает низкотемпературной упорядоченной псевдоромб. модификации, устойчивой ниже 103°, в ассоц. с джарлеитом ниже 90°, в области 103—470° устойчив неупорядоченный промежуточный гекс. халькозин, выше 470° — высокий куб. При повышенных T Cu_2S имеет неограниченную смесимость с Cu_5FeS_4, ниже 271° происходит распад на халькозин + борнит.

Хим. Теор.: Cu 79,86; S 20,14; примеси Se до 5, Fe, Zn, Mn, Ag.

Микр. Кристаллы призматические. Отраж. умеренное, несколько выше, чем у тетраэдрита. Цв. светло-серый с голубоватым, иногда розоватым (за счет содержания Cu_5FeS_4) отт., двуотраж. очень слабое, часто воспринимается как изотропный; анизотропия очень слабая, но иногда обнаруживаются цв. эфф.— розоватые, зеленоватые; в. р. нет; нередко наблюдается сов.сп. по базису (|| удлинению). Очень ковкий. H выше, чем у виттихенита, ниже, чем у борнита, близок

дигениту; VHN 58—100. Спектры отраж. (рис. 94) имеют дисперсию нормального типа, характерно существенное увеличение отраж. в синей области и пересечение кривых R_g и R_p при 620 нм. Характерны мирмекиты с борнитом, галенитом, виттихенитом, штромейеритом, ковеллином, клаусталитом, гематитом.

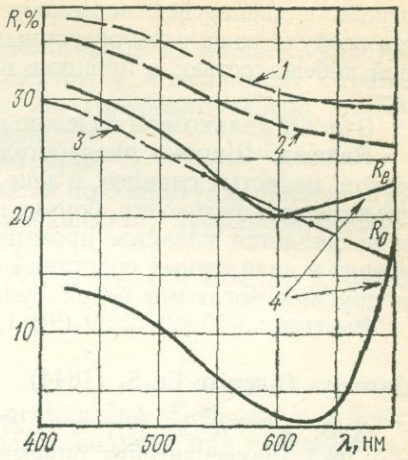


Рис. 94. Спектры отражения халькозина (1), джарлеита (2), дигенита (3), ковеллина (4)

Отл. Надежно отличить халькозин от весьма сходного джарлеита позволяют только прецизионные рентгеновские исследования. Акантит зеленоватый, VHN значительно ниже, блеклые руды изотропны и гораздо тверже, балканит сильно анизотропен и имеет дв., карлинит сиреневый и с более высоким R. От HNO_3 халькозин бурно вскипает, капля окрашивается в зеленый цв.

Нахожд. Образуется в условиях дефицита S и Fe и (или) высокого окислительного потенциала, когда Fe преимущественно связывается в оксиды. Широко распространен в м-ниях многих генетических типов, особенно характерен для зоны цементации и вторичного сульфидного обогащения медно-порфировых и колчеданных руд, где образует промышленные концентрации. Встречался в отложениях гидротерм на дне океанов, в осадочных Cu, Cu-Co, Cu-U-V м-ниях. Ассоц.: борнит, магнетит, джарлеит, дигенит, халькопирит, энаргит, блеклые руды, сфалерит, акантит, галенит, станнин. Как полагают исследователи, халькозин является крайне нестабильной фазой, переход его в джарлеит происходит даже при хранении образцов в лабораторных условиях.

Рентген. 2,94 (5); 2,72 (6); 2,40 (9); 1,971 (10); 1,876 (9).

Джарлеит Djurleite $Cu_{31}S_{16}$ (1962)

Монокл. с. $P2_1/n$; $a = 26{,}90$; $b = 15{,}75$; $c = 13{,}57$; $\beta = 90{,}13°$; $Z = 5$. Отвечает низкотемпературной модификации $Cu_{1{,}96}S$, устойчивой ниже 93°, в ассоц. с халькозином ниже 90°.

Хим. Теор.: Cu 79,53; S 20,47; микропримеси Fe, Ag, Se.

Микр. Таблитчатые выделения, полные или частичные псевдоморфозы по халькозину (часто), борниту, галениту, сфалериту. Весьма сходен с халькозином, отличаясь более интенсивной голубоватой окраской и слегка пониженным (на 1,5—2 %) отраж.; двуотраж. слабое до едва различимого; умеренно анизотропен со слабыми цв. эфф. Травление концентрированной HNO_3 выявляет грубую отдельность; в иммерсии при большом увеличении заметна тонкопластинчатая структура, пластинки расположены $\perp$ к трещиноватости. В. р. нет. Спектры

отраж. с дисперсией нормального типа (см. рис. 94). VHN 74—83. На воздухе даже в лабораторных условиях быстро покрывается пестрой побежалостью; в процессе полировки часто приобретает голубые отт.

Отл. От халькозина надежно отличается только по рентгенограмме.

Нахожд. Широко распространен в м-ниях типа медистых песчаников, медистых сланцев, в зоне вторичного сульфидного обогащения, где замещает халькозин, борнит и др. Во вкрапленных рудах Джезказгана является главным промышленным минералом. Наиболее часто развит в виде тесных срастаний с халькозином. Замещается анилитом и другими богатыми серой сульфидами меди.

Рентген. 3,75 (2); 2,39 (9); 1,956 (10); 1,870 (10).

Дигенит Digenite Cu_9S_5 (1844)

Куб. с. *Fd 3m* (?); $a = 27{,}71$; при содержании селена 18 % $a = 28{,}1$ (ранее дигенит описывался под названием «голубой халькозин»). Устойчив в ассоц. с джарлеитом ниже 83°; в ассоц. с ковеллином ниже 76°. При высоких T образует широкую область твердых растворов с борнитом.

Микр. Зерна изометричные, мирмекитовые срастания с борнитом, халькозином. Изотропный, иногда аномально слабо анизотропный; отчетливо голубоватый; в. р. нет; отраж. умеренно низкое, ниже, чем у тетраэдрита, выше, чем у сфалерита, примесь Se повышает отраж. Спектры отраж. с дисперсией нормального типа (см. рис. 94). H близок к халькозину; VHN 40—86; у селенистого дигенита 30—38.

Отл. От халькозина отличается пониженным R, более интенсивной голубой окраской.

Нахожд. Типичный минерал зоны гипергенеза, встречался в отложениях гидротерм на дне океанов, в осадочных Cu, Cu-Co, U рудах (для урановых м-ний характерен селенистый дигенит). В первичных сульфидных рудах наблюдался среди поздних минеральных ассоц.: в Cu-Ni м-ниях с борнитом, халькозином, хизлевудитом; в меднопорфировых, колчеданных и др. рудах.

Рентген. 3,21 (4); 2,79 (4); 1,973 (10); 1,686 (3); 1,139 (2).

Анилит Anilite Cu_7S_4 (1969)

Ромб. с. *Pnma*; $a = 7{,}89$; $b = 7{,}84$; $c = 11{,}01$; $Z = 4$; куб. субъячейка $a' = 5{,}5$; является природным аналогом фазы $Cu_{1{,}75}S$, синтезированной совместно с джарлеитом при 300° и быстром охлаждении; область устойчивости очень узкая. Согласно исследованиям Е. А. Косяк и др. (1980 г.), T перехода низкотемпературного анилита в высокотемпературную форму составляет $\sim 30°$ (возврата $\sim 18°$), т. е. при комнатной T могут существовать обе модификации. Рентгенограммы высокотемпературного анилита и дигенита показали настолько близкое их сходство, что ряд авторов высказали предположение, что дигенит является высокотемпературной формой анилита. Из сказанного вытекает, что для получения рентгенограмм анилита может использоваться только нерастертый материал.

Хим. Теор.: Cu 77; S 23.

Микр м. Длиннопризматические, таблитчатые кристаллы, срастания с джарлеитом, дигенитом, джарлеитом и ковеллином. Отраж. умеренно низкое, подобное дигениту; цв. голубовато-серый; анизотропия и двуотраж. наблюдаются редко.

Отл. Диагностируется по рентгенограмме.

Нахожд. Зона цементации. Развивается по борниту, халькопириту, джарлеиту, дигениту; замещается спионкопитом, ярроуитом, ковеллином.

Рентген. Нерастертый материал: 3,20 (6); 2,77 (7); 2,54 (3); 2,16 (4); 1,956 (10); 1,677 (4).

Гирит Geerite Cu_8S_5 (1980)

Псевдокуб. (вероятно, ромб.) с., субъячейка $F\bar{4}3m$; $a = 5{,}41$; структурный тип сфалерита; синт. аналог получен при выщелачивании анилита.

Хим. Теор.: Cu 76,02; S 23,98; примеси Zn, Fe.

Микр м. Таблитчатый; микропрожилки в сфалерите (вдоль трещин сп. и на их пересечении). Отраж. умеренно низкое; цв. голубовато-серый; двуотраж. слабое, анизотропия умеренная. *H* значительно ниже сфалерита; VHN 75—96.

Нахожд. Редкий (возможно, распространен значительно шире); описан в зоне цементации единичных м-ний, замещает гипогенные сульфиды, обычно частично или полностью замещен спионкопитом.

Рентген. 3,13 (10); 2,71 (1); 1,918 (5); 1,870 (1); 1,683 (1); 1,637 (3); 1,576 (1); 1,247 (1); 1,109 (2).

Спионкопит Spionkopite $Cu_{33}S_{28}$ } (1980)
Ярровит Jarrowite Cu_9S_8 }

Гекс. с. $P3m1$ или $P\bar{3}m1$, или $P321$.

Спионкопит: $a = 22{,}96$; $c = 41{,}43$; $Z = 18$; ярровит: $a = 3{,}80$; $c = 67{,}26$; $Z = 3$; имеют хорошо выраженные субъячейки, сходные с ячейкой ковеллина. Ранее описывались под названием аномального ковеллина или «остающегося синим» ковеллина (т. е. не изменяющего цвета при наблюдении в иммерсии).

Хим. См. табл. 25.

Иногда примеси достигают: Se16; Fe 7; Pb 2,5.

Таблица 25

Минерал	Cu, %	S, %	Cu:S
Спионкопит	70,8—67,1	27,2—25,8	1,32—1,31 (6)
Ярровит	71,0—65,3	32,8—30,2	1,06—1,17 (8)
Ковеллин	67,1—66,9	34,1—33,8	1,00—0,99 (8)

Примечание. В скобках приведено число анализов.

Микр м. По форме выделений (пластинки, лучистые агрегаты) и оптическим признакам ярровит и спионкопит очень близки между собой и при наблюдении в воздухе с обычным ковеллином; цв. отчетливо голубой, R_0 соответствует R_{min}; эффекты анизотропии и двуотраж. сильные. Результаты измерения отраж. известны только для одной длины волны λ, равной 546 нм. В этом участке у спионкопита и ярровита $R_{max} = 20{,}6$ %, у ковеллина выше ($R_{max} = 23{,}5$ %). В темном положении у ковеллина $R_0 = 6{,}4$ %, у ярровита $R_0 = 12{,}1$ %, у спионкопита $R_0 = 15{,}5$ %. Эффекты двуотраж. самые сильные у ковеллина, сильные у ярровита ($\Delta R_{отн}$ 0,41) и значительно слабее у спионкопита ($\Delta R_{отн}$ 0,2). При скрещенных николях для ковеллина и ярровита характерны оранжево-красные цв., для спионкопита оранжевые; в. р. отсутствуют. В масляной иммерсии в положении R_0 цв. ковеллина становится огненно-пурпурным (красно-фиолетовым), у ярровита к голубому цв. прибавляется фиолетовый отт., спионкопит остается голубым, понижается только отраж.; VHN ярровита 93—98; спионкопита 63—93 и железистого спионкопита 92—120. На воздухе ярровит и спионкопит быстро покрываются побежалостью.

Отл. Надежно диагностируются по рентгенограммам.

Нахожд. Очевидно, минералы не исключительно редкие. Спионкопит наблюдался только в пластинках джарлеита и анилита, ярровит в виде звездчатых агрегатов и по трещинкам в медно-железистых сульфидах. «Аномальный, остающийся синим» ковеллин описан в ряде м-ний. По данным Г. Ш. Моха (1971 г.), ниже 157° «остающийся синим» ковеллин устойчив и сосуществует с дигенитом и обычным ковеллином, выше этой температуры сосуществуют высокий дигенит и обычный ковеллин; ниже 76° сосуществуют «остающийся синим» ковеллин и анилит; последняя ассоц. особенно типична для аномального ковеллина.

Рентген. Спионкопит: 3,08 (9); 2,78 (3); 2,39 (2); 2,30 (3); 1,910 (10); 1,820 (3); 1,622 (2). Ярровит: 5,96 (2); 5,03(3); 3,68 (2,5); 3,06 (5,5); 2,85 (2,5); 2,77 (3,5); 1,899 (10).

Ковеллин Covellite Cu_2S_2 (1832)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}79$; $c = 16{,}34$; $Z = 6$; слоистая структура; Cu_2S_2 и Cu_2Se_2 образуют непрерывную серию твердых растворов.

Хим. Теор.: Cu 66,48; S 33,52; примеси Se, Fe, Ag, Pb, Zn, Sn.

Микр. Одноосный, положительный; беспримерно высокая дисперсия коэффициента преломления n ковеллина обусловила уникальность проявления его оптических свойств: в воздухе цв. ярко-голубой меняется при двуотраж. до индигово-синего с фиолетовым отт. и светло-голубовато-белого; в масляной иммерсии цв. (по R_0) становится насыщенным пурпурно-красным или фиолетово-красным, меняющимся при двуотраж. до зеленоватого. Включения ковеллина в церуссите и хлораргирите — минералах с очень высокими показателями преломления — выглядят оранжевыми или даже желтыми. Эффекты анизотропии у ковеллина исключительно сильные — ог-

ненно-оранжевые ярко-медно-розовые. Сп. по базису совершенная, в. р. нет; *H* отчетливо выше, чем у акантита, в призматических сечениях выше, чем у халькозина, в базальных несколько ниже; VHN 59—138, преимущественно 75—130. Спектры отраж. индивидуальны, сложного профиля с резкой дисперсией аномального типа (см. рис. 94), в крайней красной области (680 нм) кривые R_g и R_p пересекаются. Селенистый ковеллин изучен недостаточно. По данным Р. Миллера и др. (1981 г.), цв. голубой, двуотраж. и анизотропия слабые, часто можно не заметить. В иммерсии минерал остается голубым.

Отл. Уникальные оптические свойства позволяют легко определять ковеллин. Селенистый ковеллин сходен с дигенитом, спионкопитом, ярровитом.

Нахожд. Обилен в зоне цементации медных м-ний; в поздних гидротермальных минеральных ассоц. с энаргитом, борнитом, дигенитом, теннантитом и др. Селенистый ковеллин встречен в рудах с настураном, селенидами, теллуридами висмута.

Изуч. Сп.-190 — *Ахтала* (АрмССР) и др.

Рентген. 3,05 (7); 2,81 (10); 2,72 (6); 1,896 (8); 1,735 (4).

Бетехтинит Betechtinite $Cu_{21}Pb_2S_{15}$ ($Cu_{10}PbS_6$) (1955)

Ромб. с. *Immm*; $a = 3{,}86$; $b = 14{,}67$; $c = 22{,}80$; $Z = 4$. Устойчив ниже 150°, выше — разлагается на дигенит и галенит.

Хим. Теор. ($Cu_{21}Pb_2S_{15}$): Cu 59,85; Pb 18,58; S 21,57; примеси Fe 1,8—2,9; Ag до 0,8; *Джезказган* (КазССР): Cu 58,9; Ag 0,8; Fe 2,8; Pb 17,5; S 20,2; Σ 100,2.

Микр. Длиннопризматические кристаллы и их сростки в форме пучков, срастания с борнитом, халькозином. Отраж. умеренное, близок к тетраэдриту; отт. розовато-кремовый; на воздухе покрывается побежалостью, при этом окраска становится насыщенно-кремовой до коричневатой; двуотраж. слабое, но в сростках зерен в иммерсии заметное; анизотропен с блеклыми цв. эфф. Спектры отраж. имеют очень слабо выраженную дисперсию нормального типа, в области 620 нм кривые R_g и R_p пересекаются (рис. 95). Иногда заметна сп., ‖ удлинению; в. р. нет; *H* выше, чем у галенита, заметно ниже, чем у борнита и халькозина. VHN 165—195. В 1972 г. В. Атанасов на м-нии *Седмочисленицы* (НРБ) описал Ag-бетехтинит; по оптическим свойствам сходен с виттихенитом: цв. кремовый, двуотраж. слабое, анизотропен заметно; ассоц. с штромейеритом, наблюдались мирмекитовые сростки; *H* выше, чем у штромейерита.

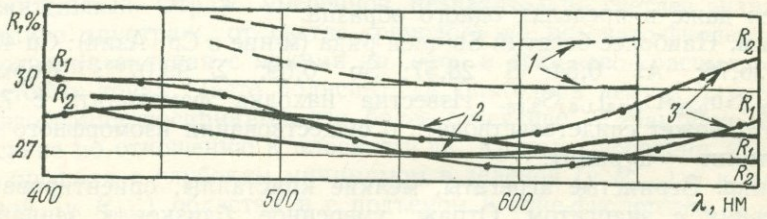


Рис. 95. Спектры отражения ларозита (1), бетехтинита (2), талкусита (3)

Отл. По рельефу и уровню отраж. похож на многие минералы (джезказганит, виттихенит, энаргит): джезказганит — рентгеноаморфен (изотропен), виттихенит — слабо анизотропен, энаргит отличается более насыщенным сиренево-розовым цв., более сильными эффектами двуотраж. и анизотропии. Спектры отраж. бетехтинита индивидуальны.

Нахожд. Поздний минерал вулканогенных гидротермальных медноколчеданных (типа *Куроко*, Япония; *Урун*, Кавказ) и колчеданно-полиметаллических м-ний, в кальцитовых жилах м-ний типа медистых сланцев (*Мансфельд*, ГДР) и медистых песчаников (*Джезказган*, КазССР); ассоц.: халькозин, борнит, дигенит, галенит, серебро, блеклые руды, халькопирит, клейофан; замещается халькозином, джарлеитом.

Изуч. *Джезказган*, *Урун* и др.

Рентген. 3,08 (8); 2,93 (10); 2,63 (3); 2,46 (3); 2,29 (2,5); 2,25 (2); 1,946 (4); 1,832 (8); 1,766 (2).

Ларозит Larosite $(Cu, Ag)_{21}PbBiS_{13}$ (1972)

Ромб. с. $a = 22{,}15$; $b = 24{,}03$; $c = 11{,}67$; $Z = 10$.

Хим. Cu 49,0; Ag 15,6; Pb 8,75; Bi 9,25; S 19,15; Σ 101,75[мз]; по составу и оптическим свойствам близок к бетехтиниту.

Микр. Длиннопризматические и игольчатые кристаллы, срастания с халькозином и штромейеритом. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту (см. рис. 95); отт. кремовый; двуотраж. слабое; умеренно анизотропен с желтоватыми цв. эфф.; VHN 87—125.

Нахожд. Редкий, в рудах 5-элементной формации (*Кобальт*, шт. Онтарио); ассоц.: борнит, халькопирит, галенит, арсенопирит, серебро, акантит, тетраэдрит, полибазит.

Рентген. 3,21 (5); 2,92 (9); 2,85 (6); 2,56 (4); 2,47 (6); 2,16 (4); 1,982 (10).

СУРЬМЯНЫЕ И МЫШЬЯКОВЫЕ СУЛЬФОСОЛИ Cu (Zn)

Фаматинит Famatinite Cu_3SbS_4 (1873)

Тетр. с. (псевдокуб.) $I\bar{4}2\,m$; $a = 5{,}38$; $c = 10{,}76$; $Z = 2$, в основе структуры — сфалеритоподобная ячейка. Изоструктурен с люконитом Cu_3AsS_4; конечный сурьмяный член непрерывной серии твердых растворов Cu_3SbS_4—Cu_3AsS_4; промежуточные члены серии в природе встречаются чаще, чем крайние. Соотношения Sb и As могут изменяться даже в пределах одного образца.

Хим. Наиболее богатый Sb член ряда (м-ние в Ср. Азии): Cu 43,15; Sb 26,76; As 0,54; S 28,57; Sn 0,09; Σ 99,07[мз]; формула: $Cu_{3,02}(Sb_{0,98}As_{0,03})_{1,01}S_{3,96}$. Известна находка фаматинита с 7,2 % Sn, что может свидетельствовать о существовании изоморфного ряда фаматинит — курамит.

Микр. Зернистые агрегаты, мелкие кристаллы, ориентированные срастания с энаргитом. Отраж. умеренное, близкое к теннантиту (рис. 96). Цв. розовато-фиолетовый. Двуотраж. несильное, но отчет-

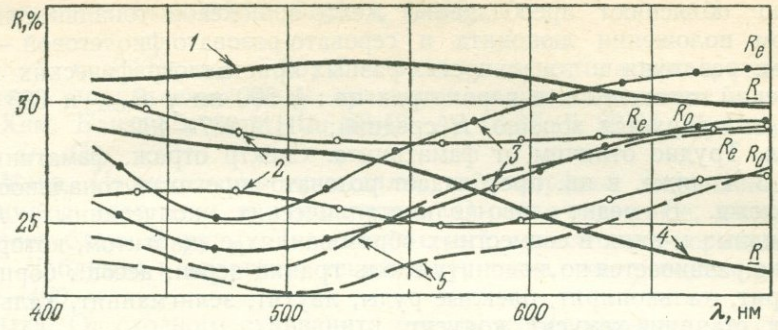


Рис. 96. Спектры отражения тетраэдрита (1), энаргита (2), люцонита (3), теннантита (4), фаматинита (5)

ливо заметно в агрегате зерен: от кремово-розоватого до сероватого-розоватого с сиреневым отт. Одноосный, положительный. Сильно анизотропен с цв. эфф. в густых красно-фиолетовых и светлых оливково-зеленых тонах. Характерны крупные дв., ‖ удлинению, и косое, угасание к плоскости двойникования. Сп. отчетливая, ‖ удлинению. Полируется хорошо. *H* чуть ниже, чем у энаргита; VHN 315—357. Спектр отраж. сложного профиля с глубоким прогибом в желто-зеленой области.

Отл. Похож на люцонит (люцонит несколько светлее) как визуально, так и по спектру отраж. (см. рис. 96). От фаматинита энаргит отличается более отчетливым розовато-фиолетовым цв. и по спектру отраж.

Нахожд. Характерный минерал Cu-Sn-Pb-Zn м-ний; в поздних минеральных ассоц. с блеклыми рудами, борнитом, халькопиритом, энаргитом, люцонитом, колуситом, хемуситом, эмплектитом.

Рентген. 3,08 (10); 2,67 (4); 1,890 (9); 1,612 (8); 1,336 (4).

Люцонит Luzonite $Cu_3A_3S_4$ (1874)

Тетр. с. (псевдокуб) $1\bar{4}2$ *m*; $a = 5{,}28$; $c = 10{,}44$; $Z = 2$; структурный аналог фаматинита, образует с ним изоморфный ряд.

Хим. Состав конечного, мышьякового члена ряда: Cu 48,2; As 18,7; Sb 0,1; S 32,3; Σ 99,3[мз]; формула $Cu_{3.01}(As_{0.99}Sb_{0.01})_1S_4$.

Микр. Зернистые агрегаты, отдельные мелкие зерна. Одноосный, положительный. Отраж. умеренное, незначительно светлее энаргита. Отчетливо двуотраж. от светло-кремового до розовато-фиолетового. Анизотропия сильная с яркими цв. эфф. в оранжево-красных, серо-фиолетовых тонах. Часто полисинт. дв. благодаря чему и двуотраж. и анизотропия воспринимаются более отчетливо. Характерно косое погасание по отношению к плоскости дв. Кривые дисперсии *R* сложного профиля с глубоким минимумом в зеленой (у R_{max}) и в желто-зеленой (у R_{min}) областях и с подъемом в сине-фиолетовом и оранжево-красном концах спектра (см. рис. 96). Эти особенности кривых

хорошо объясняют преобладание желто-оранжевой тональности в светлом положении люцонита и серовато-розовато-фиолетовой — в темном; различия в тональностях разных кристаллографических направлений отражены и в параметрах цв.: λ 590 нм у R_{max} и 603 нм у R_{min}. Полируется хорошо. *H* средний; VHN 257—432.

Отл. Трудно отличим от фаматинита. Спектр отраж. фаматинита на 2—3 % ниже, в цв. преобладает розовато-сиреневая тональность.

Нахожд. В медно-олово-полиметаллических, колчеданных, Au-сульфидных м-ниях в совместных образованиях с энаргитом, который нередко развивается по люциниту вдоль границ зерен; ассоц.: борнит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, лаутит, зелигманнит, халькостибит, станнин, хемусит, колусит.

Изуч. Сп.-232 — *Челопеч* (НРБ).

Рентген. (~ 1,8 % Sb); 3,03 (10); 2,64 (4); 1,853 (10); 1,593 (7); 1,579 (5); 1,324 (4).

Энаргит Enargite Cu_3AsS_4 (1850)

Ромб. с. *Pnm* 2_1; $a = 6{,}47$; $b = 7{,}44$; $c = 6{,}19$; $Z = 2$. Структура сходна со структурой вюртцита. Диморфен с люцонитом.

Хим. Теор.: Cu 48,42; As 19,02; S 32,56; часто отмечается примесь Sb до 6 %.

Микр. Таблитчато-призматические кристаллы, зернистые агрегаты, ориентированные срастания со сфалеритом, теннантитом, люцонитом. Отраж. умеренное, близкое к теннантиту. Двуотраж. слабое: от серовато-коричневатого до бледного сиреневато-розоватого (пурпурного). Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в синевато-серых, красноватых тонах. Дв. не наблюдались. В. р. густого красного цв. Полируется хорошо. Кривые дисперсии *R*, в отличие от люцонита и фаматинита, более пологие, близкие к горизонтальным. R_p имеет небольшой широкий минимум в желто-оранжевой области и почти симметричный подъем к красному и фиолетовому участкам, что объясняет нежный сиреневато-розоватый (часто пурпурный) тон в темном положении энаргита (см. рис. 96). *H* выше, чем у люцонита; VHN 212—357.

Отл. От люцонита и фаматинита отличается отсутствием дв., пурпурной тональностью, по спектрам отраж. По сравнению с борнитом энаргит светлее, не имеет желто-оранжевого цв., анизотропен, имеет густые красные в. р. Все три минерала (энаргит, люцонит и фаматинит) значительно тверже, чем борнит, и характеризуются анизотропным характером отпечатка.

Нахожд. В медноколчеданных, Pb-Sn, золото-сульфидных м-ниях часто в срастаниях с люцонитом и фаматинитом в ассоц. с борнитом, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, марказитом.

Изуч. Сп.-479 — *Кафан* (АрмССР).

Рентген. 3,22 (10); 3,08 (4); 2,87 (8); 2,22 (3); 1,859 (9); 1,731 (6); 1,608 (4); 1,590 (5); 1,556 (4).

Лазаревичит Lazarevicite Cu_3AsS_4 (1960)

Куб. с. $P\bar{4}3m$; $a = 5{,}28$; $Z = 1$; структура типа сфалерита. Возможно, принадлежит ряду сульванит — арсеносульванит.

Хим. Близок к теор.: Cu 48,42; As 19,02; S 32,56. Примеси Sb, Fe, Zn, Ge.

Микр. Изометричные кристаллы, ксеноморфные выделения, срастания с энаргитом и теннантитом. *Отраж.* умеренное, несколько светлее блеклой руды. Цв. светло-серый с желтовато-коричневатым отт. *H* близок к энаргиту, теннантиту, выше, чем у борнита; VHN 410—490.

Отл. От сходного сульванита отличается большей тв. (у сульванита 141—165), надежно по спектру отраж.

Нахожд. Относительно редкий. Характерный минерал медно-порфировых м-ний (*Кафан*, АрмССР, *Бор*); *в небольших количествах* в вулканогенных медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических м-ниях; в пирит-халькозин-борнитовых, пирит-сфалеритовых, пирит-энаргитовых рудах; ассоц.: теннантит, энаргит, халькозин, люцонит, идаит, гессит, теллуриды Bi.

Рентген. *Кафан*: 3,03 (9); 1,859 (10); 1,584 (9).

Скиннерит Skinnerite Cu_3SbS_3 (1974)

Монокл. с. $P2_1/c$; $a = 7{,}81$; $b = 10{,}25$; $c = 13{,}27$; $\beta = 90{,}35°$; $Z = 8$. Синт. аналог — низкий Cu_3SbS_3, устойчив ниже 122°.

Хим. *Илимаусак* (Гренландия): Cu 46,08; Ag 2,01; Sb 29,06; S 22,79; Σ 99,94[мз]; формула: $(Cu_{3,00}Ag_{0,08})_{3,08}Sb_{0,99}S_{2,93}$.

Микр. Неправильной формы зерна, агрегаты, срастания с сурьмой, тетраэдритом, халькостибитом, галенитом, лёллингитом. *Отраж.* умеренное, близкое к блеклым рудам. Цв. светло-голубовато-серый. Двуотраж. слабое, в иммерсии ясное; анизотропен, в иммерсии сильно анизотропен с цв. эфф. от бледно-пурпурного до серовато-желтого. Темно-красные в. р.; полисинт. дв. (образуются при полиморфном превращении высокий → низкий скиннерит при 122°). VHN 148—166.

Нахожд. Редкий. В анальцим-натролитовых жилах среди нефелиновых сиенитов плутона *Илимаусак*.

Рентген. 3,91 (6); 3,11 (6); 3,05 (7); 2,83 (10); 2,15 (5).

Халькостибит Chalcostibite $CuSbS_2$ (1847)

Ромб. с. *Pnma*; $a = 6{,}02$; $b = 3{,}79$; $c = 14{,}49$; $Z = 4$.

Хим. Чаще близок к теор.: Cu 25,48; Sb 48,81; S 25,71. Примеси As (до 1,5 %), Se, Bi, Ag.

Микр. Призматические, длиннопризматические кристаллы, агрегаты, иногда волнисто-изогнутые, каймы обрастания и замещения на халькопирите, тетраэдрите, реже антимоните. *Отраж.* умеренное, близкое к галениту. Цв. голубовато-зеленоватый, в контакте с тетраэдритом — синевато-голубой, с антимонитом — серовато-голубоватый. Двуотраж. заметное, но не такое сильное, как у цинкенита и

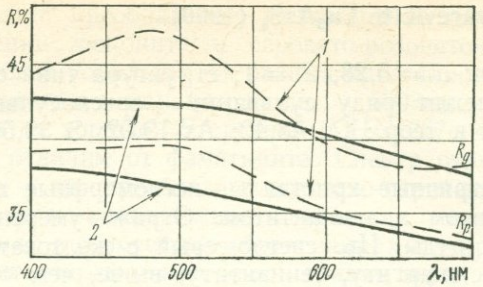


Рис. 97. Спектры отражения халькостибита (1), андорита (2)

джемсонита. Отчетливо анизотропен с цветными эффектами в блеклых зеленоватых, голубоватых, фиолетовых тонах. Спектры отражения характеризуются пологим максимумом в зеленой области (рис. 97, см. рис. 80). Отчетливая сп., || удлинению. *H* выше, чем у антимонита, несколько ниже, чем у халькопирита, тетраэдрита, сфалерита; VHN 185—290, обычно 200—260; в. р. густые красные.

Отл. Сходен с антимонитом, за который, очевидно, в большинстве случаев и принимается; отличается насыщенностью и отт. цв., значительно меньшей силой эффектов двуотраж. и анизотропии, по спектрам отраж. и рентгенограмме.

Нахожд. Относительно широко распространен в гидротермальных Sb, Cu, Sb-Hg, Au, Ag-Pb, Hg м-ниях; реакционный минерал, как правило, образуется при замещении халькопирита, кубанита, блеклых руд при наложении сурьмяной минерализации (антимонит, сурьма), реже при замещении антимонита и сурьмянистых сульфосолей при наложении медной, медно-ртутистой минерализации; ассоц.: антимонит, Sb-Pb и Ag-Pb-Sb сульфосоли, тетраэдрит, золото, ауростибит, бертьерит, халькопирит, Hg-тетраэдрит.

Изуч. Сп.-441-1 — *Терекское* (Ср. Азия), *Удерей* (Енисейск. край).

Рентген. 3,13 (10); 3,00 (9); 2,31 (4); 1,831 (4); 1,762 (5).

Синнерит Sinnerite $Cu_6As_4S_9$ (1964)

Трикл. с. *P*1; $a = 9{,}064$; $b = 9{,}830$; $c = 9{,}078$; $\alpha = 90°$; $\beta = 109{,}50°$; $\gamma = 107{,}60°$; $Z = 2$; субъячейка псевдокуб., близкая к теннантиту.

Хим. Близок к теор.: Cu 39,31; As 30,90; S 29,79.

Микр^{м}. Фестончатые, сферолитовые, ритмично-зональные агрегаты, прожилки, призматические кристаллы. Отраж., сходное с лаутитом и блеклой рудой (рис. 98). Цв. светло-серый с коричневатым отт. Ясно анизотропен, в тонкозернистых агрегатах анизотропия не заметна. Иногда наблюдаются дв. *H* ниже, чем у халькопирита, выше, чем у зелигманита; VHN 357—390.

Отл. Сходен со многими умеренно отраж. минералами: блеклыми рудами, лаутитом, новацкиитом и др. От лаутита отличается более высокой тв., от блеклых руд — эффектами анизотропии.

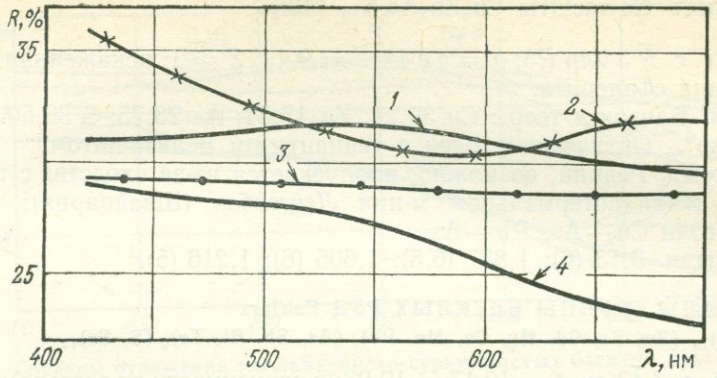


Рис. 98. Спектры отражения тетраэдрита (1), лаутита (2), синнерита (3), теннантита (4)

Нахожд. Редкий. Реакционный минерал, развит на контакте медно-полиметаллических руд (теннантит, халькопирит и др.) и наложенной барит-реальгар-аурипигментовой минерализации.

Изуч. Сп.-153 — *Эльбрусское* (Кавказ).

Рентген. Сп.-153: 2,97 (10), 2,62 (4); 1,85 (9); 1,57 (8); 1,51 (1); 1,31 (4); 1,20 (6).

Лаутит Lautite CuAsS (1881)

Ромб. с. *Pnma*; $a = 11{,}35$; $b = 3{,}75$; $c = 5{,}46$; $Z = 4$; устойчив ниже 574°.

Хим. Теор.: Cu 37,20; As 44,01; S 18,79. Примеси Ag до 1 %, Sb до 1,5 %. *Лаута* (ГДР): Cu 36,99; Ag 0,06; As 43,36; Sb следы; S 18,75; Se следы; Σ 99,16[мз]; СЭМ; формула: $Cu_{1,00}As_{0,99}S_{1,01}$.

Микр. Таблитчатые кристаллы, радиально-лучистые и зернистые агрегаты, перистые вростки в мышьяке, галените. Отраж. умеренное, несколько выше, чем у тетраэдрита. Цв. серовато-белый с коричневато-фиолетовым (пурпурным) отт. Двуотраж. очень слабое, распознается в редких случаях. Умеренно анизотропен. Спектр отраж. характеризуется пологим прогибом в желтой области (см. рис. 98). В. р. весьма слабые. Пластинчатые дв. развиты локально. *H* ниже, чем у мышьяка, значительно ниже, чем у энаргита; VHN 142—260, обычно 145—160. Полируется очень хорошо.

Отл. От сходного энаргита отличается бледным цв., пониженным *R*, слабой анизотропией, отсутствием сп., по рентгенограмме и спектру отраж.

Нахожд. Редкий. В низкотемпературных гидротермальных ассоц. с мышьяком, энаргитом, галенитом, теннантитом, фаматинитом, Cd-сфалеритом, пруститом, лёллингитом.

Изуч. Сп.-221 — *Лаута*.

Рентген. 5,68 (3); 3,10 (10); 2,46 (3); 2,17 (3); 2,06 (3); 1,903 (8); 1,797 (4); 1,642 (4); 1,610 (6).

Новацкиит Nowackiite $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$ (1965)

Триг. с. $\bar{R}3$ или $R3$; $a = 13{,}44$; $c = 9{,}17$; $Z = 1$; искаженная структура типа сфалерита.

Хим. *Близок к теор.:* Cu 30,21; Zn 15,54; As 23,75; S 30,50.

Микр^{м}. Оптически сходен с теннантитом и акташитом.

Нахожд. Редкий, возможно, пропускается из-за сходства с теннантитом. В гидротермальном м-нии *Ленгенбах* (Швейцария); ассоц.: сульфосоли Cu—As, Pb—As.

Рентген. 3,13 (6); 1,887 (6,5); 1,605 (6); 1,216 (5).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ БЛЕКЛЫХ РУД Fahlerz
$(Cu, Ag)_{10}$ $(Zn, Fe, Cd, Hg, Cu, Mn, Pb)_2$ $(As, Sb, Bi, Te)_4$ $(S, Se)_{13}$

Куб. с. $I\bar{4}3m$; $a = 10{,}17$ —10,98 (в зависимости от состава); $Z = 2$; структура, производная от структуры сфалерита.

Блеклые руды широко распространены, в ряде месторождений являются основными носителями Ag, Hg, Te, Se, Cu. Вариации в составе и свойствах блеклых руд являются одним из важных признаков зональности м-ний. Рассмотрены блеклые руды мышьяковисто-сурьмянистые, ртутистые, богатые Ag, висмутистые, теллуристые, селенистые. Существенной характеристикой блеклых руд любого состава является их сурьмянистость: $Sb_{ф.\,е}/Sb + As$ (%), иначе номер блеклой руды — по М. С. Сахаровой.

Блеклые руды, обогащенные ртутью, часто именуются швацитами. По мнению одних авторов, этот термин характеризует ртутистый тетраэдрит (Hg-тетраэдрит), по мнению других — ртутистый теннантит (Hg-теннантит). От тетраэдрита и блеклых руд теннантит-тетраэдритового состава существует непрерывный ряд до весьма богатых Ag блеклых руд. Наши данные показали близкую к линейной зависимость параметра решетки от содержания Ag (для сурьмянистых блеклых руд до 40 %, для мышьяковистых до 34 %). Блеклые руды при $Ag_{ф.\,е} > Cu_{ф.\,е}$ и $Sb_{ф.\,е} > As_{ф.\,е}$ относятся к аргентотетраэдриту; при $Ag > Cu$ и $As > Sb$,— к аргентотеннантиту; фрейбергит отвечает серебристому тетраэдриту. Висмутистые блеклые руды представлены висмутистыми тетраэдритом и теннантитом, аннивитом, в составе которого $Bi_{ф.\,е} > As_{ф.\,е}$ или $Sb_{ф.\,е}$. Блеклые руды, в которых $Te_{ф.\,е} > Sb_{ф.\,е} > As_{ф.\,е}$, целесообразно именовать сурьмянистым голдфилдитом; в которых $Te > As > Sb$ — мышьяковистым голдфилдитом. Блеклые руды при $Se_{ф.\,е} > S_{ф.\,е}$ и $Sb_{ф.\,е} > As_{ф.\,е}$, относятся к хакиту; при $Se > S$ и $As > Sb$ — к жиродиту. Кроме того, установлены селенистые теннантит, тетраэдрит, голдфилдит.

Теннантит Tennantite $(Cu, Ag)_{10}$ $(Zn, Fe, Cu, Hg)_2$ $(As, Sb)_4$ S_{13} (1819)

Тетраэдрит Tetrahedrite
$(Cu, Ag)_{10}$ $(Fe, Zn, Cu, Hg, Cd, Mn)_2$ $(Sb, As)_4S_{13}$ (1845)

Хим. Ряд теннантит — тетраэдрит непрерывный по составу. Известны медистые теннантиты (Cu^{2+} 1—2 ф. е.), железистые (Fe до 8 %), цинкистые (Zn до 9 %), ртутистые; содержания примесей до-

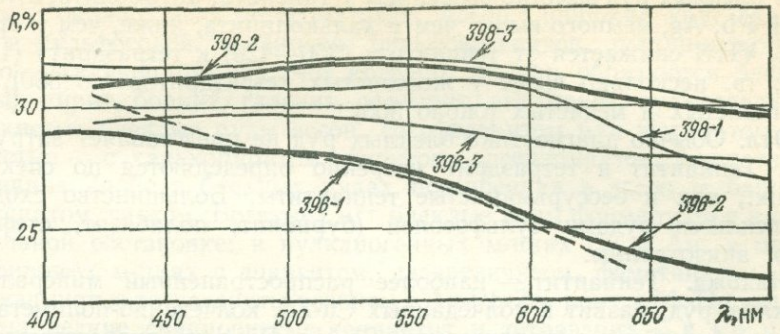


Рис. 99. *Спектры отражения мышьяковисто-сурьмянистых блеклых руд: теннантита (396) и тетраэдрита (398)*

стигают: Pb 4,5; Mn 1,5; Cd и Ge 0,5; Co 0,3. Известны медистые тетраэдриты (Cu^2 1—2 ф. е.), железистые (Fe до 7 %), цинкистые (Zn до 8 %), ртутистые, кадмистые (Cd до 12 %), марганцовистые (Mn до 6 %); примеси — Pb до 2 %, Sn до 3 % (табл. 26).

Микр. *Ксеноморфные выделения, прожилки, каймы обрастания* и замещения, зернистые агрегаты, вростки в других рудных минералах, кристаллы тетраэдрического облика. Отраж. умеренное (~ *30 %*). Цв. светло-серый со слабым зеленоватым (теннантит) или коричневатым (тетраэдрит) отт.; на контакте с галенитом серые, имеют коричневатый или зеленовато-коричневатый отт.; на контакте со сфалеритом — отчетливо светлее сфалерита; на контакте с сурьмянными сульфосолями Pb — светло-серые; на контакте с борнитом теннантит отчетливо зеленоватый; на контакте с голдфилдитом не только теннантит, *но и тетраэдрит отчетливо зеленоватый. Изотропны.*

У бессурьмянистого теннантита в крайней синей области *R* составляет около 29—30 %, в крайней красной области 22—23 %, (рис. 99). С ростом содержаний сурьмы отраж. увеличивается, изменяется профиль спектров отраж.; влияние первых 1—2 % примеси Sb на *R* блеклых руд сильнее, чем последующих 25 %. Спектры отраж. теннантитов, содержащих Sb немногим более 1,5 %, существенно отличны от спектров бессурьмянистых теннантитов, но весьма близки к спектрам теннантитов, содержащих 10—15 % Sb. Спектры отраж. *этих обычных теннантитов имеют очень пологий максимум* в зеленой и желто-зеленой областях. Спектры отраж. тетраэдритов отличаются незначительным прогибом в желто-зеленой (Zn- и Cu-Fe-тетраэдриты) или сине-зеленой (Fe-тетраэдрит) области, весьма пологим максимумом в желтой области. Для Zn- и Cu-Fe-тетраэдритов характерно довольно резкое снижение *R* в красной области, чем обусловлен их оливковый или зеленовато-коричневатый отт.; у Fe-тетраэдрита *это снижение весьма пологое, чем обусловлен его серый* или светло-серый цв., лишенный цв. отт. Отраж. цинкистых блеклых руд несколько ниже, чем у железистых. Заметная примесь Cu^{2+}, вероятно, вызывает некоторое повышение *R* в синей области и заметное его понижение в красной области.

H блеклых руд заметно выше, чем у галенита, антимонита, сульфосолей Pb, Ag, немного выше, чем у халькопирита, ниже, чем у сфалерита. VHN снижается от теннантита (350—420) к тетраэдриту (19 — 340); тв. несколько выше у железистых тетраэдритов (до 380), чем у цинкистых и медистых (около 300).

Отл. Обычно диагностика блеклых руд не представляет затруднений. Теннантит и тетраэдрит уверенно определяются по спектрам отраж., как и бессурьмянистые теннантиты. Большинство сходных с блеклыми рудами сульфосолей (бурнонит, полибазит, стефанит и др. анизотропны.

Нахожд. Теннантит — наиболее распространенный минерал гр. блеклых руд, развит в колчеданных Cu-Zn, колчеданно-полиметаллических, барит-полиметаллических, Sb-Hg, Bi и др. гидротермальных м-ниях; слагает количественно преобладающие (обычно) ранние генерации блеклых руд м-ний Au, а иногда и поздние генерации блеклых руд в составе их продуктивных ассоц. Тетраэдрит широко распространен в гидротермальных м-ниях Pb, Cu, Ag, Au, Bi, Hg, Sb, Sn; как правило, слагает поздние генерации блеклых руд, чаще и в большей степени, чем теннантит, концентрирует Ag, Hg, Cd, Mn, Te, Se. Блеклые руды нередко образуют ореолы рассеянной вкраплен-

Таблица 26

Компонент	Теннантит				Тетраэдрит		
	Сп.-396-1	Сп.-396-2	Сп.-396-3	Сп.-396-4	Сп.-398-1	Сп.-398-2	Сп.-398-3
Cu	42,81	42,73	41,71	38,88	39,87	40,24	37,31
Ag	0,68	0,09	0,43	2,13	0,92	0,15	1,72
Zn	8,07	0,16	3,75	4,09	6,05	1,58	3,03
Fe	0,85	7,56	4,91	3,45	0,14	3,67	4,02
Cd	0,15	—	0	0	0,33	—	0,20
As	20,25	20,93	18,86	11,70	2,95	4,35	0,96
Sb	0,34	0,06	1,74	11,72	24,91	22,53	28,15
S	27,81	28,05	27,82	26,30	25,28	26,28	25,01
Σ	100,96[мэ]	99,84[мэ]	99,29	98,27[мэ]	101,03[мэ]	99,37	100,18[мэ]
$Sb_{ф.е}/Sb + As$, %	1,0	0,2	5,4	38,2	83,9	76,1	96,0
VHN	360	354	393	337	298		306
a	10,23	10,20	10,22	10,31	10,38	10,30	10,41

Примечание. Кроме того, определены: сп.-396-2 — Pb 0,25 %; сп.-396-3 — Mn 0,07 %; сп.-398-1 — Se 0,58 %; сп.— 398-2 — Bi 0,33 %; сп.-398-3 — Hg 0,01 % и Mn 0,02 %; микрозонд «Камебакс» (СЭМ); химический анализ (НЛЕ).

ности в околорудных метасоматитах. Ассоц.: широкий круг сульфидов и сульфосолей, арсенидов, сульфоарсенидов, теллуридов; чаще всего — халькопирит (за счет которого обычно образуются блеклые руды), пирит, борнит, галенит, сфалерит, антимонит, сульфосоли Pb. Цинкистые блеклые руды ассоц. со сфалеритом или вюртцитом, железистые — с халькопиритом, пиритом, арсенопиритом, пирротином. Величина Zn/Fe в блеклых рудах повышенная в ассоц. с баритом, ангидритом, гипсом. Богатые Cu^{2+} блеклые руды формируются в окислительной обстановке: в вулканогенных м-ниях Cu и Au, в медно-порфировых м-ниях с энаргитом, лазаревичитом, фаматинитом. Редкие кадмистые тетраэдриты развиты в Ag-Pb-Zn, реже в Sb-Hg м-ниях; весьма редкие свинцовистые теннантит и тетраэдрит — в Pb рудах (образуются в условиях дефицита Fe, Zn, Hg при низком окислительном потенциале); редкие марганцовистые блеклые руды — в м-ниях, залегающих среди марганценосных толщ.

Изуч. См. табл. 26 и прилож. 3.

Рентген. Сильнейшие отраж. теннантита сп.-396-1 и тетраэдрита сп.-398-1: 2,95 (10) (222) и 3,00 (10); 1,809 (9) (440) и 1,836 (7); 1,540 (6) (622) и 1,562 (4). Параметр решетки от теннантита к тетраэдриту существенно увеличивается.

Ртутистые блеклые руды Mercurian fahlerz

Hg-теннантит Hg-tennantite $(Cu, Ag)_{10}(Hg, Zn, Fe)_2(As, Sb)_4S_{13}$

Hg-тетраэдрит Hg-tetrahedrite $(Cu, Ag)_{10}(Hg, Zn, Fe)_2(Sb, As)_4S_{13}$

Хим. Ряды теннантит — Hg-теннантит (Hg до 23 %) и тетраэдрит—Hg-тетраэдрит (Hg до 21 %) непрерывные по составу.

Микр. Hg-содержащие блеклые руды практически неотличимы от других блеклых руд, кроме теннантита, который отчетливо зеленоватый. Hg-теннантит и Hg-тетраэдрит серые, светло-серые с коричневатым отт.: на контакте с киноварью с кремово-коричневатым отт. Спектры отраж. ртутистых блеклых руд отчетливо разнятся со спек-

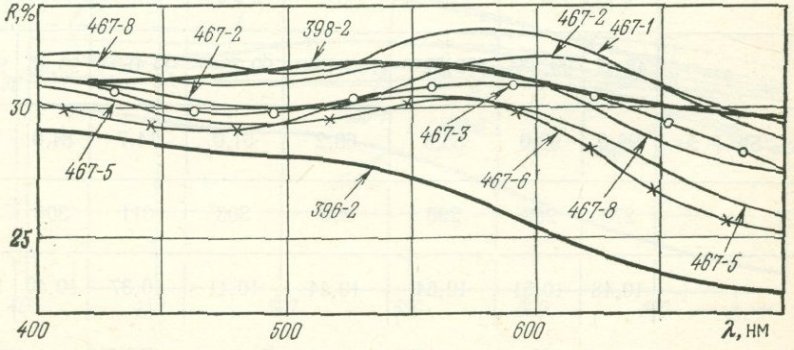


Рис. 100. Спектры отражения ртутистых блеклых руд: Hg-теннантита, Hg-тетраэдрита

трами блеклых руд без Hg (рис. 100, см. рис. 99); для ртутистых характерны существенный максимум в желтой области (540—620 нм для Hg-тетраэдрита, 520—590 нм для Hg-теннантита), заметный прогиб в зеленой области — около 500 нм, более резкое снижение R в красной области. Даже значительная (до 16 %) примесь Ag, которая способствует развитию выпрямленного профиля спектра отраж., не может «преодолеть» полностью влияние Hg. Ртуть настолько сильно влияет на отраж. блеклых руд, что это заметно уже для образцов, содержащих 2—3 % Hg и резко выражено у образцов с 5—6 % (см. рис. 100). VHN 250—370, обычно 260—290, т. е. заметно ниже, чем у блеклых руд без ртути.

Нахожд. Hg-теннантит и Hg-тетраэдрит установлены в Hg и Sb-Hg м-ниях. Ртутьсодержащие блеклые руды распространены широко, так как блеклые руды — один из лучших концентраторов, «уловителей» ртути из гидротермальных растворов; в полиметаллических, Ag, Au м-ниях ассоц.: халькопирит, галенит, Hg-сфалерит, антимонит, киноварь, метациннабарит, широкий круг сульфосолей Pb. Ртуть, благодаря своей летучести, насыщает примерно в равной степени блеклые руды одной минеральной ассоц. Существенно отличающиеся

Таблица 27

Компонент	Hg-тетраэдрит					Hg-теннантит	Тетраэдрит	Теннантит
	Сп.-467-1	Сп.-467-2	Сп.-467-3	Сп.-467-4	Сп.-467-5	Сп.-467-6	Сп.-467-7	Сп.-467-8
Cu	—	31,9	22,7	34,1	35,4	35,4	35,37	37,30
Ag	—	—	16,0	1,03	0,25	—	3,02	—
Zn	—	0,51	0,55	1,03	0,45	0,31	3,51	7,14
Fe	—	0,03	0	0,11	0,62	0,16	2,69	0,10
Hg	23,0	20,3	18,7	18,4	18,0	21,5	3,50	7,56
As	0,21	0,16	2,57	5,16	7,96	14,3	2,66	13,64
Sb	24,9	25,2	20,8	18,0	13,5	3,99	24,14	7,71
S	—	21,4	21,2	22,6	23,6	23,8	24,55	25,67
Σ	48,11	99,5[мз]	102,52[мз]	100,43[мз]	99,79[мз]	99,46[мз]	99,86	99,47
$Sb_{ф.\,е}/Sb + As$	98,6	99,0	83,3	68,2	51,0	14,7	84,0	25,8
VHN	270	282	230	299	303	311	308	294
a	10,48	10,51	10,64	10,44	10,41	10,37	10,40	10,36

Примечание. Сп.-467-1 и сп.-467-7 — химический анализ (ШНГ), в последнем, кроме того, определен Bi (0,42 %); сп.-467-8 — химический анализ (НЛЕ), кроме того, определены: Cd (0,73 %) и Pb (0,12 %); микрозонд «Камека» (ЛЮГ).

содержания Hg в блеклых рудах в пределах одного м-ния являются индикатором многоэтапности его формирования.

Изуч. См. табл. 27.

Рентген. Ртуть сильно влияет на параметр решетки: Hg-теннантит $a \simeq 10{,}4$, Hg-тетраэдрит $a \simeq 10{,}5$.

Серебристые блеклые руды Argentian fahlerz

Ag-тетраэдрит (фрейбергит) Ag-tetrahedrite (freibergite)
$(Cu, Ag)_{10}$ $(Fe, Zn, Hg \ldots)_2$ $(Sb, As)_4$ S_{13} (1853)

Аргентотетраэдрит Argentotetrahedrite
$(Ag, Cu)_{10}$ $(Zn, Fe \ldots)_2 \times (Sb, As)_4S_{13}$

Аргентотеннантит Argentotennantite
$(Ag, Cu)_{10}$ $(Zn, Fe \ldots)_2$ $(As, Sb)_4S_{13}$ (1986)

Хим. Аргентотетраэдрит содержит >29 % Ag, аргентотеннантит >28 % Ag, фрейбергит 10—29 % Ag. Богатые Ag блеклые руды, как правило, бедны Te, Se, Bi, Cu^{2+}, иногда обогащены Hg, Cd.

Микр. Ксеноморфные выделения, агрегаты зерен, каймы обрастания, прожилки. Теннантит и тетраэдрит, содержащие Ag до 10 %, мало отличаются от блеклых руд (соответствующей сурьмянистости) без Ag. Для фрейбергита характерны профили спектров отраж., близкие к горизонтальной линии (рис. 101); этим обусловлен близкий к нейтральному, лишенный цветовых отт. цв. фрейбергита. *R* аргентотетраэдрита значительно выше, чем у фрейбергита, у него существенно иные профили спектров отраж., со значительным максимумом в синей области. Этим обусловлен отчетливый голубоватый отт. аргентотетраэдрита, даже в контакте с галенитом и алларгентумом.

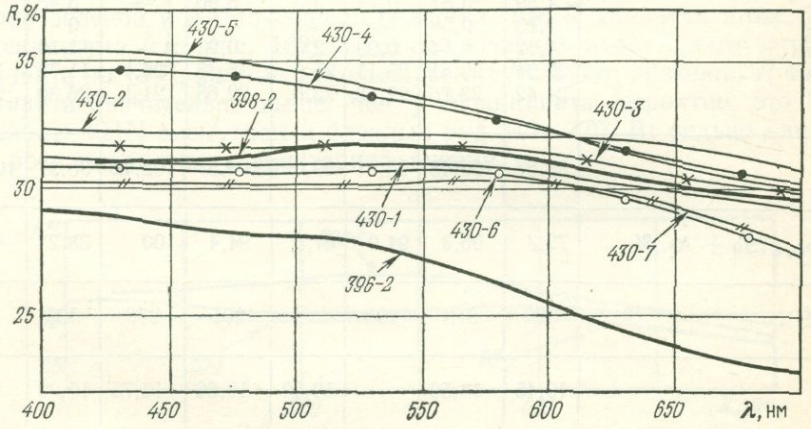


Рис. 101. Спектры отражения серебряных блеклых руд: аргентотетраэдрита, фрейбергита, аргентотеннантита, Ag-теннантита, тетраэдрита

В целом, R сурьмянистых блеклых руд с ростом содержания Ag (особенно при Ag $>$ 20 %) заметно увеличивается. Отраж. мышьяковистых блеклых руд с ростом содержаний Ag увеличивается мало (см. рис. 101). Спектры отраж. теннантита, богатого Ag, и аргентотеннантита, бедного Ag, в синей, зеленой и желтой областях имеют выпрямленный профиль, в красной области R сильно понижается, чем обусловлен слабый зеленоватый отт. Для аргентотеннантита, обогащенного Ag, характерен небольшой максимум R в синей области и существенное снижение R — в красной, для него отмечается слабый зеленовато-голубоватый отт. VHN блеклых руд, богатых Ag, ниже, чем у блеклых руд без Ag (см. табл. 26 и 28).

Отл. Оптически (в том числе по спектрам отраж.) трудно надежно диагностировать богатые Ag блеклые руды.

Нахожд. Аргентотетраэдрит развит в гидротермальных вулканогенных и телетермальных м-ниях Au, Ag, серебро-полиметаллических, Ag-Sn-W; ассоц.: блеклые руды другого состава, серебро, электрум, полибазит, пираргирит, алларгентум; фрейбергит — в м-ниях тех же типов встречается значительно чаще, кроме того,— в плутоногенных и телетермальных Au-Sb м-ниях. Аргентотеннантит и серебристый

Таблица 28

Компонент	Фрейбергит				Аргентотетраэдрит		Теннантит	Аргентотеннантит
	Сп.-430-1	Сп.-430-2	Сп.-430-3	Сп.-430-4	Сп.-430-5	Сп.-430-6	Сп.-430-7	Сп.-430-8
Cu	29,42	27,99	23,26	22,2	15,81	14,7	38,88	17,21
Ag	11,32	14,12	19,85	20,2	33,50	40,3	2,13	30,87
Zn	2,68	2,65	6,09	2,8	0,28	—	4,09	5,93
Fe	4,39	3,81	0,73	3,5	5,96	—	3,45	1,21
Hg	1,73	0,58	—	—	—	—	0	0
As	4,92	0,64	0,99	2,3	0,93	—	11,70	9,02
Sb	20,94	26,81	25,11	25,0	25,38	26,1	11,72	12,64
S	24,42	23,76	22,88	23,0	22,65	21,1	26,30	22,87
Σ	99,87	100,48	98,91	99,0	104,51	102,42	98,27	100,02
$Sb_{ф.е}/Sb + As$, %	72,3	96,3	94,0	87,0	94,4	100	38,2	46,3
VHN	330	318	298		291	276	365	307
a	10,45	10,52		10,50	10,66	10,73	10,29	10,58

Примечание. Кроме того, определены: сп.-430-1 — Pb 0,05 %; сп.-430-2 — Au 0,12 %; сп.-430-6 — Se 0,22 %; сп.-430-8 — Cd 0,11 %, Mn 0,04 %, Pb 0,12 %; микрозонды «Камебакс» (СЭМ, ССМ, СНЕ), JXA-5 (ЧВМ); *химический анализ — НЛЕ.*

теннантит распространены значительно менее, чем Ag-Sb блеклые руды, развиты в плутоногенных золото-антимонитовых (золото-кварцевых) м-ниях и в некоторых вулканогенных м-ниях Au; ассоц.: галенит, аргентотетраэдрит, прустит, сульфосоли Pb и Bi.

Изуч. См. табл. 28 (5, 6 — колл. И. А. Брызгалова).

Рентген. Аргентотеннантит сп.-430-8: 3,06 (10) (222); 2,83 (0,5) (321); 2,65 (3) (400); 2,49 (1) (330); 2,37 (0,5) (420); 2,26 (0,5) (421); 2,16 (0,5) (422); 2,073 (2) (510); 1,930 (1) (521); 1,869 (8) (440); 1,815 (0,5) (530); 1,763 (0,5) (600); 1,716 (1) (611); 1,595 (2) (622); 1,529 (0,5) (444); 1,497 (0,5) (550). Серебро сильно влияет на параметр решетки; для блеклых руд, бедных Hg, Te, Bi, Se, по параметру решетки можно оценить содержание Ag. Максимальный параметр решетки (a = 10,93) установлен для синт. кадмистого аргентотетраэдрита.

Висмутистые блеклые руды Bismutian fahlerz
Аннивит Annivite $(Cu, Ag)_{10}(Fe, Zn)_2(Bi, As, Sb)_4S_{13}$ (1855)

Хим Ряд Bi-теннантит — аннивит непрерывен по составу. Висмутистые теннантит (сп.-120-1) и тетраэдрит (сп.-120-2) (*Тырныауз, Кавказ*): Cu 38,4 и 36,0; Ag 0; Zn 5,4 и 6,4; Fe 1,6 и 0,8; As 9,6 и 2,6; Sb 3,6 и 14,6; Bi 13,9 и 15,8; S 25,5 и 24,2; Σ 98,0 и 100,4 мз; БЮС; формулы: $Cu_{10,09}(Zn_{1,37}Fe_{0,48})_{1,85}(As_{2,15}Sb_{0,49}Bi_{1,11})_{3,75}S_{13,31}$ и $Cu_{9,87} \times (Zn_{1,75}Fe_{0,25})_2(As_{0,62}Sb_{2,08}Bi_{1,31})_{4,01}S_{13,15}$; $Sb_{ф.е}/Sb + As = 18,8$ и 77,6.

Микр. Висмутистые блеклые руды практически неотличимы от других блеклых руд. У Bi-теннантита отсутствует зеленоватый отт. в отличие от теннантита без Bi. Спектр отраж. богатого Bi-теннантита имеет выпрямленный профиль с незначительным минимумом в зеленой области (рис. 102). У спектров Bi-тетраэдрита широкий слабо выраженный минимум в зеленой и желто-зеленой областях. Отраж. Bi-тетраэдрита в целом ниже, чем у тетраэдрита без Bi. Спектр отраж. мышьяковистого аннивита характеризуется широким минимумом в сине-зеленой и желто-зеленой областях, где R аннивита ниже, чем у теннантита (см. рис. 102). Сходный профиль имеет спектр отраж. аннивита по [35], данные о его составе отсутствуют; значения R этого аннивита значительно выше, чем у As-аннивита (вероятно, это Sb-аннивит) VHN висмутистых блеклых руд 340—370. Bi сильно влияет на рост параметра элементарной ячейки.

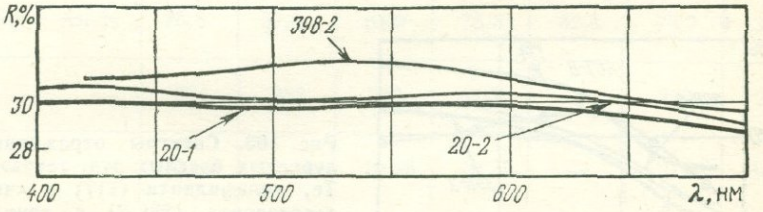


Рис. 102. Спектры отражения висмутовых блеклых руд: тетраэдрита-Bi (398) и аннивита (20)

Нахожд. В гидротермальных м-ниях: Bi, вулканогенных колчеданно-полиметаллических и Au; Co-Ni-As; Ag-Hg; ассоц.: виттихенит, эмплектит, айкинит и другие сульфосоли Bi.

Изуч. Сп.-120-1,2 — *Тырныауз* (колл. О. В. Кононова).

Теллуристые блеклые руды Tellurian fahlerz

Голдфилдит Goldfieldite $Cu_{10}Cu_2$ (Te, Sb, As, Bi)$_4$ (S, Se)$_{13}$; $Cu_{10}Cu_2$ (Te, As, Sb, Bi)$_4$ (S, Se)$_{13}$ (1909)

Хим. Ряд тетраэдрит — теллуристый тетраэдрит — голдфилдит сурьмянистый непрерывен по составу. Голдфилдит содержит Te от 13 до 25 %, переменные количества As, Sb, Bi; беден Ag, Zn, Fe; богат Cu^{2+}, иногда Se (см. табл. 29 и прилож. 3).

Микр. Тетраэдрические кристаллы, чаще зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, каймы, прожилки. Для теллуристых блеклых руд характерен розовато-коричневый отт. В контакте с голдфилдитом и теннантит, и тетраэдрит выглядят отчетливо зелеными. В контакте с теллуридами Au-Ag или Bi голдфилдит выглядит как обычная блеклая руда.

Спектры отраж. голдфилдита сурьмянистого и мышьяковистого однотипны, профиль их близок к горизонтальной линии (рис. 103). R голдфилдитов изменяется в зависимости от состава от 29,5 до 31 %, выше у Sb-голдфилдита. Голдфилдитовый тип спектра отраж. характе-

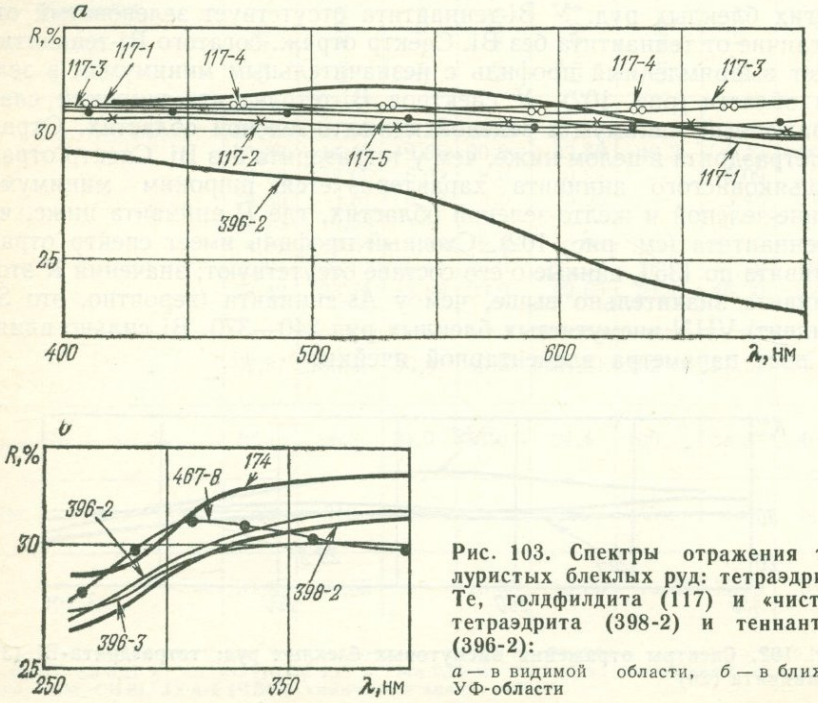


Рис. 103. Спектры отражения теллуристых блеклых руд: тетраэдрита-Te, голдфилдита (117) и «чистых» тетраэдрита (398-2) и теннантита (396-2):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

ризуется малым размахом колебаний $R_{абс} < 0{,}6$ %, нередко $< 0{,}3$ %. Для многих голдфилдитов отмечен небольшой рост R в красной области. На большей части видимой области R голдфилдита ниже, чем у тетраэдрита.

Профиль спектра отраж. тетраэдрита, содержащего Te всего 2,7 %, имеет уже голдфилдитовый характер, а спектр отраж. тетраэдрита с 7 % Te практически совпадает со спектрами голдфилдита с 15 и 23 % Te (см. рис. 103). В ряду тетраэдрит — голдфилдит влияние на отраж. первых 2,5 % примеси Te значительнее, чем последующих 20 %. VHN у голдфилдита 205—240, обычно менее 230; у теллуристого тетраэдрита с ростом содержания Te снижается от 280 до 230.

Нахожд. Голдфилдит и теллуристые тетраэдрит и теннантит — типоморфные минералы вулканогенных м-ний золото-кварцевой и золото-колчеданной формаций; ассоц.: теллуриды Au, Ag, Bi, сульфиды Sn-Cu-Fe, сульфоселениды и селенотеллуриды Bi, колусит. В вулканогенных медноколчеданных м-ниях ассоц. с энаргитом, моусонитом. Изредка в плутоногенных медно-порфировых м-ниях с энаргитом и колуситом.

Изуч. См. табл. 29 и прилож. 3.

Таблица 29

Компонент	Te-тетраэдрит			Sb-голдфилдит		Bi-Sb-голдфилдит	Se-As-голдфилдит
	Сп.-117-1	Сп.-117-2	Сп.-117-3	Сп.-117-4	Сп.-117-5	Сп.-117-6	Сп.-117-7
Cu	39,49	40,73	42,18	43,92	43,68	43,17	42,40
Ag	0,63	0,17	1,90	0,18	0	0,25	0,18
Zn	6,06	0,57	0,49	0,37	0,92	0	0
Fe	0,14	5,01	2,04	1,10	0,09	0,09	0,83
As	4,25	6,85	4,12	2,05	0,65	0,94	4,61
Sb	21,59	14,76	12,39	12,37	5,04	5,64	3,60
Bi	0	1,61	5,24	0,27	1,88	6,58	2,49
Te	0,94	2,73	7,27	14,98	22,51	17,89	15,76
S	25,49	24,95	25,51	25,06	22,07	20,99	18,88
Se	0,44	0	0	—	5,00	7,18	12,01
Σ	99,80	97,51	101,48	101,34	101,84	102,73	100,76
$Sb_{ф.\,е}/Sb + As$, %	75,8	57,0	64,9	78,8	82,6	78,7	32,5
VHN	334	282	232	205	—	230	229
a	10,32	10,33	10,36	10,35	—	10,38	10,37

Примечание. Кроме того, определены: сп.-117-1 — Cd 0,77 %; сп.-117-2 — Ge 0,06 %, Sn 0,07 %; сп.-117-3 — Ge 0,18 %, Sn 0,16 %; сп.-117-4 — Au 0,94 %, Pb 0,07 %, Sn 0,03 %; микрозонд «Камебакс» (СЭМ).

Рентген. Рентгенограммы голдфилдита, теллуристых тетраэдрита и теннантита близки к рентгенограмме тетраэдрита без Te; теллур слабо влияет на параметр решетки сурьмянистых блеклых руд. Bi-Sb-голдфилдит (сп.-117-6): 4,25 (1) (211); 3,65 (3) (220); 3,00 (10) (222); 2,77 (3) (321); 2,60 (6) (400); 2,445 (5) (330); 2.320 (1) (420); 2,120 (3) (422); 2,035 (4) (431); 1,895 (5) (521); 1,835 (9) (440); 1,779 (1) (433); 1,730 (1) (600); 1,684 (3) (611); 1,564 (8) (622).

Селенистые блеклые руды

Хакит Hakite $(Cu, Ag)_{10}Hg_2 (Sb, As)_4 (Se, S)_{13}$ (1971)

Жиродит Giraudite $(Cu, Ag)_{10} (Zn, Cu)_2 (As, Sb)_4 (Se, S)_{13}$ (1982)

Хим. Хакит, как правило, содержит Se 34—40 %, Hg 15—16 %; содержания примесей достигают: Ag 9, Tl 2,5, Ge 1, Mo и Cd 0,5. Жиродит содержит Se ~ 41, Ag до 4, Hg до 1, Tl до 0,3. Хакит (*Пржедборжице*, ЧССР): Cu 21,02 и 20,21; Ag 6,96 и 8,56; Tl 1,44 и 0; Zn 0,17 и 0,02; Fe 0,01 и 0; Co 0,02 и 0; Mn 0 и 0,07; Hg 15,79 и 15,75; Cd 0,24 и 0,20; As 2,45 и 0,99; Sb 13,12 и 17,15; Ge 1,08 и 0; Mo 0,74 и 0; S 1,90 и 0,85; Se 36,35 и 38,37; Σ 101,29 и 102,17 мас.%; СЭМ; формулы: $(Cu_{8,21}Ag_{1,60}Tl_{0,17})_{9,98} (Zn_{0,06}Hg_{1,95}Cd_{0,05}Co_{0,01})_{2,07} (As_{0,81} \times \times Sb_{2,67}Ge_{0,37}Mo_{0,19})_{4,04} (S_{1,48}Se_{11,43})_{12,91}$ и $(Cu_{8,05}Ag_{2,01})_{10,06} \times \times (Zn_{0,01}Mn_{0,03}Hg_{1,99}Cd_{0,04})_{2,07} (As_{0,33}Sb_{3,57})_{3,90} (S_{0,67}Se_{12,30})_{12,97}$. Жиродит (*Шамеан*, Франция): Cu 32,78; Ag 1,73; Zn 3,19; Fe 0,03; Hg 0,30; As 9,56; Sb 7,50; S 4,12; Se 40,62; Σ 99,83 мас.%; формула: $(Cu^{+}_{9,68} Ag_{0,32})_{10} (Zn_{1,00}Fe_{0,01}Hg_{0,04}Cu^{2+}_{0,92})_{1,97} (As_{2,60}Sb_{1,28})_{3,88} (S_{2,64} \times \times Se_{10,51})_{13,15}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, каймы обрастания, прожилки. Хакит умеренно отраж. (33—35 %); серого, светло-серого цв. с розовато-коричневым отт.; на контакте с селенидами Cu-Ag и с фишессеритом выглядит как обычный тетраэдрит. С ростом содержания Ag отраж. хакита заметно повышается, профиль спектра отраж. приближается к горизонтальной линии (рис. 104); *R* серебросодержащих хакитов с заметной примесью Tl и Ge ниже. Спектр отраж. жиродита близок тетраэдриту, отличаясь несколько более высоким отраж. в

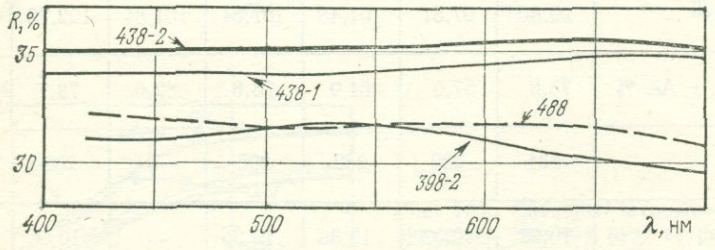


Рис. 104. Спектры отражения селенистых блеклых руд: хакита (438), жиродита (488) и «чистого» тетраэдрита (398-2)

красной области. В целом R селенистых блеклых руд заметно выше R аналогичных по сурьмянистости сернистых блеклых руд (теннантита, тетраэдрита, голдфилдита). VHN пониженная: у хакита 306, у серебросодержащего хакита 217—242, у жиродита 293.

Отл. *Хакит относительно надежно диагностируется по спектрам отраж.*

Нахожд. Селенистые блеклые руды — типоморфные минералы телетермальных U-Se и Au-U-Se м-ний; ассоц.: селениды Pb, Cu, Ag, Fe, Hg, Tl, перминжатит, фишессерит, уранинит, гематит.

Изуч. Сп.-438-1,2 — *Пржедборжице.*

Рентген. Tl-Ag хакит (сп.-438-1): 5,5 (1) (200); 4,47 (3) (211); 3,88 (2) (220); 3,67 (0,5) (300); 3,17 (10) (222); 2,93 (6) (321); 2,74 (5) (400); 2,59 (6) (330); 2,45 (1) (420); 2,34 (0,5) (332); 2,24 (1) (422); 2,16 (5) (510); 2,00 (6) (521); 1,941 (9) (440); 1,884 (2) (530); 1,830 (2) (600); 1,780 (5) (611); 1,736 (0,5) (620); 1,653 (8) (622); 1,553 (3) (550); 1,495 (1) (552); $a = 10{,}978$, параметр решетки самый высокий для блеклых руд.

СУЛЬФИДЫ Zn, Mn, Cd

Сфалерит Sphalerite ZnS или (Zn, Fe, Mn, Cd, Hg, Cu) S (1847)

Куб. с. $F\,\bar{4}3m$, $a = 5{,}43$ (заметно изменяется в зависимости от состава, см. ниже); $Z = 4$; отвечает β-ZnS, устойчивому ниже 1020°, выше переходит в вюртцит; при повышенных T образует непрерывные серии твердых растворов с халькопиритом $CuFeS_2$ (выше 500°), хоулиитом CdS, штиллеитом ZnSe, метациннабаритом HgS (HgS до 28 % при 260°, до 46 % при 330°), станнином и кёстеритом Cu_2 (Fe, Zn) SnS_4 (Sn 1 % при 400°, 2 % при 500°), галлитом $CuGaS_2$, рокезитом $CuInS_2$, бриартитом Cu_2 (Fe, Zn) GeS_4, окартитом Ag_2FeSnS_4; ограниченные твердые растворы с троилитом FeS, пирротином, алабандином MnS, халькозином-дигенитом Cu_2S, ковеллином Cu_2S_2 и др. По этой причине сфалериты высокотемпературных м-ний содержат *массу примесей различных элементов, часто в форме продуктов распада* твердых растворов. Состав сфалерита — хороший индикатор зональности и стадийности формирования м-ний; в парагенезе с промежуточным (гексагональным) пирротином и пиритом может служить для оценки давления в ходе рудообразования (или метаморфизма руд).

Хим. *Теор.: Zn 67,09; S 32,81.* Содержания примесей достигают: Fe 30 (чаще 20), Hg 35 (чаще < 1), Cd 9 (чаще < 1), Mn 18 (чаще <1), Cu 15 (обычно <0,5), In 1 (обычно <0,1), Sn и Ni 0,5 (преимущественно < 0,1), Tl и Co 0,1, Ge 0,05, Ag 0,03. Для сфалерита характерен незначительный избыток S, степень нестехиометрии до 0,9 % (поэтому сфалерит образуется при повышенной фугитивности S в отличие от вюртцита). Сфалерит в ассоц. с троилитом содержит до 50 % FeS, в ассоц. с пирротином более 10 %, чаще~20 %. Железистые (высокотемпературные) сфалериты обогащены In, Cu, Co; маложелезистые (как правило, низкотемпературные) — Cd, Ge, Tl, Ag. Mn-сфале-

риты могут быть обогащены Fe и (или) Cd. Hg-сфалериты бедны Fe и Mn, содержат до 5 % Cd.

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, звездчатые, пластинчатые, псевдоизометричные ламелли в халькопирите, станнине, решетчатые структуры распада твердого раствора с халькопиритом, станнином, галлитом, бриартитом, мирмекитовые срастания с галенитом, бурнонитом. Как правило, содержит то или иное (часто значительное) количество мелких телец халькопирита (чаще), пирротина (реже), станнина (изредка). Наличие структур распада даже в очень мелких выделениях сфалерита облегчает их диагностику. Отраж. низкое (< 20 %) — самый низкоотраж. из распространенных сульфидов. R с ростом содержаний Fe, Mn, Cd, Hg увеличивается. В изученной серии сфалеритов с содержанием Fe от 0,2 до 27 % значения $R_{абс}$ увеличиваются ~ на 1,5 %; с ростом содержания Fe (до 8 % FeS) R заметно повышается в синей области, далее (до 20 % FeS) — в синей области R не меняется, но заметно повышается в крас-

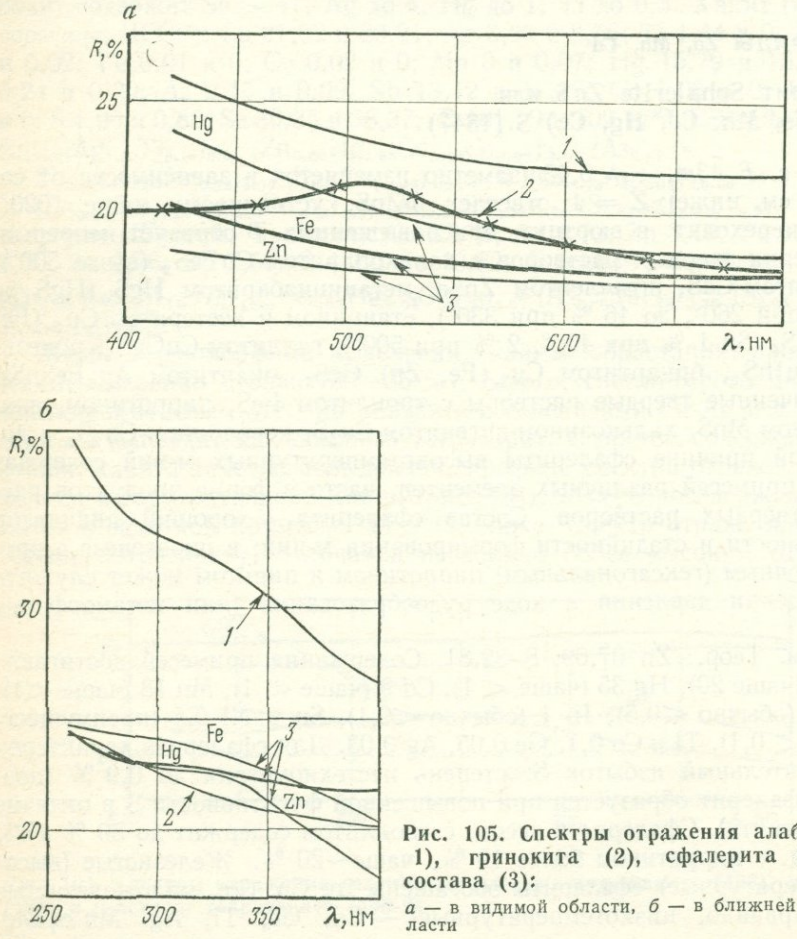


Рис. 105. Спектры отражения алабандина 1), гринокита (2), сфалерита разного состава (3):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

ной; при дальнейшем росте железистости R почти не увеличивается (рис. 105). У сфалеритов с примесью Cd до 9 % отраж. в синей области выше на 3 %, в красной — на 1,5 % по сравнению со сфалеритом без примесей. У сфалерита, содержащего 25 % Hg, отраж. выше, чем у сфалерита чистого, в синей области на 5 %, в красной — на 1,5 %. Цв. сфалерита серый до темно-серого с еле заметным синеватым, чаще с коричневатым отт.; изотропен; обильные в. р.: у маложелезистых белые, желтоватые, у более железистых — светло- и темно-коричневые; при одном николе наблюдение в. р.— лучший способ диагностики микровыделений сфалерита. В более крупных выделениях сп. по (110), в мелких — она не видна. H средний, ниже, чем у пирротина, магнетита, ильменита, пирита, выше, чем у халькопирита, станнина, тетраэдрита, энаргита. VHN 130—310, обычно 170—230, у кадмистых 210—275, у высококадмистых 250—310 (зависимость VHN от содержаний Fe приведена на рис. 6). Люминесцирует под УФ-излучением (различным цв. в зависимости от состава). Руды, богатые сфалеритом, удобно изучать в прозрачно-полированных шлифах, в т. ч. в проходящем свете.

Отл. От магнетита отличается более низкой твердостью, наличием в. р., телец распада халькопирита или пирротина. При травлении в сфалерите выявляются полисинт. дв.

Нахожд. Широко распространен во многих типах м-ний: от Cu-Ni до осадочных. Темноокрашенные железистые сфалериты ранних генераций из руд м-ний любого типа обогащены In, особенно много In (в среднем 0,1 %) в сфалеритах сульфидно-касситеритовых м-ний; Sn-сфалерит ассоц. со станнином, богатый In — с рокезитом. Наиболее богаты Ge (в среднем 170 г/т) сфалериты низкотемпературных Pb-Zn м-ний в карбонатных породах. Hg-сфалерит слагает вростки в киновари или метациннабарите. Mn-сфалерит развит в ассоц. с алабандином в жильных и пластовых м-ниях Mn и в вулканогенных Ag-Sn м-ниях (с алабандином, бенавидеситом); в равновесных сфалерите и алабандине FeS_{FeS}: FeS_{MnS} 1,5—2.

Изуч. Сп.-384-1 (Fe 0,2 %)—*Сокольное*, Алтай; сп.-384-2 (Fe 27 %) синт. фаза; сп.-384-3 (Hg 25 %) — *Догдо*, Якутия; колл. В. С. Груздева.

Рентген. 3,12 (10); 2,71 (1); 1,912 (5); 1,633 (3); 1,240 (1). Параметр решетки почти линейно увеличивается с ростом содержаний Fe, Cd.

Вюртцит Wurtzite ZnS или (Zn, Cd, Fe, Mn) S (1861)

Известно много политипов вюртцита, рентгенометрические данные приведены для наиболее распространенного вюртцита — 2H.

Гекс. с. $P6_3mc$; $a = 3{,}82$; $c = 6{,}26$ (увеличиваются с ростом содержания Cd); $Z = 2$; в сухих системах устойчив выше 1020°, при более низких T метастабилен, устойчивости структуры способствует примесь Cd. В гидротермальных условиях переход сфалерит — вюртцит представляет моновариантную функцию T и фугитивности S — вюртцит стабилен при более низкой f_{S_2}, чем сфалерит; выше 250°

поле стабильности вюртцита лежит за пределами обычной области сульфидности рудообразующих растворов; ниже 250° вюртцит образуется в восстановительных условиях. Образует непрерывные твердые растворы с гринокитом, а при повышенных T — и с MnS, троилитом, кубанитом, станнином, кестеритом, черниитом, бриартитом, чем объясняется наличие примесей Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Ge.

Хим. Отличается от теор. (Zn 67,09; S 32,91) небольшим дефицитом S. Содержания примесей достигают: Cd 46 (обычно около 1); Fe 8; Mn 1; Pb 0,5; Ge 0,1.

Микр. Радиально-лучистые, зернистые агрегаты, изредка удлиненные кристаллы, прослои в концентрических слоях почковидных сфалеритов, тонкие срастания со сфалеритом, марказитом, грейгитом, пиритом, галенитом (часто ритмично-зональные). При травлении агрегатов выявляется характерная структура ледяных узоров. Отраж., цв., в. р. аналогичны сфалериту (рис. 106). R вюртцита, богатого Cd, повышено ~ на 1 %. Двуотраж. наблюдается с трудом только в иммерсии: $\perp$ к удлинению — светло-серый, $\parallel$ удлинению (R_0) — темно-серый. Слабо анизотропен. Обильные в. р. маскируют эффекты анизотропии. Оптически одноосный, положительный. H аналогичен сфалериту; VHN 145—265.

Отл. От сходного сфалерита надежно отличается по рентгенограмме, отсутствию полисинт. дв. (в протравленных шлифах).

Нахожд. В подчиненных количествах широко развит в неметаморфизованных вулканогенных колчеданных м-ниях, в отложениях гидротерм на дне океанов, в вулканогенных Sn-Ag, Sn-Ag-Bi м-ниях; обилен в низкотемпературных Pb-Zn м-ниях замещения в карбонатных толщах, в ряде осадочных м-ний (в мергелях и сидеритах); часто в значительной степени замещен сфалеритом. Особо разнообразны подтипы вюртцита (гекс и ромб.) в осадочных м-ниях.

Изуч. Сп.-90 — *Чаувай* (Ср. Азия).

Рентген. 3,35 (10); 3,16 (3); 2,96 (5) 1,937 (7); 1,784 (5); 1,650 (5); 1,311 (2).

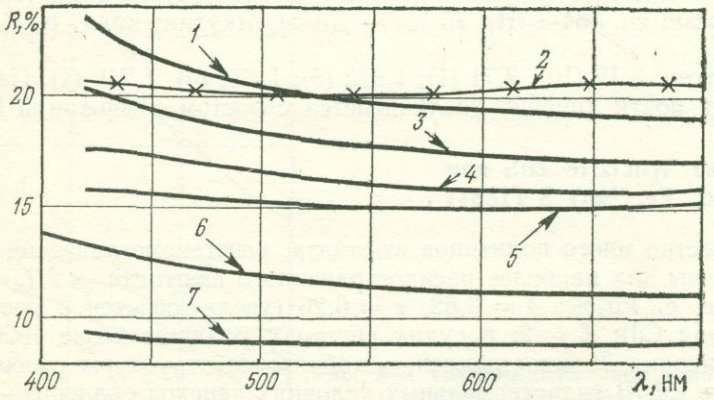


Рис. 106. Спектры отражения вюртцита (1), магнетита (2), сфалерита (3), уранинита (4), настурана (5), цинкита (6), коффинита (7)

Полхемусит Polhemusite (Zn, Hg) S (1978)

Тетр. с. $P4/n$ (?); $a = 8{,}71$; $c = 14{,}74$; $Z = 32$; метастабильная неупорядоченная фаза; по составу аналог ртутистого сфалерита.

Хим. Переменный. $Zn_{0,9-0,8}$ $Hg_{0,1-0,2}S$; Hg до 26. Примесь Fe.

Микр. Мелкозернистые агрегаты. Отраж., близкое к сфалериту, в синей области выше, чем у сфалерита. Цв. серый с голубоватым отт. Двуотраж. очень слабое: R_o (светло-сиреневый) $> R_e$ (голубоватый); сила двуотраж. уменьшается к длинноволновой области, при 650 нм — изотропен. Сильные буровато-красные в. р. Наблюдаются коленчатые (как у рутила) и пластинчатые дв. Иногда зональный. *H* выше, чем у антимонита, киновари, метациннабарита; VHN 220—335.

Отл. Сходен со сфалеритом, вюртцитом. Надежно диагностируется по рентгенограмме.

Нахожд Редкий, в Sb-Hg м-нии *Биг-Крик* (шт. Айдахо, США); ассоц.: антимонит, киноварь, ртутистый сфалерит, цинковистый метациннабарит, арсенопирит, тетраэдрит.

Рентген. 3,13 (7); 3,09 (10); 1,888 (8) 1,608 (7); 1,222 (5).

Алабандин Alabandite MnS (1832)

Куб. с. $Fm3m$; $a = 5{,}22$ (уменьшается с ростом содержания Fe); $Z = 4$; $T_{пл}$ 1610°; в синт. алабандине (в ассоц. с пиритом и пирротином) растворимость FeS увеличивается от 5 (100°) до 15 (400°) и 22 % (750°).

Хим. Теор.: Mn 61,37; S 38,63. Примеси достигают: Fe 9 (чаще 1—3); Cd, Zn и Cu 1 (чаще $>0{,}1$); Mg 3. *Дастакерт* (АрмССР): Mn 59,67; Fe 1,09; Mg 3,37; Cu 0,10; S 36,35; Σ 99,58; формула: $(Mn_{0,95}Fe_{0,02}Mg_{0,11})_{1,08}S_{0,92}$. Алабандин в ассоц. с пиритом содержит до 10 % FeS, с пирротином — более 15 %.

Микр. Зернистые агрегаты (зерна зазубренной формы), ксеноморфные выделения. Отраж. низкое, близкое к сфалериту, в контакте с которым выглядит отчетливо светлее. *R* алабандина, богатого Fe, почти не отличается от маложелезистого. Цв. светло-серый, изотропен; в. р. наблюдаются значительно реже, чем у сфалерита, цв. их темно-зеленый, коричневатый. Спектры отраж. подобны сфалериту (см. рис. 105). В шлифах плохого качества заметна сп. по кубу, чаще выраженная системой параллельных трещин одного направления. Травление нередко выявляет зональное строение и тонкопластинчатые дв., как у сфалерита. Иногда содержит ламелли распада пирротина, реже халькопирита, нередко — пылевидные вростки халькопирита и пирита. *H* отчетливо, но незначительно ниже, чем у сфалерита; VHN 140—280, обычно 210—250. При длительном хранении покрывается серой побежалостью.

Нахожд. В небольших количествах широко распространен (часто пропускается из-за сходства со сфалеритом) в м-ниях Cu-Ni, скарновых W и Pb-Zn, W грейзеновой формации, медно-порфировых, вулканогенных колчеданных (типа *Куроко*), вулканогенных Sn-Ag и Au-Ag, гидротермальных Zn-Mn и Mn, пластовых Mn; а также в уг-

лях, сидеритах и др.; ассоц.: родохрозит, силикаты и оксиды Mn, марганцовистый сфалерит, бенавидесит, пирит, пирротин, халькопирит, блеклые руды, галенит.

Изуч. Сп.-7 — *Дастакерт*; *Тырныауз* (Кавказ); *Сэкэрымб* (СРР).

Рентген. 2,61 (10); 1,846 (7); 1,510 (4); 1,168 (5).

β-алабандин β-alabandite (MnS)

Гекс. с. $C6\bar{m}c$; $a = 3{,}99$; $c = 6{,}44$; $Z = 2$; структура типа вюртцита.

Мелкие призматические кристаллы (в илах, богатых органическим веществом).

Рентген. 3,46 (4); 3,05 (4); 1,996 (10); 1,823 (10); 1,346 (10).

Гринокит Greenockite CdS (1840)

Гекс. с. $P6_3mc$; $a = 4{,}14$; $c' = 6{,}72$ (истинная величина $c = 24\ c'$); $Z = 2$; структура типа вюртцита, с которым образует неограниченные твердые растворы.

Хим. Обычно близок к теор.: Cd 77,81; S 22,19. Примеси Zn (до 26, чаще < 1), Mn, Fe, Hg, Ni.

Микр. Мелкозернистые агрегаты, мелкие кристаллы. Отраж. низкое, близкое, к сфалериту. Цв. серый в контакте со сфалеритом — отчетливо зеленоватый. Двуотраж. незаметное, анизотропия слабая, маскируется многочисленными глубокими в. р. желтого и оранжево-красного цв. Спектры отраж. отличаются характерным максимумом в области 510 нм (см. рис. 105). *H* ниже, чем у сфалерита; VHN 52—91. По спектру отраж. диагностируется надежно.

Нахожд. Редкий, в поздних минеральных ассоц. гидротермальных м-ний Ag, самородной меди; большей частью гипергенный в зоне выветривания сульфидных м-ний.

Изуч. Сп.-122-1 — м-ние в Ср. Азии; сп.-122-2 — синт. фаза.

Рентген. *3,59* (8); *3,36* (7); 3,18 (10); 2,07 (7); *1,899* (6); *1,759* (5); 1,399 (4); 1,328 (4).

Хоулиит Hawleyite CdS (1955)

Куб. с. $F\bar{4}3m$; $a = 5{,}82$; $Z = 4$; изоструктурен со сфалеритом.

Хим. В составе минерала примеси Zn (1,2—4,8); Fe.

Микр. Зернистые агрегаты, каемки обрастания на сфалерите, чаще порошковатая масса. Отраж. низкое, но отчетливо выше, чем у сфалерита. Цв. серый, с зеленоватым отт. в контакте с галенитом. Изотропен. В иммерсии иногда заметны кроваво-красные в. р. *H* немного ниже, чем у гринокита.

Нахожд. В зоне выветривания м-ний, содержащих кадмистый сфалерит, в фосфатоносных и ураноносных битуминозных сланцах.

Рентген. 3,36 (10); 2,90 (4); 2,06 (8); 1,75 (8); 1,34 (3).

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ СТАННИНА

В гр. станнина объединены минералы, в основе структуры которых лежит сфалеритоподобная ячейка с $a \sim 5{,}4$. В этой ячейке происходит упорядочение атомов различных металлов по позициям Zn в структуре сфалерита, что приводит к сверхструктурам, кратным сфалеритовой по одному, двум или всем трем направлениям.

Станнин Stannite Cu_2FeSnS_4 (1787)

Тетр. с. $I\bar{4}2m$; $a = 5{,}4$; $c = 10{,}74$ ($a = 5{,}449$, $c = 10{,}75$ при содержании Zn 2,7 %); $Z = 2$; синт. аналог устойчив в области 565—710°; при повышенных T существуют широкие области тв. растворов Cu_2FeSnS_4—ZnS, $CuFeS_2$, Cu_2CdSnS_4, Cu_2HgSnS_4, Cu_2ZnSnS_4; с халькопиритом неограниченная смесимость выше 462°.

Хим. Теор.: Cu 29,56; Fe 12,99; Sn 27,61; S 29,84. Примеси достигают: Zn 3,5, In 2, Cd 0,5, Ag, Mn, Hg. В целом состав не отклоняется от стехиометричного $(Cu, Ag)_2 (Fe, Zn, Cd, Mn) (Sn, In) S_4$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, вростки в сфалерите, халькопирите, мирмекитовые срастания с халькопиритом, *станноидитом, ламелли в сфалерите, халькопирите*. Отраж. умеренное, несколько ниже, чем у тетраэдрита, значительно выше, чем у сфалерита (рис. 107). Цв. оливково-серый, иногда оливково-зеленый; *цинк — содержащий — бурого цв. (отраж. понижается с возрастанием содержания Zn)*. Двуотраж. слабое от коричневато-серого до зеленоватого. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в коричневых тонах, иногда с фиолетовым отт. Иногда наблюдаются пластинчатые дв.

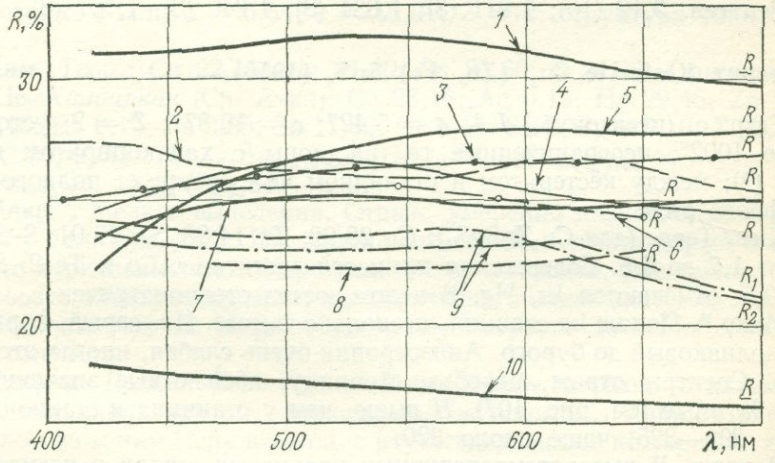


Рис. 107. Спектры отражения тетраэдрита 398-2 (1), окартита (2), курамита (3), великита (4), станнина 373-1 (5), черниита (6), кестерита (7), сакураита (8), пиркитасита (9), сфалерита 384-1 (10)

(как у халькопирита); сп. *H* выше халькопирита, станноидита, близок к тетраэдру, ниже, чем у сфалерита, кёстерита; VHN 140—325.

Отл. По цв. может быть спутан с Cu-Sb блеклыми рудами, но несколько темнее последних и анизотропен.

Нахожд. Широко распространен в м-ниях сульфидно-касситеритовой и силикатно-касситеритовой формаций, в вулканогенных Ag-Sn, Ag-Sn-Bi, Au-Ag м-ниях в ассоц. с халькопиритом, сфалеритом, пиритом, касситеритом, пирротином, арсенопиритом, висмутом, андоритом и др.; в грейзеновых м-ниях Sn и W; в гранитных пегматитах с сульфидами; в м-ниях 5-элементной формации; регионально-метаморфизованных колчеданных (*Outokumpu*, Финляндия) и колчеданно-полиметаллических (*Брокен-Хилл*, Австралия) м-ниях.

Изуч. Сп.-373-1 —*Чат-Карагай* (Ср. Азия), сп.-373-2 — м-ние на Северо-Востоке СССР.

Рентген. 3,13 (10); 1,914 (7); 1,643 (5); 1,627 (4); 1,242 (6).

Изостаннин Isostannite Cu_2 (Fe, Zn) SnS_4 (1956)

Куб. с. (?); $a = 5{,}40$; недостаточно изучен; возможно, является высокотемпературной куб. модификацией Cu_2FeSnS_4, устойчивой в области 350—565°. Не исключено, что это — плохо изученный кёстерит.

Хим. Состав аналогичен станнину. Возможно, есть примеси, стабилизирующие куб. структуру.

Микр [м]. Очень похож на станнин, отраж. несколько ниже. Изотропный, иногда слабо аномально анизотропен. Со станнином образует срастания типа структур распада тв. раствора.

Нахожд. В сульфидно-касситеритовых, грейзеновых Sn-W, вулканогенных Ag-Sn м-ниях.

Рентген. 3,12 (10); 1,911 (8); 1,634 (8); 1,240 (8); 1,107 (8).

Кёстерит Kesterite Cu_2 (Zn, Fe) SnS_4 (1956)

Тетр. с. (псевдокуб.) $I\bar{4}$; $a = 5{,}427$; $c = 10{,}871$; $Z = 2$; устойчив ниже 1002°; неограниченные тв. растворы с халькопиритом выше 490° (?); между кёстеритом и станнином не существует полного изоморфного ряда.

Хим. Теор. (для Cu_2ZnSnS_4): Cu 28,92; Zn 14,88; Sn 27,01; S 29,19; Fe от 1,7 до 6,5. Содержания примесей достигают: Co и Te 2; Sb 1; Mn 0,5; отмечаются In, Hg. В целом состав стехиометричен.

Микр [м]. Похож на станнин, несколько темнее. Цв. серый, коричневато-оливковый до бурого. Анизотропия очень слабая, иногда отсутствует. Спектры отраж. подобны станнину, абсолютные значения на 1—3 % ниже (см. рис. 107). *H* выше, чем у станнина и станноидита; VHN 290—325, чаще около 320.

Нахожд. В высокотемпературных кварцевых жилах и пегматитах среди аляскитов и грейзенизированных гранитов в ассоц. со сфалеритом, станнином, халькопиритом, касситеритом. В полиметаллических м-ниях в ассоц. со станнином, халькопиритом, касситеритом,

галенитом, шапбахитом и др. В серебряно-полиметаллическом м-нии с Ag-Pb сульфосолями, пиритом и др.

Изуч. Сп.-180 — *Кёстер* (Вост. Сибирь).

Рентген. 3,13 (10); 2,70 (3); 1,913 (5); 1,638; 1,245 (3); увеличение содержания Fe снижает значение *c*.

Черниит Černiite Cu_2CdSnS_4 (1978)

Тетр. с. $I\bar{4}2m$; $a = 5{,}487$; $c = 10{,}848$; $Z = 2$; структура типа станнина.

Хим. Cu 28,1; Cd 9,3; Zn 4,9; Fe 3,6; Mn 0,06; Sn 26,3; S 28,5; Σ 100,8[мз]; формула $Cu_{1,99}(Cd_{0,37}Zn_{0,34}Fe_{0,29}Mn_{0,01})_{1,01}Sn_1S_4$.

Микр [м]. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у блеклых руд (см. рис. 107). Цв. серый и светло-серый с кремово-коричневатым отт., совсем неотличим от кёстерита. Двуотраж. незначительное, в иммерсии отчетливое от кремово-серого с желтоватым отт. до светло-серого. На воздухе анизотропия очень слабая, в иммерсии отчетливо анизотропен в серых тонах. VHN 189.

Отл. Почти неотличим от кёстерита, но в иммерсии черниит сильнее двуотраж.

Нахожд. В сульфидоносных щелочных пегматитах *Танко Майн* и *Хуго Майн* (США) черниит встречается в тонких срастаниях с кёстеритом и станнином (типа структур распада тв. раствора); ассоц.: пирротин, сфалерит, хоулиит, халькопирит, самородный Bi.

Рентген. 5,39 (3) (002); 3,15 (10) (112); 2,73 (3) (200); 2,225 (3) (114); 1,937 (5ш) (220); 1,927 (5ш) (024); 1,649 (4) (132); 1,638 (4) (116).

Великит Velikite Cu_2HgSnS_4 (1977)

Тетр. с. $I\bar{4}2m$; $a = 5{,}54$; $c = 10{,}91$; $Z = 2$; структура типа станнина.

Хим. Теор.: Cu 22,12; Hg 34,90; Sn 20,66; S 22,32. Примеси Zn, Cd, Ge. *Хайдаркан* (Ср. Азия): Cu 23,16; Ag 0,19; Hg 29,46; Zn 2,49; Co 0,16; Pb 0,10; Fe 0,05; Sn 17,60; Ge 1,31; S 24,78; Se 0,10; Σ 99,40[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{2,01}Ag_{0,01})_{2,02}(Hg_{0,81}Zn_{0,21}Cd_{0,01})_{1,03} \times$
$\times (Sn_{0,82}Ge_{0,10})_{0,92}(S_{4,02}Se_{0,01})_{4,03}$.

Микр [м]. Мелкие выделения. Отраж. умеренно низкое, близок к кёстериту (см. рис. 107). Цв. зеленовато-серый и светло-серый с зеленовато-коричневым отт. Двуотраж. незначительное, плеохроирует от желтовато-оливково-зеленого до коричневато-оливкового. Анизотропный с блеклыми цв. эфф. от фиолетово-голубого до темного зеленовато-голубого.

Нахожд. Редкий. В Sb-Hg м-нии *Хайдаркан*, в ассоц. с антимонитом, метациннабаритом, киноварью, акташитом, ливингстонитом. В одном из м-ний Перу в ассоц. с ртутьсодержащим кёстеритом, энаргитом, рутилом.

Изуч. Сп.-74 — *Хайдаркан* (колл. В. Ю. Волгина).

Рентген. Сп.-74 : 5,37 (1,5) (002); 3,17 (10) (112); 2,78 (1,5) (200); 1,958 (2) (220); 1,941 (8) (204); 1,671 (4) (312); 1,646 (3,5) (303).

Курамит Kuramite Cu_2CuSnS_4 (1979)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2\,m$; $a = 5{,}445$; $c = 10{,}75$; $Z = 2$. Структурный аналог станнина (?).

Хим. Ср. из трех анализов: Cu 37,63; Fe 2,41; Zn 1,71; Sn 29,30; In 0,35; S 27,94; Σ 99,34[мз]; ТНВ; формула: $(Cu_{0,66}Fe_{0,19}Zn_{0,12})_{0,97}\,(Sn_{1,11}In_{0,01})_{1,12}S_{3,91}$.

Микр[м]. Мелкие выделения в голдфилдите. Отраж. умеренно низкое. Цв. серый и светло-серый (на фоне розовато-коричневатого голдфилдита). Двуотраж. в воздухе не наблюдается. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в бурых тонах. По спектрам отраж. весьма близок к станнину, оловосодержащему фаматиниту, мохиту (см. рис. 107). VHN 335—400.

Нахожд. Редкий. Установлен в голдфилдите из фаматинит-блеклорудных скоплений в вулканогенном м-нии золота; ассоц. с гесситом, петцитом, сильванитом, алтаитом, золотом, халькопиритом, халькостибитом, эмплектитом.

Изуч. Сп.-214 — м-ние в Ср. Азии, колл. В. А. Коваленкера.

Рентген. Сп.-214:3,13 (10) (112); 1,914 (8) (024, 220); 1,640 (6) (132, 033, 116); 1,244 (3) (332, 316); 1,108 (4) (244).

Окартит Hokartite Ag_2FeSnS_4 (1966)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2m$; $a = 5{,}72$; $c = 10{,}98$; $Z = 2$; структурный аналог станнина, при повышенных T непрерывные ряды твердых растворов Ag_2FeSnS_4—Cu_2FeSnS_4.

Хим. Теор.: Ag 41,61; Fe 10,77; Sn 22,89; S 24,73. Примеси достигают: Cu 4; Zn 5,5; As 0,5; установлены Pb, Bi, Sb. *Чат-Карагай*, Ср. Азия: Ag 43,0; Cu 0,6; Fe 8,0; Zn 2,2; Sn 23,1; S 23,5; Σ 100,4[мз]; формула: $Ag_{2,11}\,(Fe_{0,76}Zn_{0,18}Cu_{0,05})_{0,99}Sn_{1,03}S_{3,88}$.

Микр[м]. Мелкие (десятые доли миллиметра) изометричные выделения, срастания с канфильдитом, станнином, галенитом, пластинчатые срастания со станнином и кёстеритом (структуры распада твердого раствора). Отраж. умеренно низкое. Цв. серый со слабым коричневатым и коричневато-розовым отт., в контакте с зеленоватым станнином более четко проявлен розовато-фиолетовый отт. Двуотраж. не наблюдается. Слабо анизотропен с цв. эфф. в коричневых тонах. По спектру отраж. несколько отличен от станнина (см. рис. 107). Повышение содержания Ag приводит к увеличению R и смещению максимумов спектра отраж. в коротковолновую область. Часто полисинт. сдвойникован. По H близок к станнину; VHN 190—210.

Отл. От станнина отличается характерным розоватым отт.; от канфильдита — анизотропией.

Нахожд. В вулканогенных Ag-Sn м-ниях в ассоц. с сульфидами и сульфосолями Ag и Sn; в зависимости от типа м-ний ассоц. также с галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, касситеритом, марказитом, халькостибитом, канфильдитом. В зоне окисления замещается серебром и гидростаннатом.

Рентген. 3,27 (10) (112); 2,90 (3) (020); 2,04 (4) (220); 1,988 (6) (024); 1,724 (5) (312); 1,670 (3) (116).

Пиркитасит Pirquitasite Ag_2ZnSnS_4 (1982)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2m$ (или $I\bar{4}$); $a = 5{,}786$; $c = 10{,}829$; $Z = 2$; структура типа станнина.

Хим. Теор.: Ag 40,85; Zn 12,38; Sn 22,48; S 24,29. Примеси достигают: Fe 5; Cu 2.

Микр. Пластинчатые ламелли в родостаннине, срастания с вюртцитом. Очень похож на окартит, отличается более коричневатым цв., светло-коричневатый и серовато-коричневатый. Двуотраж. слабое, плеохроирует от серого с зеленоватым отт. до серого с коричневым отт. Сильно анизотропен с цв. эфф. от коричнево-красного до светло-зеленого. Красные в. р. Для спектра отраж. характерно пересечение кривых R_g и R_p при 590—670 нм (см. рис. 107). Обычно полисинт. сдвойникован. VHN 170—250.

Нахожд. Редкий. Установлен в вулканогенном Sn-Ag м-нии *Пиркитас* (Аргентина) в ассоц. с родостаннином, вюртцитом, окартитом, станнином, марказитом, касситеритом, франкеитом, миаргиритом.

Рентген. 3,27 (10); 2,90 (4); 2,72 (3); 2,05 (6); 1,976 (8); 1,735 (8) 1,650 (3); 1,324 (3).

Мохит Mohite Cu_2SnS_3 (1982)

Трикл. с. $P1$; $a = 6{,}64$; $b = 11{,}51$; $c = 19{,}93$ ($c \sim 3a$); $\alpha = \gamma = 90°$, $\beta = 109{,}75°$; $Z = 12$; структура, производная от структуры станнина; аналог синт. фазы Cu_2SnS_3.

Хим. Близок к теор.: Cu 37,15; Sn 34,71; S 28,13. Примеси Sb, до 3 %.

Микр [м]. Мелкие удлиненные выделения вдоль границ тетраэдрита и оловосодержащего фаматинита; срастания с эмплектитом и касситеритом в тетраэдрите, замещающем голдфилдит и фаматинит. Очень похож на станнин и курамит ($R \sim 25$—26 %). Цв. серый с зеленоватым отт. Двуотраж. на воздухе не наблюдалось, у синт. фазы в зернистых агрегатах проявлены слабое двуотраж. и ясная анизотропия с цв. эфф. в зеленовато-бурых и буро-красных тонах. Дисперсия отраж. близка к нулю.

Отл. Надежно диагностируется только по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. Установлен в вулканогенном м-нии Au, в ассоц. с теллурсодержащими блеклыми рудами, фаматинитом, курамитом, моусонитом, эмплектитом, касситеритом.

Изуч. Сп.-262 — м-ние в Ср. Азии, колл. В. А. Коваленкера.

Рентген. Сп.-262: 3,66 (1) (024); 3,13 (10) (006, 200); 2,82 (1) ($\bar{2}23$); 2,72 (2) ($\bar{2}06$); 2,44 (2) ($\bar{2}26$); 2,11 (1) (240); 1,920 (7) (206, 060); 1,800 (1) (313); 1,699 (1) (049); 1,642 (1) (260); 1,551 (1) (350); 1,320 (1) (280).

Родостаннин Rhodostannite $Cu_2FeSn_3S_8$ (1968)

Тетр. с. $I\,4_1/a$; $a = 7{,}29$; $c = 10{,}31$; $Z = 2$; устойчив ниже 715°.

Хим. Близок к теор.: Cu 15,98; Fe 6,8; Sn 45,5; S 31,3; формула: $Cu_{2.03}Fe_{0.98}Sn_{3.10}S_{7.89}$; Me : S = 6 : 8.

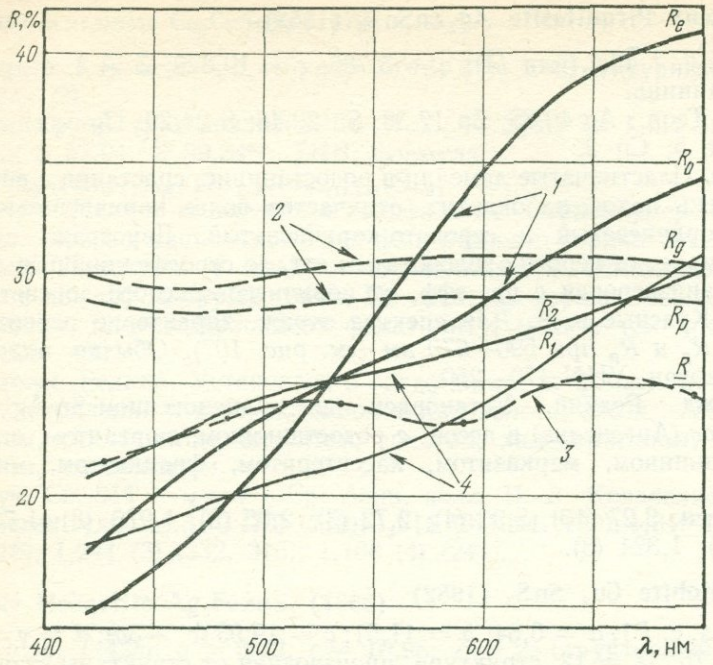


Рис. 108. Спектры отражения моусонита (1), родостаннина (2), хемусита (3), станноидита (4)

Микр. Мелкозернистые выделения. Отраж. низкое, существенно повышается в красной области (рис. 108). Цв. розоватый, красновато-серый, красный. Двуотраж. не наблюдается. Ясно анизотропен с цв. эфф. Характерно сложное двойниковое строение зерен. VHN 245—265.

Нахожд. Очень редок. В вулканогенных Sn-Ag м-ниях в ассоц. с вюртцитом, станнином, тиллитом, стефанитом, пираргиритом, висмутитом, касситеритом.

Рентген. 5,93 (6); 3,12 (10); 2,58 (5); 1,837 (2).

Станноидит Stannoidite $Cu_8Fe_3Sn_2S_{12}$ (1969)

Ромб. с.; $a = 10{,}76$; $b = 5{,}40$; $c = 16{,}09$ (псевдокуб. $a \sim 2a'$, $b = a' = 5{,}40$; $c \simeq 3a$); $Z = 2$; устойчив ниже 410°; в присутствии борнита устойчив выше 385°. Ранее назывался «гексастаннин», «желтый станнин».

Хим. Близок к теор.: Cu 39,16; Fe 12,91; Sn 18,29; S 29,64; Примеси достигают: Zn 4,5; Sb и As 3; Ge 1,5; Se 1; Ag. *Кидд Крик* (Канада): Cu 38,8; Fe 8,5; Zn 4,5; Sn 18,0; S 29,1; Se 1,1; Σ 100,0[мз]; формула: $Cu_{8.0}(Fe_{2.01}Zn_{0.91})_{2.92}Sn_{1.99}(S_{11.91}Se_{0.18})_{12.09}$. По данным исследований мессбауеровских спектров, формула станноидита $Cu_8^{+}Fe_2^{3+}Fe^{2+}Sn^{4+}S_{12}^{2-}$.

Микр^{м}. Выделения неправильной формы, срастания со станнином, кёстеритом, халькопиритом, борнитом, моусонитом, колуситом, хемуситом, галенитом, ламелли в станнине. Отраж. от низкого до умеренного. Цв. коричневато-желтый, оливково-серый, желтый с коричневато-оливковым и слегка пурпурным отт. Двуотраж. заметное с плеохроизмом от светло-розово-коричневого до серо-фиолетово-коричневого, в иммерсии более отчетливое, без изменения цв. отт. . Сильно анизотропен с цв. эфф. от темно-оранжево-красного, серо-синего до желтовато-серого (в иммерсии от алого до серо-желтого). Спектры отраж. отличаются четко выраженной дисперсией аномального типа, кривые R_g и R_p пересекаются при 670 нм (см. рис. 108). *H* выше, чем у борнита и моусонита, ниже, чем у кёстерита; VHN 230—315, преимущественно 265—290.

Отл. *Цв. двуотраж. и анизотропии, спектры отраж. позволяют* надежно диагностировать минерал.

Нахожд. Относительно широко распространен в вулканогенных м-ниях Cu (в ассоц. с борнитом, сфалеритом, теннантитом, галенитом, баритом и др.) и Au (с халькопиритом, теллуристыми блеклыми рудами, минералами Bi, моусонитом); Cu-Sn м-ниях (со станнином, касситеритом, халькопиритом и др.); сульфидоносных гранитных пегматитах.

Изуч. Сп.-374 — *Урул* (Кавказ); обр. м-ний Ср. Азии и Урала.

Рентген. 4,83 (10) (103); 4,13 (15) (004); 3,11 (100) (213); 2,70 (15) (020, 400, 006); 1,906 (70) (420, 026); 1,621 (20ш) (233, 143, 613, 219).

Моусонит Mawsonite $Cu_6Fe_2SnS_8$ (1965)

Тетр. с. $P\,\bar{4}m2$; $a = 7{,}60$; $c = 5{,}36$; $Z = 1$; структура похожа на структуру моихукита, в основе структуры — куб. ячейка сфалеритового типа: $c \simeq a_{куб}$, $a \simeq a_{куб}\sqrt{2}$, дополнительный атом Fe (в моусоните Me : S = 9 : 8) расположен в центре ячейки; устойчив ниже 385°; большая часть «оранжборнитов» представляют собой моусонит.

Хим. Близок к теор.: Cu 47,17; Fe 13,82; Sn 14,69; S 31,74. Примеси достигают: As 4,5; Sb и Zn 3; Ge 3,5; Se 1,; Ag 0,7; Mo 0,6, отмечаются Mn, Co, V, Pb; формула: Cu_4^{+} $(Cu^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+})_2$ Fe_2^{3+} $(Sn, As, Sb, Ge)_1^{4+}S_8$.

Микр^{м}. Мелкие овальные выделения (в борните, реже в кварце), каймы обрастания на колусите, станноидите, срастания с халькопиритом, теннантитом, станноидитом, рокезитом, зернистые агрегаты, дипирамидальные кристаллы. Отраж. от низкого (в синей области ~ 15 %) до умеренно-высокого (в красной области 30—40 %). Цв. желтовато-оранжевый, красновато-буроватый, коричневато-оранжевый («оранжборнит»). Двуотраж. отчетливое до сильного, плеохроирует от оранжевого, оранжево-розового до коричневого или бежево-серого. Очень сильная анизотропия с цв. эфф. в красно-оранжевых, красно-фиолетовых, синих, зеленовато-голубых и желтых тонах. Спектры отраж. характеризуются резко выраженной дисперсией аномального типа, кривые R_g и R_p пересекаются при 530 нм (см. рис. 108).

Наблюдаются простые и полисинт. дв. *H* выше, чем у борнита и халькопирита, ниже, чем у теннантита, станноидита; VHN 165—280, преимущественно 185—265; у сурьмянистого моусонита 240—250.

Нахожд. В небольших количествах широко распространен в м-ниях различных типов, обогащенных Cu и S, в ассоц. с борнитом, халькопиритом и пиритом; в вулканогенных медноколчеданных, медноколчеданно-полиметаллических (в борнитовых рудах) и золоторудных (в агрегатах блеклых руд, преимущественно теллуристых, сульфосолей Bi и др.), в медно-порфировых, сульфидно-шеелитовых (с борнитом), в гранитных пегматитах.

Изуч. Сп.-261 — *Урун* (Кавказ), м-ния в Ср. Азии и др.

Рентген. 4,58 (14) (101); 3,100 (100) (201); 2,683 (26) (220, 002); 1,899 (70) (400, 222); 1,619 (43) (421, 203).

Чаткалит Chatkalite $Cu_6FeSn_2S_8$ (1981)

Тетр. с. $P\,4\bar{m}2$; $a = 7{,}61$; $c = 5{,}37$; $Z = 1$; структурный аналог моусонита; для сохранения электронейтральности формула должна быть $Cu_6^{1+}Fe^{2+}Sn_2^{4+}S_8^{2-}$, в этом случае реален гетеровалентный изоморфизм $Fe^{2+} + Sn^{4+} \rightarrow 2Fe^{3+}$; подтверждением этого явилась находка минерала промежуточного состава между моусонитом и чаткалитом: $Cu_6\,(Fe_{0,90}Zn_{0,09}Cu_{0,02})_{1,01}\,(Fe^{3+}_{0,5}Sn^{4+}_{0,90}Sb^{5+}_{0,47}As^{3+}_{0,12})_{1,99}S_8$: Cu 43,66; Fe 8,95; Zn 0,70; Sn 12,22; Sb 6,41; As 0,99; S 29,26; Σ 102,21[мз]; МВС.

Хим. Теор.: Cu 40,95; Fe 6,00; Sn 25,50; S 27,55. Примеси достигают: Zn 5; Sb 7,5; As 2,5; Mo 1; Ag 0,7; м-ние в Ср. Азии: Cu 41,17; Ag 0,47; Fe 4,31; Zn 2,10; Sn 19,11; Sb 2,97; As 0,80; Mo 1,08; S 28,77; Σ 100,22[мз]; МВС; формула:
$(Cu_{6,02}Ag_{0,03})_{6,05}\,(Fe_{0,65}Zn_{0,30})_{0,95}\,(Sn_{1,50}Sb_{0,23}\,As_{0,10}Mo_{0,10})_{1,93}S_{8,17}$.

Микр[м]. Мелкие выделения в тетраэдрите. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у тетраэдрита. Цв. бледно-розовый на фоне тетраэдрита. Двуотраж. очень слабое, плеохроирует от бледно-розового до коричневато-розового. Слабо анизотропен с блеклыми цв. эфф. в бурокоричневых тонах. Спектры отраж. R_g и R_p параллельны, характеризуются слабой аномальной дисперсией. VHN 275.

Отл. Оптические свойства минерала индивидуальны. Станнин, кёстерит и курамит — серые под микроскопом; хемусит — темно-серый с коричневым отт., изотропный; моусонит и станноидит характеризуются сильным двуотраж. с изменением цв.

Нахожд.. Редкий. Установлен в вулканогенном м-нии Au, богатом сульфидами и сульфосолями Cu, Sn, Bi.

Рентген. 3,11 (8) (021); 2,87 (3) (121); 1,904 (10) (040, 222); 1,625 (4) (241, 023); 1,568 (4ш) (042).

Хемусит Hemusite Cu_6MoSnS_8 (1971)

Куб. с. *Fm3m*, *F* $\bar{4}3m$ или *F* 432 (?); $a = 10{,}83$; $Z = 4$; структура «станнинового» типа с иным порядком заполнения тетр. пустот атомами Cu, Sn, Mo.

Хим. Обычно близок к теор.: Cu 44,73; Sn 13,92; Mo 11,26; S 30,09. Примеси достигают: Fe 5; Ag и Sb 1,5; Se и Te 0,5; отмечаются As, V, Zn. М-ние в Ср. Азии: Cu 43,78; Ag 1,35; Fe 0,50; Mo 11,06; Sn 12,26; Sb 1,48; Te 0,27; S 29,54; Se 0,48; Σ 100,72[мз]; ТНВ; формула: $(Cu_{5,89}Ag_{0,11}Fe_{0,08})_{6,08}\ Mo_{0,98}\ (Sn_{0,88}Sb_{0,10}Te_{0,02})_{1,0}\ (S_{7,88}Se_{0,05})_{7,93}$.

Микр[м]. Изометричные и ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, срастания с колуситом, моусонитом, каймы обрастания на колусите, станноидите, моусоните, включения в германите. Отраж. умеренно низкое (ниже, чем у станнина, теннантита, выше, чем у сфалерита). Цв. лиловато-серый и пепельно-серый, изотропный. Спектры отраж. сложного профиля с двумя слабыми максимумами при 520 и 650 нм, с перегибом при 580 нм (см. рис. 108). VHN 210—215. Оптические свойства достаточны для диагностики.

Нахожд. Редкий, в вулканогенных медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и Au м-ниях; ассоц.: колусит, моусонит, станноидит, реньерит, энаргит, люцонит, блеклые руды, касситерит, гессит, лиллианит.

Рентген. 6,26 (4) (111); 5,42 (3) (200); 3,28 (4) (113); 3,14 (10) (222); 2,70 (3) (400); 2,48 (3) (240); 1,914 (9) (440); 1,635 (5) (226).

Киддкрикит Kiddcreekite Cu_6WSnS_8 (1984)

Куб. с. *Fm 3m*, *F* $\bar{4}3\ m$ или *F* 432 (?); $a = 10{,}856$; $Z = 4$; W — аналог хемусита.

Хим. Близок к теор.: Cu 40,71; W 19,64; Sn 12,26; S 27,39; Примеси достигают: Se 3; Fe 1,5; Sb 0,7; Mo 0,5; 0,3; Te 0,2. *Кидд-Крик* (Канада): Cu 39,6; Mo 0,2; W 18,6; Sn 12,5; Se 3,1; Te 0,2; S 25,6; Σ 99,8[мз]; формула: $Cu_{5,97}\ (W_{0,97}Mo_{0,02})_{0,99}Sn_{1,01}\ (S_{7,64}Te_{0,01}Se_{0,38})_{8,03}$.

Микр[м]. Мелкие зерна неправильной формы. Отраж. умеренно низкое (ниже, чем у теннантита, станнина). Цв. палево-серый и серовато-коричневый; изотропный. Спектры отраж. сложной волнообразной формы, в грубом приближении близки к горизонтальной линии. VHN 185.

Отл. Для надежной диагностики необходима полная характеристика (состав, спектры отраж., рентгенограмма).

Нахожд. Редкий, в гидротермальном Cu-W м-нии *Кидд-Крик* в ассоц. с борнитом, шеелитом, клаусталитом, теннантитом, тунгстенитом; в медно-порфировом м-нии *Бисби* (США) — с пиритом, колуситом, алтаитом, штютцитом.

Рентген. 6,29 (10) (111); 5,41 (3) (200); 3,27 (3) (113); 3,14 (5) (222); 1,918 (6) (440); 1,839 (3) (800); 1,636 (2) (622); 1,451 (2) (642); 1,365 (2) (800).

Германит *Germanite* $Cu_{26}Fe_2(Ge, As)_6S_{32}$ **(1922)**

Куб. с. $P\bar{4}3m$; $a = 10{,}586$; $Z = 4$; структура близка к колуситу.

Хим. Теор. Cu_6FeGeS_8 : Cu 49,76; Fe 7,29; Ge 9,47; S 33,48. Примеси достигают: As 4,2; Zn 4; W 3,5; Mo 3; Ga 2; Sb, *V*, Ag 0,2. Для германита характерен изоморфизм Ge—As.

Цумеб (Намибия): Cu 45,06; Fe 8,14; Zn 1,51; Ge 9,61; Ga 0,25; As 2,97; Mo 0,26; W 0,33; V 0,12; S 31,96; Σ 100,21[мз]; СЭМ; формула $(Cu_{22,74}Fe_{2,68}Zn_{0,74})_{26,16}Fe_2\,(Ge_{4,25}\,Ga_{0,12}As_{1,27}Mo_{0,09}W_{0,08}V_{0,08})_{5,89}S_{31,97}$.

Микр. Округлые и неправильной формы зерна, зернистые агрегаты, изредка субграфические срастания с галлитом, ламелли в реньерите. Отраж. умеренно низкое (ниже, чем у теннантита, выше, чем у сфалерита). Цв. темно-розовый, сиренево-розовый или светло-серовато-розовый с фиолетовым отт. цв., менее насыщенным, чем у борнита; германит похож на борнит в начальной стадии образования побежалости. Изотропный. Спектры отраж. индивидуальны, характеризуются существенным прогибом в зеленой области (рис. 109). Некоторые зерна германита имеют зональное или пятнистое строение. *H* немного ниже, чем у сфалерита, выше, чем у борнита, галенита. VHN 325—460, преимущественно 370—450.

Отл. Диагностируется по сиренево-розовой, пурпурной окраске, спектрам отраж.; характерно развитие кайм замещения и пластинчатых структур замещения реньерита. В отличие от борнита германит на воздухе не окисляется.

Нахожд. Редкий, развит в гидротермальном колчеданно-полиметаллическом м-нии *Цумеб*, в ассоц. со сфалеритом, энаргитом, галенитом, теннантитом, реньеритом, галлитом; в небольших количествах в других м-ниях этого типа, а также в Cu-Mo-порфировых м-ниях

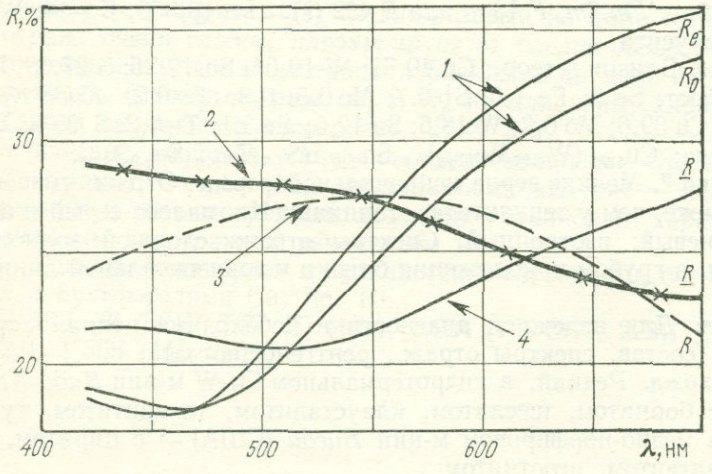


Рис. 109. Спектры отражения реньерита (1), теннантита (2), бриартита (3), германита (4)

(с теннантитом, халькопиритом, энаргитом, реньеритом, халькозином).

Изуч. Сп.-101 — *Цумеб*, колл. Л. А. Логиновой.

Рентген. 3,05 (10); 2,65 (1); 1,870 (7); 1,595 (4).

Реньерит Renierite Cu_6Fe_2 Ge S_8 (1948)

Тетр. с. (псевдокуб.) $P\bar{4}2m$; $a = 10{,}60$; $c = 10{,}53$; вероятно, по составу является Ge-аналогом моусонита; ранее (как и моусонит) относился к «оранжборниту».

Хим. Теор. (для $Cu_6Fe_2GeS_8$): Cu 46,38; Fe 13,59; Ge 8,83; S 31,20. Примеси достигают: Zn 4; As 4,5; Sn 2,5; Ga 0,5. *Кипуши* (Заир): Cu 40,5; Fe 14,9; Zn 3,05; Ge 8,35; As 0,35; S 32,0; Σ 99,15[мз] (ср. из двух ан.); формула: $Cu_{5,24}Fe_{2.19}Zn_{0.38}$ $(Ge_{0.95}As_{0.04})_{0,99}S_{8.20}$.

Микр. Обычно мелкие выделения, каймы обрастания и замещения вокруг германита, германийсодержащего колусита, срастания с теннантитом, решетчатые — пластинчатые срастания с германитом (типа структур распада тв. раствора), пластинчатые выделения (в халькопирите и борните), кристаллы псевдокуб. облика. Отраж. умеренное (близкое к теннантиту, выше борнита). По цв. занимает промежуточное положение между борнитом и халькопиритом; оранжево-бронзовый, светло-оранжевый с коричневатым отт. Двуотраж. слабое, хорошо заметно в иммерсии. Анизотропия отчетливая с цв. эфф. от светло-оранжево-коричневого, желтовато-коричневого до коричневого и голубовато-серого. Одноосный, отрицательный. Спектры отраж. с отчетливо выраженной дисперсией аномального типа, кривые R_g и R_p резко поднимаются в длинноволновой области, что соответствует насыщенному оранжевому цв. минерала (см. рис. 109). Около 460 нм кривые R_g и R_p пересекаются (у моусонита пересечение при 580 нм). H несколько ниже, чем у германита, близок к теннантиту, выше, чем у халькопирита, борнита; VHN 280—425, обычно 295—365. В отличие от борнита не покрывается побежалостью при воздушном травлении.

Нахожд. Распространенный минерал Ge в гипогенных рудных м-ниях: гидротермальных Cu-Pb-Zn, медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и барит-полиметаллических, вулканогенных Au, медно-молибден-порфировых; чаще приурочен к рудам существенно борнитового и теннантитового состава; ассоц. с борнитом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, германитом, германийсодержащим колуситом, галлитом, моусонитом.

Изуч. Сп.-342 — *Кипуши*, колл. Л. А. Логиновой.

Рентген. 13,0 (1); 3,3 (3); 7,5 (1); 3,04 (10); 2,64 (5); 1,870 (10);, 1,597 (8); 1,321 (3).

Бриартит Briartite Cu_2 (Fe, Zn) Ge S_4 (1965)

Тетр. с. $I\bar{4}2m$; $a = 5{,}32$; $c = 10{,}51$; $Z = 4$; устойчив ниже 636°. Состав варьирует от Cu_2FeGeS_4 до Cu_2ZnGeS_4; по составу Ge — аналог станнина; при повышенных T образует непрерывные твердые растворы со станнином, кёстеритом, сфалеритом, халькопиритом.

Хим. Теор. ($Cu_2Fe_{0,5}Zn_{0,5}GeS_4$): Cu 32,71; Fe 7,19; Zn 8,41, Ge 18,68; S 33,01. Примеси достигают: Ga 2,2; Sn 0,5 *Кипуши* (Заир): Cu 32,45; Fe 6,05; Zn 10,85; Ge 16,9; S 32,4; Σ 98,65 (ср. из двух ан.); формула: $Cu_{2,01}(Fe_{0,43}Zn_{0,65})_{1,08}Ge_{0,92}S_{3,99}$.

Микр м. Включения в германите, реньерите, теннантите, сфалерите, халькопирите, решетчатые структуры распада в халькопирите, сфалерите, срастания с галлитом. Отраж. умеренно низкое (несколько ниже, чем у теннантита). Цв. серый, голубовато-серый со слабым зеленоватым отт. В воздухе двуотраж. незаметно, эффекты анизотропии распознаются с трудом, в иммерсии — отчетливые: от красноватых до зеленоватых. Спектры отраж. имеют широкий максимум с симметричным спадом к синей и красной областям (см. рис. 109). Отраж. цинкистого бриартита несколько ниже железистого, что хорошо заметно в зернах зонального строения. Часто наблюдаются полисинт. дв. двух взаимно перпендикулярных систем (как у станнина). *H* близок к халькопириту, ниже, чем у германита.

Отл. От галлита надежно отличим по спектрам отраж.

Нахожд Редкий. Встречается в гидротермальных Zn-Cu-Pb м-ниях *Цумеб* (Намибия) и *Кипуши* (Заир), в Zn м-ниях (Пиренеи); ассоц. с германитом, галлитом, халькопиритом, сфалеритом, теннантитом, реньеритом, галенитом, брейтгауптитом, аргутитом (GeO_2).

Рентген. 3,4 (4); 3,07 (10); 2,66 (3); 1,875 (9); 1,609 (6); 1,592 (4).

Галлит Gallite Cu Ga S_2 (1958)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2d$; $a = 5{,}35$; $c = 10{,}48$; $Z = 4$; изоструктурен с халькопиритом; при повышенных *T* образует широкие области твердых растворов со сфалеритом, германитом.

Хим. Теор.: Cu 32,19; Ga 35,32; S 32,49. Примеси достигают: Fe 3; Zn 2; Ge 1.

Микр м. Ламелли в сфалерите, германите, решетчатые срастания со сфалеритом (структуры распада твердого раствора), мелкие изометричные выделения, зернистые агрегаты. Отраж. умеренно низкое (ниже, чем у теннантита, выше, чем у сфалерита). Цв. серый, светло-серый с буроватым или фиолетово-серым отт. Двуотраж. незаметное; анизотропен. Спектры отраж. характеризуются слабо выраженной дисперсией нормального типа (рис. 110). Нередко наблюдаются простые или полисинт. дв. *H* выше, чем у германита и сфалерита; VHN 405—470, обычно — 445—460. Полируется хорошо.

Отл. От бриартита отличается по спектрам отраж., формам выделений (обычно пластинчатые ламелли распада в сфалерите или германите).

Нахожд. Редкий. В Zn-Cu-Pb м-ниях *Цумеб* (Намибия) и *Кипуши* (Заир), в медно-колчеданных м-ниях, ассоц. с германитом, сфалеритом, реньеритом, теннантитом, галенитом. При замещении сфалерита галенитом реликтовые ламелли галлита сохраняются в галените.

Изуч. Сп.-93 — *Цумеб*, колл. Л. А. Логиновой.

Рентген. 3,06 (10); 1,898 (4); 1,876 (7); 1,611 (6); 1,584 (4).

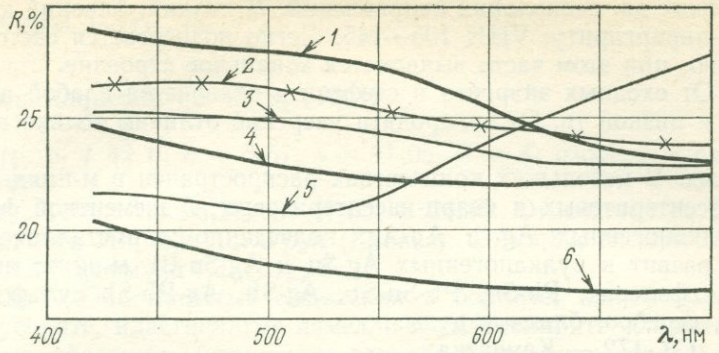


Рис. 110. Спектры отражения теннантита (1), индита (2), галлита (3), рокезита (4), германита (5), сфалерита (6)

СУЛЬФИДЫ Ag—Sn, Ge (Te)

Канфильдит Canfieldite Ag_8SnS_6 (1893)

Ромб. с. $Pna2_1$ или $Pnam$; $a = 15{,}30$; $b = 7{,}55$; $c = 10{,}70$; $Z = 4$. Структура типа акантита, отвечает низкотемпературной полиморфной модификации Ag_8SnS_6.

Хим. Теор.: Ag 74,16; Sn 9,86; S 15,98. Примеси достигают: Ge 2; Se 1,4; Te 4; Cu 2.

Микр. Зернистые и радиально-лучистые агрегаты, ксеноморфные выделения, реже октаэдрические кристаллы. Отраж. умеренное, несколько ниже, чем у блеклых руд. Цв. серый и светло-серый с коричневато-сиреневатым отт. (в контакте с галенитом). Двуотраж. очень слабое; анизотропен. Спектры отражения имеют нормальный тип дисперсии со слабо выраженным широким минимумом в оранжевой области (рис. 111). Часто развиты пластинчатые и грубопластинчатые

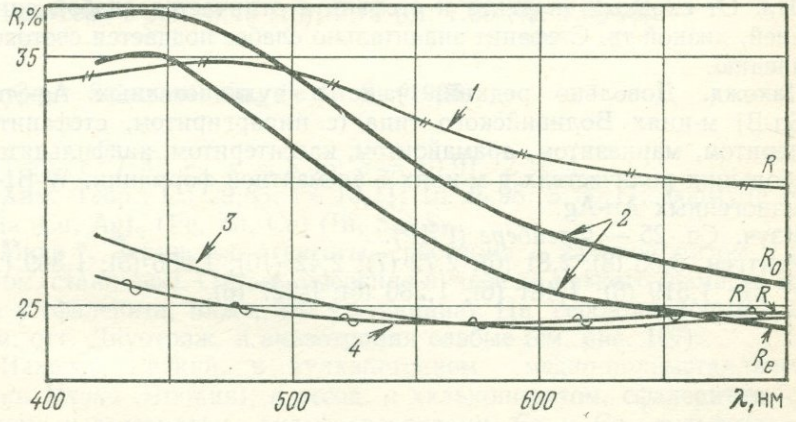


Рис. 111. Спектры отражения акантита (1), пираргирита (2), канфильдита (3), аргиродита (4)

параморфные дв. нескольких направлений. *H* низкий, близкий к прусту — пираргириту; VHN 105—145. Легко подвергается световому травлению, при этом часто выявляется зональное строение.

Отл. От сходных энаргита и стефанита отличается слабой анизотропией и низкой тв. От аргиродита уверенно отличим только по составу.

Нахожд. В небольших количествах распространен в м-ниях сульфидно-касситеритовых и кварц-касситеритовых, 5-элементной формации, вулканогенных Ag и Au-Ag, колчеданно-полиметаллических; широко развит в вулканогенных Ag-Sn и Ag-Sn-Bi м-ниях; ассоц.: галенит, сфалерит, Pb-Sn, Pb-Sn-Sb, Ag-Sb, Ag-Pb-Sb сульфосоли, акантит, серебро, блеклые руды.

Изуч. Сп.-172 — Камчатка.

Рентген. 3,25 (5); 3,23 (3); 3,11 (4); 3,08 (10); 3,02 (2); 2,73 (5); 2,51 (2); 2,07 (2); 1,895 (3).

Аргиродит Argyrodite Ag_8 Ge S_6 (1886)

Ромб. с. *Pna*2 или *Pnam*; $a = 15{,}13$; $b = 7{,}46$; $c = 10{,}58$; $Z = 4$. Ge-аналог канфильдита.

Хим. Теор.: Ag 77,12; Ge 6,27; S 16,61. Примеси достигают: Sn 3,5; Se 1,7; Sb 0,5; присутствуют Cu, Hg, Fe.

Микр. Зернистые, шарообразные, радиально-лучистые агрегаты, гроздевидные скопления с наросшими кристаллами, реже кристаллы октаэдрического и ромбододекаэдрического облика. Отраж. умеренное, немного ниже, чем у блеклых руд, почти как у канфильдита. Цв. серый, серовато-белый с розовато-коричневым отт. Двуотраж. очень слабое; анизотропен. Спектры отраж. с очень слабой дисперсией нормального типа (см. рис. 111). Характерны пластинчатые дв. нескольких систем. *H* низкий; VHN 160—180, чаще около 180, у селенистого аргидродита около 160. Сильно подвержен световому травлению, при этом выделяется серебро в виде нитевидных прожилочек.

Отл. От сходных энаргита и стефанита отличается слабой анизотропией, низкой тв. Стефанит значительно слабее поддается световому травлению.

Нахожд. Довольно редкий, чаще в вулканогенных Ag-Sn и Ag-Sn-Bi м-ниях Боливийского типа (с пираргиритом, стефанитом, сфалеритом, марказитом, арамайоитом, касситеритом, канфильдитом); в небольших количествах в м-ниях 5-элементной формации, W-Bi-Co, вулканогенных Au-Ag.

Изуч. Сп.-25 — *Фрейберг* (ГДР).

Рентген. 3,05 (8); 2,81 (6); 2,72 (7); 2,42 (10); 1,956 (5); 1,869 (10); 1,797 (5); 1,519 (6); 1,481 (6); 1,280 (6); 1,227 (6).

Рокезит Roquesite Cu In S_2 (1963)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2\,d$; $a = 5{,}51$; $c = 11{,}05$; $Z = 4$; изоструктурен халькопириту.

Хим. Теор.: Cu 26,20; In 47,35; S 26,45. Отмечается до 2 % Sn, Fe; примеси Mn, Zn, Ag. *Уруп* (Кавказ): Cu 25,82; In 49,80; S 24,80; Σ 100,42[мз]; формула $Cu_{1,0}In_{1,07}S_{1,92}$.

Микр [м]. Пластинчатые выделения в борните, каймы обрастания на моусоните, пластинчатые ламелли в халькопирите совместно с ламеллями сфалерита (структуры распада твердого раствора), мирмекитовые срастания со сфалеритом. Отраж. умеренно низкое. Цв. серый с нежным сиреневым отт., двуотраж. и анизотропия слабые. Одноосный, положительный. Спектры отраж. характеризуются слабой дисперсией нормального типа и пологим широким минимумом в желтой области (см. рис. 110). *H* ниже, чем у теннантита, выше, чем у борнита, моусонита; VHN 225—250. При травлении концентрированной HNO_3 выявляются полисинт. дв.

Отл. Похож на сфалерит, алабандин, тетраэдрит, галлит, особенно в мелких включениях в халькопирите. Отличается по спектрам отраж., микротвердости.

Нахожд. Редкий, но характерный минерал борнитовых (и халькопиритовых) руд вулканогенных медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и Au м-ний; в сульфидно-касситеритовых Cu-Bi м-ниях (с Sn и Co минерализацией); ассоц. с борнитом, халькопиритом, сфалеритом, магнетитом, касситеритом, виттихенитом, сульфосолями Ag, электрумом, моусонитом, станноидитом (возможно, распространен шире, но пропускается из-за сходства с тетраэдритом и сфалеритом).

Изуч.. Сп.-346—*Уруп*, колл. В. М. Качаловской; м-ние в Ср. Азии.

Рентген. *Уруп*: 3,19 (10); 2,76 (3); 1,95 (9); 1,66 (6).

Сакураит Sakuraüte Cu_2 Fe In S_4 (1965)

Тетр. с. $I\,\bar{4}2\,m$; $a = 5{,}45$; $c = 10{,}91$; $Z = 4$.

Хим. Теор.: Cu 29,83; Fe 13,11; In 26,95; S 30,11; формула минерала $(Cu, Ag)_2$ (Fe, Zn, Cu) (In, Sn) S_4.

Микр [м]. Зернистые агрегаты, срастания с халькопиритом, сфалеритом, станнином. Отраж. умеренно низкое до низкого (немного выше, чем у сфалерита, ниже, чем у станнина). Цв. серо-оливковый с красным. отт. Двуотраж. и анизотропия слабые (см. рис. 107).

Нахожд. Редкий, в вулканогенном медно-полиметаллическом м-нии *Икуно* (Япония); в ассоц. с халькопиритом, сфалеритом, станнином, касситеритом, сульфоарсенидами Fe и Co, сульфотеллуридами Bi.

Рентген. 3,85 (5); 3,15 (10); 2,75 (10); 1,927 (4); 1,650 (2).

Таблица 30

Компонент	Сп.-195-1		Сп.-195-3		Сп.-227		Сп.-195-2		Сп.-195-4	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Cu	50,1	25,63	49,25	25,80	48,06	25,38	48,53	25,78	49,69	24,96
Fe	—	—	—	—	1,40	0,84	0,90	0,54	0,47	0,27
Zn	—	—	—	—	0,10	0,05	0	—	0,91	0,44
Ag	—	—	—	—	0,01	—	0,01	—	0,13	0,04
Mn	—	—	—	—	0	—	0,04	0,02	0	—
V	3,3	2,11	3,30	2,15	1,90	1,25	3,18	2,11	3,32	2,08
As	13,6	5,90	12,43	5,52	3,64	1,63	3,87	1,75	5,09	2,17
Sn	0,26	0,07	2,00	0,56	11,57	3,28	6,80	1,93	0,14	0,04
Sb	1,4	0,38	—	—	4,91	1,35	8,27	2,29	0,08	0,02
Ge	0,63	0,28	—	—	0,08	0,04	0,14	0,07	8,62	3,79
Te	—	—	—	—	0	—	0	—	0	—
Bi	—	—	—	—	0	—	0	—	0,15	0,02
Mo	—	—	—	—	0,23	0,08	0,53	0,19	0,67	0,22
W	—	—	—	—	0	—	0	—	0,03	0,0
S	31,2	31,63	30,8	31,97	30,68	32,10	29,73	31,32	32,10	31,95
Σ	100,49мз	66	97,78мз	66	102,58мз	66	102,00мз	66	101,40мз	66
VHN	340—350		295—340		295—315		260—285		305—360	
a	10,53		10,55		10,74		10,70		10,57	

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (СЭМ).

Индит Indite $FeIn_2S_4$ (1963)

Куб. с. *Fd3m*; $a = 10{,}62$; $Z = 8$, инверсионная тиошпинель.

Хим. *Близок к теор.:* Fe *13,5*; In 55,5; S *31,0*.

Микр ^{м}. Мелкие выделения, вростки в касситерите и кварце. Отраж. умеренное (типа теннантита). Цв. светло-серый, серый, изотропный. По спектрам отраж. похож на теннантит, тетраэдрит, акташит (см. рис. 110). VHN 295—325.

Нахожд. Очень редкий, установлен в сульфидно-касситеритовом м-нии в почковидном касситерите и в кварце в промежутках между почками касситерита. В заметной степени замещается гипергенным джалиндитом $In(OH)_3$.

Изуч. Сп.-164 — *Джалинда* (Хабаровск. край).

Рентген. 3,76 (5) (220); 3,20 (10) (311); 2,66 (4) (400); 2,17 (4) (422) 2,05 (7) (511, 333); 1,877 (9) (440); 1,620 (3) (533).

СУЛЬФИДЫ V—Cu (Fe, Zn) — As, Sn, Sb, Ge, Ga

В группу колусита входят колусит, некрасовит. Содержания As, Sn и Sb в минералах этого типа варьируют в достаточно широких пределах. As, Sb, Sn, Ge, Ga (?), вероятно, занимают в структуре одну позицию. Кроме колусита и некрасовита, известны разновидности с $Sb_{ф.е}$ и $Ge_{ф.е} > As$, Sn (см. табл. 30), которые по существующим правилам следует выделять в самостоятельные минеральные виды.

Колусит Colusite $Cu_{26}V_2(As, Sn, Sb, Ge)_6S_{32}$ (1932)

Куб. с. $P\bar{4}3n$; $a = 10{,}53$; $Z = 1$. В основе структуры — ячейка типа сфалеритовой.

Хим. Fe^{2+} и Zn^{2+} частично замещают Cu^{2+}; Fe^{3+} может замещать V. В зональных образованиях ядра обогащены Sn, внешние зоны — As. *Состав колусита, некрасовита и их Sb- и Ge-аналогов приведен в* табл. 30.

Микр. *Агрегаты изометричных кристаллов, мелкие округлые выделения* в моусоните, сульваните. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту (рис. 112). Цв. светло-серый с кремово-желтовато-зеленоватым отт.; изотропный. Иногда наблюдается слабое двуотраж. с изменением цв. от кремово-зеленого до кремово-розового и едва заметная анизотропия со слабыми цв. эфф. в желтовато-бурых тонах. Примеси Sn, Sb и Ge понижают отраж., кроме того, присутствие в составе Sb и Ge приводит к изменению профиля спектра отраж. (см. рис. 112). Иногда отмечается пятнистая или зональная окраска выделений колусита, связанная с вариациями состава. *H* близок к теннантиту, выше, чем у ковеллина и сульванита, ниже, чем у германита; VHN также понижается с увеличением содержания Sn, Ge, Sb (см. табл. 30).

Отл. Колусит в мелких выделениях с трудом отличим от блеклой руды; *диагностика облегчается, когда вокруг колусита развиты каймы* моусонита. От сульванита отличается кремово-розоватым отт. *Надежная диагностика по спектрам отраж. и рентгенограмме.*

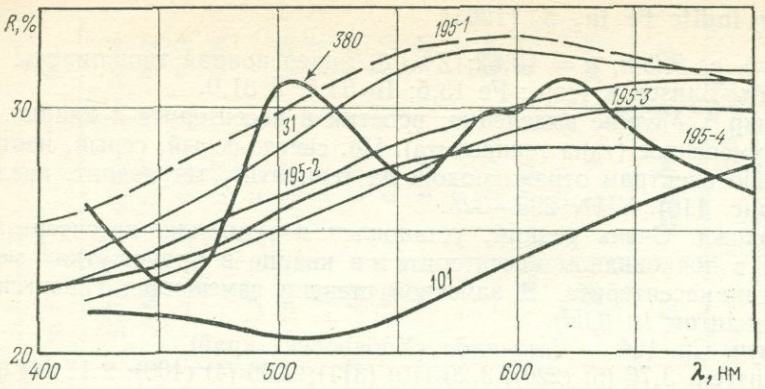


Рис. 112. Спектры отражения сульванита (380), колусита (195) разного состава, германита (101), As-колусита (арсеносульванита) (31)

Нахожд. Распространенный минерал вулканогенных м-ний Au, Cu, медноколчеданных; плутоногенных медно-порфировых; ассоц. с моусонитом (моусонит обычно обрастает колусит), борнитом, ковеллином, блеклыми рудами (обычно Te- и Bi-содержащими), халькопиритом, сульванитом, энаргитом, сфалеритом, касситеритом, станноидитом, хемуситом; в рудах ряда м-ний главный минерал-концентратор и носитель V, Ge, Sn. По-видимому, широко распространенный минерал терригенно-карбонатных пород, претерпевших глубинный диагенез или низкоградный метаморфизм; ассоц.: кварц, доломит, альбит, сульванит; в этих породах является основным минералом-носителем Cu, V, As, Ge, Sn.

Изуч. См. табл. 30 и прилож. 3.

Рентген. *Бор*: 5,3 (3) (200); 3,33 (1) (310); 3,05 (10) (222); 2,64 (4) (400); 2,49 (1) (411); 2,25 (1) (332); 1,867 (9) (440); 1,810 (1) (530); 1,627 (1) (541); 1,591 (7) (622); 1,523 (1) (444); 1,452 (1) (720); 1,320 (3) (800). Параметр решетки колусита возрастает с увеличением содержания Sn, Sb и Ge, причем влияние Ge менее значительно.

Некрасовит Nekrasovite $Cu_{26}V_2(Sn, As, Sb)_6S_{32}$ (1984)

Куб. с. $P\bar{4}3n$ или $P\bar{4}3m$; $a = 10{,}73$; $Z = 1$.

Хим. См. в разделе «Колусит» (см. табл. 30, сп.-195-2). М-ние в Ср. Азии: Cu 44,18; Fe 4,11; Zn 0,10; V 1,93; Sn 11,40; As 3,03; Sb 4,20; S 29,86; Se 0,32; Σ 99,13[мз]; МВС; формула $(Cu_{23,97}Fe_{1,85}Zn_{0,05})_{25,87} \times (V_{1,31}Fe_{0,69})_2 (Sn_{3,31}As_{1,39}Sb_{1,19})_{5,89} (S_{32,11}Se_{0,11})_{32,22}$. Для некрасовита характерен дефицит ванадия, который восполняется Fe^{3+}.

Микр [м]. Очень похож на колусит и блеклые руды; бледный зеленовато-коричневый до светло-коричневого с розоватым отт. Изотропен. Отраж. несколько ниже, чем у колусита (рис. 113).

Нахожд. В вулканогенных м-ниях Au и медно-колчеданных, в ассоц. с моусонитом, теллуристым и висмутисто-теллуристым тетра-

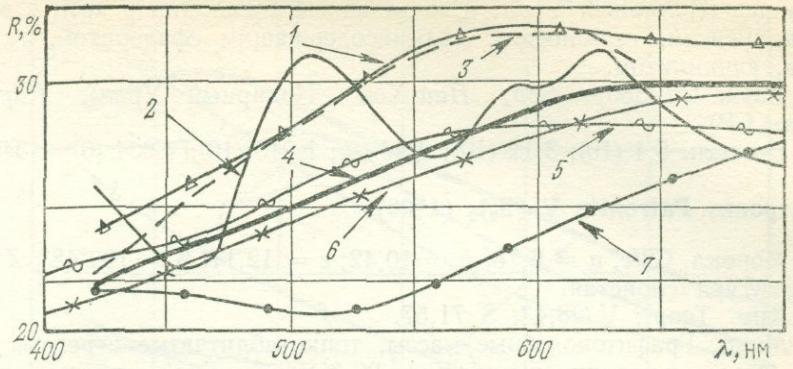


Рис. 113. Спектры отражения As-колусита (арсеносульванита) (1), сульванита (2), лазаревичита (3), колусита (4), колусита-Ge (5), некрасовита(6), германита (7)

эдратом, самородным висмутом, эмплектитом и др. сульфосолями Cu и Bi; вокруг некрасовита часто наблюдается полная или прерывистая кайма обрастания моусонита.

Изуч. Сп. 277—м-ние в Ср. Азии.

Рентген. 4,76 (0,5) (210); 3,41 (1) (310); 3,09 (10) (222); 2,86 (0,5) (321); 2,68 (2) (400); 2,16 (0,5) (431); 1,992 (0,5) (432); 1,894 (8) (440); 1,813 (0,5) (531); 1,786 (1) (442); 1,738 (0,5) (532); 1,676 (0,5) (621); 1,617 (6) (622); 1,551 (0,5) (444).

Сульванит Sulvanite Cu_2 Cu VS_4 (1900)

Куб. с. $P\,\bar{4}3m$; $a = 5{,}391$; $Z = 1$; структура имеет много общего со структурой сфалерита.

Хим. Близок к теор.: Cu 51,55; V 13,77; S 34,68. Примеси As достигают 5 (т. н. арсеносульванит с $\sim$ 10 % V, часто ошибочно арсеносульванитом именуют мышьяковистый колусит с $\sim$ 3 % V), Ge 4, Fe, Zn 0,*п. Бор* (СФРЮ): Cu 53,0; V 13,90; S 34,24; Σ 101,14^{мз}; формула $Cu_{3,07}V_{1,00}S_{3,93}$.

Микр. Мелкозернистые агрегаты, куб. кристаллики. Отраж. умеренное, *близкое к тетраэдриту*. Цв. *желтовато-бело-серый*, беловато-кремовый со слабым зеленоватым отт., темно-кремово-желтый; изотропный. Спектры отраж. сложного профиля с тремя максимумами (см. рис. 112, 113). Характерны сп. по кубу и треугольники выкрошивания, как у галенита.

Отл. От колусита в мелких выделениях надежно отличается по спектрам отраж., в крупных выделениях — по наличию сп., а также по минеральным ассоц.

Нахожд. Сравнительно редкий, в медно-порфировых и медно-молибден-порфировых м-ниях в ассоц. с колуситом, энаргитом, борнитом, теннантитом, халькозином, ковеллином, халькопиритом; в гидротермальных кварцевых и карбонатных жилах среди ванадиеносных

сланцев (Полярный Урал, Юго-Западный Казахстан и др.), в ассоц. с колуситом, германитом, кадмийсодержащим сфалеритом, галенитом, юшкинитом.

Изуч. Сп.-380 — *Бор*, *Пай-Хой* (Полярный Урал), *Каратау* (КазССР).

Рентген. 5,4 (10); 3,12 (10); 2,40 (8); 1,910 (10); 1,634 (6); 1,349 (5).

Патронит Patronite $V(S_2)_2$ (1906)

Монокл. $C2/c$, $a = 6{,}78$; $b = 10{,}42$; $c = 12{,}11$; $\beta = 100°48'$; $Z = 8$. Структура слоистая.

Хим. Теор.: V 28,43; S 71,57.

Микр. Графитоподобные массы, тонкотаблитчатые агрегаты, сов. сп. Отраж. умеренно низкое (33—20 %), цв. серый, светлее, чем у сфалерита. Двуотраж. сильное, почти как у молибденита. Анизотропия очень сильная в блеклых сине-зеленых тонах. Погасание прямое, минерал близок к одноосному. *H* очень низкий (I—II группы). На воздухе довольно быстро покрывается побежалостью.

Нахожд. В углисто-глинистых сланцах, асфальтитах; ассоц. с бравоитом, серой, иногда с минералами V в кварцево-кальцитовых прожилках.

Рентген. 5,60 (10); 5,20 (10); 2,97 (8); 2,58 (8); 2,48 (7).

Полковичит Polkovicite $Fe_3(Ge, Fe)S_4$ (1975)

Морозевичит Moroseviczite Pb_3GeS_4 (1975)

Куб. с. $a = 10{,}61$. По [17] — тетр. с. Конечные члены серии твердых растворов.

Хим. Состав членов серии полковичит — морозевичит: Pb 58,6—24,6, Fe 8,6—29,3, Ge 9,0—4,5, S 21,0—34,2; примеси Cu до 6,5, As до 1,8[мз].

Микр [м]. Отраж. умеренно низкое, несколько светлее германита. Цв. кремово-розоватый, бледнее, чем у германита. Двуотраж. очень слабое, анизотропия с цв. эфф. в желто-красноватых тонах. В. р. и сп. не наблюдались. Приведенные спектры отраж. не полностью соответствуют визуальному описанию оптических свойств, поэтому и те и другие нуждаются в уточнении.

Нахожд. Очень редкие. Известны в одном м-нии (в Польше) в тесных срастаниях с марказитом в прожилках, секущих более ранние халькопирит, борнит, халькозин, теннантит, сфалерит, галенит.

Рентген. 4,40 (4); 3,08 (10); 2,80 (6); 2,15 (9); 2,047 (6); 1,791 (5); 1,565 (6); 1,467 (5).

СУЛЬФИДЫ И СУЛЬФОСОЛИ Hg

Киноварь Cinnabar HgS

Триг. с. $P3_121$; $a = 4{,}15$; $c = 9{,}50$; $Z = 3$; искаженная структура NaCl (PbS).

Хим. Теор.: Hg 86,21; S 13,79. Примеси Fe, Zn, Se, Tl.

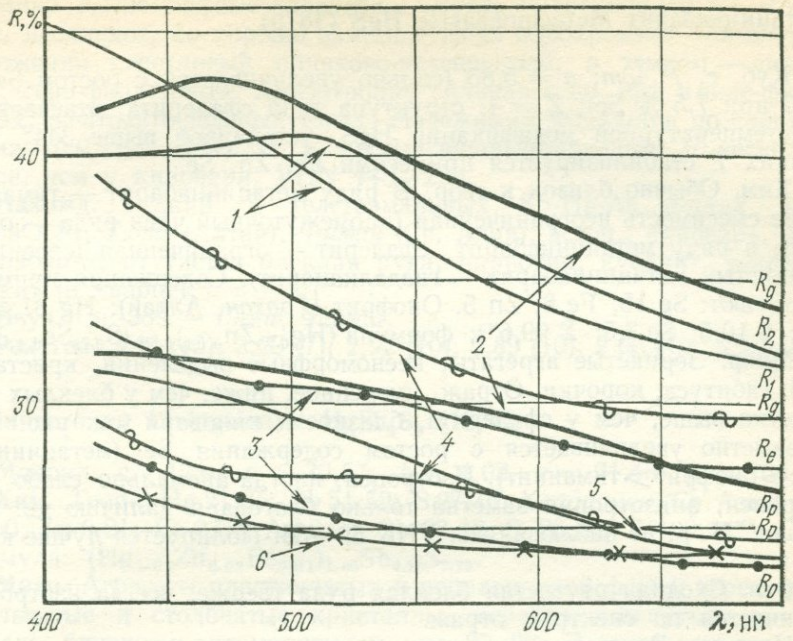


Рис. 114. Спектры отражения твалчрелидзеита (1), ливингстонита (2), киновари (3), кермезита (4), метастибнита (5), метациннабарита (6)

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, кристаллы, корочки. Отраж. умеренное, чуть ниже, чем у блеклой руды; в темном положении очень близка к метациннабариту (рис. 114). Цв. светло-серый с голубоватым отт. Двуотраж. умеренное со слабым цв. эфф. Сильно анизотропна. Оптически одноосна, положительна. Повсеместно наблюдаются сильные кроваво-красные в. р. *H* очень низкий, заметно ниже, чем у антимонита, чуть выше, чем у метациннабарита; VHN 40—135. Полируется с трудом, обычно сохраняются тонкие царапины.

Отл. Сходный куприт отличается повышенной тв. (VHN 190—210) и ассоц. с медью. Киноварь и прустит хорошо различимы по спектрам отраж. (см. рис. 91).

Нахожд. В низкотемпературных гидротермальных и газо-гидротермальных Hg, Sb-Hg, Sb-W, Au-Ag м-ниях; ассоц.: антимонит, ртутистые блеклые руды, метациннабарит, марказит, ртуть, битумоиды. В отложениях горячих источников и в возгонах вулканов; рассеянная киноварь в ореолах нефтегазовых м-ний; в россыпях.

Изуч. Сп.-181 — *Хайдаркан*, *Джижикрут*, *Чаувай* (Ср. Азия).

Рентген. 3,35 (10); 3,16 (3); 2,86 (10); 2,07 (3); 1,980 (4); 1,765 (8).

Метациннабарит Metacinnabarite HgS (1870)

Куб. с. $F\,\bar{4}3m$; $a = 5{,}85$ (сильно увеличивается с ростом Se, до 5,90 при 7,5 % Se); $Z = 4$; структура типа сфалерита; отвечает высокотемпературной модификации HgS, устойчивой выше 344°. При низких T стабилизируется примесями Fe, Zn, Se.

Хим. Обычно близок к теор. В ряду метациннабарит — тиманнит HgSe смесимость неограниченная (промежуточный член ряда — онофрит); в ряду метациннабарит сфалерит — ограниченная (селенистоцинкистый метациннабарит — гвадалкацарит). Содержания примесей достигают: Se 15; Fe 6; Zn 5. Онофрит (*Горхон*, Алтай): Hg 81,4; Zn 0,2; S 10,5; Se 7,5; Σ 99,6[мз]; формула $(Hg_{0,98}Zn_{0,01})_{0,99}\,(S_{0,78}Se_{0,23})_{1,01}$.

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, кристаллы куб. габитуса, корочки. Отраж. умеренное, ниже, чем у блеклых руд, заметно выше, чем у сфалерита, близкое к киновари (см. рис. 114). R заметно увеличивается с ростом содержания Se (метациннабарит > онофрит > тиманнит). Изотропен; иногда аномально слабо анизотропен, анизотропия заметна только благодаря наличию дв. пластинок. В. р. не наблюдались. VHN 52—86. Полируется лучше киновари.

Отл. Сходная ртутистая блеклая руда тверже, всегда изотропна, отличается по спектрам отраж.

Нахожд. В гидротермальных телетермальных и вулканогенных м-ниях Hg, Sb-Hg; ассоц.: киноварь, антимонит, акташит, марказит, вюртцит, барит. Среди отложений горячих источников, в возгонах вулканов.

Изуч. Сп.-250 — *Хайдаркан* (Ср. Азия), колл. В. И. Степанова; сп.-250-2 (онофрит) — *Горхон*, колл. В. И. Васильева.

Рентген. 3,39 (10) (111); 2,92 (5) (002); 2,07 (8) (022); 1,759 (7) (113); 1,344 (4) (133).

Гиперциннабарит Hypercinnabar $(Hg_{0,91}Fe_{0,07})$ S (1978)

Гекс. с.; $a = 7{,}01$; $c = 14{,}13$; $Z = 12$. Высокотемпературная модификация, γ-HgS.

Микр. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у теннантита, выше, чем у сфалерита, сходен с метациннабаритом. Двуотраж. незаметно. Слабо анизотропен (заметно только в иммерсии). H ниже метациннабарита, выше, чем у киновари, VHN 52.

Нахожд. Очень редкий. Известен в ассоц. с метациннабаритом.

Рентген. 3,41 (5); 3,25 (10); 3,07 (9); 2,76 (9); 2,70 (6); 2,47 (7); 1,982 (6); 1,900 (10); 1,838 (5); 1,740 (6); 1,704 (9); 1,661 (10).

Твалчрелидзеит Tvalchrelidzeite Hg_{12} (Sb, As)$_8$ S_{15} (1975)

Монокл. с.; $a = 11{,}51$; $b = 4{,}39$; $c = 15{,}62$; $\beta = 92{,}14°$.

Хим. Теор. ($Hg_{12}Sb_8S_{15}$): Hg 62,33; Sb 25,22; S 12,45. Примеси As до 9 %; Cu, Fe, Zn до 0,5 %.

Микр. Ксеноморфные выделения. Отраж. умеренное (40 %). Двуотраж. несильное, но хорошо заметное из-за плеохроизма — в светлом положении отчетливый оливково-зеленоватый, в темном — сиреневый, серо-фиолетовый. Анизотропия сильная с цв. эфф. в сине-фиолетовых, желтовато-зеленых тонах. Надежно определяется по спектрам отраж. (см. рис. 114). В. р. густые вишнево-красные. *H* несколько выше, чем у киновари. VHN 143—220.

Нахожд. Редкий. В телетермальных Sb-Hg-As м-ниях *Гоми* (ГрузССР), *Тюте* (Алтай), *Чаувай* (Ср. Азия): ассоц.: киноварь, метациннабарит, ртутистая блеклая руда, пирротин, кубанит, реальгар, диккит (в кварце).

Изуч. Сп.-389 — *Гоми*; *Чаувай*.

Рентген. 3,49 (10); 3,29 (7); 2,92 (10); 2,89 (10); 2,08 (10); 2,03 (3,5).

Ливингстонит Livingstonite $HgSb_4S_8$ (1874)

Монокл. с. *A2/a*; $a = 30{,}57$; $b = 4{,}02$; $c = 21{,}46$; $\beta = 103{,}39°$.

Хим. Теор.: Hg 21,25; Sb 51,59; S 27,16. *Хайдаркан* (Ср. Азия): Hg 20,60; Zn 0,21; Fe 0,07; Ag 0,05; Sb 53,18; S 26,23; Σ 100,34[мз]; СЭМ; формула: $(Hg_{1,01}Zn_{0,03}Fe_{0,01})_{1,05}Sb_{4,16}S_{7,79}$.

Микр. Агрегаты пластинчатых и неправильной формы зерен, реже игольчатые и столбчатые кристаллы, нередко изогнутые, смятые. Отраж., близкое к антимониту (см. рис. 87, 92). В некоторых сечениях отчетливо выражен зеленоватый отт. Двуотраж. умеренное, слабее, чем у антимонита. Сильно анизотропен в блеклых серо-зеленых тонах. В. р. густые темно-красные, в воздухе заметны не повсеместно. Характерны полисинт. дв. Нередко различима сп. *H* низкий, как у антимонита. VHN 35—75, у обр. из *Хайдаркана* 102—155.

Нахожд. В телетермальных Sb-Hg и Hg м-ниях; *в Хайдаркане* один из ведущих носителей Hg; ассоц.: антимонит, киноварь, метациннабарит, аурипигмент, реальгар, галхаит.

Изуч. Сп.-226 — *Хайдаркан*, колл. В. И. Степанова.

Рентген. 3,74 (7); 3,48 (7); 3,00 (10); 2,28 (6); 1,734 (5).

Галхаит Galkhaite $(Hg, Cu, Zn)_{12-x}$ $(Tl, Ag, Cs)_x$ $(As, Sb)_{12}$ S_{24} (1972)

Куб. с. $I\,\bar{4}3m$; $a = 10{,}39$ (уменьшается с ростом Cu, Zn); $Z = 1$.

Хим. Теор. (для $HgAsS_2$): Hg 59,06; As 22,06; S 18,88. Содержания примесей достигают: Sb 6; Cu 4; Zn, Tl, Ag и Cs 3; Se 0,1. *Хайдаркан* (Ср. Азия): Hg 49,02; Cu 2,85; Zn 0,60; Tl 2,90; As 19,49; Sb 5,51; S 19,31; Se 0,02; Σ 99,70; ШНГ; формула: $(Hg_{9,61}Cu_{1,77}Zn_{0,36})_{11,74} \times$ $\times Tl_{0,56}(As_{10,23}Sb_{1,78})_{12,01}(S_{23,68}Se_{0,01})_{23,69}$.

Микр. Кристаллы куб. габитуса, зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту (см. рис. 92). Цв. светло-серый с голубовато-сиреневым отт.; изотропен. Повсеместно оранжево-красные в. р. *H* близок к антимониту. VHN 170—205. Полируется хорошо.

Нахожд. Редкий. В телетермальных Sb-Hg-As м-ниях *Гал-Хая* (Якутия), *Чаувай* (Ср. Азия), *Гетчелл* (США); ассоц.: киноварь, реальгар, антимонит, акташит, метациннабарит. В отдельных участках слагает почти мономинеральные Hg руды.

Изуч. *Сп.-94 — Хайдаркан, Гал-Хая, колл. В. С. Груздева.*

Рентген. 7,40 (5); 4,27 (7); 3 01 (10); 2,78 (8); 1,841 (5);

Акташит Aktaschite $Cu_6Hg_3As_4S_{12}$ (1968)

Груздевит Gruzdevite $Cu_6Hg_3Sb_4S_{12}$ (1981)

Триг. с. *R*3; акташит: $a_h = 13{,}71$; $c_h = 9{,}31$; $Z = 3$; $a_{rh} = 8{,}50$; $\alpha = 107{,}47°$; груздевит; $a_h = 13{,}90$; $c_h = 9{,}34$; $Z = 3$; $a_{rh} = 8{,}61$; $\alpha = 107{,}68°$. Дефектная сверхструктура на основе структуры сфалерита.

Хим. Акташит — ртутистый, груздевит — сурьмянисто-ртутистый аналоги новацкиита $Cu_6Zn_3As_4S_{12}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, тетраэдрические кристаллы, срастания с антимонитом, киноварью, метациннабаритом. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту. Цв. светло-серый со слабым коричневатым отт.; слабо анизотропны. Груздевит неотличим от акташита. Акташит и сурьмянистый акташит чрезвычайно похожи на тетраэдрит и метациннабарит (рис. 115). Спектр. отраж. сурьмянистого акташита практически совпадает со спектром тетраэдрита. Зависимость *R* от состава минералов в ряду акташит—груздевит подобна зависимости в ряду теннантит—тетраэдрит. *H* выше, чем у метациннабарита, близок к галхаиту; VHN 230—315; с ростом сурьмянистости тв. понижается.

Отл. От сходного тетраэдрита отличаются по рентгенограмме, анизотропией; от метациннабарита — повышенной тв., по спектру отраж.

Нахожд. Редкий акташит в Sb-Hg м-ниях в участках развития сурьмяно-ртутной минерализации в (или вблизи) реальгар-аурипигментовых рудах; ассоц.: антимонит, киноварь, метациннабарит, вюрт-

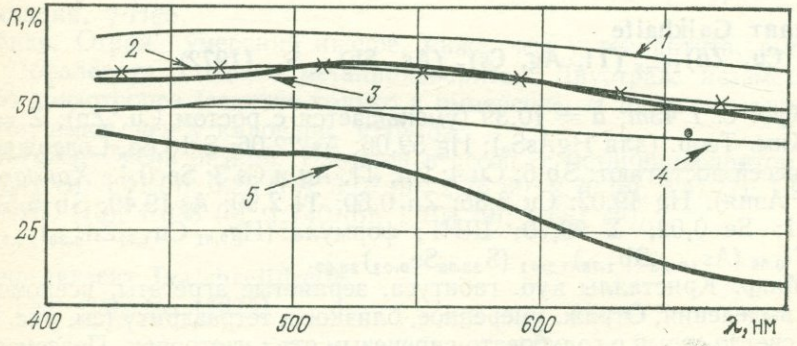


Рис. 115. Спектры отражения груздевита (1), Sb-акташита (2), тетраэдрита (3), акташита (4), теннантита (5)

Таблица 31

Компонент	Сп.-5-1		Сп.-5-2		Сп.-123	
	%	ф. е.	%	ф. е.	%	ф. е.
Cu	23,2	5,94	21,92	5,92	19,99	5,87
Hg	35,4	2,87	34,60	2,95	32,73	3,04
Zn	0,15	0,04	—	—	—	—
Fe	0	—	0,21	0,07	0,29	0,10
As	18,9	4,11	11,07	2,54	0,37	0,09
Sb	0,41	0,06	11,12	1,56	26,21	4,01
S	23,6	11,98	22,35	11,96	20,44	11,89
Σ	101,66	25	101,27	25	100,03	25
$VHN_{ср}$	306		303		295	
a	13,74		13,78		13,90	
c	9,314		9,358		9,342	

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (СЭМ).

цит, тетраэдрит, галхаит, реальгар, аурипигмент, энаргит. Очень редкие Sb-акташит и груздевит слагают ядерные части кристаллов акташита.

Изуч. См. табл. 31 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-5-2: 6,91 (1) (110); 5,01 (1) (201); 4,36 (0,5) (102); 4,05 (1) (211); 3,68 (0,5) (202); 3,12 (10) (311, 003); 2,84 (0,5) (401); 2,70 (3) (312); 2,60 (1) (410); 2,46 (0,5) (303); 2,36 (0,5) (322); 2,30 (1) (330); 2,10 (2) (511); 2,04 (0,5) (422); 1,998 (1) (413); 1,948 (1) (512); 1,909 (9) (520); 1,849 (0,5) (333); 1,696 (0,5) (612 . . .) 1,676 (0,5) (531 . . .); 1,628 (8) (621 . . .); 1,580 (0,5) (514).

Петровицит Petrovicite $Cu_3HgPbBiSe_5$ (1976)

Ромб. с. *Pnam* или *Pna*2; $a=16{,}17$; $b = 14{,}684$; $c = 4{,}331$; $Z = 4$.

Хим. Состав минерала отвечает формуле.

Микр [м]. Зернистые агрегаты, реже таблитчатые кристаллы. Отраж., как у галенита (46 %); бесцветный, слегка кремоватый; слабо анизотропен; VHN 102.

Нахожд. В единственном м-нии *Петровице* (ЧССР); ассоц. с другими селенидами; замещается умангитом и эскеборнитом.

Гортдрамит Gortdrumite $(Cu, Fe)_6 Hg_2S_5$ (1983)

Ромб. с. (?); $a = 14{,}958$; $b = 7{,}900$; $c = 24{,}10$; $Z = 4$.

Хим. Hg 41,35—41,38; Cu 38,33—39,59; Fe 1,41—2,40; S 16,61—16,93[м3].

Микр[м]. Ксеноморфные выделения, прожилки. Отраж. умеренно низкое (28—25 %), чуть темнее тетраэдрита. Анизотропия сильная в голубовато-серых тонах. Отмечались тонкие пластинчатые дв. VHN 186—230 В. р. не наблюдались.

Нахожд. Очень редкий. Известен в доломит-баритовой жиле *Гортдрам* (Ирландия), в ассоц. с киноварью, халькопиритом, борнитом, халькозином; самый поздний из ассоц. минералов.

Рентген. 7,41 (2); 6,03 (4); 4,58 (10); 3,38 (7); 2,88 (5); 2,78 (5); 2,67 (3).

СУЛЬФИДЫ И СУЛЬФОСОЛИ Tl—Sb, As

Карлинит Carlinite Tl_2S (1975)

Триг. с. (ромбоэдр.) $R\,3$; $a = 12{,}20$; $c = 18{,}18$; $Z = 27$. $T_{пл}$ 452°; в ассоц. с эллиситом устойчив ниже 300°.

Хим. Близок к теор.: Tl 92,73; S 7,27. Примесь Pb.

Микр[м]. Зерна округлой формы. Отраж. умеренно высокое (40 %), несколько ниже, чем у галенита (рис. 116). Цв. белый со слабым голубоватым отт. (галенитоподобный). Двуотраж. очень слабое. Умеренно анизотропен с цв. эфф. от коричневато-серых до голубовато-серых тонов. Характерна сп. по базису. На воздухе очень быстро (~ 30 мин) окисляется, покрывается пленкой авиценнита. *H* низкий; VHN 20—24.

Нахожд. В вулканогенном (эпитермальном) м-нии Au *Карлин* (США), богатом минералами Tl; карлинит развит на флангах рудных тел, где

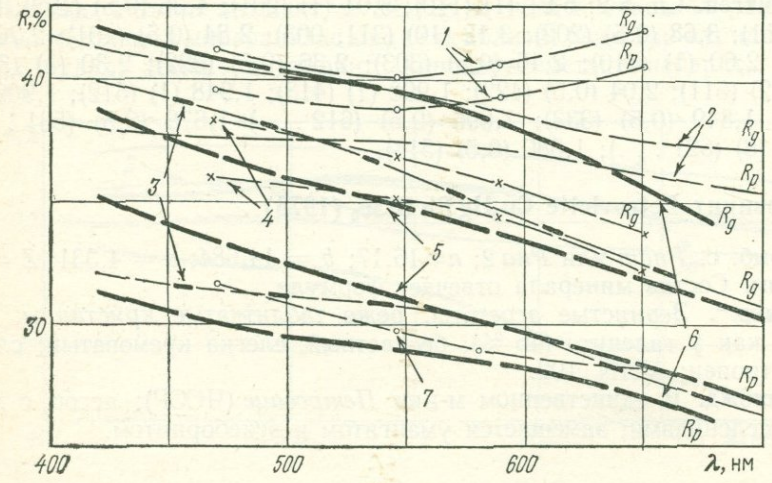


Рис. 116. Спектры отражения карлинита (1), рейита (2), шабурнеита (3), вейссбергита (4), пьерротита (5) парапьерротита (6), эллисита (7)

отсутствуют реальгар, аурипигмент, антимонит. В зоне окисления замещается авиценнитом.

Рентген. 3,03 (10); 2,29 (3); 2,02 (3); 1,749 (3); 1,681 (2).

Вейссбергит Weissbergite $TlSbS_2$ (1978)

Трикл. с. $P\,1$; $a = 11{,}8$; $b = 6{,}4$; $c = 6{,}1$; $\alpha = 109{,}9°$; $\beta = 81{,}8°$; $\gamma = 105{,}4°$; $Z = 4$. $T_{пл}$ 460°, в ассоц. с парапьерротитом устойчив ниже 395°.

Хим. Близок. к теор.: Tl 52,37; Sb 31,20; S 16,43.

Микр. Ксеноморфные выделения, пластинчатые кристаллы и их агрегаты. *Отраж. умеренное, выше, чем у тетраэдрита, заметно ниже,* чем у галенита (см. рис. 116). Цв. кремово-серый. Двуотраж. слабое. Сильно анизотропен с цв. эфф. в голубовато-зеленоватых, оранжево-коричневатых и серых тонах. В. р. густооранжево-красные и желто-оранжевые. Оптически двуосный, положительный. Характерна сов. сп., ‖ удлинению пластинчатых кристаллов, изредка заметна сп. в другом направлении. *H* низкий; VHN 26—37, у синт. аналога 28—41.

Нахожд. В вулканогенном м-нии Au *Карлин,* ассоц.: гетчелит, карлинит, эллисит.

Рентген. 3,74 (5); 3,71 (5); 3,65 (9); 3,58 (9); 2,97 (10); 2,84 (7); 2,36 (5); 2,35 (5).

Парапьерротит Parapierrotite $TlSb_5S_8$ (1975)

Монокл. с. $P2_1/n$; $a = 8{,}02$; $b = 19{,}35$; $c = 9{,}03$; $\beta = 91{,}97°$; $Z = 4$. В ассоц. с антимонитом устойчив ниже 422°, с вейссбергитом ниже 385°.

Хим. Теор.: Tl 19,11; Sb 56,91; S 23,98. Примесь Ag 3,5—5,5 %.

Микр^{м}. Мелкие кристаллы и сростки. Отраж. от умеренного (*близкого к тетраэдриту*) *до умеренно высокого (близкого к галениту)* (см. рис. 116). Двуотраж. сильное. Отчетливо анизотропен в коричневато-серых и голубовато-серых тонах. Иногда наблюдаются пурпурно-красные в. р. *H* низкий; VHN 76.

Отл. От пьерротита отличается по рентгенограмме.

Нахожд. Редкий, в вулканогенных (эпитермальных) Tl м-ниях *Аллхар* (СФРЮ), *Жа-Ру* (Франция), в пустотах в реальгаре.

Рентген. 4,15 (9); 3,70 (9); 3,60 (7); 3,49 (10); 2,91 (9); 2,83 (10); 2,36 (9).

Пьерротит Pierrotite $Tl_2(Sb, As)_{10}S_{17}$ (1970)

Ромб. с. *Pbn* 2_1 *или Pbnm*; $a = 8{,}77$; $b = 38{,}8$; $c = 8{,}03$; $Z = 4$.

Хим. Ср.: Tl 19,9; Sb 44,4; As 8,85; S 26,65; Σ 99,8^{мз}; формула: $Tl_{2.00}(Sb_{7.49}As_{2.43})_{9.92}S_{17.08}$; Sb : As = 3 : 1.

Микр^{м}. Зернистые агрегаты. Отраж. умеренное, выше, чем у тетраэдрита (см. рис. 116). Цв. светло-серый со слабым голубоватым отт. *Двуотраж. умеренное. Отчетливо анизотропен в зеленовато-серых*

и коричневато-серых тонах. Часто наблюдаются красные в. р. Оптически двуосный, отрицательный. VHN 160.

Отл. Надежно диагностируется по рентгенограмме, составу.

Нахожд. Редкий. В кварцевых жилах вулканогенного Tl м-ния *Жа-Ру*; ассоц.: антимонит, реальгар, пирит, метастибнит.

Рентген. 4,7 (4); 4,0 (5); 3,63 (8); 3,59 (10); 3,49 (9); 3,03 (5); 2,84 (8); 2,70 (9); 2,52 (6); 2,47 (6); 2,35 (8); 2,23 (6).

Ребулит Rebulite $Tl_5Sb_5As_8S_{22}$ (1982)

Монокл. с. $P\ 2_1/c$; $a = 17{,}44$; $b = 7{,}36$; $c = 32{,}05$; $\beta = 105{,}03°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Tl 34,81; Sb 20,74; As 20,42; S 24,03.

Нахожд. В вулканогенном м-нии Аллхар (СФРЮ), в ассоц. с реальгаром, антимонитом, лорандитом.

Эллисит Ellisite Tl_3AsS_3 (1979)

Триг. с. (ромбоэдр.) $R3m$; $a = 9{,}57$; $c = 6{,}99$; $Z = 3$. $T_{пл}$ 330°, в ассоц. с карлинитом устойчив ниже 300°, с лорандитом — ниже 230°; неограниченные твердые растворы с Tl_3SbS_3.

Хим. Обычно близок к теор.: Tl 78,18; As 9,55; S 12,27. Примеси Sb до 7 %; Pb до 0,5 %.

Микр. Кристаллы, зернистые агрегаты. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту (см. рис. 116). Цв. розовато-серый, слабо-пурпурный. Двуотраж. слабое. Ясно анизотропен, в голубовато-пурпурных, буровато-оранжевых тонах. Красные и оранжево-красные в. р. Иногда наблюдается сп. по ромбоэдру. *H* низкий; VHN 36—44.

Нахожд. Редкий. В вулканогенном м-нии Au *Карлин* (США); ассоц.: карлинит или лорандит, христит, гетчелит, пирит.

Рентген. 5,33 (4); 3,56 (2); 3,21 (5); 2,67 (10); 2,33 (3).

Лорандит Lorandite $TlAsS_2$ (1895)

Монокл. с. $P\ 2_1/a$; $a = 12{,}27$; $b = 11{,}34$; $c = 6{,}11$; $\beta = 104{,}2°$; $Z = 8$; $T_{пл}$ 290°; в ассоц. с эллиситом или с аурипигментом устойчив ниже 230°.

Хим. Обычно близок к теор.: Tl 59,51; As 21,82; S 18,67. *Аллхар* (СФРЮ), %: Tl 60,25; Ag 0,30; Hg 0,04; Pb 0,68; Mn следы; As 21,62; Sb 0,16; S 19,56; Σ 102,11[мэ]; СЭМ; формула: $(Tl_{0.995}\ Ag_{0.009}\ Hg_{0.001}Pb_{0.011})_{1.016}\ (As_{0.974}\ Sb_{0.004})_{0.978}\ S_{2.006}$.

Микр. Короткостолбчатые кристаллы. Отраж. умеренное (см. рис. 92). Цв. голубовато-серый. Двуотраж. отчетливое. Сильно анизотропен. Обильные красные в. р. Сп. в нескольких направлениях, иногда выкрошивание по сп. *H* низкий, ниже, чем у киновари, выше, чем у реальгара; VHN 39—57. Полируется хорошо.

Отл. От сходного реальгара отличается красными (а не оранжевыми) в. р., наличием сп., по спектрам отраж. От киновари, пруститa-пираргирита, гетчелита — по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Один из наиболее распространенных рудных минералов Tl, в составе вулканогенной эпитермальной барит-реальгар-аурипигментовой минерализации, с Tl-содержащим реальгаром, грейгитом, марказитом, эллиситом, гетчелитом.

Изуч. Сп.-231 —*Аллхар*, колл. В. Ю. Волгина.

Рентген. 3,68 (5); 3,59 (6); 3,58 (10); 3,00 (4); 2,88 (6).

СУЛЬФОСОЛИ Tl—Hg—Sb, As

Врбаит Vrbaite $Tl_4Hg_3Sb_2As_8S_{20}$ (1912)

Ромб. с. *Cmca*; $a = 13{,}38$; $b = 23{,}37$; $c = 11{,}25$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Tl 28,17; Hg 20,73; Sb 8,39; As 20,66; S 22,05.

Микр. Таблитчатые кристаллы, зернистые агрегаты. Отраж. умеренное, близкое к лорандиту (см. рис. 72). Цв. светло-серый с синеватым отт. Двуотраж. и анизотропия отчетливые с блеклыми цв. эфф. Повсеместно темно-красные в. р. Спектры отраж. характеризуются сильной дисперсией нормального типа. Сп. в одном направлении. *H* низкий.

Отл. От сходного лорандита отличается меньшей анизотропией, по спектрам отраж., рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В Sb-As м-нии *Аллхар* (СФРЮ); ассоц.: реальгар, аурипигмент, лорандит, рагинит, пикополит.

Рентген. 5,20 (8); 4,31 (4); 4,06 (10); 3,36 (10); 3,18 (8); 3,11 (7); 2,82 (6); 2,59 (10); 2,30 (9); 2,16 (4); 2,06 (5); 1,943 (5); 1,845 (5), 1,738 (6); 1,679 (7); 1,649 (4); 1,557 (4).

Рутьеит Routhierite TlHg (As, Sb) S_3 (1974)

Тетр. с. *I* 4/*mmn*; $a = 9{,}99$; $c = 11{,}29$; $Z = 8$.

Хим. В составе минерала часть Tl замещена Cu и Ag, часть Hg замещена Zn.

Микр[м]. Зернистые агрегаты. Отраж. умеренное, близкое к блеклым рудам (см. рис. 72). Цв. серый с голубым отт. Двуотраж. слабое, иногда еле различимое. Отчетливо анизотропен. Красные в. р. VHN 148.

Нахожд. Редкий. В вулканогенном м-нии *Жа-Ру* (Франция;) ассоц: реальгар, антимонит, пьерротит, лаффитит, шабурнеит.

Рентген. 4,15 (10); 3,52 (8); 2,99 (10); 2,50 (9); 1,870 (7); 1,827 (6); 1,763 (7); 1,520 (6).

Христит Christite $TlHgAsS_3$ (1977)

Монокл. с. *P* $2_1/m$; $a = 6{,}11$; $b = 16{,}19$; $c = 6{,}11$; $\beta = 96{,}71°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Tl 35,48; Hg 34,82; As 13,01; S 16,69.

Микр. Таблитчатый. Отраж. умеренное, близкое к теннантиту (см. рис. 72). Цв. голубовато-серый. Двуотраж. не наблюдалось, анизотропия слабая. Оранжевые и красно-оранжевые в. р. Сов. сп. по базису. *H* весьма низкий; VHN 28—35.

Нахожд. Редкий. В вулканогенном м-нии Au *Карлин* (США); ассоц.: реальгар, эллисит, галхаит, мышьяк.

Рентген. 4,03 (6); 3,62 (8); 3,49 (6,5); 3,36 (6); 2,98 (10); 2,82 (6); 2,68 (6,5); 2,22 (6,5); 1,691 (6).

Симонит Simonite $TlHgAs_3S_6$ (1982)

Монокл. с. $P\ 2_1/n$; $a = 5{,}95$; $b = 11{,}40$; $c = 15{,}98$; $\beta = 90{,}15°$; $Z = 4$.

Хим. Близок к теор.: Tl 24,86; Hg 24,40; As 27,34; S 23,40. Примесь Sb до 2 %.

Нахожд. Редкий, в Sb-As м-нии *Аллхар* (СФРЮ) во включениях в ребулите.

Рентген. 3,66 (10); 2,85 (6,5); 2,83 (7); 2,38 (7); 1,86 (8,5); 1,83 (7); 1,80 (10); 1,53 (8).

СУЛЬФОСОЛИ Tl—Cu, Ag, Pb—Sb, As

Гатчит Hatchite $TlAgPbAs_2S_5$ (1912)

Трикл. с. $P\ \bar{1}$; $a = 9{,}22$; $b = 7{,}84$; $c = 8{,}06$; $\alpha = 66{,}42°$; $\beta = 65{,}28°$; $\gamma = 74{,}90°$; $Z = 2$; изоструктурен с валлиситом, с которым образует широкие области твердых растворов.

Хим. Теор.: Tl 24,64; Ag 13,01; Pb 24,97; As 18,06; S 19,33.

Микр. Изометричные кристаллы. Отраж. умеренное (~ 38 %). Хорошо выражена сп. в одном направлении. Темно-красные в. р.

Нахожд. Редкий. В эпитермальном Cu-As м-нии *Бинненталь* (Швейцария) ассоц.: теннантит, сульфосоли Pb—As и Cu—As.

Рентген. 3,58 (4); 3,42 (6); 3,32 (7); 2,88 (10); 1,71 (8).

Валлисит Wallisite $TlCuPbAs_2S_5$ (1965)

Трикл. с. $P\ \bar{1}$; $a = 8{,}98$; $b = 7{,}76$; $c = 7{,}98$; $\alpha = 65{,}55°$; $\beta = 65{,}50°$; $\gamma = 73{,}91°$; $Z = 2$.

Хим. Теор.: Tl 26,03; Cu 8,09; Pb 26,38; As 19,08; S 20,42.

Микр. Изометричные кристаллы с сов. сп. в одном направлении. Отраж. умеренное (~ 38 %). Обильные темно-красные в. р.

Нахожд. Редкий. В эпитермальном Cu-As м-нии *Бинненталь* (Швейцария), в ассоц. с сульфосолями Cu-As; Cu-Pb-As; Pb-As.

Рентген. 4,52 (4); 3,33 (4); 3,31 (10); 2,83 (8); 2,65 (7); 2,61 (4); 2,43 (4).

Имхофит Imhofite $Tl_5CuAs_{16}S_{27}$ (1965)

Монокл. с. $P\ 2_1/n$; $a = 8{,}76$; $b = 24{,}43$; $c = 5{,}74$; $\beta = 108{,}28°$; $Z = 1$; структура, близкая к гатчиту.

Микр. Агрегаты мелких тонкопластинчатых кристаллов. Отраж. умеренное, выше тетраэдрита. Цв. голубовато-серый. Двуотраж. за-

метное. Анизотропен. Обильные красные в. р. Сп. в одном направлении. *H* очень низкий.

Отл. Значительно более мягкий, чем гутчинсонит.

Нахожд. Редкий. В Cu-As м-нии *Бинненталь*, с реальгаром.

Гутчинсонит Hutchinsonite $(Tl, Pb)_2 As_5S_9$ (1904)

Ромб. с. *Pbca*; $a = 10{,}80$; $b = 35{,}35$; $c = 8{,}16$; $Z = 8$.

Хим. В составе минерала Tl : Pb = 2 : 1 — 1 : 1, примеси Ag, Cu, Sb.

Микр. Призматические и игольчатые кристаллы, лучистые агрегаты, каймы обрастания и замещения на сульфосолях Pb—As; Cu—Pb и As микропрожилки в баумгауерите, вкрапленность в кальците. Отраж. умеренное, несколько ниже блеклых руд (см. рис. 72). Цв. серый с голубоватым отт. Двуотраж. сильное с изменением цв. от синевато-фиолетово-серого до зеленовато-серого. Сильно анизотропен в нежно-бирюзово-синих, буровато-оливковых, красно-фиолетовых тонах. Повсеместно карминово-красные в. р. Оптически двуосный, отрицательный. Сп. в одном направлении. VHN 170.

Отл. Несколько сходен с лорандитом, пруститом-пираргиритом.

Нахожд. Редкий. В эпитермальных Cu-As и Cu-Pb-As м-ниях *Бинненталь* (Швейцария) и *Вислох* (ФРГ); ассоц.: с аурипигментом, *клейофаном*, *сульфосолями* Tl-As; Pb-As; Cu-As.

Рентген. 4,44 (5); 3,79 (7); 3,05 (6); 2,74 (10).

Шабурнеит Chabourneite $Tl_8Pb_4Sb_{21}As_{19}S_{68}$ или $Tl_{24}(Sb, As)_{94}S_{147}$ (1974)

Существуют еще несколько вариантов формулы: $(Tl, Pb)_3$ $(Sb, As)_{13}$ S_{21} и др.

Трикл. с. *P* 1; $a = 16{,}35$; $b = 42{,}60$; $c = 8{,}53$; $\alpha = 95{,}86°$, $\beta = 86{,}91°$; $\gamma = 96{,}88°$; $Z = 1$.

Хим. Теор. ($Tl_8Pb_4Sb_{21}As_{19}S_{68}$):Tl 18,96; Pb 9,61; Sb 21,65; As 16,50; S 25,28.

Микр [м]. Таблитчатые кристаллы, зернистые агрегаты, срастания с антимонитом. Отраж. умеренное, близкое к тетраэдриту (см. рис. 116). Цв. светло-серый со слабым голубоватым отт. в положении R_g и коричневато-серым — в положении R_p. Двуотраж. заметное; ΔR заметно выше в синей области, чем в красной. Сильно анизотропен с цв. эфф. в голубых, зеленоватых тонах. Красные в. р. *H* довольно низкий; VHN 78—125 (ср. 95).

Нахожд. Редкий. В вулканогенном Tl м-нии *Жа-Ру* (Франция) с антимонитом, реальгаром, рутьеитом, лаффититом.

Рентген. 4,20 (5); 4,07 (6); 3,93 (7); 3,57 (10); 3,49 (5); 3,36 (7); 2,85 (7); 2,81 (8); 2,71 (7); 2,35 (7); 2,14 (9).

Пяккёненит Pääkkönnenite Sb_2AsS_2 (1981)

Монокл. с.; $a = 5{,}37$; $b = 3{,}98$; $c = 11{,}41$; $\beta = 89{,}71°$; $Z = 2$.
Хим. Близок к теор.: Sb 63,66; As 19,58; S 16,76.
Микр [м]. Пластинчатые и округлые включения в сурьме, срастания с арсенопиритом и лёллингитом. Отраж. умеренно высокое, близкое к галениту, антимониту (см. рис. 87). Цв. белый, в контакте с сурьмой — со слабым коричневатым отт. Двуотраж. заметное. Сильно анизотропен с цв. эфф. в коричневатых, голубовато-серых тонах. Широко развиты полисинт. дв., ‖ удлинению, на поперечных сечениях — две системы взаимно перпендикулярных дв., чем существенно отличается от сходного антимонита. *H* несколько ниже, чем у сурьмы; VHN 66 — 87, на изотропных сечениях 77.
Нахожд. Редкий. В гидротермальном м-нии *Каллиосало* (Финляндия); ассоц.: сурьма, гудмундит, антимонит, арсенопирит, лёллингит.
Рентген. 3,90 (4); 3,13 (4); 2,87 (10); 2,68 (6); 2,27 (3); 1,750 (3).

Гетчеллит Getchellite $SbAsS_3$ (1965)

Монокл. с. $P\ 2_1/a$; $a = 11{,}85$; $b = 8{,}99$; $c = 10{,}16$; $\beta = 116{,}45°$; $Z = 8$; в ассоц. с антимонитом устойчив ниже 285°, с аурипигментом — ниже 265°.
Хим. Близок к теор.: Sb 41,57; As 25,59; S 32,84. *Хайдаркан* (Ср.

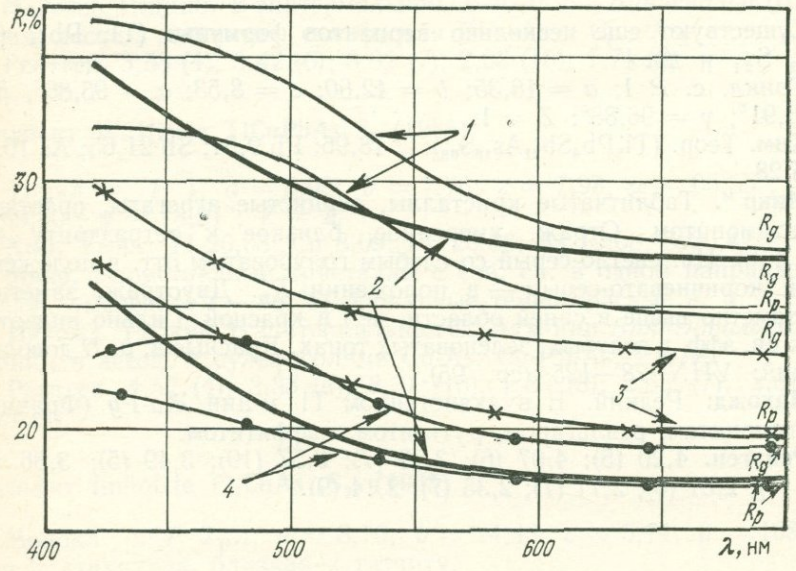


Рис. 117. Спектры отражения гетчелита (1), аурипигмента (2), вакабаяшилита (3), реальгара (4)

Азия): Sb 42,92; Fe 0,06; As 23,54; S 32,82; ∑ 99,34; формула: $Sb_{1,042}Fe_{0,003}As_{0,929}S_{3,026}$.

Микр. Зернистые агрегаты, толстотаблитчатые кристаллы. Отраж. умеренное, ниже R_p антимонита, выше R_g аурипигмента (рис. 117). Цв. светло-серый с голубоватым отт.; в иммерсии по контрасту с аурипигментом выглядит фиолетово-коричневым. Двуотраж. отчетливое. Сильно анизотропен. Обильные оранжево-красные в. р. Оптически двуосный, отрицательный. Сов. слюдоподобная сп., как у аурипигмента. *H* близок к антимониту; VHN 42—82.

Нахожд. Редкий, в значительных количествах в некоторых эпитермальных Sb-Hg, Sb-As, Au-As м-ниях; ассоц.; антимонит, киноварь, реальгар, аурипигмент, марказит, золото.

Изуч. Сп.-109 — *Хайдаркан*, колл. В. Ю. Волгина.

Рентген. 9,19 (4); 6,46 (5); 4,97 (5); 4,60 (5ш); 4,44 (8); 4,06 (4); 3,63 (7ш); 3,14 (4); 3,08 (4); 2,89 (10ш); 2,80 (5); 2,54 (6); 2,25 (5).

Вакабаяшилит Wakabayashilite $(As, Sb)_{11}S_{18}$ (1969)

Монокл. с. $P2_1$ или $P2_1/m$; $a = 25,17$; $b = 6,48$; $c = 25,24$; $\beta = 120°$; $Z = 6$.

Хим. Содержания As и Sb колеблются, As : Sb от 15,5 (~ 6 % Sb) до 4,9 (15 % Sb). *Хайдаркан* (Ср. Азия): As 47,4; Sb 12,3; S 38,65; Σ 98,35[мз]; СЭМ; формула $(As_{9,46}Sb_{1,51})_{10,97}S_{18,03}$.

Микр. Агрегаты игольчатых и призматических кристаллов, срастания с антимонитом, реальгаром. Похож на аурипигмент, несколько темнее (см. рис. 117), со слабым двуотраж. и слабыми эффектами анизотропии. Очень сильные в. р. желтые, лимонно-желтые. Сов. сп. в нескольких направлениях. *H* близок к аурипигменту; VHN 26—98.

Отл. В макровыделениях легко диагностируется как игольчатый, сноповидный «аурипигмент». В микровыделениях от весьма сходного аурипигмента отличается габитусом — образует агрегаты игольчатых или длиннопризматических кристаллов, низким двуотраж., по рентгенограммам.

Нахожд. В вулканогенных и телетермальных м-ниях; ассоц.; кварц, кальцит, флюорит, антимонит, реальгар, киноварь, галхаит, грейгит, пирит, акташит парареальгар.

Изуч. Сп.-65 — *Хайдаркан*, колл. В. С. Груздева.

Рентген. Сп.-65: 12,6 (0,5) (101); 6,31 (10) (202); 4,76 (5) (104); 4,20 (0,5) (500); 4,05 (0,5) (402); 3,48 (6) (205); 3,23 (0,5) (601); 3,15 (0,5) (121); 3,11 (0,5) (305); 3,09 (0,5) (222); 2,892 (0,5) (107); 2,750 (2) (306 . . .); 2,425 (2) (009); 2,072 (0,5) (033); 2,017 (0,5) (309); 1,819 (0,5) (815); 1,670 (0,5) (708); 1,587 (2) (241 . . .); $a = 24,92$; $b = 6,474$; $c = 24,90$; $\beta = 118,7°$.

Дюранусит Duranusite As_4S (1973)

Ромб. с.; $a = 3,58$; $b = 6,76$; $c = 10,07$; $Z = 2$.

Хим. Теор.: As 90,33; S 9,67. Примеси Sb до 8 %.

Микр [м]. Чаще мелкие выделения, вростки в реальгаре, срастания

с реальгаром, мышьяком. Отраж. умеренное, несколько выше, чем у тетраэдрита. Цв. светло-серый. Двуотраж. слабое. Отчетливо анизотропен. Красные в. р. *H* слегка выше, чем у реальгара, немного ниже, чем у мышьяка.

Отл. Мелкие вростки в реальгаре могут быть приняты за антимонит.

Нахожд. Редкий (возможно, распространен шире, но пропускается из-за трудности диагностики в мелких выделениях), в составе эпитермальной As и Sb-As минерализации вместе с реальгаром, мышьяком, баритом.

Рентген. 5,62 (9); 5,04 (9); 3,38 (6); 3,20 (5); 3,02 (7); 2,92 (10); 2,81 (7); 2,68 (8); 1,969 (9); 1,788 (9).

Диморфит Dimorphite As_4S_3 (1849)

Ромб. с. *Pnma* или *Pn* 2_1a; $a = 11{,}24$; $b = 9{,}90$; $c = 6{,}56$; $Z = 3$; устойчив ниже 120°, выше — разлагается на реальгар и мышьяк.

Хим. Близок к теор.: As 75,7; S 24,3. Примеси Sb, Pb, Tl, Se.

Микр. Мелкие дипирамидальные кристаллы и сростки. Отраж. низкое, ниже, у чем реальгара. Цв. палево-серый. Двуотраж. слабое, в иммерсии отчетливое; анизотропен. Обильные оранжево-желтые в. р. с меняющейся интенсивностью. *H* несколько ниже, чем у реальгара; VHN 41—43.

Нахожд. В продуктах фумарольно-сольфатарной деятельности современных вулканов с реальгаром, серой, нашатырем; среди наиболее поздних (гипергенных?) образований эпитермального Ag-As-Sb м-ниях *Алакран* (Чили), в ассоц. с аурипигментом и реальгаром.

Рентген. 5,71 (4); 5,40 (3); 4,92 (10); 3,92 (9); 3,72 (5); 3,23 (5); 3,07 (6); 2,97 (8); 2,84 (7); 2,74 (3); 2,67(3); 2,60 (4); 2,15 (8).

Реальгар Realgar As_4S_4 (1747)

Монокл. с. *P* $2_1/n$; $a = 9{,}32$; $b = 13{,}53$; $c = 6{,}59$; $\beta = 106{,}43°$; $Z = 4$; отвечает низкотемпературной модификации AsS, устойчивой ниже 252°, в ассоц. с As — ниже 239°, с аурипигментом — ниже 263°.

Хим. Близок к теор.: As 70,08; S 29,92. Примеси Sb до 2 %, Tl до 1 %. *Лухуми* (ГрузССР): As 70,13; Tl 0,39; Sb 0,17; Ag 0,03; Zn 0,04; S 30,35; Σ 101,11[мз]; СЭМ; формула: $(As_{3.969}Tl_{0.008}Sb_{0.006}Ag_{0.001}Zn_{0,003})_{3.987}S_{4.013}$.

Микр. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения, кристаллы, срастания с антимонитом. Отраж. умеренно низкое, ниже, чем у киновари, аурипигмента, немного выше, чем у сфалерита (см. рис. 117). Цв. тускло-серый со слабым сиреневым или голубоватым отт. Двуотраж. слабое, заметно по изменению цв. от серого с розоватым отт. до серого с голубоватым отт. Сильно анизотропен, анизотропия маскируется обильными и яркими розово-желтыми и оранжевыми в. р. Оптически двуосный, отрицательный. Для спектра R_g характерен максимум в синей области, в ближней УФ-области кривые R_g и R_p пересекаются. *H* ниже, чем у аурипигмента, антимонита, лорандита; VHN 47—65, обычно 50—57. Неустойчив на свету и разлагается.

Отл. От киновари, лорандита, красных сульфосолей Ag, куприта отличается более низкими значениями R и VHN, по спектрам отраж.

Нахожд. Довольно широко распространен среди продуктов фумарольно-сольфатарной деятельности и в отложениях горячих источников современных вулканов, в эпитермальных м-ниях Sb, Sb-Hg, Hg, As, барита; ассоц.: аурипигмент, киноварь, антимонит, пирит, мышьяк, теннантит, Pb-As и Pb-As-Sb сульфосоли. Среди возгонов угольных пожаров.

Изуч. Сп.-339 — *Лухуми*.

Рентген. 6,03 (3,5); 5,73 (5,5); 5,41 (10); 3,16 (8); 3,05 (5,5); 2,98 (5); 2,94 (3,5); 2,93 (6); 2,72 (7); 2,47 (3,5); 2,26 (3).

α-сульфид мышьяка α-sulfide As AsS

Ромб. с.; $a = 9{,}95$; $b = 13{,}49$; $c = 7{,}07$; $Z = 16$; высокотемпературная модификация AsS, метастабильная ниже 265°.

Хим. Отвечает As S.

Микр. Неотличим от реальгара, с которым образует тесные срастания.

Отл. Диагностируется только по рентгенограмме, при этом следует иметь в виду, что обычно анализируются тонкие смеси с реальгаром.

Нахожд. Совместно с реальгаром в ряде вулканогенных м-ний Юж. Америки, Сев. Казахстана и др.

Рентген. 5,72 (7); 4,96 (6); 3,91 (4); 3,17 (4); 2,07 (4); 2,98 (10); 2,95 (6); 2,88 (8); 2,81 (3); 2,74 (3).

Парареальгар Pararealgar AsS (1980)

Монокл. с.; $a = 9{,}93$; $b = 9{,}68$; $c = 8{,}50$; $\beta = 97{,}60°$; $Z = 16$.

Хим. Отвечает AsS.

Микр. Мелкозернистые агрегаты. Отраж. умеренно низкое, близкое с реальгаром. Двуотраж. сильное. Сильно анизотропен, эффекты анизотропии маскируются повсеместно проявленными в. р. желтыми и оранжево-желтыми. H близок к реальгару.

Отл. Макроскопически сходен с порошковатым аурипигментом. Надежно диагностируется по рентгенограммам.

Нахожд. В ряде м-ний, содержащих реальгаровую минерализацию; замещает реальгар.

Рентген. 5,56 (9); 5,14 (10); 4,90 (3); 3,75 (8); 3,44 (3); 3,30 (5); 3,11 (3); 3,03 (5); 2,91 (3); 2,80 (7); 2,45 (3); 2,28 (3).

Аурипигмент Orpiment As_2S_3 (1546)

Монокл. с. $P2_1/n$; $a = 11{,}49$; $b = 9{,}59$; $c = 4{,}25$; $\beta = 90{,}45°$, $Z = 4$; отвечает низкотемпературной модификации As_2S_3, устойчивой ниже 170° ($T_{пл}$ As_2S_3 315°); ограниченные твердые растворы с антимонитом, до 13 % Sb_2S_3.

Хим. Близок к теор.: As 60,91; S 39,09. Примеси Sb до 3 %, Tl до 0,3 %, Se.

Микр. Зернистые, радиально-лучистые, пластинчатые агрегаты, таблитчатые кристаллы, ксеноморфные выделения. Отраж. умеренное, близкое к блеклым рудам (см. рис. 87, 117). Цв. серый. Двуотраж. сильное (в главном сечении, которое $\perp$ к плоскости с весьма сов. сп., очень сильное $\Delta R_{\text{отн}} \sim 30$ %, соизмеримое с эффектом анизотропии антимонита). Визуально двуотраж. воспринимается нередко более слабым из-за плохой полировки сечений, поперечных к спайности, и обилия в. р. светло-желтых до лимонно-желтых. Эффекты анизотропии сильные, но мало заметны из-за в. р. Оптически двуосный, положительный. *H* несколько выше, чем у реальгара, в зависимости от сечений: то выше, то ниже, чем у антимонита; VHN 22—58.

Нахожд. В продуктах вулканических возгонов, сольфатарно-фумарольной деятельности, в отложениях горячих источников, в вулканогенных и телетермальных м-ниях As, Sb-Hg, барита; ассоц.: реальгар, антимонит, мышьяк, арсенопирит, клейофан, энаргит.

Изуч. Сп.-34 —*Секдекунское* (Якутия), *Лухуми* (ГрузССР).

Рентген. 4,85 (10); 4,02 (5); 2,47 (4); 2,09 (3); 1,755 (4); 1,689 (3).

САМОРОДНЫЕ S, Se

Сера α-sulphur S

Ромб. с. (α-сера) *Fddd*; $a = 10{,}437$; $b = 12{,}845$; $c = 24{,}369$; $Z = 128$; устойчива ниже 95,6°; $T_{\text{пл}}$ 112,8°.

Хим. Обычно чистая, сера вулканогенных м-ний содержит до 7 % Se.

Микр. Отраж. низкое; цв. нейтрально-серый; двуотраж. и анизотропия заметны слабо, хотя должны были бы быть сильными,— маскируются повсеместными бесцветными до желтых в. р. Спектры отраж. практически горизонтальны. *H* очень низкий. VHN 20—36. Полируется плохо.

Нахожд. Широко распространена как продукт биогенной или абиогенной сульфатредукции в толщах ангидрита, гипса; в продуктах фумарольно-сольфатарной деятельности вулканов (часто в ассоц. с реальгаром — «красная» сера). В зоне окисления полиметаллических и колчеданных м-ний, среди минеральных новообразований каменноугольных пожаров и возгорания пирита.

Изуч. Сп.-361 — *Екатерино-Благодатское* (Забайкалье).

Рентген. 7,76 (4); 5,75 (5); 3,90 (10); 3,48 (4); 3,24 (6); 3,12 (4); 2,12 (4); 1,910 (4).

Селен Selenium Se (1924)

Триг. с. $P3_121$; $a = 4{,}37$; $c = 4{,}96$; $Z = 3$. $T_{\text{пл}}$ 217°.

Хим. Обычно чистый; примеси S, Te.

Микр. Мелкозернистые, иногда войлокоподобные агрегаты, кристаллы. Отраж. умеренное (35—25 %), значительно ниже галенита; двуотраж. сильное, хорошо заметно даже в изолированных зернах; кремово-белый в светлом положении, более темный, коричневатый в темном. В. р. красные, наблюдаются с трудом. Спектры отраж.

имеют различную дисперсию: по R_e (max) — нормального, галенитового типа, по R_o — сложного энаргитового типа с минимумом в средней части; VHN 30—70.

Отл. От тенорита отличается значительно меньшей тв. (у тенорита VHN 209—254), ассоц. с минералами Se.

Нахожд. Широко распространен в зоне гипергенеза селенидных м-ний, в U-V м-ниях типа плато Колорадо, среди продуктов каменноугольных пожаров.

Изуч. Сп.-359 — синт. фаза.

Рентген. 3,83 (8); 3,04 (10); 2,20 (5); 2,08 (6); 2,01 (6); 1,777 (7); 1,439 (6).

СЕЛЕНИДЫ, СУЛЬФОСЕЛЕНИДЫ, СУЛЬФИДЫ Au—Ag (Cu)

Фишессерит Fischesserite $AuAg_3Se_2$ (1971)

Куб. с. $I4_132$; $a = 9{,}969$; $Z = 8$; изоструктурен с петцитом; устойчив ниже 270°.

Хим. Теор.: Au 29,0; Ag 47,7; Se 23,3. Примесь S до 2,5 %. *Пржедборжице* (ЧССР): Au 30,95; Ag 47,92; Cu 0,29; Hg 0,08; Cd 0,12; Mn 0,02; Se 23,28; Te 0,78; So, 10; Σ 103,54[м3]; СЭМ; формула: $Au_{1,03}(Ag_{2,92}Cu_{0,03}Cd_{0,01})_{2,96}(Se_{1,95}Te_{0,04}S_{0,02})_{2,01}$.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения, срастания с хакитом. Отраж. умеренное, цв. насыщенный розовато-сиреневый; изотропен. Профиль спектра отраж. подобен спектру петцита, с более глубоким прогибом в зеленой области и существенно (на 7—8 %) ниже по величине R (рис. 118). Мягкий. VHN 32—33. Полируется хорошо.

Отл. Уверенно диагностируется по цв. и характерному спектру отраж.

Нахожд. Редкий. Типоморфный минерал телетермальных Au-U-Se м-ний; ассоц.: хакит, науманнит, эвкайрит, клаусталит и др. селениды, золото. В вулканогенном Au-Ag м-нии Северо-Востока СССР; ассоц.: электрум. стефанит, Se-миаргирит, агвиларит.

Изуч. Сп.-424 — *Пржедборжице.*

Рентген. *Пржедборжице*: 7,08 (6) (110); 3,50 (1) (220); 3,15 (3) (310); 2,877 (4) (222); 2,662 (10) (321); 2,349 (5) (411); 2,229 (8) (420); 2,035 (8) (422); 1,954 (6) (510); 1,820 (8) (521); 1,763 (2) (440); 1,708 (1) (530); 1,501 (4) (622); 1,469 (5) (631); 1,439 (4) (444); 1,410 (3) (550); 1,382 (3) (640); 1,332 (6) (642).

Пенжинит Penginite $Au(Ag, Cu)_4(S, Se)_4$ (1983)

Гекс. с. $P\,6_322$ (?); $a = 13{,}8$; $c = 17{,}0$; $Z = 18$.

Хим. Au 24,5; Ag 50,7; Cu 3,3; S 14,1; Se 6,9; Σ 99,5; ССМ; формула: $Au_{0,95}(Ag_{3,61}Cu_{0,40})_{4,01}(S_{3,37}Se_{0,67})_{4,04}$.

Микр [м]. Сростки удлиненных, пластинчатых зерен. Отраж. умеренное, несколько светлее блеклых руд. Двуотраж. заметное с изменением цв. от кремовато-желтоватого до зеленовато-серого. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в красновато-фиолетовых и зеленовато-

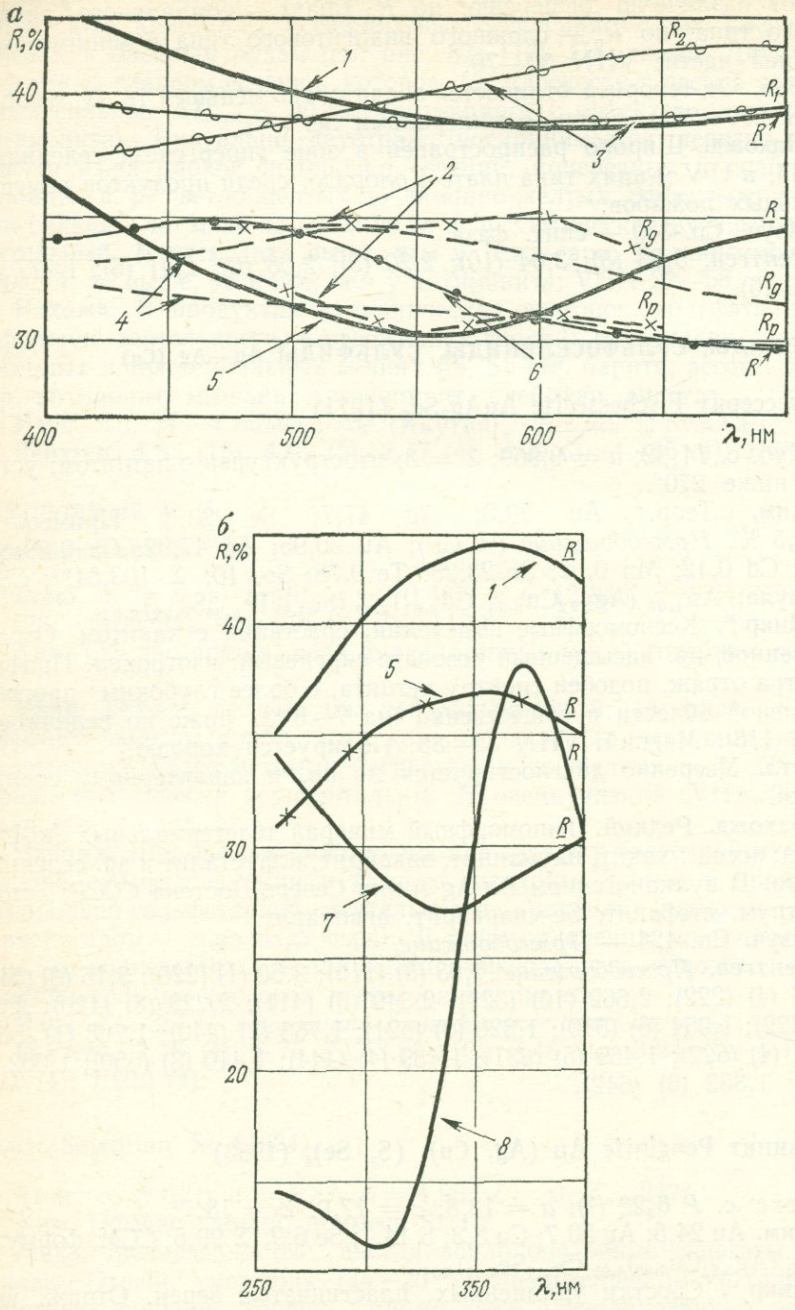


Рис. 118. Спектры отражения петцита (1), айтенбогардтита (2), гессита (3), пенжинита (4), фишессерита (5), акантита (6), колорадоита (7), сульванита (8):
а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

желтых тонах. Спектры отраж. близки к айтенбогардтиту (см. рис.118). Мягкий. $VHN_{ср.}$ 55. Полируется хорошо.

Отл. От айтенбогардтита отличается по рентгенограмме с трудом, так как многие отраж. совпадают. Надежно диагностируется только по составу.

Нахожд. Редкий, в вулканогенном Au-Ag м-нии Чукотки; ассоц.: электрум, агвиларит, галенит, халькопирит. Замещается гипергенным акантитом.

Рентген. 3,38 (5); 2,71 (9); 2,59 (10); 2,14 (9); 2,11 (9); 1,989 (6); 1,784 (5).

Айтенбогардтит (ютенбогардтит) Uytenbogaardtite $AuAg_3S_2$, (1978)

Тетр. с. $P\,4_122$ или $P4_1$; $a = 9{,}672$; $c = 9{,}820$; $Z = 8$; аналогичен низкотемпературной модификации $AuAg_3S_2$, устойчивой ниже 183°; в ассоц. с акантитом устойчив ниже 113°.

Хим. Сернистый аналог петцита и фишессерита. Теор.: Au 33,7; Ag 55,3; S 11,0. Минерал содержит: Au 27,3—35,3; Ag 53,2—57,1; Cu 0—3,6; S 10,3—12,4.

Микр ^{м}. Мелкие выделения в промежутках между зернами акантита, каймы обрастания и замещения на акантите в электруме или на электруме в акантите. Отраж. умеренное, заметно светлее блеклых руд, несколько светлее акантита. Двуотраж. заметное с изменением цв. от серовато-белого до бледного розовато-коричневатого. Ясно анизотропен, чем отличается от несколько похожего фишессерита (см. рис. 118). Мягкий. *H* несколько ниже, чем у акантита. VHN $\sim$ 20. Легко окисляется. В ряде образцов наблюдалось сильное световое травление, более сильное, чем у акантита.

Нахожд. Редкий. Характерный минерал низкотемпературных гидротермальных ассоц. вулканогенных Au-Ag м-ний (кварцево-жильных, штокверковых, колчеданных, колчеданно-полиметаллических). В нижней части зоны выветривания замещается тонкозернистыми агрегатами акантита и электрума (валовый состав агрегатов Au : Ag = 1 : 3), в зоне окисления — «горчичным» золотом и хлораргиритом.

Изуч. Низкий $AuAg_3S_2$ — синт. фаза (обр. В. Ю. Чевычелова).

Рентген. *3,47 (2); 3,03 (6); 2,802 (6); 2,710 (10); 2,591 (9); 2,226 (3);* 2,112 (8); 1,980 (5); 1,788 (5).

Лиюджинюйнит Liujinyinite $AuAg_3S_2$ (1981)

Тетр. с. $\bar{P}\,42\,c$ или $P4mc$; $a = 10{,}01$; $c = 11{,}11$; $Z = 8$; отвечает высокотемпературной модификации Au Ag_3S_2, устойчивой выше 183°.

Хим. Au 18,6—35,9; Ag 52—67,7; Cu 1,2—4,8; S 10,7—11,4; Sb 2,3^{м3}. Вероятно, структурная примесь Sb делает устойчивой метастабильную фазу — высокий $AuAg_3S_2$.

Микр ^{м}. Близок к айтенбогардтиту.

Науманнит Naumannite Ag_2Se (1845)

Ромб. с. $P\ 2_12_12_1$; $a = 4{,}33$; $b = 7{,}06$; $c = 7{,}76$. $Z = 4$; отвечает низкотемпературной модификации Ag_2Se, устойчивой ниже 128°.

Хим. Близок к теор.: Ag 73,15; Se 26,85. *Тилькероде* (ФРГ): Ag 73,67; Au 0,21; Hg 0,09; Cu 0,01; Cd 0,05; Se 27,16; Te 0,10; S 0,03; Bi 0,11; Σ 101,43[мз]; СЭМ; формула $(Ag_{1,988}Au_{0,003}Hg_{0,001}Cd_{0,001})_{1,993}\ (Se_{1,002}Te_{0,002}S_{0,002}Bi_{0,001})_{1,007}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, микровростки (в клаусталите, штромейерите), зернистые агрегаты, пойкилитовые прорастания с клаусталитом, изредка кристаллы кубического облика. Отраж. умеренно высокое, несколько ниже галенита и петцита, выше акантита и агвиларита (рис. 119). Цв. белый, в контакте с клаусталитом и тиманнитом серовато-зеленоватый, голубовато-зеленоватый; клаусталит рядом с науманнитом—чисто белый, тиманнит—коричневатый. Двуот-

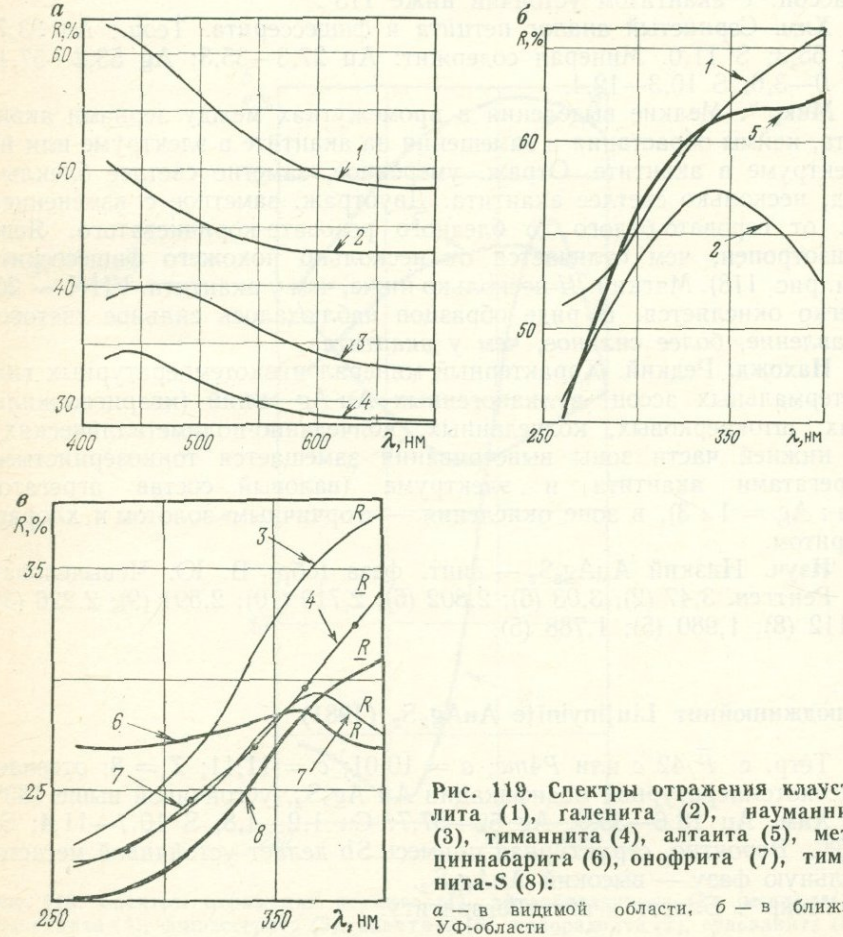


Рис. 119. Спектры отражения клаусталита (1), галенита (2), науманнита (3), тиманнита (4), алтаита (5), метациннабарита (6), онофрита (7), тиманнита-S (8):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

раж. незаметное; слабо анизотропен, Спектр отраж. подобен спектрам акантита и агвиларита. Нередко наблюдаются пластинчатые дв. *H* ниже, чем у клаусталита; VHN 27—56. Полируется плохо, но лучше, чем акантит. Подвержен световому и воздушному травлению, довольно быстро тускнеет.

Отл. Тиманнит отличается коричневатым отт., изотропен. От акаанита отличается ассоц. с селенидами, более высоким *R* в сине-зеленой области, типом дв.

Нахожд. Относительно редкий минерал низкотемпературных гидротермальных ассоц. вулканогенных м-ний Ag, Au-Ag, колчеданно-полиметаллических, Ag-Sn, телетермальных Cu-Ag, Cu-U-Se- м-ний; ассоц.: широкий круг селенидов, чаще клаусталит, агвиларит, тиманнит, умангит, сульфосоли и сульфиды Ag. Частью гипергенный.

Изуч. Сп.-273 — *Тилькероде.*

Рентген. 2,89 (4); 2,73 (4); 2,67 (10); 2,58 (10); 2,42 (4).

Агвиларит Aguilarite Ag_4SeS (1891)

Монокл. с. (?). Отвечает низкотемпературной модификации Ag_4SeS, устойчивой ниже 122°.

Хим. Близок к теор.: Ag 79,54; Se 14,55; S 5,91. Примеси Cu и Sb до 0,5 %.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, скелетные, игольчатые, кубооктаэдрические кристаллы. Отраж. умеренное, выше, чем у тетраэдрита; в контакте с науманнитом отчетливо темнее. Светло-серый с зеленоватым, зеленовато-голубоватым отт. Легко подвергается световому и воздушному травлению, темнеет. Двуотраж. практически незаметно. Слабо анизотропен. Спектры отраж. близки к акантиту (рис. 120). Характерны пластинчатые дв. превращения. *H* чуть выше, чем у акантита. VHN 25—35. Полируется с трудом.

Отл. От акантита отличается по рентгенограмме.

Нахожд. Редкий минерал низкотемпературных гидротермальных ассоц. вулканогенных м-ний Ag и Au-Ag, телетермальных м-ний Au-Se и U-Se; ассоц.: акантит, серебро, науманнит, стефанит, селениды Pb, Hg. Частью гипергенный.

Изуч. Сп.-2 — м-ние на Северо-Востоке СССР, колл. Ю. С. Бермана.

Рентген. 3,11 (3); 2,82 (10); 2,65 (3); 2,44 (9); 2,22 (5); 2,09 (6); 1,99 (8); 1,625 (4).

Эвкайрит Eucairite AgCuSe (1818)

Ромб. с.; $a = 4{,}105$; $b = 20{,}35$; $c = 6{,}31$; $Z = 10$; устойчив ниже 190°; при высоких *T* Ag_2Se и Cu_2Se образуют непрерывные твердые растворы.

Хим. Близок к теор.: Ag 43,04; Cu 25,36; Se 31,60. *Пржедборжице* (ЧССР): Ag 45,80; Cu 23,39; Fe 0,02; Cd 0,21; Se 31,24; Te 1,10; S следы, Σ 101,74[мз]; СЭМ; формула: $Ag_{1,06}(Cu_{0,92}Cd_{0,01})_{0,93}(Se_{0,99}Te_{0,02})_{1,01}$.

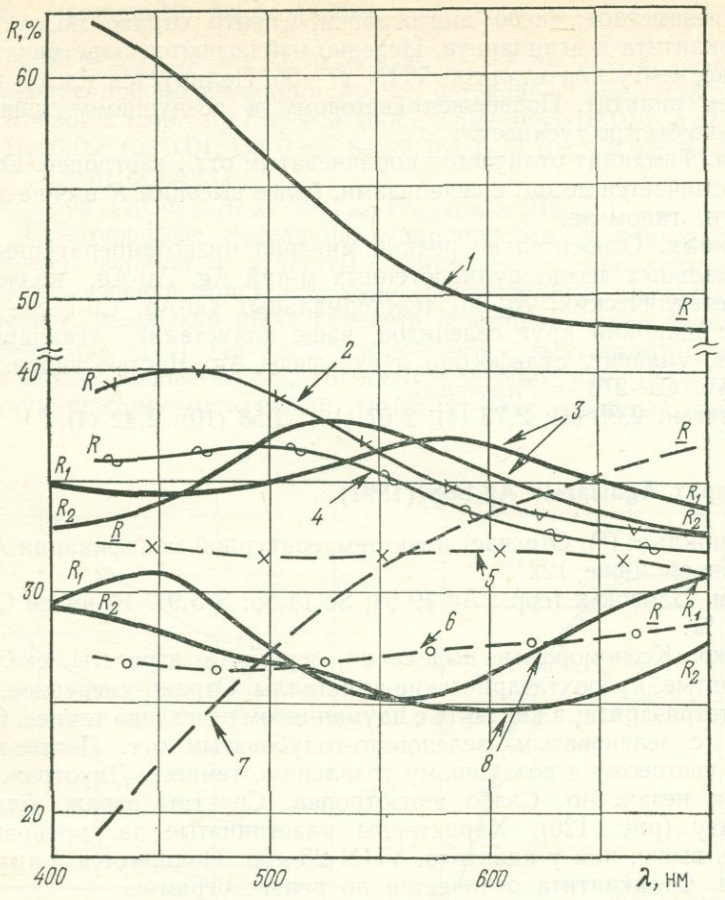


Рис. 120. Спектры отражения клаусталита (1), науманнита (2), эвкайрита (3), агвиларита (4), жиродита (5), шамеанита (6), жеффроита (7), перминжатита (8)

Микр. Зернистые агрегаты, мирмекитовые срастания с клокманнитом, ламелли в умангите, включения в берцелианите. Отраж. умеренное (37 %); ниже, чем у галенита; близкое к науманниту; заметно светлее тиманнита. Двуотраж. слабое по силе, но отчетливое из-за плеохроизма от зеленовато-желтого в светлом положении до кремового — в темном; в иммерсии более отчетливое. Очевидно, близок к одноосному положительному, так как в шлифах преобладают сечения кремовой тональности. Сильно анизотропен с яркими цв. эфф. в красно-фиолетовых, синих, оливково-коричневатых тонах. Наблюдаемый визуально плеохроизм в главных сечениях эвкайрита находит удивительно точное выражение в спектральных кривых и в параметрах цв. минерала. Спектры отраж. имеют сложные профили, дважды пересекаемые в видимой области: кривая R_g — с широким, четко выраженным максимумом в желто-зеленой области, кривая

R_p — противоположного профиля с минимумом в желто-зеленой области и с отчетливым максимумом в более длинноволновой — желто-оранжевой; соответственно и значение λ для кривой R_p составляет 577 нм, а для кривой R_g — 555 нм (см. рис. 120). *H* очень низкий, несколько выше, чем у клокманнита, близок к клаусталиту. VHN 26—94, обычно 28—54. Полируется хорошо. Не подвержен световому травлению. Подвержен воздушному травлению, довольно быстро покрывается пестрой побежалостью.

Отл. По спектрам отраж. диагностируется надежно.

Нахожд. Относительно широко распространен в гидротермальных Cu, Cu-Mo, Ag, Au-Ag, U м-ниях, содержащих селениды; ассоц.: широкий круг селенидов, чаще умангит, клаусталит, клокманнит, тиманнит, хастит, а также эскеборнит, перминжатит, хакит, фишессерит, уранинит. В осадочных (гидротермально-осадочных ?) U-Se м-ниях. В черных битуминозных сланцах с пиритом, ферроселитом, клаусталитом, клокманнитом.

Изуч. Сп.-474 — *Скрикерум* (Швеция), *Пржедборжице* (ЧССР).

Рентген. 2,88 (5); 2,61 (7); 2,48 (4); 2,12 (10).

Жеффроит Geffroyite (Cu, Fe, Ag)$_9$ (Se, S)$_8$ или (Ag, Cu) Cu$_4$Fe$_4$ (Se, S)$_8$ (1982)

Куб. с. *Fm3m*; $a = 10{,}89$; $Z = 4$; структура типа пентландита.

Хим. Ag 5,16 —7,05; Cu 29,51—27,46; Fe 19,01—19,41; Se 34,42; 38,54; S 10,06—8,23; среднему составу отвечает формула: $(Ag_{0.57}Cu_{0.43})_1\ (Cu_{4,38}\ Fe_{3,62})_8\ (Se_{4.74}\ S_{3,26})_8$.

Микр [м]. Сложные мирмекитовые срастания с клаусталитом, эскеборнитом, шамеанитом, жиродитом. Отраж. умеренное, близкое к аргентопентландиту, несколько ниже. Цв. кремово-коричневатый, практически одинаковый с аргентопентландитом (см. рис. 120). Изотропен.

Нахожд. В единственном U-Se м-нии *Шамеан* (Франция); ассоц.: уранинит, селениды Pb, Cu, Fe, Ag, Tl, арсенопирит, халькопирит, Se блеклые руды.

Рентген. 3,282 (9); 3,145 (9); 2,094 (6); 1,925 (10); 1,660 (5).

Богдановичит Bohdanowiczite AgBiSe$_2$ (1965)

Триг. с. *R* $\bar{3}m1$; $a = 4{,}18$; $c = 19{,}6$ (у сернистого богдановичита параметры меньше); $Z = 3$; слоистая сверхструктура на основе структуры NaCl; неограниченные твердые растворы с $AgBiS_2$, ограниченные с $AgBiTe_2$.

Хим. Теор.: Ag 22,72; Bi 44,02; Se 33,26. Примесь S до 2,5 %. Забайкалье: Ag 21,3; Bi 43,6; Se 34,0; Σ 98,9[мз]; формула: $Ag_{0.94}Bi_{1,00}Se_{2,06}$.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения, пластинчатые вростки в науманните, срастания с клаусталитом и виттихенитом, ламелли в клаусталите. Отраж. умеренно высокое (54 %), незначительно выше, чем у клаусталита (см. рис. 36). Цв. в контакте с клаусталитом розовато-

кремовый. Двуотраж. незаметно. Слабо анизотропен без цв. эфф. Часто наблюдаются короткие полисинт. дв. VHN 65—95.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных U-Se м-ниях с флюоритом, в вулканогенных гидротермальных колчеданно-полиметаллических и Au м-ниях; ассоц.: клаусталит, науманнит, виттихенит, борнит, настуран, сульфиды Cu и Co.

Изуч. Сп.-56 — м-ние Забайкалья.

Рентген. 3,42 (3); 2,92 (10); 2,11 (4); 2,04 (6); 1,459 (3).

СЕЛЕНИДЫ Pb

Клаусталит Clausthalite PbSe (1832)

Куб. с. *Fm 3m*; $a = 6{,}14$ (снижается с ростом S); $Z = 4$; $T_{пл}$ 1083°, структура типа NaCl; образует неограниченные твердые растворы с PbS, ограниченные с PbTe.

Хим. Теор.: Pb 72,41; Se 27,59. Примеси S до 6 %, Te до 1 %. *Тилькероде* (ФРГ): Pb 72,19; Ag 0,03; Bi 0,17; Cd 0,08; Ni 0,08; Co 0,02; Se 27,83; Te 0,10; S следы; Σ 100,50[м3]; СЭМ; формула $(Pb_{0,988}\ Ag_{0,001}Bi_{0,002}Cd_{0,002}Ni_{0,004}Co_{0,001})_{0,998}\ (Se_{1,000}Te_{0,002})_{1,002}$.

Микр. Обычно ксеноморфные выделения. Отраж. высокое, близкое к пириту (см. рис. 119); цв. яркий, чисто белый. Изотропен. Сов. сп. по кубу, в крупных выделениях наблюдаются треугольники выкрашивания, как у галенита. *H* несколько выше, чем у тиманнита, ниже, чем у галенита; VHN 46—63.

Отл. В изолированных выделениях может быть принят за алтаит или за галенит. В сростках с тиманнитом клаусталит также легко можно принять за галенит, а тиманнит в этой ассоц. за сфалерит, так как относительная разность в отраж. у этих пар минералов одного порядка (0,4 у клаусталита—тиманнита и 0,5 у галенита—сфалерита); отличаются по микротв. и соотношению в этих парах *H*: в паре галенит—сфалерит *H* значительно выше у темного минерала (сфалерита), в паре клаусталит—тиманнит, наоборот, выше у светлого минерала (т. е. у клаусталита). Спектр отраж. клаусталита надежно определяет минерал. Характерна для клаусталита постоянная ассоц. с др. селенидами.

Нахожд. В селеноносных осадочных породах (битуминозные глины, квасцовые сланцы и др.) с пиритом, селеном, ферроселитом; в гидротермальных м-ниях: U-Se, 5-элементной формации, Cu, Au-Ag, Ag-Sn с широким кругом селенидов Cu, Cu-Fe, Ag, Hg, Co-Ni, чаще с науманнитом и тиманнитом; в U м-ниях типа плато Колорадо; среди поздних минеральных ассоц. Cu-Ni м-ний с кальцитом, гематитом, серебром, теллуридами.

Изуч. Сп.-183 — *Тилькероде*, *Клаусталь* (ФРГ).

Рентген. 3,06 (10); 2,17 (7); 1,768 (4); 1,370 (5).

Гуанахуатит Guanajuatite Bi_2Se_3 (1873)

Название «гуанахуатит» дано природному соединению Bi_2Se_3, установленному в 1873 г. По морфологии кристаллов считалось, что гуанахуатит изоструктурен с висмутином. Позже в этом материале был выделен минерал, сходный по рентгеновским данным с теллуровисмутитом и получивший название «парагуанахуатит». Это послужило обоснованием существования двух полиморфных модификаций Bi_2Se_3 — ромб. и триг. Позднее на искусственном и природном материалах установлено, что соединение Bi_2Se_3 изоструктурно с теллуровисмутитом, а ромб. модификация не существует, следовательно, название «парагуанахуатит» излишне.

Триг. с. $R\,\bar{3}m$ (?); $a = 4{,}111$; $c = 28{,}36$; $Z = 3$; структура 15-слойная. $T_{пл}$ 706°.

Хим. Теор.: Bi 63,8; Se 36,2. Примесь S до 2,5 %. *Санта-Катарина* (Мексика): Bi 65,9; Se 33,4; S 1,8; Σ 101,1; формула: $Bi_{1,99}(Se_{2,66}S_{0,35})_{3,01}$.

Микр. Тонкопластинчатые, листоватые агрегаты с весьма сов. сп. по базису. Отраж. высокое (53 %). Цв. нейтральный, белый; двуотраж. слабое, отчетливо анизотропен (рис. 121).

Отл. Надежно диагностируется по составу и рентгенограмме.

Нахожд. В единственном м-нии Ag *Санта-Катарина* (Мексика), в кварцевых жилах в срастании с Se-висмутином.

Рентген. 3,03 (10); 2,22 (6); 2,06 (4); 1,890 (3); 1,699 (3); 1,391 (4). Характеристическая линия 4,73 (4).

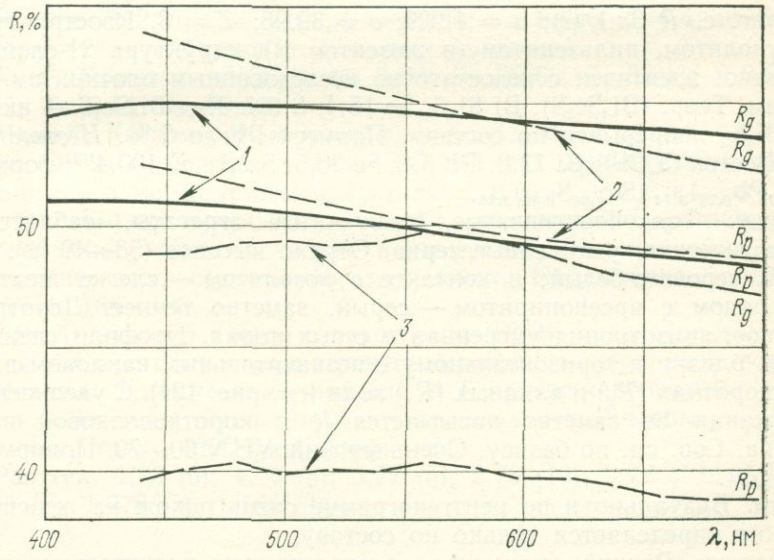


Рис. 121. Спектры отражения лайтакарита (1), невскита (2), гуанахуатита (3)

Невскит Newskite Bi_2 (Se, S)$_2$ (1984)

Триг. с. $R\bar{3}m1$ (?); $a = 4{,}197$; $c = 22{,}80$; $Z = 6$; структура 12-слойная, изоструктурен с цумоитом. Искусственное соединение BiSe имеет область гомогенности 21—32 % Se.

Хим. Теор. Bi_2Se_2: Bi 72,6; Se 27,4. *Невское* (Северо-Восток СССР): Bi 69,1; Pb 3,6; Ag 0,6; Se 24,7; S 1,8; Σ 99,8[мз]; формула $(Bi_{1,84}Pb_{0,10}Ag_{0,02})_{1,96}(Se_{1,74}S_{0,30})_{2,04}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, тонкопластинчатые агрегаты, весьма сов. сп. по базису. Отраж. высокое (55 %), цв. нейтральный, белый (см. рис. 121); двуотраж. незаметно, анизотропия отчетливая в блеклых, коричневатых, желтовато-серых тонах. VHN 60—114. Полируется хорошо, хотя трудно избавиться от мелких царапин.

Отл. Похож на лайтакарит; различаются по величине R и форме спектральных кривых: у невскита с увеличением длины волны R снижается, у лайтакарита на участке спектра 440—620 нм R монотонно возрастает, а затем плавно уменьшается. Надежно определяется по составу и рентгенограмме.

Нахожд. В Sn-W м-нии *Невское*, ассоц.: вольфрамит, касситерит, лайтакарит, Se-содержащие сульфиды и сульфосоли Bi; в вулканогенных м-ниях Au, ассоц.: Te-содержащие блеклые руды, лайтакарит, моусонит, Se-висмутин, висмут.

Рентген. 3,59 (4); 3,06 (10); 2,24 (4); 2,10 (4); 1,903 (3); 1,734 (3); характеристическое отражение 4,53 (2).

Лайтакарит Laitakarite Bi_4 (Se, S)$_3$ (1959)

Триг. с. $R\bar{3}m1$ (?); $a = 4{,}229$; $c = 39{,}95$; $Z = 3$. Изоструктурен с икунолитом, пильзенитом (и жозеитом B), структура 21-слойная. Очевидно, идентичен с недостаточно исследованным платинитом.

Хим. Теор. (Bi_4Se_2S): Bi 81,5; Se 15,4; S 3,1. Ряд Bi_4Se_2S — икунолит Bi_4S_3 непрерывен по составу. Примесь Pb до 6 %. *Невское* (Северо-Восток СССР): Bi 72,0; Pb 5,8; Se 20,5; S 2,1; Σ 100,4[мз]; формула $(Bi_{3,46}Pb_{0,28})_{3,74}(Se_{2,60}S_{0,66})_{3,26}$.

Микр. Тонкопластинчатые, чешуйчатые агрегаты, таблитчато-призматические, удлиненные зерна. Отраж. высокое (53—49 %). Цв. белый, серовато-белый; в контакте с козалитом — слегка желтоватый; рядом с арсенопиритом — серый, заметно темнее. Двуотраж. заметное, анизотропия умеренная в серых тонах. Профили спектров отраж. близки к горизонтальному с незначительным наклоном в сторону коротких (R_g) и длинных (R_p) волн (см. рис. 121). С увеличением содержания Se заметно повышается R в коротковолновой части спектра. Сов. сп. по базису. Очень мягкий. VHN 60—79. Полируется с трудом.

Отл. Визуально и по рентгенограмме очень похож на жозеит A, надежно определяется только по составу.

Нахожд. Редкий (возможно, распространен значительно шире, пропускается из-за сходства с теллуридами Bi). В медноколчеданных

и колчеданно-полиметаллических м-ниях, богатых Bi и Se (*Ориярви*, Финляндия; *Фалун*, Швеция); в кварцевых жилах вулканогенных м-ний Sn, Au; ассоц.: невскит, галеновисмутит, виттит, вейбуллит, козалит, теллуристые блеклые руды, эмплектит.

Изуч. Сп.-218-1 — *Фалун*; сп.-218-2 — *Невское*.

Рентген. *Невское*: 3,07 (10); 2,25 (6); 2,11 (4); 1,896 (3); 1,739 (3); 1,538 (3); характеристическое отраж. 4,41 (3).

Поубаит Poubaite $PbBi_2$ $(Se, Te, S)_4$ (1978)

Триг. с. $R\,\bar{3}m$ (?); $a = 4{,}253$; $c = 40{,}095$; $Z = 3$; структура 21-слойная; изоструктурен с раклиджитом.

Хим. *Олдржихов* (ЧССР): Bi 40,29; Pb 22,95; Cu 0,61; Se 15,48; Te 17,47; S 2,10; Σ 98,90; формула: $Pb_{1,09}Bi_{1,90}Cu_{0,09}(Se_{1,93}Te_{1,35}S_{0,64})_{3,92}$.

Микр ^{м}. Пластинчатые зерна. Отраж. высокое (55—53 %); цв. кремовато-белый; двуотраж. слабое, умеренно анизотропен в блеклых голубовато-серых, темно-коричневых тонах. Сп. ∥ удлинению.

Отл. Надежно определяется только по составу.

Нахожд. Редкий. В U-Se м-нии *Олдржихов* в кварц-карбонатных прожилках с селено-сульфидно-теллуридной минерализацией; ассоц.: настуран, коффинит, клаусталит, соучекит. В Sn-W м-нии *Невское* в ассоц. с галенитом, арсенопиритом, Bi-Pb селенидами.

Рентген. 3,63 (5); 3,09 (10); 2,25 (7ш); 2,127 (8); 1,833 (5); 1,752 (6); 1,352 (6); характеристическое отраж. 4,22 (4).

Соучекит Součekite **CuPbBi $(S, Se)_3$ (1979)**

Ромб. с. $Pn2_1m$; $a = 8{,}153$; $b = 8{,}498$; $c = 8{,}080$; $Z = 4$; возможно, изоструктурен с бурнонитом и зелигманнитом.

Хим. *Олдржихов* (ЧССР): Cu 9,93; Pb 32,68; Bi 32,41; S 9,25; Se 14,55; Te 0,51; Σ 99,33.

Микр ^{м}. Ксеноморфные выделения до 0,5 мм и прожилки в поубаите. Отраж. умеренно высокое (47—44 %), незначительно светлее галенита и заметно темнее клаусталита; в контакте с клаусталитом (и галенитом) отт. кремовый, кремово-коричневатый. Двуотраж. очень слабое, обнаруживается только в иммерсии. Умеренно анизотропен в коричневатых, серо-голубоватых тонах. Наблюдались полисинт. дв. VHN 166—188.

Отл. Визуально сходен с некоторыми Pb-Bi сульфосолями; отличается по спектрам отраж., рентгенограмме, минеральной ассоц.

Нахожд. Единственная находка в кварцево-карбонатных жилах м-ния *Олдржихов*; ассоц.: поубаит, промежуточные члены ряда галенит—клаусталит, настуран, коффинит.

Рентген. 4,25 (6); 4,04 (8); 3,77 (5); 2,76 (10); 2,72 (10); 2,02 (6); 1,833 (5); 1,778 (5); 1,765 (5).

Вейбуллит Weibullite Pb_6Bi_8 (Se, S)$_{18}$ (1885)

Ромб. с. *Pnma*; $a = 53{,}68$; $b = 4{,}11$; $c = 15{,}40$; $Z = 4$. Первоначально рассматривался как Se-содержащий галеновисмутит; согласно последним данным, относится к гомологической серии джуноита; соответствует Se-содержащему низковисмутистому канниццариту.

Хим. *Фалун* (Швеция): Pb 30,05; Bi 46,51; Se 13,04; S 10,22; Ag до 1,0.

Микр. Агрегаты таблитчато-призматических зерен, ксеноморфные выделения. Отраж. умеренно высокое, в светлом положении едва ощутимо светлее галенита, в темном — незначительно темнее. Бесцветный. Двуотраж. и анизотропия умеренные.

Отл. От сходных виттита, лиллианита, хейровскиита, кобеллита отличается по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В Pb-Zn и Au-Te-Se м-ниях; ассоц.: Pb-Sb (As) сульфосоли, Au-Ag теллуриды и селениды, галенит, кубанит.

Рентген. 3,82 (10); 3,05 (9); 2,88 (3); 2,24 (5); 2,04 (6).

СЕЛЕНИДЫ Cu, Fe, Co, Ni

Берцелианит Berzelianite Cu_2Se (1832)

Куб. с. *Fd3m*; $a = 5{,}74$; $Z = 4$; структура типа CaF_2; устойчив ниже 162°, область гомогенности 33,3—35,6 ат. % Se.

Хим. Теор.: Cu 61,62; Se 38,38. *Пржедборжице*: Cu 60,91; Ag 0,10; Se 38,63; S 0,09; Σ 99,73 мз; СЭМ; формула $(Cu_{1,981}Ag_{0,002})_{1,983}(Se_{1,011}S_{0,006})_{1,017}$.

Микр. Тонкозернистые, дендритовидные массы, ксеноморфные образования. Голубовато-зеленоватый, на воздухе быстро тускнеет и становится индигово-синим. Отраж. умеренно низкое (~ 25 %), незначительно темнее тиманнита. Изотропен. Спектр отраж. индивидуален (рис. 122). *H* низкий, как у клаусталита и умангита. VHN 30—42. Полируется легко и без грубых царапин.

Отл. Похож на халькозин, но отчетливо голубой, а в несвежем шлифе — синий.

Нахожд. Широко распространен в низкотемпературных гидротермальных м-ниях U и Cu-U, менее — в м-ниях Cu, Au; ассоц.: селениды Cu, Pb, Hg и Ag, уранинит, коффинит, гематит, алларгентум, борнит.

Изуч. Сп.-49 — *Пржедборжице* (ЧССР).

Рентген. 3,32 (9); 2,03 (10); 1,731 (8); 1,434 (3).

Беллидоит Bellidoite $Cu_{1,96}Se$ (1975)

Тетр. с. $P4_2/n$; $a = 11{,}52$; $c = 11{,}74$; устойчив ниже 103°.

Хим. Теор.: Cu 61,20; Se 38,80.

Микр м. Ксеноморфные выделения до 0,3 мм. Отраж. умеренное (28 %), несколько выше, чем у берцелианита, и ниже, чем у блеклых руд. Бесцветный с кремовым (розовато-желтым) отт. В контакте с джарлеитом беллидоит темнее и имеет желтоватый отт. (джарлеит более светлый, голубоватый), в контакте с берцелианитом — отт.

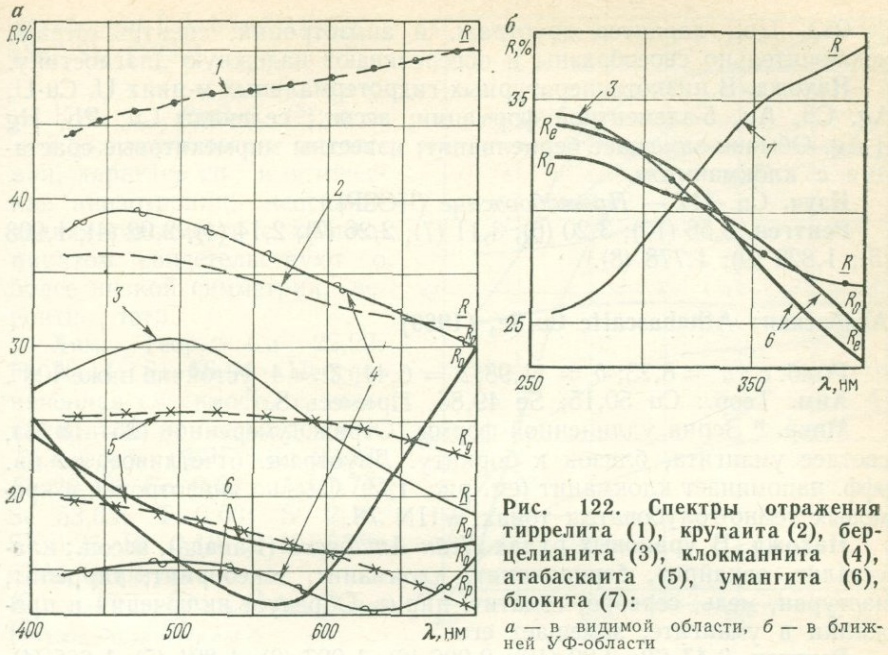


Рис. 122. Спектры отражения тиррелита (1), крутаита (2), берцелианита (3), клокманнита (4), атабаскаита (5), умангита (6), блокита (7):

а — в видимой области, *б* — в ближней УФ-области

кремовый (берцелианит голубовато-зеленоватый). Двуотраж. наблюдалось только в иммерсии. Слабо анизотропен. VHN 33—41. Полируется плохо, всегда остаются царапины.

Нахожд. В гидротермальном U м-нии *Габри* (ЧССР); ассоц.: берцелианит, умангит, эскеборнит, эвкайрит, клокманит, джарлеит, халькопирит.

Рентген. 6,80 (3); 3,38 (8); 2,26 (5); 2,06 (10); 1,763 (7).

Умангит Umangite Cu_3Se_2 (или $Cu_{4-x}Se_2$) (1891)

Ромб. с. $P\,2_12_12_1$; $a = 4{,}28$; $b = 6{,}40$; $c = 12{,}46$; $Z = 4$; подобно риккардиту представляет твердый раствор вычитания, состав которого лишь приближается к Cu_3Se_2. Устойчив ниже 143°, при нагревании распадается на берцелианит и клокманит.

Хим. Теор.: Cu 54,70; Se 45,30. Примеси Ag и S.

Микр. *Обычно зернистые агрегаты, редко — столбчатые кристаллы.* По цв. напоминает потускневший борнит. Отраж. умеренное. Сильно двуотраж. с изменением цв. от грязно-красно-фиолетового до синевато-серого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в оранжево-красных тонах. Одноосный, положительный, круговое сечение красно-фиолетовое. Спектральные кривые умангита дважды пересекаются (см. рис. 122): на границе с ультрафиолетовой областью (~ 420 нм) и в красной части спектра (~ 620 нм). Отмечались тонкие пластинчатые дв. *H* незначительный, как у клокманита. VHN 79—108, обычно 85—90.

Отл. Цв., характер двуотраж. и анизотропии, спектры отраж. исключительно своеобразны и обеспечивают надежную диагностику.

Нахожд. В низкотемпературных гидротермальных м-ниях U, Cu-U, Ag, Cu, Au, 5-элементной формации; ассоц.: селениды Cu, Pb, Hg и Ag. Обычно замещает берцелианит; известны мирмекитовые срастания с клокманитом.

Изуч. Сп.-417 — *Пржедборжице* (ЧССР).

Рентген. 3,56 (10); 3,20 (6); 3,11 (7); 2,26 (7); 2,14 (4); 2,02 (4); 1,908 (5); 1,829 (9); 1,778 (8).

Атабаскаит Athabascaite Cu_5Se_4 (1969)

Ромб. с.; $a = 8{,}23$; $b = 11{,}98$; $c = 6{,}44$; $Z = 4$; устойчив ниже 100°.

Хим. Теор.: Cu 50,15; Se 49,85. Примесь S.

Микр. [м] Зерна удлиненной формы. Отраж. умеренное (25—18 %), светлее умангита, близок к борниту. Двуотраж. отчетливое, по цв. эфф. напоминает клокманит (см. рис. 122). Сильно анизотропен в кремовых темно-голубоватых тонах. VHN 78.

Нахожд. В урановых рудах *Лейк Атабаска* (Канада), ассоц.: клаусталит, эвкайрит, берцелианит, клокманит, эскеборнит, тиррелит, настуран, медь, серебро, гематит, пирит. Образует включения и прожилки в умангите, замещает его.

Рентген. 3,47 (3); 3,22 (10); 2,996 (6); 1,997 (8); 1,891 (5); 1,665 (4).

Клокманнит Klockmannite CuSe (1928)

Гекс. с. $P\,6_3/mmc$; $a = 3{,}94$; $c = 17{,}25$; $Z = 6$; слоистая структура, близкая к ковеллину; устойчив ниже 60°.

Хим. Теор.: Cu 43,58; Se 56,42. Примесь Ag.

Микр. Тонко- и толстотаблитчатые зерна, агрегаты, пластинчатые включения в умангите, ориентированные срастания с берцелианитом. Отраж. умеренно низкое (37—15 %). Двуотраж. исключительно сильное, $\Delta R_{отн} = 0{,}6$, с плеохроизмом по схеме (как у ковеллина): R_e (синеватый) $> R_0$ (коричневато-оливковый, в некоторых сечениях — сиреневый). Одноосный, положительный. Сильно анизотропен с исключительно яркими цв. эфф. в огненно-красных тонах. Спектры отраж. индивидуальны (см. рис. 122). Наблюдается сп. *H* близок к умангиту; VHN 57—86. Полируется хорошо.

Отл. Сходен с ковеллином, от которого отличается более высоким *R* и присутствием в цв. коричневато-оливкового тона.

Нахожд. Относительно мало распространен. В низкотемпературных гидротермальных U, Cu-U, Cu, Au-Se м-ниях; ассоц.: селениды Cu, Pb, Ag, Tl. Обычно поздний, замещает умангит и эвкайрит. Частью, очевидно, гипергенный. В селеноносных битуминозных глинистых породах с ферроселитом, селеном, клаусталитом. В U-V-Se м-ниях типа плато Колорадо.

Изуч. Сп.-186 — *Ла-Риоха* (Аргентина).

Рентген. 3,34 (6); 3,18 (9); 2,88 (10); 2,00 (4); 1,969 (8); 1,821 (6); 1,623 (5); 1,334 (3); 1,159 (4).

Эскеборнит Eskebornite $CuFeX(Se, S)_2$ (1950)

Куб. с. $Pm3m$ (?); $a = 3{,}53$; морфология выделений, характер сп. и оптическая анизотропия, неограниченная смесимость с халькопиритом свидетельствуют о более низкой симметрии, вероятно, тетр.

Хим. Теор.: Cu 22,92; Fe 20,14; Se 56,94. Неограниченная смесимость с халькопиритом, примесь S до 14%. *Тилькероде* (ФРГ): Cu 23,24; Fe 20,46; Co 0,04; Ag 1,74; Se 53,65; Tl 0,03; S 2,18; Sb 0,25; Bi 0,18; Σ 101,77[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{0,976}Fe_{0,977}Co_{0,003}Ag_{0,043})_{1,999}(Se_{1,812}S_{0,181}Sb_{0,005}\times Bi_{0,003})_{2,001}$.

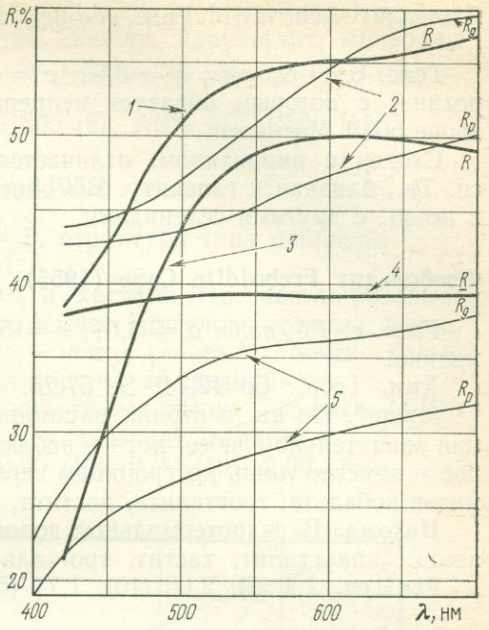


Рис. 123. Спектры отражения пирита (1), ферроселита (2), халькопирита (3), блокита (4), эскеборнита (5)

Микр. Ксеноморфные выделения, таблички, часто изогнутые и разлистованные, мирмекитовые срастания с халькопиритом и клаусталитом. Цв. коричневатый, нередко неоднородный, в одном зерне иногда наблюдается пятнистое распределение участков с различной тональностью (обусловлено вариациями содержаний Se-S). Отраж. умеренное (рис. 123). Двуотраж. сильное. Отчетливо анизотропен. Характерны клиновидные дв.; отличается сп. в одном направлении. *H* незначительный, примерно равен или несколько ниже, чем у науманнита и клаусталита, значительно ниже, чем у халькопирита и пирротина. VHN 140—165. Хрупкий, полируется хорошо.

Отл. По сравнению с пирротином отраж. и тв. ниже, коричневатый отт. выражен более отчетливо, а двуотраж. и анизотропия — несколько слабее. По сравнению со штернбергитом тверже, двуотраж. слабее. Для эскеборнита характерна ассоц. с минералами селена.

Нахожд. Относительно широко распространен в низкотемпературных гидротермальных U, Cu-U, Au-Se м-ниях, в ассоц. с селенидами Pb, Cu, Fe, Tl, Ag, Hg, Co, Ni; Au-Ag, с халькопиритом, гематитом, уранинитом, коффинитом. Замещается умангитом, науманнитом, тиманнитом и халькопиритом.

Изуч. Сп.-480 — *Тилькероде*.

Рентген. 5,53 (2); 3,20 (10); 1,953 (9); 1,667 (3).

Ашавалит Achavalite FeSe (Fe_7Se_8) (1939)

Гекс. с. $P\,6_3/mmc$; $a = 3{,}62$; $c = 5{,}88$; структурный аналог пирротина, с которым образует непрерывный ряд твердых растворов выше 500°. Магнитен.

Сходен с пирротином, отличается более отчетливо выраженной сп. Тв., близкая к галениту. В м-нии *Сьерра-де-Качеута* (Аргентина) в ассоц. с другими селенидами.

Фребольдит Freboldite CoSe (1955)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}61$; $c = 5{,}28$; $Z = 2$; структура типа никелина.

Хим. Теор.: Co 42,74; Se 57,26.

Микр [м]. По цв. и отраж. напоминает брейтгауптит, но анизотропия значительно слабее, хотя и наблюдаются цв. эфф. Двуотраж. слабое и заметно лишь по границам зерен. *H* ниже, чем у других селенидов кобальта: трогталита, хастита, борнхардтита.

Нахожд. В гидротермальных доломитовых жилах *Трогталя* (ФРГ); ассоц.: клаусталит, хастит, трогталит.

Рентген. 2,4 (5); 2,05 (10); 1,71 (5).

Мёкиненит Mäkinenite NiSe (1964)

Триг. с. $R\,3m$; $a = 10{,}01$; $c = 3{,}28$; $Z = 9$; структура типа миллерита. Устойчив ниже 375°.

Хим. Теор.: Ni 42,7; Se 57,3. *Куусамо* (Финляндия): Ni 41,1; Co 1,0; Se 57,9[мз].

Микр [м]. Оранжево-желтый. По цв. и отраж. напоминает миллерит. Двуотраж. сильное, плеохроирует от чисто-желтого до зеленовато-желтого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в голубовато-зеленых, огненно-красных тонах. *H*, как у клаусталита.

Отл. Похож на миллерит, но значительно мягче и очень сильно анизотропен с иным цв. эфф.

Нахожд. Редкий. В U-Se м-нии *Куусамо* (Финляндия); ассоц.: клаусталит, киткаит, Se-содержащие мелонит и сульфиды гр. линнеита, гематит.

Рентген. 4,99 (6); 2,88 (10); 2,63 (10); 2,325 (10); 1,950 (10).

Седерхолмит Sederholmite NiSe (1964)

Гекс. с. $P6_3/mmc$; $a = 3{,}62 \div 3{,}65$; $c = 5{,}29 \div 5{,}34$ (соответственно для $Ni_{0,85}Se$ и $Ni_{1,05}Se$); $Z = 2$; структура типа никелина; синт. аналог $\beta = NiSe$, устойчив в интервале 320—959° ($T_{пл}$).

Хим. Состав минерала колеблется от $Ni_{0,85}Se$ до $Ni_{1,05}Se$, примесь Co до 2 %.

Микр[м]. Оранжево-желтый. Отраж. высокое. Двуотраж. слабое, плеохроирует в желтых тонах. Сильно анизотропен с цв. эфф. в розоватых и зеленоватых тонах. Легко и хорошо полируется.

Нахожд. В единственном U-Se м-нии *Куусамо* (Финляндия); ассоц.: вилкманит, куллерудит, трюстедтит, блокит, клаусталит, минералы урана; образует прожилки в блоките, отдельные зерна в клаусталите; замещается вилкманитом.

Рентген. 2,70 (10); 2,015 (8); 1,806 (6); 1,535 (4); 1,500 (4).

Борнхардтит Bornhardtite $CoCo_2Se_4$ (1955)

Куб. с. *Fd 3m*; $a = 10{,}2$; $Z = 8$, структура типа шпинели.

Хим. Теор.: Co 35,89; Se 64,11.

Микр^{м}. Каймы на трогталите и хастите. Цв. светло-розовый. В контакте с клаусталитом заметно темнее, отчетливо розовый, в контакте с трогталитом и хаститом — менее розовый, почти белый (рис. 124). Изотропен. Полируется хорошо. *H* средний.

Нахожд. В гидротермальных доломитовых жилах *Трогталя* (ФРГ) в тесной ассоц.: трогталит, хастит, клаусталит, гематит.

Рентген. 2,70 (10); 2,40 (10); 2,30 (10); 2,20 (10); 2,00 (10).

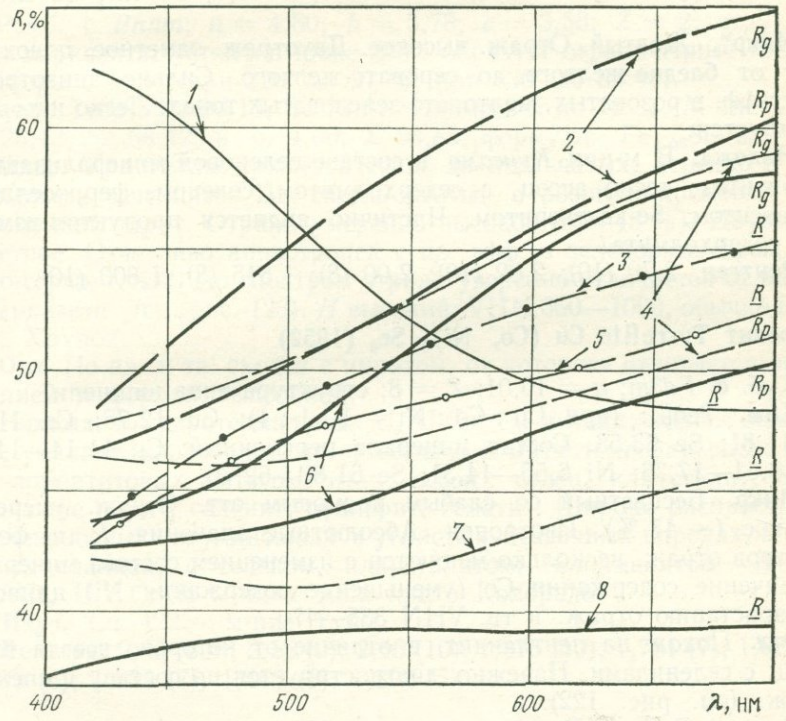


Рис. 124. Спектры отражения клаусталита (1), киткаита (2), трюстедтита (3), хастита (4), борнхардтита (5), ферроселита (6), трогталита (7), блокита (8)

Трюстедтит Trüstedtite $NiNi_2Se_4$ (1964)

Куб. с. $Fd3m$; $a = 9{,}94$; $Z = 8$; структура типа шпинели.

Хим. Теор.: Ni 35,79; Se 64,21. *Куусамо* (Финляндия): Ni 29,5; Co 6,4; Se 61,1 м³.

Микр м. Кремово-желтый, близок к борнхардтиту и хаститу. Отраж. высокое (51 %), выше седерхолмита и блокита (см. рис. 124). Изотропен. *H* несколько ниже, чем у блокита.

Нахожд. Единственная находка (*Куусамо*) в составе селенидной минерализации; образует изометричные зерна в клаусталите; ассоц. с блокитом и седерхолмитом.

Рентген. 3,00 (8); 2,87 (8); 2,48 (10); 1,905 (6); 1,755 (10).

Вилкманит Wilkmanite Ni_3Se_4 (1964)

Монокл. с. $I2/m$; $a = 6{,}22$; $b = 3{,}63$; $c = 10{,}52$; $\beta = 90{,}88°$; $Z = 2$; дефектная искаженная сверхструктура к типу никелина; устойчив ниже 300—400°.

Хим. *Куусамо* (Финляндия): Ni 33,7; Co 1,0; Fe сл.; Cu сл.; Se 65,3 м³.

Микрм. Желтый. Отраж. высокое. Двуотраж. заметное, плеохроирует от бледно-желтого до серовато-желтого. Сильно анизотропен с цв. эфф. в розоватых, желтовато-зеленоватых тонах. Легко и хорошо полируется.

Нахожд. В м-нии *Куусамо* в составе селеновой минерализации в альбититах; тесно ассоц. с седерхолмитом, селеном, ферроселитом, Se-ваэситом, Se-каттьеритом. Частично является продуктом изменения седерхолмита.

Рентген. 2,70 (10); 2,02 (10); 2,00 (8); 1,815 (8); 1,800 (10).

Тиррелит Tyrrelite $Cu(Co, Ni)_2Se_4$ (1952)

Куб. с. $Fd3m$; $a = 10{,}01$; $Z = 8$; структура типа шпинели.

Хим. Теор.: (при Cu : Co : Ni = 1 : 1 : 1): Cu 12,78; Co 11,86; Ni 11,81; Se 63,55. Состав минерала переменный: Cu 11,14—14,13; Co 13,51—17,76; Ni 6,55—14,31; Se 61,80—62,70.

Микр. Бесцветный со слабым кремовым отт. Отраж. умеренно высокое ($\sim$ 47 %). Изотропен. Абсолютные значения *R* и форма спектров отраж. несколько меняются с изменением состава минерала. Увеличение содержания Co (уменьшение содержания Ni) приводит к возрастанию отраж. и тв. VHN 335—470.

Отл. Похож на пентландит, в отличие от которого всегда тесно ассоц. с селенидами. Надежно диагностируется по составу и спектру отраж. (см. рис. 122).

Нахожд. Редкий. В гидротермальных U м-ниях *Биверлодж* (Канада) и *Буков* (ЧССР); ассоц.: клокманит, берцелианит, умангит, эскеборнит, клаусталит, буковит, халькопирит, пирит, гематит; замещается умангитом.

Рентген. 3,03 (6); 2,89 (7); 2,50 (9); 1,929 (6); 1,768 (10); 1,445 (5).

Крутаит Krutaite $CuSe_2$ (1972)

Куб. с. *Pa3*; $a = 6{,}06$; $Z = 4$; структура типа пирита; изоструктурен с блокитом; устойчив ниже 343°, в присутствии селена ниже 226°.

Хим. Теор.: Cu 28,69; Se 71,31. Примеси достигают: Co 6, Ni 5, Fe 1.

Микр ^{м}. Серый со слабым голубым отт. Отраж. умеренное (~ 35 %). *Изотропен. В иммерсии выявляется зональное сложение* с серыми и кремово-серыми зонами, различающимися по содержанию Co и Ni. Светлые зоны двуотраж. в буровато-желтых тонах. VHN 240—260. Похож на науманнит (см. рис. 122).

Нахожд. В гидротермальном U м-нии *Петровице* (ЧССР) в доломит-кальцитовых жилах с клаусталитом, берцелианитом, умангитом, эскеборнитом, ферроселитом, буковитом и другими селенидами Замещается клаусталитом, слагает в нем мелкие включения.

Рентген. 3,02 (9); 2,71 (10); 2,48 (8); 2,14 (2); 1,827 (6); 1,678 (4); 1,618 (3).

Ферроселит Ferroselite $FeSe_2$ (1955)

Ромб. с *Pnnm*; $a = 4{,}80$; $b = 5{,}78$; $c = 3{,}58$; $Z = 2$; структура типа марказита; устойчив ниже 585°; образует ограниченные твердые растворы с FeS_2 (при 220° до 27 %, при 530° до 32 %).

Хим. Теор.: Fe 26,13; Se 73,87. Примесь S до 10 %. М-ние Тувы: Fe 26,43; Se 68,42; н. о. 4,00; Σ 98,85; формула: $Fe_{1,06}Se_{1,94}$.

Микр. Кристаллы призматические до игольчатых, нередко с ромбовидными сечениями. Цв. светло-желтый с розовато-кремовым отт., напоминает пирит. Отраж. умеренно высокое (50—45 %). Двуотраж. заметное. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. в зеленовато-серых, лилово-серых тонах. По спектрам отраж. уверенно отличается от пирита и марказита (см. рис. 123). *H* высокий; VHN 660—1090, обычно 820—860. Хрупок.

Отл. По цв. и тв. сходен с пиритом, от которого отличается анизотропией и формой выделений.

Нахожд. В гидротермальных U, U-Cu, Cu м-ниях; ассоц.: эскеборнит, умангит, клаусталит, др. селениды. В низкотемпературных кальцит-ломонтитовых метасоматитах; ассоц.: селен, клаусталит, Se-содержащие пирит, галенит, сфалерит, гематит. Широко распространен в селеноносных битуминозных и углистых осадочных породах, в квасцовых сланцах, с селеном, клаусталитом, клокманитом. В U-V, U-V-Cr, U-V-Cr-Se м-ниях типа плато Колорадо.

Изуч. Сп.-422 — м-ние Тувы.

Рентген. 2,85 (6ш); 2,56 (9); 2,46 (10); 1,876 (10); 1,781 (7); 1,688 (7); 1,593 (6); 1,533 (7); 1,443 (8); 1,392 (5).

Хастит Hastite $CoSe_2$ (1955)

Ромб. с *Pnnm*; $a = 4{,}84$; $b = 5{,}72$; $c = 3{,}60$; $Z = 2$; структура типа марказита.

Хим. Теор.: Co 27,18; Se 72,82.

Микр [м]. *Радиально-лучистые агрегаты, зерна неправильной формы.* Розовый (грязный коричнево-красный). Отраж., близкое к пириту. Двуотраж. заметно в воздухе и сильное в иммерсии, плеохроирует от коричнево-красного до красно-фиолетового. Сильно анизотропен с пестрыми и яркими цв. (преобладает мясо-красный тон). *H* высокий, как у пирита. Наблюдается зональное строение (по цв. и тв.). Характерны пластинчатые дв., как у марказита.

Отл. *Визуально и по спектрам отраж. сходен с киткаитом и ферроселитом* (см. рис. 124). *R* киткаита выше, чем у хастита (во всех сечениях светлее). От ферроселита хастит надежно отличается по составу и рентгенограмме.

Нахожд. Редкий. В Se-Pb-доломитовых жилах *Трогталя* (ФРГ); ассоц.: трогталит, борнхардтит, клаусталит, золото; образует радиально-лучистые агрегаты вокруг трогталита и золота, включения в клаусталите. В U м-ниях плато Колорадо.

Рентген. 2,9 (3); 2,6 (10); 2,5 (10); 1,9 (10).

Трогталит Trogtalite $CoSe_2$ (1955)

Куб. с *Pa3*; $a = 5{,}87$ (у богатого Cu до 5,93); $Z = 4$; структура типа пирита; устойчив ниже 960°.

Хим. Теор.: Co 27,18; Se 72,82. Примеси Cu до 9 %, Pd до 0,5 %.

Микр[м]. Фиолетово-розовый, по цв. напоминает брейтгауптит, но цв. «загрязнен», так как отраж. трогталита (42 %) значительно ниже, чем у брейтгауптита. Изотропен. Тв. высокая. Полируется плохо.

Отл. Похож на фишессерит, с которым изредка встречается в одних ассоц.; надежно отличается по спектру отраж. (см. рис. 118 и 124).

Нахожд. Редкий. В доломитовых жилах *Трогталя* с хаститом, борнхардтитом, клаусталитом и золотом; образует идиоморфные, но сильно корродированные зерна в клаусталите, тончайшие ритмичные срастания с клаусталитом и золотом, зональные радиально-лучистые агрегаты, сложенные от центра к периферии трогталитом, хаститом и борнхардтитом; в гидротермальных м-ниях U, в метаморфизованных Cu-Co м-ниях.

Рентген. 2,62 (10); 2,39 (10); 1,765 (9); 1,568 (7).

Блокит (пенрозеит) Blockite $NiSe_2$ (1935)

Куб. с. *Pa3*; $a = 6{,}03$; $Z = 4$; структура типа пирита; устойчив ниже 853°.

Хим. Теор.: Ni 27,09; Se 72,91. Примеси Fe, Co, Cu и S. *Пакахаке (Боливия)*: Ni 19,01; Co 2,91; Cu 7,16; Ag 0,39; Se 72,70; Te 0,02; *S* сл.; Σ 102,19[мз], СЭМ; формула:
$(Ni_{0.689}Co_{0.105}Cu_{0.240}Ag_{0.007})_{1.041}Se_{1.959}$.

Микр. Почковидные агрегаты с радиально-лучистым и зональным строением, сплошные зернистые массы, реже изометричные кристаллы. Отраж. умеренное (~ 39 %), заметно выше, чем у блеклой руды. Цв. светло-серый с кремовым отт. Изотропен. Спектр отраж. надежно

определяет минерал (см. рис. 124). *Н довольно высокий среди селенидов*; VHN 405—550 (ср. 485). Сп. по (100). Хрупок. Полируется *хорошо*.

Нахожд. Редкий. В м-нии *Пакахаке* в барит-сидеритовых жилах с *клаусталитом, науманнитом, тиманнитом*; характерны тесные срастания блокита с клаусталитом и замещение его клаусталитом и селеном; в U-Se-Cu-Co м-нии *Шинколобве* (Заир).

Изуч. Сп.-54-1 — *Пакахаке*.

Рентген. 3,02 (3); 2,68 (10); 2,45 (10); 1,806 (9); 1,599 (4).

Куллерудит Kullerudite $NiSe_2$ (1964)

Ромб. с. *Pnnm*; $a = 4{,}89$; $b = 5{,}96$; $c = 3{,}67$; $Z = 2$; структура типа марказита.

Хим. Теор.: Ni 27,09; Se 72,91. *Куусамо* (Финляндия): Ni 23,1; Co 1,4; Fe 1,9; Cu 0,5; Se 73,1[мз].

Микр[м]. По цв. и отраж. напоминает блокит, несколько бледнее. Заметно двуотраж. Сильно анизотропен с цв. эфф. в желтовато-серых, серых, почти черных тонах. Мягкий, полируется плохо.

Отл. Похож на блокит, от которого отличается анизотропностью и меньшей тв.

Нахожд. В м-нии *Куусамо*, в составе селенидной минерализации с вилкманитом, седерхолмитом и Se-содержащими сульфидами; замещает вилкманит.

Рентген. 2,94 (8); 2,64 (10); 2,55 (10); 1,925 (8); 1,840 (8).

СЕЛЕНИДЫ Cu—Sb, As

Перминжатит Permingeatite Cu_3SbSe_4 (1971)

Тетр. с. $I\bar{4}2m$; $a = 5{,}63$; $c = 11{,}23$; $Z = 2$; изоструктурен с фаматинитом и люцонитом.

Хим. Теор.: Cu 30,35; Sb 19,38; Se 50,27. *Пржедборжице*: Cu 31,29; Ag 0,21; Tl 0,03; Fe 0,03; Zn 0,02; Cd 0,05; Hg 0,07; Pb 0,06; Sb 18,80; As 1,20; Sn 0,09; Se 46,02; S 3,10; Σ 100,97[мз]; СЭМ; формула: $(Cu_{2,93}Ag_{0,02})_{2,95}(Sb_{0,92}As_{0,10})_{1,02}(Se_{3,46}S_{0,57})_{4,03}$.

Микр[м]. Зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения. Отраж. умеренно низкое (25 %), заметно ниже, чем у блеклых руд. Двуотраж. отчетливое, плеохроизм от нежно-сиреневого до серого (см. рис. 120). Сильно анизотропен с цв. эфф. в синевато-сиреневых, розовых, синевато-серых тонах. Отмечались дв. VHN 234.

Нахожд. В гидротермальных U, Cu-U м-ниях; ассоц.: эскеборнит, эвкайрит, клаусталит, хакит, берцелианит, умангит, науманнит, клокманит, уранинит, фишессерит, золото.

Изуч. Сп.-307 — *Пржедборжице* (ЧССР).

Рентген. 5,04 (4); 3,25 (10); 2,46 (3); 1,986 (9); 1,697 (8); 1,408 (5).

Шамеанит Chameanite $(Cu, Fe)_4 As (Se, S)_4$ (1982)

Куб. с. $a = 11{,}04$; $Z = 8$.

Хим. *Шамеан* (Франция): Cu 33,93—36,38; Fe 2,58—6,25; As 10,81—11,98; Sb 0,22—0,56; Se 46,09—47,50; S 1,42—2,07[мз]. Величина Cu/Fe варьирует от 6 до 13. Формула, отвечающая усредненному составу: $(Cu_{3,46}Fe_{0,52})_{3,98}(As_{0,94}Sb_{0,02})_{0,96}(Se_{3,72}S_{0,34})_{4,06}$.

Микр. Отраж. умеренно низкое, слегка темнее блеклой руды. Бесцветный (серый), в контакте с жеффроитом обнаруживает слабый сиреневато-розовый отт. (см. рис. 120). Изотропен. Наблюдается зональность, связанная с колебанием значений Cu/Fe. Увеличение этого отношения приводит к уменьшению *R*. VHN 247—292.

Нахожд. В гидротермальном U-Se м-нии *Шамеан* в мирмекитовых срастаниях с жиродитом и жеффроитом в клаусталите, а также в срастаниях с эскеборнитом.

Рентген. 3,187 (10); 1,951 (9); 1,665 (8); 1,381 (4).

Мгриит Mgriite Cu_3AsSe_3 (1983)

Куб. с. $Fd\,3m$ (?); $a = 5{,}530$; $Z = 1$.

Хим. Теор.: Cu 37,9; As 14,9; Se 47,15. Обр. из Рудных Гор: Cu 37,2; Fe 1,8; As 14,7; Se 47,2; Σ 100,9[мз]; формула: $Cu_{2,92}Fe_{0,16}As_{0,98}Se_{2,96}$.

Микр. Оторочки на зернах карбонатов, селенидов меди, клаусталита. Отраж. умеренно низкое (27 %). Бесцветный серый, в контакте с клаусталитом — коричневатый. Изотропен. VHN 290 —380, обычно 320—375. Полируется хорошо. Хрупкий.

Отл. Похож на тетраэдрит и швацит, но отраж. и тв. ниже; от швацита отличается также по форме спектра отраж.

Нахожд. В м-нии 5-элементной формации Рудных Гор в анкерит-кальцитовых жилах; в срастаниях с клаусталитом, умангитом, берцелианитом; оторочки и прожилки в корродированных зернах карбонатов.

Рентген. 3,18 (10); 1,952 (10); 1,671 (5).

СЕЛЕНИДЫ Tl—Cu

Круксит Crooksite Cu_7TlSe_4 (1866)

Монокл. с. (псевдотетр.) $I\bar{4}/mmm$; $a = 10{,}40$; $c = 3{,}93$; $Z = 1$.

Хим. Близок к теор.: Tl 21,18; Cu 46,09; Se 32,73. *Пржедборжице* (ЧССР): Cu 48,87; Ag 0,06; Tl 20,14; Se 33,26; S 0,03; Σ 102,36[мз]; СЭМ; формула $Cu_{7,14}Ag_{0,01}Tl_{0,92}(Se_{3,92}S_{0,01})_{3,93}$

Микр. Ксеноморфные выделения, мелкие округлые зерна, мирмекитовые срастания с берцелианитом, реже — с умангитом и клокманнитом. Отраж. умеренное, ниже, чем у галенита, выше, чем у блеклых руд. Двуотраж. очень слабое с изменением тональности от белого с чуть сиренево-розоватым отт. до серовато-белого; при наблюдениях в воздухе может быть пропущено. Анизотропия отчетливая

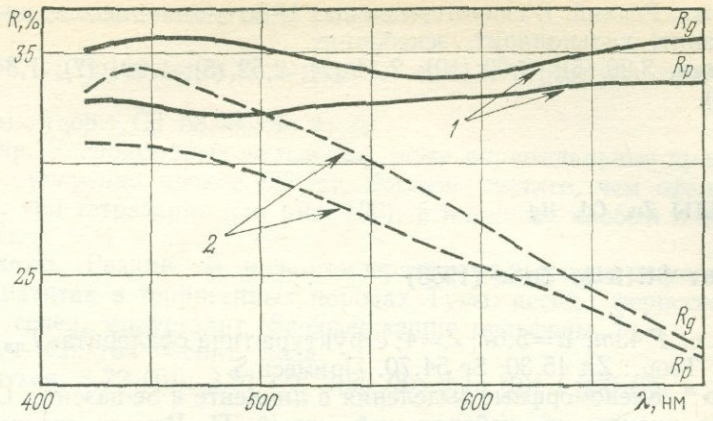


Рис. 125. Спектры отражения круксита (1) и сабатьерита (2)

с цв. эфф. Наблюдается сп. В. р. нет. VHN 80—165, обычно 100—140. Полируется хорошо.

Отл. Визуально несколько похож на эвкайрит и халькоталлит; у эвкайрита кремово-желтоватый отт. и ниже тв. Халькоталлит имеет подобные с крукситом спектры отраж. (рис. 125), но более пологие в красной области и с более выраженным подъемом к ультрафиолетовой. Соответственно в светлом положении у халькоталлита проявлена не сиренево-розовая, как у круксита, а зеленоватая тональность (см. параметры цв.). *R* халькоталлита ниже, эффекты анизотропии более отчетливые. Для халькоталлита характерны сп., пластинчатые дв., а также меньшая, чем у круксита, тв.

Нахожд. Редкий. В U-Se м-ниях; ассоц.: халькопирит, сабатьерит, берцелианит, умангит, буковит, рагинит, клокманнит, тиррелит, эвкайрит, эскеборнит, клаусталит, настуран, монтрозеит, гематит.

Изуч. Сп.-202 — *Пржедборжице* (ЧССР).

Рентген. 5,21 (3); 3,29 (10); 3,02 (9); 2,61 (9); 2,46 (3); 2,33 (6); 2,13 (7); 2,03 (8); 1,973 (4); 1,845 (8); 1,791 (7); 1,735 (4ш); 1,694 (3); 1,574 (5); 1,508 (3ш); 1,449 (3); 1,327 (6).

Сабатьерит Sabatierite Cu_6TlSe_4 (1978)

Ромб. с. $a=3{,}986$; $b=5{,}624$; $c=9{,}778$; $Z=1$.

Хим. Близок к теор.: Cu 42,29; Tl 22,67; Se 35,04.

Микр. Ксеноморфные выделения. Отраж. умеренное, близкое к блеклым рудам; ниже, чем у круксита; едва заметно выше, чем у берцелианита. Цв. серо-голубоватый, менее насыщенный, чем у берцелианита. Двуотраж. слабое; анизотропия отчетливая в светло-серо-голубых, темно-желто-коричневых тонах. VHN 47—61, отпечатки всегда сильно деформированы.

Отл. От берцелианита отличается меньшей насыщенностью голубого тона и анизотропностью (см. рис. 125).

Нахожд. Редкий. В гидротермальных U-Se м-ниях; ассоц.: круксит, берцелианит, халькопирит, эскеборнит.

Рентген. 3,99 (5); 3,09 (10); 2,71 (7); 2,52 (5); 1,991 (7); 1,847 (6); 1,673 (5).

СЕЛЕНИДЫ Zn, Cd, Hg

Штиллеит Stilleite ZnSe (1956)

Куб. с. $F\,4\bar{3}m$; $a=5{,}67$; $Z=4$; структура типа сфалерита. $T_{пл}$ 1575°.

Хим. Теор.: Zn 45,30; Se 54,70. Примесь S.

Микр [м]. Ксеноморфные выделения в линнеите и Se-ваэсите. Отраж. умеренно низкое; цв. нейтральный, серый. П. Рамдор считает, что штиллеит и в воздухе, и в иммерсии почти такой же, как тетраэдрит. Нами на синтетическом материале получены более низкие (21 %) значения R, которые свидетельствуют о том, что штиллеит значительно темнее тетраэдрита и несколько светлее сфалерита; эту же величину дает и вычисление: n штиллеита составляет 2,58—2,68, соответственно R 19,5—20,8 %. Изотропен. В. р. заметны повсеместно: желтые, оранжево-желтые, как у гринокита. Наблюдаются дв. VHN 26—29.

Отл. От тетраэдрита, сфалерита и подобных минералов отличается нейтральным цв., спектром отраж. (рис. 126) и низкой тв.

Нахожд. Редкий. В гидротермальных U-Se м-ниях, ассоц.: клаусталит, умангит, тиррелит, Se-содержащие молибденит, линнеит, ваэсит; в низкотемпературных кальцит-ломонтитовых метасоматитах ассоц.: ферроселит, гематит, селен, клаусталит, кадмоселит, Se-содержащие пирит, сфалерит; в U-V м-ниях типа плато Колорадо.

Изуч. Сп.-471 — синт. фаза.

Рентген. 5,42 (3); 3,84 (4); 3,29 (10); 2,11 (4); 1,925 (9).

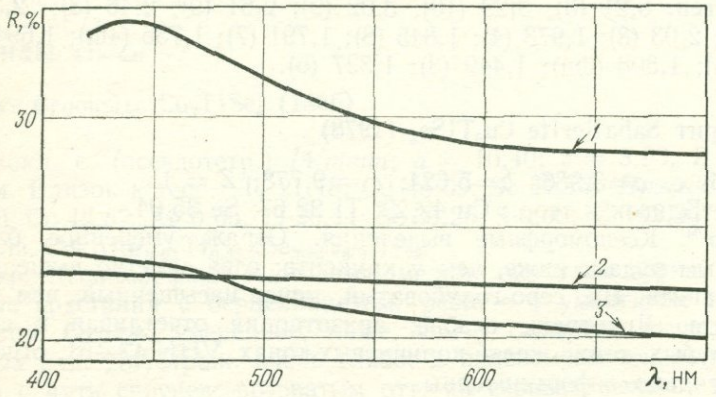


Рис. 126. Спектры отражения тиманнита (*1*), кадмоселита (2), штиллеита (*3*)

Кадмоселит Cadmoselite CdSe (1957)

Гекс. с. $P6_3mc$; a=4,27; c=6,97; Z = 2; структура типа вюртцита.

Хим. Теор.: Cd 58,74; Se 41,26.

Микр. Ксеноморфные выделения, реже пирамидальные кристаллы. Отраж. умеренно низкое (23 %). Заметно светлее, чем сфалерит, и темнее, чем тетраэдрит (см. рис. 126); в иммерсии слабый коричневатый отт.

Нахожд. Редкий. В низкотемпературных кальцит-ломонтитовых метасоматитах в терригенных породах Тувы; ассоц.: ферроселит, гематит, селен, клаусталит, Se-содержащие сульфиды.

Изуч. Сп.-168 — синт. фаза.

Рентген. 3,72 (10); 3,51 (7); 3,29 (8); 2,15 (9); 1,980 (7).

Тиманнит Tiemannite HgSe (1855)

Куб. с. $F\bar{4}3m$; a=6,084 (снижается с ростом примеси S); Z=4; структура типа сфалерита, изоструктурен с метациннабаритом, с которым образует неограниченные твердые растворы. $T_{пл}$ 799°.

Хим. Теор.: Hg 71,7; Se 28,3. Примеси: S до 6, Cd до 1. *Тилькероде* (ФРГ): Hg 72,38; Cd 0,64; Zn 0,10; Ag 0,16; Pb 0,17; Co 0,04; Ni 0,03; Se 28,17; S 0,38; Te 0,06; Σ 102,13[мз]; СЭМ; формула $(Hg_{0,974}Cd_{0,045}Zn_{0,004}Ag_{0,004}Pb_{0,002}Co_{0,002}Ni_{0,001})_{1,002} \times (Se_{0,964}S_{0,032}Te_{0,002})_{0,998}$.

Микр. Ксеноморфные выделения, зернистые агрегаты, отдельные зоны зональных агрегатов с метациннабаритом, срастания с клаусталитом, науманнитом. Отраж. умеренное, близкое к блеклым рудам, выше, чем у метациннабарита. Цв. светло-серый, в контакте с клаусталитом темно-серый, со слабым коричневатым отт. Изотропен. Спектры отраж. промежуточного профиля между клаусталитом и метациннабаритом (см. рис. 119, 126). *H* низкий; VHN 26—39 (*Тилькероде*), у сернистого тиманнита 34—51.

Отл. По визуальному восприятию почти неотличим от метациннабарита; различаются по абсолютным значениям R (см. рис.119) и минеральным ассоц.; метациннабарит значительно тверже, VHN 52—86.

Нахожд. Относительно широко распространен в U, Pb-Zn, Sb-Hg, Hg, Ag-Au м-ниях, в участках развития Se минерализации; ассоц.: сфалерит, пирит, клаусталит, умангит и другие селениды.

Изуч. Сп.-401 — *Тилькероде*, *Клаусталь* (ФРГ).

Рентген. 3,51 (10); 2,15 (8); 1,834 (8); 1,399 (2).

ОКСИДЫ Fe, Ti, Cr, Al, Mg, Zn, v

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные и изученные авторами минералы.

Ильменит Ilmenite $FeTiO_3$ или

m (Fe^{2+}, Mn, Mg) TiO_3 n (Fe^{3+}, Al, Cr, V, Mn)$_2O_3$ (m>n) (1827)

Триг. с. $R\bar{3}$; a=5,08; c=14,1; Z=6. Представляет твердый раствор: $FeTiO_3$ (собственно ильменит или кричтонит), $MnTiO_3$ (пирофанит или манганильменит), $MgTiO_3$ (гейкилит, пикроильменит или магноильменит), $FeFeO_3$ (гематит). Примеси: TiO_2, Al_2O_3, $FeCr_2O_4$. Наиболее широко распространен ильменит с заметным количеством Fe_2O_3 в твердом растворе — гемоильменит.

Хим. Теор. $FeTiO_3$: FeO 47,3; TiO_2 52,7; $MnTiO_3$: MnO 47,0; TiO_2 53,0; $MgTiO_3$: MgO 33,4; TiO_2 66,6. Примеси достигают: Fe_2O_3 45; Cr_2O_3 и Nb_2O_5 5; V_2O_3 2; Al_2O_3 1.

Микр. Пластинчатые, таблитчатые зерна, скелетные выделения, пластинчатые и решетчатые срастания с магнетитом или гематитом. Отраж. умеренно низкое, несколько выше, чем у магнетита, в сечениях R_e ниже (рис. 127). Цв. светло-серый. В срастаниях с магнетитом заметно двуотраж.; анизотропен в блеклых тонах. Одноосный, отрицательный. R магнезиального ильменита значительно ниже железистого, зависимость «состав—отраж.» близка к линейной; по ве-

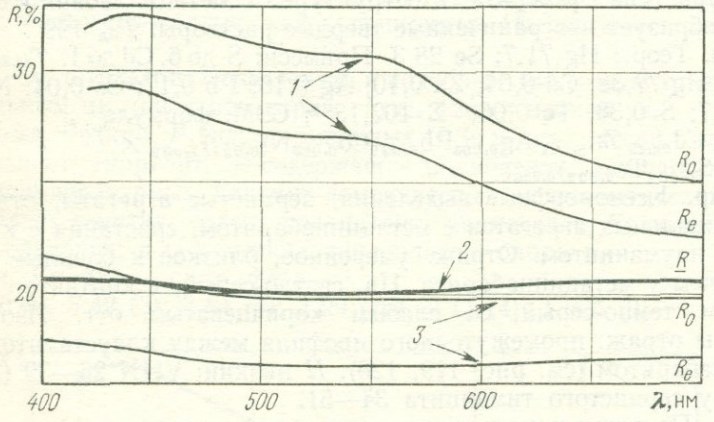


Рис. 127. Спектры отражения гематита (1), магнетита (2), ильменита (3)

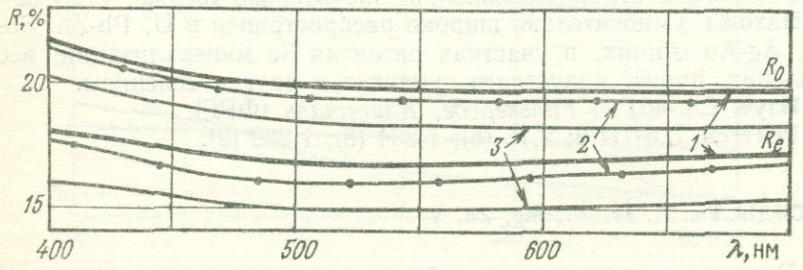


Рис. 128. Спектры отражения ильменита разного состава

Таблица 32

Компонент	Сп.-160-3	Сп.-160-1	Сп.-160-2
TiO_2	49,98	50,38	49,64
Al_2O_3	0	0,02	0,10
Fe_2O_3	6,53	4,29	8,65
Cr_2O_3	0	0	0,07
FeO	34,37	43,51	35,35
MnO	1,28	1,77	8,69
MgO	5,20	0	0,27
Σ	97,36	99,98	102,77
$FeTiO_3$	72	90	73
$MgTiO_3$	19	—	1
$MnTiO_3$	3	4	17
Fe_2O_3	6	6	9

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (ДМД).

личине R можно оценить содержание MgO. Mn^{2+} влияет на оптические свойства аналогично Fe^{2+} (рис. 128); Fe_2O_3 повышает *R*.

H ильменита немного выше, чем у магнетита, ниже, чем у гематита. VHN 610—820, обычно 660—710, на базальной плоскости — 505—570; с ростом примеси магния микротв. возрастает, VHN ~ 1000 при 25 % MgO; у высокомарганцовистых ильменитов 540—800. В крупных зернах ильменита развита сп. по базису, иногда наблюдаются дв.

Нахожд. Широко распространен. При *P* выше 32 ГПа разлагается на вюстит и рутил. Часто замещается титанитом, реже перовскитом. Ильменит обычно в той или иной степени замещен мелкозернистыми агрегатами рутила (лейкоксена), гематита, псевдобрукита.

Изуч. См. табл. 32 и прилож. 3.

Рентген. Сп.-160-2: 3,74 (3) (110); 2,76 (10) (211); 2,54 (6) ($10\bar{1}$); 2,24 (3) (210); 1,867 (6) (220); 1,728 (9) (321); 1,630 (1) (332); 1,508 (4) (310); 1,471 (5); ($2\bar{1}\bar{1}$); 1,375 (0,5) (422); 1,345 (1) (433). По рентгенометрическим данным (параметры и объемы решетки d_{204}, d_{116} можно оценить содержание Fe_2O_3 в твердом растворе [49].

Гематит Hematite Fe_2O_3 или

n $(Fe^{3+}, Al, Gr, V, Mn)_2O_3 \cdot m(Fe^{2+}, Mn, Mg)TiO_3$ $(n > m)$

Триг. с. $R\bar{3}c$; $a=5{,}03$; $c=13{,}75$; $Z=6$, структура типа корунда, устойчив ниже 1450°. Гематит высокотемпературных образований обычно титанистый — ильменогематит, содержит в твердом растворе при 900° до 25 % $FeTiO_3$, при 400° — до 15 %. При 700° и выше может содержать в твердом растворе до 24 % Al_2O_3. Немагнитен.

Хим. Близок к теор.: Fe 69,9; O 30,1. Примеси достигают: TiO_2 12 Al_2O_3 и Mn_2O_3 5; Cr_2O_3 3.

Микр. Таблитчатые, пластинчатые, радиально-лучистые, порошковатые выделения, зернистые агрегаты; срастания с ильменитом, рутилом, псевдобрукитом, сидеритом; псевдоморфозы по магнетиту (мартит). Отраж. умеренно низкое, заметно светлее магнетита, ильменита, рутила. Цв. голубоватый, особенно очевидный в контакте с магнетитом и сульфидами, желтой тональности. Двуотраж. несильное; анизотропия отчетливая до сильной в блеклых синевато-серых, коричневато-серых тонах. В. р. густые рубиново-красные, в иммерсии заметны повсеместно. Характерны пластинчатые дв., простые и сложные, иногда по нескольким направлениям. Одноосный отрицательный. *H* выше, чем у магнетита и ильменита, ниже, чем у пирита. VHN 740—1110, обычно 920—1060.

Отл. От ильменита отличается цв., повышенной тв.; лепидокрокит более серый, с сильным двуотраж. и буро-красными в. р. Спектры отраж. индивидуальны (см. рис. 119).

Нахожд. Широко распространен в верхней части земной коры: во многих типах осадочных пород, в корах выветривания, в осадочных месторождениях Fe, в бокситах (нередок титаногематит); в скарновых месторождениях Fe, Cu; во многих типах низкотемпературных гидротермальных м-ний; ассоц.: пирит, халькопирит, магнетит, сидерит, уранинит, селениды, медь. Главный рудный минерал железистых кварцитов. Характерный минерал вулканических возгонов.

Изуч Сп.-99 — м-ние в Ср. Азии.

Рентген. 2,69 (10); 2,52 (8); 1,843 (6); 1,697 (7); 1,604 (3). По рентгенометрическим данным (параметры и объем решетки, d_{220}) можно оценить содержание $FeTiO_3$ в гематите, зависимости в области 0—40 % $FeTiO_3$ практически линейные [49].

Маггемит Maghemite γ-Fe_2O_3 (1927)

Тетр. с. (псевдокуб.) $P4_1$ ($P4_3$); a=8,33; c=3 a=25,0; Z=32; катионодефицитная шпинель, с уменьшением степени упорядоченности переходит в куб. форму $P4_132$ ($P4_332$); устойчив ниже $\sim$ 450°. Сильно магнитен. При повышенных T непрерывный ряд твердых растворов Fe_3O_4—γFe_2O_3. Известна серия твердых растворов маггемит — титаномаггемит, подобная серии магнетит—ульвошпинель.

Хим. Близок к Fe_2O_3. Примеси Ti, V, Mg, Al.

Микр. Зернистые, радиально-лучистые агрегаты, каймы замещения, сложные срастания с магнетитом, псевдобрукитом, гематитом. Отраж., близкое к магнетиту. Цв. светло-серый с синевато-голубоватым отт. Изотропен. Спектры отраж. с обширным пологим минимумом в области желто-зеленых длин волн. *H* несколько выше, чем у магнетита, ниже, чем у гематита; VHN 895—990.

Нахожд. Считается относительно редким, так как обычно пропускается из-за сходства с гематитом и магнетитом. Установлен во многих скарново-магнетитовых, медно-молибден-порфировых, магномагнетитовых м-ниях; характерен для внешних зон колчеданных

м-ний, залегающих в известняках; в породах внешних зон ореолов ороговикования. Титанистый маггемит установлен среди продуктов *гипогенного окисления или сульфурирования титаномагнетита.*

Изуч. Сп.-233-1 — *КМА.*

Рентген. 2,939 (7); 2,506 (10); 2,079 (6); 1,697 (4); 1,600 (6); 1,471 (7)

Магнетит Magnetite $FeFe_2O_4$ *или* $(Fe^{2+}, Mn, Mg)(Fe^{3+}, Al, Cr, V)_2O_4$ (1845)

Куб. с. $Fd\bar{3}m$; $a = 8{,}396$ (для $FeFe_2O_4$), $Z = 8$; обращенная шпинель $Fe^{3+}[Fe^{2+}Fe^{3+}]O_4$; $T_{пл}$ 1591°.

Магнетит представляет твердый раствор $FeFe_2O_4$, $MnFe_2O_4$ (якобсит), $MgFe_2O_4$ (магнезиоферрит или магномагнетит), Fe_2TiO_4 (ульвошпинель), (Mg, Fe) Al_2O_4 (шпинель), (Fe, Mg) Cr_2O_4 (хромит). Широко распространен магнетит с заметным количеством Fe_2TiO_4 в твердом растворе — титаномагнетит. Выше ~ 600° взаимная растворимость $FeFe_2O_4$ и Fe_2TiO_4 неограниченная, при 400° магнетит может содержать до 40 % Fe_2TiO_4, при 0° — до 20 %. Широко распространен магнетит с заметным количеством герцинита (шпинели) в твердом растворе; выше 870° взаимная растворимость $FeFe_2O_4$ и $FeAl_2O_4$ неограниченная, при 800° магнетит может содержать до 35 % $FeAl_2O_4$, при 500° — до 8 %.

Сильно магнитен. $T_{Кюри}$ чистого магнетита 578°, она сильно и почти *линейно понижается до* 20° с *увеличением количества ульвошпинели* в твердом растворе до 80 %.

Хим. Теор.: FeO 31; Fe_2O_3 69. Примеси достигают: Cr_2O_3 34; TiO_2 29; MgO, Al_2O_3 и V_2O_3 10; Ga_2O_3 и NiO 3; ZnO 2; CoO 0,5; SiO_2 и CaO изредка 0,5, обычно менее 0,02 (табл. 33).

Микр. Изометричные, округлые выделения, октаэдрические кристаллы, пластинчатые и решетчатые сростки с ильменитом, ульвошпинелью, шпинелью, мирмекитовые срастания с пиритом (по пирротину, троилиту), радиально-лучистые агрегаты, внешние зоны зональных выделений хромшпинелидов, псевдоморфозы по пластинчатому гематиту (мушкетовит). Отраж. умеренно низкое; цв. коричневато-серый, титаномагнетит более серый без заметного коричневатого отт.; в контакте с пиритом — темно-серый. Изотропен, иногда слегка анизотропен. Спектры отраж. близки к горизонтальной линии (№ 1 и 2), характеризуются слабо выраженным пологим максимумом в красной области (рис. 129), чем и обусловлен слабый розовато-ко-

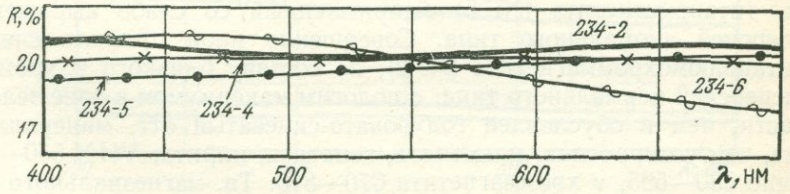


Рис. 129. Спектры отражения магнетита разного состава

Таблица 33

Компонент	Титаналюмохроммагнетит	Хроммагнетит		Титаномагнетит	Магнетит
	Сп.-234-6	Сп.-234-3	Сп.-234-4	Сп-234-5	Сп.-234-2
FeO	33,91	29,80	29,68	36,50	32,05
MnO	2,06	1,83	1,09	0,73	0,18
MgO	0,09	0	0	0,02	0
Fe_2O_3	31,77	56,61	58,22	53,83	69,56
Al_2O_3	4,97	0,31	0,15	1,32	0,08
Cr_2O_3	19,48	12,44	9,28	0,11	0,30
TiO_2	5,08	0,20	0,22	8,07	0,48
Σ	97,36	101,19	98,64	100,60	102,65
$FeFe_2O_4$	34	74,5	81	67,5	97,5
$MnFe_2O_4$	7	6	3,5	2,5	0,5
$MgAl_2O_4$	0,5	—	—	Следы	—
$FeAl_2O_4$	11,5	0,5	0,5	4,5	Следы
$FeCr_2O_4$	31,5	18,5	14,5	Следы	0,5
Fe_2TiO_4	15,5	0,5	0,5	25,5	1,5
a	8,386	8,402	8,405	8,419	8,395
Точка Кюри *T*, °C	442	—	524	418	572

Примечание. Микрозонд «Камебакс» (ДМД), параметры решетки и точки Кюри определены Э. М. Спиридоновым.

ричневатый отт. Спектры отраж. магнезиального магнетита подобны описанным, *R* несколько ниже. С ростом содержания Al (и Cr) от следов до 1 ф. е. R_{589} линейно снижается от 19,2 до 14,8 %. Для хромсодержащего магнетита (№ 3, 4) характерны выпрямленные профили спектров отраж. (см. рис. 129). С ростом содержания Fe_2TiO_4 в твердом растворе *R* магнетита снижается, ульвошпинель на фоне магнетита и даже титаномагнетита выглядит серой. Профиль спектра отраж. титаномагнетита (№ 5) выпрямленный со слабо выраженной дисперсией аномального типа. Совершенно иной профиль спектра у титаналюмохроммагнетита (№ 2), по составу близкого к хромиту: с дисперсией нормального типа, с пологим максимумом в сине-зеленой области, чем и обусловлен голубовато-синеватый отт. минерала. *H* ниже, чем у пирротина, ильменита, гематита, пирита; VHN 550—620, обычно 580—595, у хроммагнетита 670—815. Тв. магнезиального магнетита увеличивается с ростом содержания Mg. В крупных выделениях магнетита заметна отдельность по октаэдру.

Отл В мелких выделениях может быть спутан со сфалеритом, сфалерит часто полупросвечивающий и более мягкий, с иным профилем спектра отраж.

Нахожд. Широко распространен. Магнетит магматических м-ний среди базитов богат Ti и Al; в карбонатитах — Mg, Nb, Ta; в скарнах — с малым количеством примесей, иногда обогащен Al и Mg; в железистых кварцитах — с малым количеством примесей. Магнетиты из м-ний различных генетических типов различаются по характеру структур распада твердого раствора и по их составу.

Изуч. Сп.-234-1-КМА; сп.-234-2—6 м-ния в Каз. ССР.

Рентген. Сп.-234-6: 4,85 (0,5) (111); 2,97 (3) (220); 2,53 (10) (311); 2,42 (1) (222); 2,10 (3) (400); 1,712 (2) (422); 1,614 (7) (333); 1,483 (8) (440); 1,326 (1) (620); зависимость «состав—параметр» решетки в ряду магнетит (a = 8,396) — ульвошпинель (a = 8,536) близка к линейной, как в ряду магнетит-герцинит $FeAl_2O_4$ (a = 8,135) [49].

Франклинит Franklinite $ZnFe_2O_4$ (1819)

Куб. с. *Fd 3m*; a = 8,42; Z = 8. Сильно магнитен.

Хим Fe_2O_3 65; ZnO 30; Mn_2O_3, MnO и FeO 10; Al_2O_3 и TiO_2 1.

Микр. Изометричные зерна, агрегаты. Отраж. низкое, близкое к сфалериту (рис. 130). Цв. светло-серый; изотропен; в. р. красные.

Нахожд. Редкий. В метаморфизованных Pb-Zn-Mn м-ниях типа *Франклин* (США) и *Лонгбан* (Швеция); ассоц.: гематит, магнетит, якобсит, магнетоплюмбит, галенит.

Изуч. Сп.-428 — *Франклин* (обр. Л. Я. Крапивы).

Рентген. 2,51 (10); 1,610 (10); 1,480 (10); 1,278 (6).

Кулсонит Coulsonite FeV_2O_4 (1937)

Куб. с. *Fd3m*; a=8,30; Z=8. Немагнитен.

Хим. Теор.: FeO 32,4; V_2O_3 67,6. *Калгурли* (Австралия): FeO 34,95; CuO 0,05; V_2O_3 59,39; Cr_2O_3 0,13; TiO_2 4,65; Σ 99,17[мз]; СЭМ.

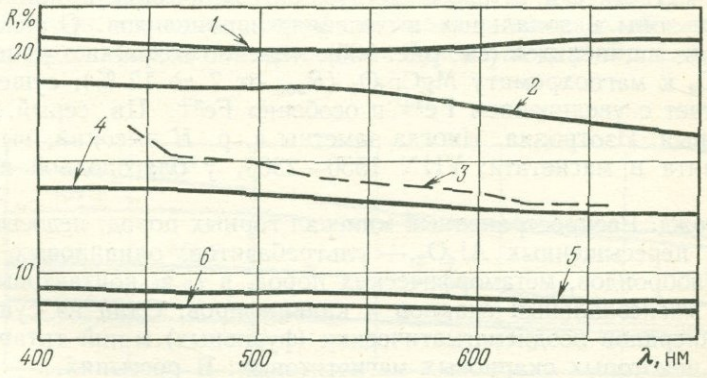


Рис. 130. Спектры отражения магнетита (*1*), франклинита (*2*), кулсонита (*3*), хромита (*4*), герцинита (*5*), шпинели (*6*)

Микр. Изометричные и пластинчатые зерна, октаэдрические кристаллы, ламелли (структуры распада) в магнетите, срастания с магнетитом, скаполитом, ванадистым мусковитом. Отраж. умеренно низкое (см. рис. 130); цв. светло-серый; изотропен. *H* ниже, чем у магнетита; VHN 330—380. Хрупкий.

Нахожд. Редкий. В вулканогенных рудных концентрациях (Fe, Au) среди базитов, богатых V.

Изуч. Сп.-209 — *Калгурли.*

Рентген. Сп.-209. 4,80 (4) (111); 2,93 (4) (220); 2,505 (10) (311); 2,075 (4—5) (400); 1,598 (6) (511); 1,469 (9) (440); $a = 8{,}306$.

Шпинель Spinel $MgAl_2O_4$ или (Mg, Fe, Zn, Mn) Al_2O_4 (1546)

Куб. с. *Fd* 3*m*; $a = 8{,}086$; $Z = 8$; устойчива до $\sim 1600°$.

Шпинель представляет твердый раствор $MgAl_2O_4$ (собственно шпинель), $FeAl_2O_4$ (герцинит), $ZnAl_2O_4$ (ганит), $MnAl_2O_4$ (галаксит), $FeFe_2O_4$, $FeCr_2O_4$ и $MgCr_2O_4$ (хромит и магнохромит), Fe_2TiO_4 и Mg_2TiO_4 (ульвошпинель и Mg-ульвошпинель), Al_2O_3, Fe_2O_3 (маггемит). Смесимость неограниченная выше 650° в ряду шпинель—герцинит, выше 800° — в ряду шпинель—магнетит, выше 1200° — в ряду шпинель — ульвошпинель [49]. Шпинель в силикатных породах устойчива до $\sim 3{,}5$ ГПа, при больших *P* переходит в пироп, шпинельсодержащие породы распространены до глубин около 100 км.

Хим. Теор.: MgO 28,1; Al_2O_3 71,9. Примеси достигают: Fe_2O_3 и Cr_2O_3 25; FeO и ZnO 20; MnO 15; V_2O_3 и TiO_2 3. Подобно марганцефильному ильмениту, шпинель — цинкофильный минерал (акцессорная шпинель содержит до 2 % Zn в горных породах с 0,01 % Zn). *Отайды-Карасу* (КазССР): MgO 14,47; FeO 14,77; MnO 0,14; Al_2O_3 62,01; Fe_2O_3 3,71; Cr_2O_3 0,21; TiO_2 0,11; Σ 98,23[мз]; ДМД; формула $(Mg_{0,68}Fe^{2+}_{0,32})_1(Al_{1,92}Fe^{3+}_{0,07}Cr_{0,01})_2O_4$.

Микр. Изометричные и округлые зерна, «пластинки» (сростки — «строчки» из множества мельчайших октаэдрических кристаллов) распада в магнетите и титаномагнетите, октаэдрические кристаллы, отдельные зоны в зональных выделениях шпинелидов. Отраж. самое низкое из шпинелидов (см. рис. 130); линейно возрастает от шпинели $MgAl_2O_4$ к магнохромиту $MgCr_2O_4$ (R_{600} от 7 до 12 %); существенно возрастает с увеличением Fe^{2+} и особенно Fe^{3+}. Цв. серый, зеленовато-серый. Изотропна. Иногда заметны в. р. *H* высокий, выше, чем у хромита и магнетита; VHN 1550—2300, у благородной шпинели выше.

Нахожд. Распространенный минерал горных пород, недосыщенных SiO_2 и пересыщенных Al_2O_3,— ультрабазитов, оливиновых базальтов и габброидов, метаморфических пород, в т. ч. контактовых роговиков, магнезиальных скарнов и кальцифиров. Один из существенных минералов позднемагматических (фузивных) м-ний титаномагнетита и некоторых скарновых магнетитовых. В россыпях.

Изуч. Сп.-495 — *Отайды-Карасу.*

Рентген. 4,68 (1) (111); 2,88 (6) (220); 2,45 (10) (311); 2,35 (0,5) (222);

2,03 (6) (400); 1,658 (1) (422); 1,564 (5) (333); 1,435 (7) (440); $a = 8{,}126$. В ряду шпинель-—герцинит зависимости «состав—рентгенометрические характеристики» линейные, $a = 8{,}0853 + 0{,}0739x$ (где x — Fe/Fe + Mg) [34].

Хромит Chromite $FeCr_2O_4$ или (Fe, Mg Mn) (Cr, Al, Fe, Ti)$_2O_4$ (1845)

Куб. с. *Fd 3m*; $a = 8{,}378$; $Z = 8$; структура нормальной шпинели. $T_{пл}$ 2150°. В зависимости от состава немагнитен или слабо магнитен.

Хромиты (и шире — хромшпинелиды) являются твердыми растворами $FeCr_2O_4$ (собственно хромит), $MgCr_2O_4$ (пикрохромит, магнохромит или магниевый хромит), $MnCr_2O_4$ (манганхромит), $MgAl_2O_4$, $FeAl_2O_4$, $ZnAl_2O_4$, $FeFe_2O_4$, $MgFe_2O_4$, Fe_2TiO_4 и Mg_2TiO_4, FeV_2O_4, $NiFe_2O_4$. В системе хромит-магнетит непрерывный ряд твердых растворов существует выше $\sim$ 500°, в системе хромит—герцинит — выше $\sim$ 700°, в системе магнохромит—шпинель — Mg-ульвошпинель — выше 1150° (*исключая небольшое поле между* $MgAl_2O_4$ *и* Mg_2TiO_4); эти экспериментальные данные объясняют чрезвычайно широкую смесимость, характерную для высокотемпературных хромшпинелидов.

Хим. Теор. ($FeCr_2O_4$): FeO 30,0; Cr_2O_3 70,0; $MgCr_2O_4$: MgO 19,4; Cr_2O_3 80,6. Содержания в минералах достигают: Cr_2O_3 68; Al_2O_3 и Fe_2O_3 30; TiO_2 20; MnO 5; V_2O_3 и ZnO 5; NiO 1; SiO_2 0,5. Большая часть выделений хромита зональны по составу. Незональны хромшпинелиды только в глубинных (мантийных) включениях базальтов и кимберлитов.

Микр. Изометричные и округлые зерна, октаэдрические кристаллы, ламелли в ромбическом пироксене. Отраж. низкое и очень низкое, заметно ниже, чем у магнетита, выше, чем у шпинели; сильно понижается с ростом содержания Al, менее сильно — с ростом Mg; сильно возрастает с ростом Fe^{3+}, менее сильно — с ростом Fe^{2+} и Cr (рис. 131). Цв. зеленовато-серый; изотропен, иногда слабо анизотропен. Нередко наблюдаются красновато-буроватые в. р. Профили спект-

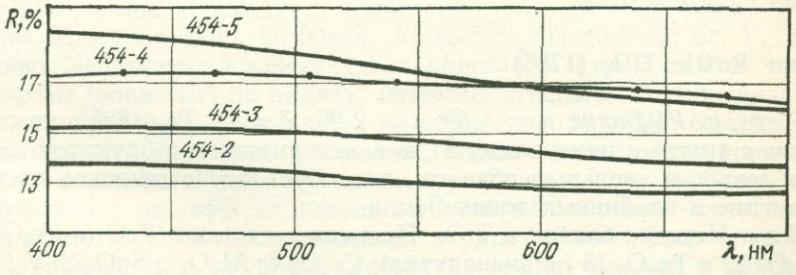


Рис. 131. Спектры отражения хромшпинелидов разного состава (см. табл. 34)

Таблица 34

Компонент	Алюмомагниевый хромит	Ферриалюмохромит		Алюмоферрихромит	Феррихромит
	Сп.-454-1	Сп.-454-2	Сп.-454-3	Сп.-454-4	Сп.-454-5
FeO	14,98	23,26	30,14	29,87	28,10
MgO	11,91	7,44	0,46	0	0,28
MnO	0,23	0,46	2,26	1,93	3,01
Cr_2O_3	62,25	43,15	42,46	35,75	37,00
Al_2O_3	9,28	11,49	11,21	6,28	1,62
Fe_2O_3	2,83	11,15	11,37	23,20	28,56
TiO_2	0,08	1,93	0,36	0,15	0,41
Σ	102,20	98,88	98,26	97,18	98,98
$FeCr_2O_4$	43,1	43,2	60,3	53,1	55,2
$MgCr_2O_4$	39,0	14,6	—	—	—
$FeAl_2O_4$	—	—	21,3	13,9	2,0
$MgAl_2O_4$	16,5	23,0	2,4	—	1,6
$FeFe_2O_4$	—	13,0	9,1	26,5	30,9
$MnFe_2O_4$	—	1,3	6,9	6,1	9,1
Fe_2TiO_4	0,1	4,9	1,0	0,4	1,2

Примечание. В сп.-454-1, кроме того, определены, %: CaO 0,05, V_2O_3 0,09, $ZnAl_2O_4$ 1,2, FeV_2O_4 0,1; микрозонд «Камебакс» (ДМД, СЭМ).

ров отраж. близки к горизонтальным, характерен слабо выраженный широкий максимум в сине-зеленой области. Профиль спектра феррихромита близок к хроммагнетиту. *H* выше, чем у магнетита, ниже, чем у гематита; VHN 1100—1390, у магнезиального хромита 1200—1480. Тв. увеличивается с ростом Al и Mg, понижается с ростом Fe^{2+}, Cr, Fe^{3+}.

Нахожд. Широко распространенный минерал базитов и гипербазитов, ультраосновных — щелочных пород. В базальтах Луны широко распространены твердые растворы хромит-ульвошпинель, в т. ч. титановый хромит.

Изуч. См. табл. 34. и прилож. 3.

Рентген. 2,84 (9); 2,42 (10); 2,01 (9); 1,64 (9); 1,55 (9); 1,42 (10); у $MgCr_2O_4$ $a = 8{,}334$.

Рутил Rutile TiO_2 (1783)

Тетр. с. $P4_2/mnm$; $a = 4{,}59$; $c = 2{,}96$; $Z = 2$; $T_{пл}$ 1825°; по сравнению с другими минералами Ti, в т. ч. с анатазом и брукитом, обладает меньшим удельным объемом, чем обусловлено широкое распространение в глубинных зонах Земли.

Хим. Нередко близок к TiO_2. Примеси достигают: FeO (и Fe_2O_3) 2; Nb_2O_5 22 и Ta_2O_5 15 (ильменорутил); Cr_2O_3 4; Al_2O_3 и SnO_2 3; V_2O_3 1. М-ние в КазССР: TiO_2 99,35; FeO 0,17; 99,52[мз]; ДМД.

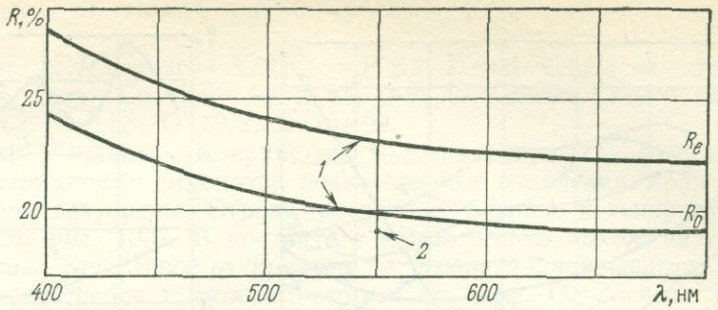


Рис. 132. Спектры отражения рутила (*1*), анатаз (*2*)

Микр. Короткопризматические (нередко округлые), длиннопризматические до игольчатых кристаллы, псевдоморфозы по ильмениту, титаниту, перовскиту, ламелли в ильмените, гематите, шпинели. Цв. серый с бледно-голубоватым отт., с резким двуотраж. (рис. 132) и сильной анизотропией. Повсеместно светло-коричневатые, желтовато-коричневатые, белесые в. р. В скрещенных николях постоянно наблюдается хлопьевидная «структура». Одноосный, положительный. Отраж. железистого рутила несколько выше, ильменорутила заметно (на 4—5 %) ниже, чем у рутила; у ильменорутила менее интенсивны двуотраж. и анизотропия. В крупных выделениях проявлена хорошая сп. в одном направлении. *H* высокий, выше, чем у ильменита, ниже, чем у гематита, пирита; VHN 980—1190, обычно 1050—1160; с ростом примесей Nb и Ta тв. снижается, у ильменорутила с 30 %-ным содержанием $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$ до 900—1120.

Отл. От сходных ильменита, магнетита, хромита отличается обилием в. р., анизотропией; от касситерита — по спектрам отраж. и тв., наличию полисинт. дв.

Нахожд. Широко распространенный акцессорный минерал.

Изуч. Сп.-348 — м-ние в Каз-ССР, *Никитовское* (УкрССР).

Рентген. 3; 24 (9); 2,488 (8); 2,189 (7); 1,689 (10); 1,624 (8); 1,362 (8).

Гётит Goethite α-FeOOH (1766)

Ромб. с. *Pbnm*; $a = 4{,}59$; $b = 9{,}94$; $c = 3{,}02$; $Z = 4$; устойчив ниже 250°, выше переходит в гематит.

Хим. Близок к теор. Примеси: *Al* до 5 %; *Ti* до 2 %; Cr, V, Mn.

Микр. Игольчатые и пластинчатые кристаллы и их агрегаты, псевдоморфозы (пористые) по пириту, натечные агрегаты. Отраж. низкое, близкое к сфалериту, ниже, чем у гематита (рис. 133). Цв. серый с голубоватым отт. Двуотраж. умеренное; нередко маскируется коричневатыми, красновато- или желтовато-коричневатыми в. р. Отчетливо анизотропен с цв. эфф. от серовато-синего или серовато-желтого до коричневатого. Оптически двуосный, отрицательный. Сов. сп. в одном направлении, в крупных кристаллах иногда заметна и поперечная сп. VHN 590—710, обычно 650—680.

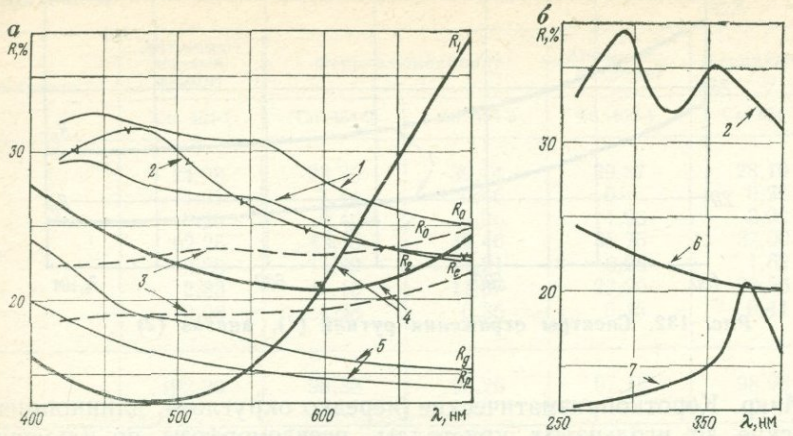


Рис. 133. Спектры отражения гёматита (*1*), куприта (*2*), делафоссита (*3*), тугариновита (*4*), гётита (*5*), гринокита (*6*), цинкита (*7*):
а — в видимой области; *б* — в ближней УФ-области

Нахожд. Низкотемпературный гидротермальный минерал в колчеданных м-ниях; широко развит в зоне выветривания сульфидных м-ний, в осадочных породах.

Изуч. Сп.-107 — м-ние в Ср. Азии.

Рентген. 4,15 (10); 2,674 (6); 2,433 (7); 2,237 (4); 2,175 (4); 1,709 (6).

ОКСИДЫ Cu, Zn (Fe)

Куприт Cuprite Cu_2O (1546)

Куб. с. $Pn3m$; $a = 4{,}25$; $Z = 2$.

Хим. Близок к теор.: Cu 88,82.

Микр. Зернистые и землистые агрегаты, срастания с медью, малахитом, лимонитом. Отраж. умеренное, выше, чем у гематита, близкое к блеклым рудам. Цв. светло-коричневато-серый с голубоватым отт. Изотропный, часто аномально анизотропный с цв. эфф. в чернильно-синих и зелено-оливковых тонах. Характерны интенсивные красные в. р. Иногда наблюдается сп. *H* выше, чем у халькопирита, меди, тенорита. VHN 190—210. Полируется хорошо.

Отл. От сходных киновари, прустита-пираргирита, сульфоарсенидов Tl отличается повышенной тв., по минеральным ассоц. и спектрам отраж. (см. рис. 133).

Нахожд. В зоне окисления м-ний Cu, в гипогенных рудах медно-цеолитовой формации.

Изуч. Сп.-210 — м-ние горы Высокой (Урал).

Рентген. 2,47 (10); 2,14 (4); 1,510 (3); 1,287 (2).

Делафоссит Delafossite $CuFeO_2$ (1847)

Триг. с. $R\bar{3}\,m$; $a = 3{,}04$; $c = 17{,}13$; $Z = 1$. Слабо магнитен.

Хим. Теор.: Cu 41,99; Fe 36,88; O 21,13. *Гайское* (Урал): Cu 43,09; Fe 38,62; V 0,68; O 19,6; Σ 101,99.

Микр. Листоватые, зернистые, волокнистые массы, пучки табличек, сферолиты (в лимоните), почкообразные выделения, края листочков часто зазубрены. Отраж. умеренное, близкое к тенориту, энаргиту (см. рис. 133). В контакте с медью весьма похож на гематит. Двуотраж. отчетливое от кремово-до розовато-коричневатого. Отчетливо анизотропен с синевато-серыми цв. эфф. Одноосный, отрицательный, погасание прямое, базальные сечения изотропные. Сов. сп. *по базису (вдоль спайности легко окисляется).* VHN 210—480.

Отл. В отличие от сходного тенорита характеризуется прямым погасанием, легко растворяется в HCl, не травится HNO_3 и $FeCl_3$.

Нахожд. В зоне окисления многих медных и медноколчеданных м-ний; ассоц.: куприт, тенорит, лимонит, медь, малахит, гематит, сульфиды Cu, магнетит.

Изуч. Сп.-130 — *Гайское.*

Рентген. 2,88 (2); 2,61 (2); 2,53 (10); 2,25 (4); 1,523 (5); 1,303 (3).

Цинкит Zinkite ZnO (1845)

Гекс. с. $C\ 6mc$; $a = 3{,}24$; $c = 5{,}18$; $Z = 2$; структура типа вюртцита.

Хим. Образует ограниченные растворы с MnO (до 10% MnO при 600°).

Микр. Ксеноморфные выделения. Отраж. ниже, чем у сфалерита, выше, чем у шпинели (см. рис. 133). Прозрачный. Эффекты анизотропии *замаскированы повсеместно проявленными желтыми до оранжево-красных* в. р. *H* значительно ниже, чем у франклинита, гауссманита; VHN 190—220).

Нахожд. Редкий. В скарновых и метаморфизованных Mn-Fe-Zn м-ниях, крайне бедных сульфидами; ассоц.: франклинит, гауссманит.

Изуч Сп.-458 — *Франклин* (США), колл. Л. Я. Крапивы.

Рентген. 2,79 (9); 2,459 (10); 1,901 (8); 1,623 (10); 1,491 (10); 1, 373 (10).

ОКСИДЫ Sn, Nb, W, Mo

Касситерит Cassiterite SnO_2 (1832)

Тетр. с. $P4/mnm$; $a = 4{,}73$; $c = 3{,}18$; $Z = 2$; $T_{пл}$ 1620°; при высоких T широкие области твердых растворов с рутилом, колумбитом, ильменорутилом, тапиолитом.

Хим. Близок к SnO_2. Примеси достигают: Fe 6; Ta и V 3; Ti, Nb и Sc 1; *другие примеси:* W, Zr, In. *Бакенное* (КазССР): SnO_2 94,03; Ta_2O_5 1,13; Nb_2O_5 0,39; Fe_2O_3 0,69; Al_2O_3 1,16; SiO_2 1,67; Σ 99,17 (данные И. Е. Максимюк).

Микр. Короткостолбчатые кристаллы, сростки, коленчатые дв., удлиненные до игольчатых кристаллы, округлые идиоморфные выделения, почковидные, «натечные» радиально-лучистые агрегаты («деревянистое» олово), мирмекитовые срастания с халькопиритом, галенитом. Отраж. низкое, темнее, чем у сфалерита. Двуотраж. очень слабое. Отчетливо анизотропен. В. р. повсеместные, желтые и коричневатые. Одноосный, положительный. Спектры отраж. пологие со слабо выраженной дисперсией нормального типа (рис. 134). Полируется трудно. *H* очень высокий, выше, чем у пирита; VHN 730—1530, обычно 1170—1330; у образцов со значительной примесью Nb, Ta заметно ниже.

Нахожд. Широко распространенный акцессорный минерал гранитов, гранитных пегматитов, обломочных пород. В грейзенах и сопутствующих кварцевых жилах в ассоц. с вольфрамитом, молибденитом, бериллом, топазом, фтормусковитом; в альбититах в ассоц. с колумбитом, тапиолитом; в сульфидно-касситеритовых м-ниях в ассоц. с халькопиритом, пирротином, сфалеритом, арсенопиритом, турмалином, хлоритом; в Ag-Sn, Sn-полиметаллических м-ниях часто как продукт гипогенного окисления станнина, сульфидов и сульфосолей Sn, Sn и Pb; в вулканогенных м-ниях Sn («деревянистое» олово); Au (с теллуристыми блеклыми рудами, моусонитом, станноидитом). Широко представлен в россыпях.

Изуч. Сп.-175 — *Бакенное*; исследован И. Е. Максимюк.

Рентген. 3,36 (8); 2,64 (7); 1,762 (10); 1,672 (4); 1,497 (4); 1,412 (5).

Колумбит Columbite (Fe, Mn) $(Nb, Ta)_2O_6$ (1802)

Ромб. с. *Pcan*; $a = 14{,}2$; $b = 5{,}73$; $c = 5{,}08$; $Z = 4$; неограниченная растворимость $FeNb_2O_6$—$MnNb_2O_6$—$FeTa_2O_6$—$MnTa_2O_6$; при высоких *T* образуются широкие области твердых растворов с TiO_2, SnO_2, ZrO_2, UO_2, $FeTiO_3$.

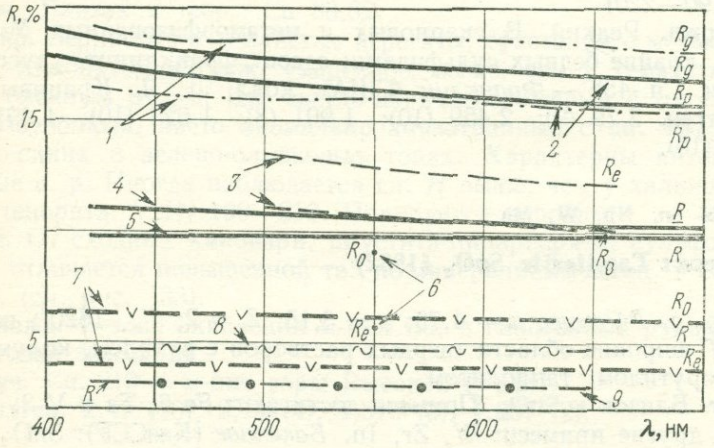


Рис. 134. Спектры отражения ферберита (*1*), колумбита (*2*), касситерита (*3*), андрадита (*4*), шеелита (*5*), сидерита (*6*), кальцита (*7*), кварца (*8*), флюорита (*9*)

Микр. Таблитчатые, пластинчатые и изометричные кристаллы и агрегаты, ориентированные срастания с касситеритом, самарскитом; *ламелли в касситерите. Отраж. низкое, близкое к сфалериту* (см. рис. 134). Цв. серый; двуотраж. слабое, в зернистых агрегатах отчетливое. Слабо анизотропен. Погасание прямое. В. р. красные, чаще наблюдаются у разновидностей, богатых Ta и Mn. Сп. в одном направлении. Часто дь. VHN 240—1020, зависит от содержания Ta.

Отл. Вольфрамит светлее и значительно менее тверд., с более отчетливыми двуотраж., анизотропией, косым погасанием.

Нахожд. *Характерный минерал альбитизированных субщелочных*, аляскитовых гранитов, в гранитных пегматитах, карбонатитах; ассоц.: касситерит, гемоильменит, ильменорутил, эвксенит, вольфрамит, рутил-Nb, пирохлор.

Рентген. 3,66 (7); 2,97 (10); 1,767 (6); 1,735 (7); 1,712 (8); 1,457 (9)

Вольфрамит Wolframite (Fe, Mn) WO_4 (1546)

Монокл. с. $P2/c$; гюбнерит $MnWO_4$: $a = 4{,}82$; $b = 5{,}76$; $c = 4{,}97$; $\beta = 90{,}88°$; $Z = 2$; ферберит $FeWO_4$: $a = 4{,}71$; $b = 5{,}69$; $c = 4{,}95$; $\beta = 90{,}0°$; $Z = 2$; *неограниченные твердые растворы* $FeWO_4$—$MnWO_4$, ограниченные с $ZnWO_4$ (до 18% ZnO) и $CaWO_4$ (до 0,5 % CaO).

Хим Теор. (ферберит): FeO 23,65; WO_3 76,35; гюбнерит: MnO 23,42; WO_3 76,58. Примеси достигают: Nb 2; Ta 1, Sc 0,2.

Микр. Таблитчатые, листоватые, пластинчатые, длиннопризматические кристаллы, псевдоморфозы по шеелиту. Отраж. низкое, близкое к сфалериту, значительно выше, чем у шеелита. *R* ферберита заметно выше, чем у гюбнерита (см. рис. 134). Двуотраж. заметное. Отчетливо анизотропен. В. р. густые красные, буровато-красные, густота их возрастает с ростом железистости, в ферберите наблюдаются с трудом. Оптические двуосный, положительный. Нередко зональный. Сов. сп. в одном направлении. VHN ферберита 260—420, обычно 390—415; гюбнерита 230—495, обычно 310—340.

Нахожд. Широко распространен в грейзенах и сопряженных кварцево-жильных м-ниях, отчасти в сульфидно-касситеритовых, Mo-порфировых и Cu-порфировых; ферберит, кроме того,— в низкотемпературных Hg, Sb-Hg рудах.

Рентген. Ферберит: 2,93 (10); 2,19 (8); 1,765 (8); 1,711 (10); 1,507 (8); 1,371 (7). Гюбнерит: 2,99 (10); 2,50 (7); 1,783 (8); 1,721 (7); 1,441 (7); 1,378 (7).

Шеелит Scheelite $CaWO_4$ (1821)

Тетр. с. $I4_1/a$; $a = 5{,}244$; $c = 11{,}375$; $Z = 4$; *неограниченная смесимость с* $CaMoO_4$ *и* $SrWO_4$ *выше 825°, с* $PbWO_4$ *выше 815°; при 500° содержит в твердом растворе до 1 %* $MnWO_4$ *или* $PbWO_4$.

Хим. Близок к теор. Примеси достигают: MoO_3 12 (чаще менее 0,5); Sr 1; TR 0,5.

Микр. Неправильной формы выделения, кристаллы, псевдоморфозы по вольфрамиту (пластинчатой формы). Отраж. очень низкое

($\sim$ 10 %), заметно выше, чем у кварца (см. рис. 134). Прозрачный. Двуотраж. незаметное. Отчетливо анизотропен, анизотропия маскируется интенсивными бесцветными в. р. Спектр отраж. близок к горизонтальному. С ростом содержания Mo отраж. слегка увеличивается. *H* ниже, чем у вольфрамита. VHN 385—465, обычно 390—410.

Отл. Интенсивно люминесцируют в УФ-лучах и под электронным пучком; в зависимости от содержания Mo цв. люминесценции меняется от голубоватого ($<$ 0,5 % Mo) до бледно-желтого ($\sim$ 2 % Mo) и желтого ($>$ 3—5 % Mo).

Нахожд. В известковых скарнах и сопутствующих кварцевых жилах с сульфидами (пирротин, молибденит, сульфиды Bi, арсенопирит), в плутоногенных кварцево-шеелитовых и золото-кварцевых жилах среди березитов и гумбеитов; как продукт замещения вольфрамита во всех типах его м-ний.

Изуч. Сп.-468 — *Лянгар* (Ср. Азия).

Рентген. 4,76 (5); 3,10 (10); 3,07 (3); 2,62 (2); 2,30 (2); 1,928 (3); 1,688 (2); 1,592 (3). По рентгенометрическим данным можно достаточно точно оценить содержание Mo.

Тугариновит Tugarinovite MoO_2 (1980)

Монокл. с. (?); $a = 5{,}95$; $b = 4{,}82$; $c = 5{,}51$; $\beta = 119{,}88°$.

Хим. Mo 74,8; O 25,2.

Микр. Призматические, тонкотаблитчатые кристаллы. Отраж. в большей части видимой области умеренно низкое, резко возрастает в крайних синей и красной частях (см. рис. 134). Двуотраж. сильное с плеохроизмом от светло-серого до темно-розового. Сильно анизотропен с цв. эфф. в палево-желтых и огненно-красных тонах. Спектры отраж. индивидуальны, пересекаются при 596 нм. Часто наблюдаются полисинт. дв. VHN 300.

Нахожд. Редкий. В полевошпатово-кварцевых метасоматитах; ассоц.: молибденит, уранинит, циркон (аршиновит), галенит, графит; образуется в восстановительной обстановке при дефиците S.

Изуч. Сп.-411 — синт. фаза, колл. В. А. Хвостовой.

Рентген. 3,91 (10); 2,412 (8); 1,716 (6); 1,703 (8); 1,398 (6).

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ЖИЛЬНЫЕ, НЕКОТОРЫЕ ГИПЕРГЕННЫЕ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Прозрачные минералы руд изучаются в проходящем свете. Однако при минераграфическом исследовании рудных минералов обычно возникает необходимость определения нерудных и вторичных минералов. Как показывает опыт, они с большей достоверностью могут быть диагностированы и в полированных шлифах. Необходимые сведения по этим минералам для краткости изложения и удобства сопоставления даны в табличной форме (табл. 35).

Таблица 35

Минерал (примеси)	Сингония и пространственная группа (плотность, г/см³)	Агрегаты; спайность	Отражения в главных сечениях	Наиболее характерные особенности минералов
1	2	3	4	5
		Карбонаты и сульфаты		
Церуссит $PbCO_3$	Ромб. *Pmcn* (6,4—6,6)	Зернистые, шестоватые, натечные	R_g 12,3 R_m 12,2 R_p 8,2 $\Delta R_{отн.}$ 0,34	Практически одноосный (—); самый светлый из карбонатов (светло-серый); анизотропия и двуотраж. очень сильные; тв. 3—3,5; в. р. повсеместные, бесцветные. Встречается в зоне окисления по галениту, нередко с реликтовыми треугольниками выкрошивания, часто замещает англезит; в отличие от англезита заметно светлее и очень сильно двуотраж.
Сидерит $FeCO_3$ (Mg, Mn, Ca, Zn)	Триг. $R\bar{3}c$ (3,89)	Зернистые, радиально-лучистые, оолиты; сов. $(10\bar{1}1)$	R_o 9,2 R_e 5,7 $\Delta R_{отн.}$ 0,37	Одноосный (—); значительно светлее кальцита (светло-серый); анизотропия и двуотраж. очень сильные; дв. не характерны; тв. 3,5—4; *H* выше, чем у кальцита, близок со сфалеритом; сп. в шлифах наблюдается часто; в. р. повсеместные, бесцветные. В рудах встречается реже кальцита; ассоц.: широкий круг сульфидов, оксиды Fe, кварц, барит; легко замещается лимонитом
Смитсонит $ZnCO_3$ (Fe, Mn, Mg, Cu)	Триг. $R\bar{3}c$ (4,1—4,5)	Натечные, плотные, землистые; сов. $(10\bar{1}1)$	R_o 8,9 R_e 5,6 $\Delta R_{отн.}$ 0,37	Одноосный (—); как и сидерит сильно светлее кальцита (светло-серый); анизотропия и двуотраж. очень сильные; дв. не наблюдались; тв. 5, выше, чем у сидерита; в. р. повсеместные, бесцветные; часто ритмично-зональный. Встречается в зоне окисления; с холодной HCl не реагирует
Доломит $CaMg(CO_3)_2$ (Fe, Mn, Zn)	Триг. $R\bar{3}$ (2,87)	Зернистые, почковидные, плотные; сов. $(10\bar{1}1)$	R_o 6,4 R_e 4,0 $\Delta R_{отн.}$ 0,37	Одноосный (—); серый; отраж. и *H* как у кальцита; дв. реже, чем у кальцита; анизотропия и двуотраж. очень сильные; тв. 5—4; в. р. повсеместные, бесцветные; часто идиоморфен. В рудных жилах встречается реже, чем кальцит; от HCl вскипает медленнее, чем кальцит

Продолжение табл. 35

Минерал (примеси)	Сингония и пространственная группа (плотность, г/см³)	Агрегаты; спайность	Отражения в главных сечениях	Наиболее характерные особенности минералов
1	2	3	4	5
Кальцит $CaCO_3$ (Mg, Mn, Fe)	Триг. $R\bar{3}c$ (2,72)	Плотные, зернистые; сов. $(10\bar{1}1)$	R_o 6,2 R_e 3,9 $\Delta R_{отн.}$ 0,37	Одноосный (—); самый темный из карбонатов (как доломит): в направлении R_o светлее кварца, в направлении R_e — темнее; анизотропия и двуотраж. очень сильные; дв. обычны; тв. 3; в. р. повсеместные, бесцветные. Широко распространен в рудных жилах; от HCl бурно вскипает
Англезит $PbSO_4$ (Ba)	Ромб. *Pnma* (6,30)	Зернистые, плотные; сов. (001)	R_g 9,5 R_m 9,3 R_p 9,3 $\Delta R_{отн.}$ 0,01	Практически одноосный (+), воспринимается как изотропный; сп. не наблюдалась; тв. 3; *H* едва заметно выше, чем у галенита; в. р. повсеместные, бесцветные; часто зональный. Гипергенный — замещает галенит, в пустотах образует кристаллы. Тяжелый — плотность выше, чем у барита. Пленки англезита на сульфидах ухудшают флотацию
Барит $BaSO_4$ (Sr, Ca, Pb)	Ромб. *Pnma* (4,5)	Таблитчатые, шестоватые, зернистые; сов. (001), (210)	R_g 6,0 R_m 5,9 R_p 5,8 $\Delta R_{отн.}$ 0,03	Воспринимается как изотропный; заметно светлее кварца; тв. 3; в. р. повсеместные, бесцветные; похож на целестин, апатит, ангидрит. Обычен в близповерхностных сульфидных рудах. Характерна высокая плотность («тяжелый шпат»); в HCl не растворим
Силикаты				
Титанит $CaTiSiO_5$	Монокл. *C*2/*c* (3,29—3,56)	Обычно кристаллы клиновидной формы	R_g 12,3 R_m 10,1 R_p 9,9 $\Delta R_{отн.}$ 0,20	Близок к одноосному (+); отраж. по сравнению с жильными минералами довольно высокое (светло-серый); анизотропия и двуотраж. отчетливые; тв. высокая 5—6; в. р. повсеместные, бесцветные, желтоватые; похож на касситерит, циркон. Акцессорный в магматических породах, пегматитах, рудных жилах; развивается по ильмениту, нередко замещается ассоц. кварца, рутила, кальцита

Циркон $ZrSiO_4$ (Hf, Y, Th, U)	Тетр. $I4_1/amd$ (4,7)	Обычно кристаллы короткостолбчатые, изометричные	R_e 11,3 R_o 10,5 $\Delta R_{отн.}$ 0,07	Одноосный (+); светло-серый; анизотропия и двуотраж. очень слабые; тв. высокая 7—8; в. р. обильные, чаще бесцветные; обычно зональный; в отличие от касситерита лучше полируется; метамиктный циркон изотропен, имеет более низкие отраж. и тв. Обычный акцессорный минерал магматических пород, нередок в кварцевых жилах с сульфидами
Ильваит $CaFe_2^{2+}Fe^{3+}\times$ $\times[OH(O)Si_2O_7]$ (Mn, Sn)	Ромб. $Pcmn$ (3,8—4,1)	Зернистые, лучисто-шестоватые, тонковолокнистые	R_g 10,0 R_m 9,5 R_p 9,3 $\Delta R_{отн.}$ 0,07	Близок к одноосному (+); светло-серый; двуотраж. отчетливое с плеохроизмом; по R_g — розовато-сиреневый, по R_p — голубоватый; сильно анизотропен в оранжево-красных, синевато-серых тонах; почти непрозрачен, в. р. красновато-бурые, заметны иногда и только в иммерсии; наблюдались дв. и зональное строение; тв. высокая 5,5—6; H выше, чем у магнетита и ниже, чем у гематита; похож на людвигит. Обычен в скарнах с гранатом, магнетитом, сульфидами Fe, Cu; редко в Cu-Ni рудах
Андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ (Al, Ti, Mn)	Куб. $Ia3d$ (3,87)	Зернистые агрегаты, изометричные кристаллы	R 9,5	Изотропный, иногда аномально анизотропный; светло-серый; тв. высокая 6,5; в. р. обильные — бесцветные красные, зеленоватые; полируется хорошо; часто зонален; от циркона, касситерита отличается изометричной формой кристаллов, изотропностью. Обычен в скарнах, часто рудовмещающий
Оливин (форстерит) $(Mg, Fe)_2SiO_4$	Ромб. $Pbnm$ (3,2—4,3)	Зернистые	R_g 6,3 R_m 6,0 R_p 5,8 $\Delta R_{отн.}$ 0,10	Отраж. низкое, серый; анизотропия и двуотраж. слабые; в. р. бесцветные, зеленоватые; тв. высокая 6,5—7; H несколько выше, чем у магнетита; характерны трещины отдельности, изометричная форма зерен, ассоц. с минералами основных пород; нередко содержит тонкие вростки магнетита. Оливин типичен для Cu-Ni руд, богатых Fe. Порошок бурно разлагается концентрированной H_2SO_4
Диопсид $CaMgSi_2O_6$ (Fe, Al, Ti, Na, Mn, Cr, V)	Монокл. $C2/c$ (3,37—3,38)	Шестоватые, радиально-лучистые; сов. (110)	R_g 6,7 R_m 6,3 R_p 6,2	Близок к одноосному (+); отраж. низкое, но заметно светлее кварца (серый); анизотропия и двуотраж. очень слабые; тв. высокая 5,5—6; в. р. повсеместные бесцветные. Породообразующий; в скарнах — обычно члены

Продолжение табл. 35

Минерал (примеси)	Сингония и пространственная группа (плотность, г/см³)	Агрегаты; спайность	Отражения в главных сечениях	Наиболее характерные особенности минералов
1	2	3	4	5
			$\Delta R_{отн.}$ 0,06	изоморфного ряда диопсид ($CaMgSi_2O_6$) — геденбергит ($CaFeSi_2O_6$)
Турмалин (шерл) $NaFe_3Al_6[(BO_3)_3\times$ $\times Si_6O_{18}](OH, F)_{1-3}$ (Mg, Mn, Ca, Ti)	Триг. $R3m$ (2,90—3,25)	Столбчатые, шестоватые, радиально-лучистые	R_o 6,3 R_e 5,9 $\Delta R_{отн.}$ 0,06	Одноосный (—); темно-серый; анизотропия и двуотраж. очень слабые; в. р. бесцветные, бурые, реже — зеленоватые; тв. 7—7,5; очень характерны сечения в форме сферического треугольника, в удлиненных сечениях поперечная отдельность. Широко распространен, особенно в грейзенах, и высокотемпературных жилах с сульфидами
Тремолит $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]\times$ $\times(OH)_2$ (Fe, Al, Mn)	Монокл. $C2/m$ (2,96)	Шестоватые, волокнистые, тонко-лучистые; сов. (110)	R_g 5,6 R_m 5,5 R_p 5,3 $\Delta R_{отн.}$ 0,05	Темно-серый; анизотропия и двуотраж. очень слабые; в. р. бесцветные; тв. 5,5; похож на пироксены. Встречается в скарновых магнетитовых и медных рудах, нередко в значительных количествах
Мусковит $KAl_2[AlSi_3O_{10}]\times$ $\times(OH)_2$ (Mn, Ba, Cr, Fe), (Mg, Ca, Na, Li)	Монокл. $C2/c$ (2,76—3,10)	Листоватые, чешуйчатые; весьма сов. (001)	R_g 5,2 R_m 5,1 R_p 4,7 $\Delta R_{отн.}$ 0,08	Близок к одноосному (—); анизотропия и двуотраж. практически незаметны. Число мусковитоподобных минералов, свойства которых в отраж. свете близки, очень велико: серицит, хлориты, биотит, серпентин и др.; все эти минералы бесцветны, имеют низкое отраж. (темно-серые), которое снижается из-за весьма сов. сп. и плохой полируемости; тв. низкая 2—3; в. р. повсеместные бесцветные
Кварц SiO_2	Триг. $P3_121$ (2,65)	Зернистые агрегаты, призматические кристаллы	R_e 4,7 R_o 4,6 $\Delta R_{отн.}$ 0,02	Воспринимается как изотропный; темно-серый; тв. 7; в. р. повсеместные бесцветные (нередко из-за интерференции радужные). Обычно главный жильный минерал. Оптический кварц (бесцветный) почти совершенно проницаем для УФ-лучей до $\lambda = 210$ нм

Продолжение табл. 35

Минерал (примеси)	Сингония и пространственная группа (плотность, г/см³)	Агрегаты; спайность	Отражения в главных сечениях	Наиболее характерные особенности минералов
1	2	3	4	5
		Фториды		
Флюорит CaF_2 (Y, Ce)	Куб. *Fm3m* (3,18)	Зернистые, столбчатые, *натечные*; сов. (111)	*R* 3,1	Изотропный; самый низкоотраж. из жильных минералов — темнее кварца (темно-серый); в. р. повсеместные бесцветные; тв. 4; *H* близок к халькопириту; похож на гипс и некоторые цеолиты. Широко распространен в рудах различного генезиса; ассоц.: кварц, барит, карбонаты, сульфиды. Полностью разлагается концентрированной H_2SO_4

Примечания. 1. В таблице приведены сведения только о сов. и весьма сов. сп. 2. Значения отражения вычислены из *n* по формуле *Френеля*; *измеренные* величины *R* приведены в прилож. 3; подчеркнуты значения отражения в круговых сечениях минералов. 3. Твердость дана по шкале Мооса. 4. При составлении таблицы использованы данные Е. Ларсена, А. Н. Винчелла, Г. Винчелла, В. Е. Трёгера, У. А. Дира, Р. А. Хауи, Д. Ж. Зусмана

Приложение 2
(*приложение* 1 см. вкладку)

Систематизация минералов в порядке снижения отражения их в белом свете (R_{max} при λ 550 нм)

Минерал	R, %	Минерал	R, %
Минералы светлее пирита		Теллуровисмутит	64—59*
		Альгодонит	63
Серебро	95*	Никель	63
Кюстелит	89*	Нисбит	62*
		Мелонит	62—57*
Электрум	88*	Ауростибит	61*
Стистаит	82	Медь	61*
Анимикит	79*	Сейняйокит	61
Золото	76*	Крутовит	61*
Мошелландсбергит	75	Кавацулит	61
Сурьма	75—72*	Жозеит B	61—54*
Парадокразит	74—68	Мальдонит	60*
Парашахнерит	74—71	Железо	60*
Шахнерит	72	Парараммельсбергит	60—59*
Алларгентум	72*	Раммельсбергит	60—57*
Колымит	72*	Раклиджит	60—56*
Алтаит	70*	Тетрадимит	60—53*
Витнеит	68	Сильванит	60—50*
		Рожковит	59—55
Монтбрейит	68—57*	Креннерит	59—55*
Теллур	68—61*	Киткаит	58—53
Купроаурит	67*	Когенит	58—56
		Мышьяк	58—49*
Хедлиит	67—62*	Скуттерудит	57*
Аурикуприт	66*	Хизлевудит	57—53*
Дискразит	66*	Гудмундит	57—52*
Висмут	66—58*	Марказит	57—50*
Стибарсен	66—61	Сульфоцумоит	57—54*
Калаверит	65—58*	Костовит	57—46*
Аваруит	64	Жозеит A	56—53*
Теллурантимонит	64—61*	Ингодит	56—52*
Цумоит	64—60*	Новакит	56—51
Пильзенит	64—60*	Никельскуттерудит	55*

Продолжение приложения 2

Минерал	*R*, %
Свинец	55*
Лёллингит	55—54*
Поубаит	55—54
Парагуанахуатит	55—51
Невскит	55—50
Миллерит	55—50*
Au_3Cu	53*
Пирит	54*
Минералы темнее пирита — светлее галенита	
Кобальтпентландит	54
Богдановичит	54*
Саффлорит	54—52*
Клиносаффлорит	54—52
Пентландит	53*
Волынскит	53*
Арсенопирит	53—52*
Глаукодот	53—51*
Маттагамит	53—50
Лайтакарит	53—49*
Хастит	53—47
β-домейкит	53—50
α-домейкит	52
Клаусталит	52*
Годлевскит	52—51
Алексит	52—51*
Никелин	52—48*
Трюстедтит	51
Фробергит	51—50*
Ферроселит	51—45*
Аллоклазит	51—48*
Канницарит	51—49
Вожминит	51—48
Паркерит	51—46
Висмутин	51—38
Кобальтин	50*
Маухерит	50*
Паксит	50—44
Гуанахуатит	50—40
Гладит	50—40*
Брейтгауптит	50—38*
Халькопирит	49*
Борнхардтит	49

Минерал	*R*, %
Орселит	49—47
Гаухекорнит	49—46
Икунолит	49—45
Бенжаминит	49—42
Джуноит	49—41
Крупкаит	49—39*
Орегонит	48
Виллиамит	48
Паракостибит	48—47,5
Галеновисмутит	48—46
Павонит	48—44
Теллурогаухекорнит	48—44
Тучекит	48—43
Вестервелдит	48—43
Айкинит	48—39*
Эмпрессит	48—35*
Молибденит-3*R*	48—23*
Линнеит	47*
Тиррелит	47
Висмутогаухекорнит	47
Арсенгаухекорнит	47—46
Лангисит	47—46
Соучекит	47—44
Тиллит	47—43
Ширмерит	47—42
Виттит	47—41
Хаммарит	47—39
Берриит	47—39
Пяккёненит	47—37
Антимонит	47—31*
Зигенит	46*
Костибит	46
Герсдорфит	46*
Полидимит	45*
Ульманит	46*
Матильдит	46—44
Петровицит	46—45
Ашамальмит	46—43
Эскимоит	46—43
Смайтит	46—42
Гиссенит	46—42
Козалит	46—41
Линдстрёмит	46—41
Густавит	46—41
Герценбергит	46—41
Фридрихит	46—40
Вейбуллит	46—40
Лиллианит	46—38

Продолжение приложения 2

Минерал	R, %
Купростибит	46—37*
Молибденит-2*H*	46—23*
Макинавит	46—21*
Хейровскиит	45—41
Кобеллит	45—40
Наффилдит	45—39*
Виоларит	44*
Флетчерит	44
Пирит сурьмянистый	44*
Пентландит медистый	44*
Галенит	44*
Минералы темнее галенита — светлее тетраэдрита	
Викингит	44—43
Полковичит	44—43
Бурсаит	44—41
Дэдсонит	44—39
Джемсонит	44—38*
Лонэит	44—37
Менегинит	44—36*
Буланжерит	44—36*
Гетероморфит	44—34*
Цинкенит	43—38*
Фюлёппит	43—38
Халькостибит	43—38*
Ходрушит	43—37
Веенит	43—37
Тинтинаит	43—36
Робинсонит	43—34
Бертьерит	43—30*
Трогталит	42
Карролит	42*
Кутинаит	42
Овихиит	42—40*
Коутекит	42—39
Арамайоит	42—39
Бенавидесит	42—39
Эмплектит	42—37*
Семсейит	42—37
Сорбиит	42—37
Фалькманит	42—34
Гаравелит	42—33
Андорит	42—36*
Плагионит	42—33*

Минерал	R, %
Вулканит	42—16*
Джайпурит	41*
Геокронит	41—39*
Штютцит	41—40
Нагиагит	41—38*
Купровисмутит	41—37
Фрейслебенит	41—37*
Твиннит	41—36*
Геттардит	41—36
Троилит	41—36*
Рамдорит	41—36
Безсмертновит	40*
Моддерит	40
Гессит	40—39*
Карлинит	40—39
Иорданит	40—38*
Рейит	40—37
Баумгауерит	40—36
Плэйфэрит	40—36
Диафорит	40—36*
Мэдокит	40—35
Кубанит	40—35*
Пирротин монокл.	40—34*
Ливингстонит	40—30*
Парапьерротит	40—29
Ni-путоранит	39*
Блокит	39*
Петцит	39*
Твалчрелидзеит	39—37*
Физелиит	39—36*
Стерриит	39—36
Дюфренуазит	39—36
Ратит	39—34
Пирротин гекс.	39—33*
Талнахит	38*
Мутманнит	38*
Гатчит	38
Валлисит	38
Цилиндрит	38—35
Сарторит	38—34
Колорадоит	37*
Ленгенбахит	37
Эвкайрит	37—36*
Грейтонит	37—37*
Вейсбергит	37—35
Франкеит	37—34*
Аргентопирит	37—30

Продолжение приложения 2

Минерал	R, %
Миаргирит	37—30*
Дрисдалит	37—22
Клокманнит	37—15*
Науманнит	36*
Моихукит	36*
Смитит	36—34
Бурнонит	36—34*
Виттихенит	36—33*
Шабурнеит	36—31
Эскеборнит	36—28*
Штернбергит	36—27*
Селен	36—26*
Грейгит	35*
Путоранит	35*
Агвиларит	35*
Фурутобеит	35—33
Ардаит	35—32
Зелигманнит	35—31*
Пьерротит	35—31
Ютенбогардтит	35—30
Рохаит	35—24
Хакит	34*
Круксит	34—33*
Аркубисит	34—32
Михараит	34—32*
Пенжинит	34—31
Пирсеит	34—28*
Балканит	34—28
Хенриит	33
Каттьерит	33
Халькозин	33*
Акантит	33*
Груздевит	33*
Ялпаит	33—31
Полибазит	33—31*
Инкаит	33—29
Скиннерит	33—29
Лорандит	33—28*
Рагинит	33—25
Патронит	33—20
Ag-тетраэдрит	33*
Тетраэдрит	32*
Минералы темнее тетраэдрита — светлее теннантита	
Жиродит	32
Hg-тетраэдрит	32*

Минерал	R, %
Вейссит	32
Ваэсит	32
Ларозит	32—30
Лаффитит	32—30*
Дюранузит	32—30
Врбаит	32—29
Маккинстриит	32—28*
Кермезит	32—27*
Голдфилдит	31*
Фрейбергит	31*
Жеффроит	31
Арсеносульванит	31*
Лазаревичит	31
Лаутит	31*
Стефанит	31—30*
Самсонит	31—30
Буковит	31—30*
Родостаннин	31—29
Пираргирит	31—28*
Гетчелит	31—28*
Халькоталлит	31—27*
Гематит	31—27*
Пикополит	31—24
Аннивит	30*
Фишессерит	30*
Тиманнит	30*
Акташит	30*
Эллисит	30
Гутчинсонит	30—29
Джарлеит	30—29
Рутьерит	30—28
Сабатьерит	30—28
Идаит	30—27
Штромейерит	30—27*
Киноварь	30—25*
Богдановит	30—6*
Аргентопентландит	29*
Манганшадлунит	29
Синнерит	29*
Расвумит	29—15
Беллидоит	28
Метастибнит	28*
Чаткалит	28
Станнин	28*

Продолжение приложения 2

Минерал	R, %
Джезказганит	28*
Берцелианит	28*
Бриартит	28*
Бетехтинит	28—27*
Талкусит	28—27*
Моусонит	28—26*
Энаргит	28—25*
Люцонит	28—25*
Гортдрамит	28—25
Прустит	28—24*
Аурипигмент	28—19*
Колусит	27*
Сульванит	27*
Теннантит	27*
Минералы темнее теннантита — светлее сфалерита	
Христит	27
Мгриит	27
Шамеанит	27; 26
Реньерит	27—25*
Ксантоконит	27—23
Окартит	26
Черниит	26
Курамит	26*
Мохит	26
Великит	26*
Куприт	26*
Пиростильпнит	26
Фаматинит	26—23
Станноидит	26—22*
Атабаскаит	26—18
Талфенисит	25
Шадлунит	25
Илдит	25*
Биллингслеит	25*
Гиперциннабарит	25
Онофрит	25*
Кёстерит	25*
Перминжатит	25,5—25,4*
Сарабауит	25—20

Минерал	R, %
Тунгстенит	25—13*
Гвадалкацарит	24*
Метациннабарит	24*
Канфильдит	24*
Аргиродит	24*
Галлит	24*
Хемусит	24
Галхаит	24*
Пиркитасит	24—23
Вакабаяшилит	24—21*
Нукундамит	24—17*
Билибинскит	24—5*
Джерфишерит	23*
Алабандин	23*
Дигенит	23
Вилламанинит	23
Кадмоселит	23*
Рутил	23—20*
Делафоссит	23—19*
Ковеллин	23—6*
Германит	22*
Рокезит	22*
Сакураиит	22
Дервиллит	22
Бартонит	22—21
Валлериит	22—14*
Борнит	21*
Реальгар	21—19*
Спионкопит	21—16
Тугариновит	21—15*
Ярроуит	21—12
Графит	21—7*
Магнетит	20*
Мурунскит	20
Гринокит	20*
Вюртцит	20*
Штиллеит	20*
Трехманнит	20

Продолжение приложения 2

Минерал	R, %
Ильменит	20—17*
Риккардит	20—12*
Анатаз	19—18
Ферберит	19—16
Маггемит	18*
Ферроколумбит	18
Франклинит	18*
Точилинит	18—9
Сфалерит	18*
Минералы темнее сфалерита	
Полхемусит	18—17
Хромит	17; 13*
Алмаз	17*
Теллурит	17*
Манган-танталит	17—15
Гётит	17—15*
Уранинит	16*
Настуран	15*
Умангит	17—13*
Валентинит	16—14
Сера	15—11*
Бромаргирит	15
Йодаргирит	14,3
Кулсонит	14
Касситерит	13—11
Цинкит	12*
Хлораргирит	12
Перцилит	12
Болеит	12
Титанит	12—10
Церуссит	12—8
Андрадит	11*
Циркон	11—10
Форстерит	11—9
Шеелит	10*
Ильваит	10—8*
Герцинит	9*
Коффинит	9*
Смитсонит	9—6
Сидерит	9—6*
Англезит	9
Диопсид	8—7
Шерл	8
Тремолит	6
Барит	6
Доломит	6—4
Кальцит	6—4
Мусковит	5
Кварц	4,7
Флюорит	3

Примечания: 1. Для анизотропных двуотражающих минералов приведены значения R_{max} и R_{min}; подчеркнуты значения R изотропных минералов и постоянные значения R одноосных и близких к ним двуосных минералов. 2. Звездочкой отмечены значения R, полученные авторами.

Приложение 3

Отражение (в %) и двуотражение (в долях ед.) рудных минералов в интервале

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Аваруит	1	$\underline{R}$	—	61,3	62,2	62,3	63,4	63,8	64,0	64,2	64,4
Агвиларит	2	$\underline{R}$	—	36,0	36,0	36,2	36,5	36,6	36,4	35,8	34,9
Айкинит	3	R_g	—	45,6	45,9	46,2	46,8	47,4	47,6	47,8	47,6
		R_p	—	38,7	39,0	39,3	39,6	39,9	39,7	39,5	39,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
Акантит	4	R	34,0	34,3	34,6	34,8	34,8	34,5	33,9	32,9	32,1
Акташит	5-1	»	—	29,8	29,9	30,1	30,2	30,2	29,9	29,7	29,4
Акташит-Sb	5-2	»	—	31,3	31,4	31,6	31,6	31,6	31,6	31,5	31,4
Алабандин	7	$\underline{R}$	—	26,2	25,2	24,6	24,0	23,4	23,0	22,7	22,4
Алексит	8	R_g	50,2	50,7	51,0	51,4	51,8	52,0	52,2	52,4	52,6
		R_p	48,5	49,0	49,3	49,7	50,1	50,3	50,5	50,8	51,0
		$\Delta R_{отн}$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Алларгентум	9	R	64,4	65,7	67,0	68,1	69,2	70,1	70,9	71,5	72,1
Аллоклазит	10	R_2	48,3	48,3	48,5	49,0	49,5	50,1	50,6	51,2	51,6
		R_1	50,6	49,9	49,2	48,5	48,2	48,0	48,0	48,0	48,1
		$\Delta R_{отн}$	0,05	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Алмаз	11	$\underline{R}$	—	17,6	17,5	17,5	17,4	17,4	17,4	17,3	17,2
Алтаит	12-1	»	—	67,6	68,2	68,9	69,7	70,2	70,7	70,2	69,5
»	12-2	$\underline{R}$	—	65,0	66,3	67,5	68,6	69,4	69,8	69,3	68,5
Альгодонит	13	R	—	55,5	56,8	58,2	59,4	60,6	61,8	62,8	63,8
Андрадит	18	$\underline{R}$	11,2	11,1	11,0	10,9	10,8	10,8	10,7	10,7	10,6
Андорит	17	R_g	42,7	42,7	42,6	42,5	42,4	42,3	42,1	41,8	41,4
		R_p	38,0	38,0	37,8	37,4	37,1	36,8	36,4	36,0	35,6
		$\Delta R_{отн}$	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
Аннивит	20-1	$\underline{R}$	30,0	30,0	29,9	29,9	29,8	29,8	29,8	29,9	29,9
»	20-2	»	30,6	30,7	30,5	30,4	30,2	30,1	30,1	30,2	30,3
»	20-3	»	—	31,0	30,5	30,1	29,9	29,8	29,7	29,7	29,7
Анимикит		$\underline{R}$	67,9	69,8	71,8	73,5	75,1	76,5	77,8	78,8	79,8
Антимонит	21	R_g	51,4	51,6	52,0	51,9	51,4	50,6	49,3	47,8	46,3
		R_p	30,8	30,8	30,8	30,9	31,2	31,4	31,4	31,2	30,7
		$\Delta R_{отн}$	0,40	0,40	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34
Арамайоит	22	R_g	—	45,6	45,3	44,6	43,8	43,2	42,6	42,2	42,0
		R_p	—	40,5	40,5	40,4	40,1	39,8	39,6	39,0	38,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,09
Аргенто.гент-ландит	23	$\underline{R}$	21,7	22,2	23,0	23,9	25,0	26,3	27,5	28,8	30,0
Аргентоирит	24	R_g	31,7	32,5	33,2	34,0	34,7	35,4	36,0	36,5	37,0
		R_p	25,4	26,1	26,7	27,3	27,9	28,5	29,2	29,8	30,4
		$\Delta R_{отн}$	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18
Аргиродит	25	R	—	26,2	25,7	25,2	24,8	24,6	24,5	24,3	24,2
Ардаит	26	R_g	—	—	33,2	33,9	34,4	34,8	35,1	35,1	35,0
		R_p	—	—	31,3	31,8	32,1	32,2	32,3	32,2	32,0
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
Аркубисит	27	R_2	—	—	33,4	33,8	33,6	33,9	33,2	33,7	33,7
		R_1	—	—	33,6	33,5	33,1	32,5	32,1	32,1	31,8
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,01	0,01	0,01	0,04	0,03	0,05	0,06

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
64,8	65,2	65,7	66,2	66,7	67,3	68,0	63,1	64,3	64,4	65,0	66,4	[50]
34,0	33,5	32,8	32,4	32,2	32,0	31,8	36,3	35,5	35,1	33,7	32,3	Чукотка
47,3	47,0	46,7	46,4	46,1	45,7	45,4	46,4	47,8	47,7	47,2	46,2	*Березовское*
39,2	39,0	39,0	38,9	38,8	38,8	38,6	39,5	39,4	39,3	39,0	38,8	
0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,17	0,18	0,17	0,16	
31,4	30,9	30,5	30,3	30,0	29,8	29,8	34,8	32,6	32,3	31,2	30,2	*Фрейберг*
29,2	29,1	29,0	28,9	28,8	28,7	28,6	30,2	29,6	29,5	29,2	28,8	*Гал-Хая*
31,2	30,9	30,8	30,5	30,3	30,1	30,0	31,6	31,4	31,4	31,1	30,4	*Хайдаркан*
22,2	22,0	22,0	21,9	21,8	21,7	21,7	24,2	22,6	22,5	22,1	21,8	*Дастакерт*
52,6	52,6	52,6	52,5	52,4	52,3	52,2	51,6	52,5	52,5	52,6	52,5	Урал
51,0	51,0	51,0	50,8	50,7	50,6	50,4	49,9	50,9	50,9	51,0	50,8	
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
72,5	73,0	73,3	73,5	73,8	73,9	74,1	68,6	71,6	71,9	72,7	73,6	Синт. фаза
51,8	51,8	51,8	51,7	51,5	51,3	51,0	49,2	51,4	51,5	51,8	51,6	*Бу-Аззер*
48,2	48,3	48,4	48,6	48,7	48,8	48,9	48,4	48,1	48,1	48,3	48,6	
0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,06	0,07	0,07	0,06	
17,2	17,2	17,1	17,1	17,1	17,0	17,0	17,4	17,2	17,2	17,2	17,1	Вычислено по *n*
68,3	66,9	65,4	64,1	62,9	61,7	60,6	69,3	70,1	69,8	67,7	63,5	КазССР
67,2	65,7	64,6	63,2	62,5	61,6	60,8	—	—	—	—	—	»
64,7	65,5	66,2	66,8	67,3	67,7	68,0	58,8	63,0	63,4	65,0	67,0	[50]
10,5	10,4	10,4	10,3	10,3	10,3	10,3	10,8	10,6	10,6	10,5	10,3	КазССР
40,9	40,3	39,8	39,2	38,6	38,1	37,6	42,5	41,7	41,6	40,7	38,9	Приморский край
35,1	34,6	34,6	33,8	33,5	33,1	32,8	37,3	35,9	35,7	34,9	33,6	
0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	
29,9	29,8	29,6	29,4	29,2	29,0	28,7	—	—	—	—	—	*Тырныауз*
30,4	30,4	30,4	30,2	29,9	29,5	29,0	—	—	—	—	—	»
29,9	30,2	30,4	30,3	30,1	30,0	29,8	30,0	29,7	29,7	30,0	30,2	[35]
80,6	81,2	81,8	82,2	82,7	83,1	83,4	74,3	79,1	79,5	80,8	82,5	Синт. фаза
45,0	44,0	43,0	42,4	41,7	41,2	40,6	51,7	47,3	46,7	44,4	42,0	*Удерей*
30,2	29,8	29,6	29,6	29,9	30,1	30,2	31,0	31,1	30,8	30,0	29,8	
0,33	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,40	0,34	0,34	0,32	0,29	
41,6	41,0	40,5	39,9	39,2	38,6	38,2	44,2	42,1	42,0	41,3	39,5	[50]
37,4	36,3	35,5	34,7	34,0	33,5	33,0	40,2	38,8	38,5	36,8	34,3	
0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,09	0,08	0,08	0,11	0,13	
31,2	32,4	33,4	34,5	35,3	36,0	36,8	24,5	29,2	29,6	31,7	34,9	Вост. Сибирь
37,5	38,0	38,4	38,7	38,9	39,1	39,2	34,4	36,8	36,9	37,8	38,8	[43]
31,0	31,6	32,3	32,9	33,5	34,1	34,5	27,6	30,1	30,3	31,3	33,2	
0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,20	0,18	0,18	0,17	0,14	
24,2	24,3	24,4	24,5	24,6	24,7	24,8	25,0	24,3	24,2	24,3	24,5	*Фрейберг*
34,7	34,3	33,9	33,4	32,8	32,2	31,8	34,2	35,1	35,0	34,6	33,1	По
31,7	31,4	31,1	30,8	30,6	30,4	30,3	32,0	32,2	32,0	31,6	30,7	Н. Н. Мозговой
0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08	0,09	0,07	
33,9	33,7	34,1	33,5	33,4	—	—	33,7	33,7	—	33,8	33,4	По С. Каруп-Меллеру
31,4	31,2	31,0	31,0	30,9	—	—	33,3	32,0	—	31,3	31,0	
0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	—	—	0,01	0,05	—	0,07	0,07	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Арсенопирит (торцовое сечение)	29	R_2	—	48,0	48,9	49,9	50,8	51,5	52,1	52,6	53,0
		R_1	—	51,9	52,1	52,3	52,4	52,4	52,3	52,0	51,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
То же (призматическое сечение)	29	R_2	—	49,8	50,3	50,9	51,5	51,9	52,1	52,4	52,6
		R_1	—	47,3	48,2	49,2	50,0	50,7	51,3	51,9	52,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Арсеносульванит (As-колусит)	31	$\underline{R}$	—	24,0	25,0	26,0	27,1	28,2	29,5	30,9	31,8
Атабаскаит	32	R_g	—	25,2	25,3	25,4	25,5	25,6	25,6	25,5	25,4
		R_p	—	19,9	19,6	19,3	19,0	18,6	18,3	17,8	17,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31
Аурикуприт	33	$\underline{R}$	48,1	50,7	53,6	55,4	56,7	58,0	59,5	62,6	70,3
Аурипигмент	34	R_g	—	34,9	33,3	31,9	30,9	30,0	29,1	28,6	28,1
		R_p	—	25,9	24,2	22,8	21,4	20,5	19,7	19,2	18,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,26	0,27	0,28	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33
Ауростибит	35	$\underline{R}$	—	58,7	58,8	59,2	59,7	60,1	60,6	61,1	61,5
Балканит	37	R_g	—	35,0	35,4	35,6	35,4	35,0	34,4	34,0	33,4
		R_p	—	30,0	30,6	31,0	31,0	30,2	28,9	28,0	27,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,16	0,18	0,18
Бартонит	40	R_e	—	14,4	17,2	18,6	19,5	20,6	21,4	21,8	22,7
		R_o	—	16,7	17,7	18,4	19,4	19,7	20,3	20,9	21,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,13	0,03	0,01	0,00	0,04	0,05	0,04	0,03
Баумгауерит	41	R_g	—	43,5	43,2	42,8	42,3	41,8	41,2	40,5	39,7
		R_p	—	39,6	39,1	38,5	38,0	37,4	36,7	36,0	35,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12
Безсмертновит	42	R	—	15,1	15,1	15,7	17,5	21,2	29,0	37,5	45,6
Бенавидесит	44	R_g	42,0	42,0	42,0	42,4	43,0	42,9	42,7	42,4	42,2
		R_p	40,7	39,2	39,3	39,5	39,9	39,7	39,5	39,0	38,9
		$\Delta R_{отн}$	0,03	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
Бенжаминит	45	R_g	—	—	50,7	50,5	51,4	50,7	49,9	49,1	48,3
		R_p	—	—	41,6	41,7	41,8	41,6	41,4	41,6	41,5
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14
Бертьерит	48	R_g	—	45,9	45,6	45,2	44,7	44,0	43,3	42,8	42,3
		R_p	—	31,3	30,8	30,6	30,4	30,1	30,0	30,2	30,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,28
Берцелианит	49	$\underline{R}$	27,1	28,1	29,1	29,8	30,4	30,6	29,9	28,7	27,2
Бетехтинит	50	R_2	—	29,2	29,2	29,0	28,8	28,6	28,6	28,5	28,2
		R_1	—	28,8	28,4	28,1	27,8	27,6	27,5	27,4	27,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
Билибинскит	51-1	R_2	—	15,8	15,2	14,5	14,0	15,4	19,8	23,2	26,0
		R_1	—	11,1	10,2	9,1	7,3	5,5	4,4	4,5	7,0
		R_m	—	14,8	14,4	13,9	13,6	13,7	15,2	17,5	19,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,30	0,33	0,37	0,48	0,64	0,78	0,81	0,73
Билибинскит-Sb	51-2	R_2	—	15,8	15,7	15,5	15,5	16,2	20,6	24,7	27,7
		R_1	—	10,8	10,0	9,2	8,3	7,3	6,4	5,9	6,0
		$\Delta R_{отн}$	—	13,9	13,3	12,7	12,4	12,7	15,0	18,4	21,3
Биллингслеит-Sb	52	R	—	26,2	26,1	25,9	25,8	25,7	25,5	25,3	25,2

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
53,4	53,6	53,9	54,0	54,0	54,0	54,0	50,3	52,7	52,9	53,5	54,0	*Валькумей*
51,6	51,4	51,4	51,3	51,2	51,1	51,1	52,4	52,0	51,9	51,5	51,2	
0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,01	0,02	0,04	0,05	
52,7	52,6	52,5	52,4	52,3	52,2	52,0	51,1	52,4	52,6	52,6	52,3	»
52,6	52,8	53,1	53,3	53,4	53,4	53,5	49,6	52,0	52,2	52,7	53,3	
0,00	*0,01*	*0,01*	*0,02*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	*0,03*	*0,01*	*0,01*	*0,02*	*0,02*	
32,3	32,3	32,1	31,9	31,6	31,5	31,5	26,5	31,2	31,6	32,3	31,8	*Бор*
25,1	25,0	24,5	24,2	23,7	23,1	22,4	25,4	25,5	25,4	25,0	23,9	[50]
16,9	16,3	15,5	15,0	14,2	13,4	12,5	19,2	17,7	17,5	16,6	14,6	
0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,24	0,30	0,31	0,34	0,39	
79,2	84,8	88,2	89,8	90,4	90,5	90,6	56,1	64,7	67,3	81,2	90,1	Урал
27,6	27,3	27,2	27,0	27,0	27,0	27,0	30,4	28,4	28,2	27,5	27,0	*Секдекунское*
18,4	18,2	18,1	18,0	18,0	18,0	18,0	22,1	19,0	18,8	18,3	18,0	
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,27	0,33	0,33	0,33	0,33	
61,9	62,3	62,6	62,9	63,0	63,1	63,1	59,4	61,2	61,4	62,1	63,0	КазССР
32,8	32,4	32,1	31,8	31,5	31,5	31,5	35,5	33,8	33,5	32,6	31,6	По В. Атанасову
26,5	26,0	25,6	25,1	24,9	24,7	24,6	31,1	27,7	27,4	26,2	25,0	
0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,12	0,18	0,18	0,20	0,21	
23,4	23,9	24,3	25,1	25,5	26,1	26,5	19,1	22,1	—	23,6	25,3	По Г. Заманскому
22,7	23,4	23,9	24,7	25,0	25,2	26,4	18,9	21,2	—	22,9	24,8	
0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,04	—	0,03	0,02	
38,8	37,8	36,8	35,8	35,0	34,2	33,6	42,7	40,3	40,0	38,4	35,4	[50]
34,5	33,7	32,9	32,0	31,4	30,8	30,4	38,3	35,8	35,5	34,2	31,7	
0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	
52,4	55,7	57,4	58,3	58,7	58,6	58,2	16,5	40,4	43,7	54,1	58,5	Северо-Восток СССР
41,8	41,3	40,8	40,2	39,5	38,7	37,8	42,7	42,3	42,2	41,6	39,8	По Е. Оудину
38,7	38,3	37,9	37,5	36,8	36,1	35,6	39,8	39,0	38,9	38,5	37,2	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	
47,8	47,3	46,8	46,9	47,2	47,2	46,8	50,9	48,9	48,5	47,6	47,0	[10]
41,4	41,3	41,1	41,0	40,9	40,7	40,3	41,8	41,6	41,6	41,4	41,0	
0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,18	0,15	0,14	0,13	0,13	
41,8	41,3	40,9	40,6	40,4	40,1	40,0	45,0	42,7	42,4	41,6	40,5	*Удерей*
30,9	31,2	31,5	31,8	32,0	32,0	31,9	30,5	30,3	30,5	31,1	31,9	
0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,32	0,29	0,28	0,25	0,21	
25,7	24,1	22,9	21,7	20,7	19,6	18,7	30,1	28,2	27,6	24,9	21,2	*Пржедборжице Джезказган*
27,9	27,6	27,4	27,3	27,2	27,2	27,1	28,9	28,4	28,3	27,8	27,2	
27,1	27,3	27,6	27,8	28,0	28,0	28,2	27,9	27,3	27,2	27,2	27,9	
0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	
28,1	29,2	29,9	30,5	30,8	30,9	31,0	14,2	24,5	25,6	28,6	30,6	Северо-Восток СССР
12,0	19,0	27,2	36,2	42,8	48,6	53,2	8,1	5,0	6,0	14,9	39,6	
21,3	22,3	23,0	23,4	23,6	23,6	23,4	13,7	18,2	19,1	21,8	23,5	
0,57	0,35	0,09	0,19	0,39	0,57	0,72	0,43	0,79	0,76	0,48	0,29	
29,3	29,7	29,8	29,7	29,6	29,5	29,3	—	—	—	—	—	Саяны
7,5	10,9	16,2	22,5	28,9	34,8	40,3	—	—	—	—	—	
23,2	24,3	24,9	25,3	25,6	25,7	25,8	—	—	—	—	—	
25,2	25,1	24,8	24,4	24,0	23,8	23,7	25,9	25,3	25,3	25,2	24,2	Синт. фаза

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Блокит	54-1	$\underline{R}$	37,3	37,8	38,3	38,7	38,9	39,1	39,2	39,3	39,3
»	54-2	»	—	39,2	39,4	39,6	40,0	40,3	40,7	41,1	41,5
Богдановит-Cu	55-1	R_g	—	15,8	15,2	14,8	14,8	16,9	22,5	29,5	34,5
		R_p	—	11,8	10,5	9,2	8,0	6,9	6,2	5,6	6,1
		R_m	—	11,2	10,6	10,1	9,5	9,7	11,7	14,6	17,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,25	0,31	0,38	0,46	0,59	0,72	0,81	0,82
Богдановит-Fe	55-2	R_g	—	14,8	14,2	13,8	13,8	15,6	21,5	28,3	33,5
		R_p	—	9,5	8,0	6,7	5,4	4,4	3,4	2,5	2,2
		R_m	—	—	12,8	12,1	11,6	11,7	13,5	16,3	19,1
Богдановичит	56	R_{max}	—	50,7	51,1	51,8	52,4	52,9	53,2	53,4	53,5
Борнит	57	R	—	18,4	17,7	17,3	17,3	17,7	18,9	20,3	21,7
Борнхардтит	58	$\underline{R}$	—	42,8	44,3	45,4	46,4	47,2	47,8	48,4	48,9
Брейтгауптит	59	R_o	—	51,3	48,8	47,0	46,1	46,0	47,1	49,1	51,7
		R_e	—	44,5	42,5	40,5	38,4	36,8	35,9	36,9	39,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,13	0,13	0,14	0,17	0,20	0,24	0,25	0,23
Бриартит	60	R	—	24,2	25,0	25,7	26,4	27,0	27,4	27,6	27,5
Буковит	61	R_1	29,4	29,6	29,8	30,0	30,0	30,1	30,0	29,7	29,3
		R_2	34,4	34,3	34,2	34,1	34,0	33,4	32,5	31,3	30,2
		$\Delta R_{отн}$	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,10	0,08	0,05	0,03
Буланжерит	62	R_g	—	47,4	46,8	46,3	45,6	45,1	44,7	44,1	43,4
		R_p	—	38,1	38,0	37,7	37,6	37,3	37,0	36,5	36,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Бурнонит	63	R_g	—	37,4	37,7	37,8	37,6	37,4	37,0	36,6	36,1
		R_p	—	36,1	36,1	35,9	35,5	35,1	34,7	34,2	33,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
Бурсаит	64	R_g	—	—	—	—	43,5	43,5	43,2	43,6	43,6
		R_p	—	—	—	—	40,0	40,1	40,5	40,6	40,9
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	—	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06
Вакабаяшилит	65	R_g	—	29,8	28,5	27,2	26,2	25,5	24,9	24,4	24,2
		R_p	—	26,8	25,6	24,5	23,5	22,6	22,0	21,4	21,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13
Валлериит	67	R_o	12,4	13,5	15,0	16,5	17,9	19,3	20,4	21,4	22,2
		R_e	13,8	13,7	13,7	13,6	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
		$\Delta R_{отн}$	0,11	0,01	0,09	0,17	0,24	0,30	0,34	0,37	0,39
Ваэсит	69-1	$\underline{R}$	—	34,3	33,6	33,0	32,5	32,0	31,8	31,6	31,5
Ваэсит синт.	69-2	»	—	—	32,5	31,9	31,6	31,1	31,0	30,7	30,6
Вейбуллит	71	R_g	—	51,0	50,5	49,3	48,4	47,8	47,4	46,6	45,9
		R_p	—	43,0	42,4	41,8	41,4	40,9	40,5	40,0	39,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Вейссит	73	R	—	37,1	36,5	35,8	35,2	34,5	33,6	32,5	31,6
Великит	74	»	—	24,6	25,2	25,7	26,3	26,6	26,6	26,4	26,2
Вестервелдит	75	R_g	—	48,5	48,4	48,0	48,0	47,8	47,9	47,9	48,0
		R_p	—	46,3	45,7	44,9	44,3	43,7	43,4	43,4	43,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,05	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
Вилламанинит	78	$\underline{R}$	—	26,7	26,5	25,8	25,1	24,5	23,8	23,4	23,2
Виоларит	80	$\underline{R}$	37,7	38,4	39,2	40,0	40,7	41,6	42,5	43,5	44,5

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
39,2	39,2	39,2	39,3	39,3	39,3	39,4	38,8	39,3	39,3	39,2	39,3	*Пакахаке*
42,0	42,5	43,0	43,3	43,4	43,7	44,2	39,8	41,2	41,4	42,2	43,4	[50]
37,6	39,2	40,0	39,8	39,0	37,7	35,7	14,7	31,1	33,2	38,5	39,5	
8,4	13,4	21,0	29,5	36,2	41,2	44,9	8,5	5,6	5,8	10,4	33,0	Северо-
19,8	21,5	22,4	23,0	23,3	23,4	23,2	9,7	15,5	16,6	20,7	23,2	Восток
0,78	0,66	0,47	0,26	0,07	0,09	0,26	0,42	0,82	0,82	0,73	0,16	СССР
36,4	37,9	38,3	37,4	35,8	33,9	31,7	—	—	—	—	—	То же
3,0	5,9	11,9	21,0	29,9	36,9	42,8	—	—	—	—	—	
21,0	22,2	22,6	22,6	22,5	—	—	—	—	—	—	—	
53,6	53,6	53,5	53,4	53,2	53,0	52,8	52,1	53,4	53,5	53,6	53,3	*Забайкалье*
23,2	24,7	26,2	27,7	29,2	30,5	31,8	17,2	20,7	21,2	23,8	28,5	*III Интернационал*
49,2	49,7	50,2	50,8	51,4	52,0	52,7	45,9	48,5	48,7	49,4	51,1	[50]
54,2	56,1	57,7	59,2	60,2	61,3	62,0	46,4	49,8	50,9	55,0	59,7	*Андреасберг*
42,9	46,0	48,8	50,9	52,4	53,7	54,4	39,3	37,6	38,7	44,3	51,7	
0,21	0,18	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,15	0,24	0,24	0,19	0,13	
27,2	26,8	26,0	25,0	23,8	22,5	21,2	26,0	27,6	27,6	27,0	24,4	[50]
29,1	29,0	29,1	29,5	29,9	30,4	31,0	30,0	29,6	29,4	29,0	29,7	*Пржедборжице*
29,5	29,0	28,9	28,9	29,0	29,1	29,3	34,1	31,0	30,5	29,2	29,0	
0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,12	0,04	0,04	0,01	0,02	
42,5	41,8	41,0	40,1	39,5	39,0	38,3	46,1	43,8	43,6	42,1	39,8	*Тамдыкол*
35,3	34,8	34,2	34,0	33,7	33,4	33,0	37,6	36,4	36,1	35,0	33,8	
0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,18	0,17	0,17	0,17	0,15	
35,6	35,2	34,7	34,1	33,4	32,8	32,2	37,7	36,4	36,2	35,4	33,8	*Херодсфут*
33,4	33,0	32,6	32,2	31,9	31,6	31,2	35,7	34,1	33,9	33,2	32,0	
0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	
43,8	43,4	42,8	42,8	—	—	—	—	43,6	—	43,6	—	По
40,5	40,6	39,6	40,0	—	—	—	—	40,7	—	40,6	—	И. В. Покровской
0,08	0,06	0,07	0,07	—	—	—	—	0,07	—	0,07	—	
23,8	23,6	23,5	23,3	23,2	23,2	23,1	26,7	24,3	24,2	23,7	23,3	*Хайдаркан*
20,7	20,5	20,3	20,1	20,0	19,9	19,8	24,0	21,4	21,2	20,6	20,0	
0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,10	0,12	0,12	0,13	0,14	
23,0	23,7	24,2	24,7	25,2	25,6	26,0	17,2	21,6	22,0	23,4	25,0	Красноярский край
13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,6	13,5	13,5	13,4	13,4	
0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,21	0,37	0,39	0,43	0,46	
31,5	31,6	31,8	32,0	32,4	33,0	33,6	32,8	31,6	31,5	31,6	32,2	[50]
30,7	30,8	31,1	31,4	31,9	—	—	31,8	30,6	30,6	30,7	31,6	По С. Демирсою
45,1	44,4	43,9	43,3	42,8	42,5	42,2	48,9	46,4	46,1	44,8	43,0	[50]
38,9	38,4	38,0	37,5	37,0	36,7	36,4	41,6	39,8	39,6	38,6	37,2	
0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	
30,7	29,9	29,2	28,6	27,9	27,1	26,5	35,5	32,3	32,0	30,4	28,2	[50]
25,8	25,4	25,2	24,9	24,7	24,5	24,4	26,0	26,4	26,3	25,7	24,8	*Хайдаркан*
48,0	48,1	48,3	48,6	48,9	49,1	49,4	48,0	47,9	48,0	48,0	48,8	[50]
43,5	43,7	44,1	44,4	44,9	45,6	46,2	44,6	43,4	43,4	43,6	44,6	
0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09	
23,4	23,9	24,8	26,0	27,6	29,4	31,4	25,4	23,3	23,2	23,6	26,8	[50]
45,6	46,5	47,6	48,6	49,7	50,5	51,6	40,4	43,8	44,2	46,0	49,2	*Шануч*

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Висмут	81	R_o	—	59,7	60,0	60,6	61,6	62,8	64,2	65,6	67,0
		R_e	—	55,2	55,2	55,2	55,3	55,7	56,4	57,4	58,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12
Висмутин	82	R_g	—	50,2	50,3	50,5	50,9	51,1	51,1	50,9	50,5
		R_p	—	39,4	39,4	39,3	39,1	38,8	38,6	38,4	38,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
Висмутогаухекорнит	53	R	—	—	37,8	39,7	41,6	43,2	44,8	46,1	47,0
Витнеит	83	$\underline{R}$	—	52,6	54,4	56,2	57,7	59,2	61,0	64,3	71,0
Виттит	84	R_g	48,8	48,8	48,8	48,7	48,5	47,9	47,4	46,8	46,4
		R_p	43,8	43,9	43,8	43,5	42,9	42,3	41,8	41,3	40,9
		$\Delta R_{отн}$	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Виттихенит	85-1	R_g	—	35,3	34,8	34,7	34,9	35,3	35,7	35,9	36,0
		R_p	—	33,4	32,3	31,8	31,7	31,9	32,3	32,7	32,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09
Виттехенит-Ag	85-2	R_g	—	35,3	35,0	34,6	34,4	34,5	34,7	34,9	34,8
		R_p	—	33,0	32,3	31,7	31,4	31,4	31,6	31,8	31,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Вожминит	86	R_g	—	41,2	43,0	45,0	47,0	48,6	49,8	50,9	51,9
		R_p	—	35,0	37,0	39,2	41,7	44,0	45,9	47,5	48,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06
Волынскит	87	R	—	53,5	53,7	53,8	53,9	53,8	53,4	53,2	53,1
Врбаит	88	R_g		44,6	40,6	38,2	36,7	35,3	34,0	32,5	31,1
		R_p		42,0	38,2	35,7	33,8	32,2	30,8	29,6	28,6
		$\Delta R_{отн}$		0,06	0,06	0,06	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08
Вулканит	89	R_2		17,2	19,9	22,6	27,6	32,9	37,3	40,9	43,7
		R_1		28,2	26,0	24,1	23,0	21,0	19,5	16,5	15,3
		$\Delta R_{отн}$		0,64	0,31	0,06	0,17	0,33	0,48	0,60	0,65
Вюртцит	90	R	—	23,4	22,3	21,4	20,9	20,4	20,1	19,9	19,7
Галенит	91	$\underline{R}$	—	50,8	49,3	47,8	46,5	45,4	44,6	43,9	43,4
Галеновисмутит	92	R_g	—	51,1	51,1	51,0	50,8	50,5	49,8	48,8	48,2
		R_p	—	47,9	47,8	47,7	47,5	47,1	46,6	45,9	45,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
Галлит	93	$\underline{R}$	—	25,2	25,2	25,2	25,0	24,8	24,6	24,4	24,0
Галхаит	94	»	—	28,5	28,4	28,0	27,7	26,9	25,9	24,9	23,9
Гаухекорнит	97	R_g	—	39,3	40,7	42,2	43,8	45,4	46,9	48,2	49,3
		R_p	—	37,2	38,6	40,0	41,4	42,7	44,0	45,2	46,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
Гвадалкацарит		$\underline{R}$	—	26,0	25,3	24,7	24,3	23,9	23,7	23,6	23,5
Гематит	99	R_o	—	32,0	32,6	32,3	31,6	31,2	30,8	30,8	30,6
		R_e	—	29,2	29,4	28,6	27,6	27,4	27,1	27,0	26,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,10	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13
Геокронит	100	R_g	—	44,6	44,0	43,4	42,7	42,3	41,7	41,2	40,6
		R_p	—	41,0	40,5	40,1	39,8	39,5	39,2	38,9	38,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05
Германит	101	$\underline{R}$	—	21,6	21,6	21,5	21,0	20,7	20;7	21,1	22,0
Герсдорфит	102-1	»	—	47,4	47,3	47,2	46,9	46,4	46,0	45,6	45,5
»	102-2	»	—	49,9	48,9	48,0	47,2	46,5	45,8	45,2	44,8

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
68,2	69,4	70,3	71,2	71,9	72,3	72,6	61,1	66,0	66,6	68,8	71,6	Ср. Азия
60,3	61,6	62,9	63,9	64,6	64,8	64,9	55,2	57,8	58,4	60,8	64,2	
0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,10	
50,0	49,5	48,8	48,2	47,7	47,1	46,6	50,7	50,8	50,6	49,8	47,9	*Ингодинское*
38,0	37,9	37,8	37,8	37,7	37,7	37,7	39,2	38,3	38,2	37,9	37,7	
0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,23	0,25	0,24	0,24	0,21	
47,8	48,8	49,2	49,6	50,0	50,4	50,8	40,7	46,5	46,6	48,3	49,8	По В. А. Коваленкеру [50]
76,7	80,2	82,3	84,0	85,3	86,6	87,7	56,9	66,2	68,8	77,9	84,6	
46,2	46,0	45,9	45,7	45,6	45,4	45,3	48,6	46,7	46,6	46,2	45,6	Урал
40,6	40,3	39,9	39,6	39,4	39,2	39,0	43,2	41,2	41,0	40,4	39,5	
0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	
35,8	35,7	35,5	35,3	35,2	35,1	35,0	34,8	35,9	36,0	35,8	35,3	*Виттихен*
32,7	32,6	32,5	32,2	32,1	32,0	31,8	31,8	32,6	32,7	32,6	32,2	
0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
34,8	34,8	34,7	34,6	34,4	34,2	34,1	34,5	34,9	34,8	34,8	34,5	Ср. Азия
31,7	31,6	31,4	31,3	31,2	31,1	31,0	31,5	31,8	31,8	31,7	31,2	
0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	
52,7	53,3	54,2	55,0	55,8	56,6	57,1	46,0	51,2	51,6	53,0	55,4	По Н.С. Рудашевскому АрмССР [50]
50,2	51,1	52,1	52,8	53,4	53,7	54,1	40,4	47,9	48,5	50,6	53,1	
0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,12	0,06	0,06	0,04	0,04	
53,3	53,6	54,1	54,8	55,2	55,7	56,0	53,8	53,2	53,2	53,4	55,0	
30,0	29,2	28,8	28,8	28,6	28,4	28,0	37,4	32,2	31,6	29,7	28,7	
28,0	27,6	27,3	27,1	26,8	26,6	26,4	34,7	29,4	28,9	27,8	26,9	
0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,08	0,06	0,06	
46,3	43,2	49,6	51,0	52,3	53,3	54,2	25,0	41,8	42,8	47,0	51,7	Урал
14,8	14,3	14,3	15,2	17,5	20,2	21,7	23,5	16,0	15,6	14,5	16,3	
0,68	0,70	0,71	0,70	0,66	0,62	0,60	0,06	0,62	0,63	0,69	0,68	
19,6	19,4	19,3	19,2	19,1	19,1	19,1	21,1	19,8	19,8	19,5	19,2	*Чаувай*
43,0	42,8	42,7	42,6	42,7	42,8	42,8	47,2	43,7	43,5	43,0	42,6	Ср. Азия
47,7	47,2	46,8	46,7	46,7	46,8	47,1	50,9	48,6	48,4	47,4	46,7	[50]
44,8	44,6	44,4	44,4	44,4	44,5	44,7	47,6	45,8	45,5	44,7	44,4	
0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	
23,6	23,3	23,0	23,0	22,9	22,9	22,9	25,1	24,3	24,1	23,4	23,0	*Цумеб*
23,2	22,7	22,5	22,4	22,2	22,2	22,2	27,9	24,5	24,1	23,0	22,3	*Хайдаркан*
50,2	51,0	51,7	52,3	52,9	53,4	53,9	43,0	48,5	48,9	50,5	52,6	[50]
47,3	48,2	49,0	49,7	50,4	51,0	51,5	40,7	45,5	46,0	47,7	50,0	
0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	
23,3	23,2	23,1	23,1	23,1	23,2	23,3	24,5	23,6	23,6	23,3	23,1	*Хайдаркан*
29,3	28,0	27,0	26,2	25,8	25,4	25,0	32,0	30,8	30,7	28,6	26,0	Ср. Азия
25,9	24,9	24,1	23,4	23,1	22,7	22,5	28,2	26,9	26,8	25,5	23,2	
0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12	0,13	0,13	0,11	0,11	
40,1	39,8	39,4	39,0	38,6	38,2	37,8	43,1	41,0	40,7	39,9	38,8	*Екатерино-*
38,1	37,9	37,7	37,1	36,6	36,3	35,7	40,0	38,8	38,6	38,0	36,9	*Благодатское*
0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	
23,0	23,8	24,8	25,6	26,3	27,0	27,7	21,2	21,2	21,7	23,4	26,1	*Цумеб*
45,4	45,6	46,0	46,5	47,1	47,7	48,3	47,1	45,6	45,5	45,5	46,8	*Пышма*
44,4	44,3	44,3	44,7	45,1	45,7	46,1	—	—	—	—	—	*Березовское*

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Герсдорфит	102-3	$\underline{R}$	46,5	46,8	47,3	47,6	48,0	48,3	48,6	49,1	49,5
»	102-4	»	50,9	50,8	50,7	50,7	50,7	50,8	50,9	51,0	51,1
»	102-5	»	54,4	54,3	54,2	54,0	53,8	53,5	53,3	53,2	53,0
»	102-6	»	—	56,8	56,8	56,7	56,6	56,6	56,7	56,7	56,7
Герценбергит	103	R_g	—	—	50	48,2	46,8	46,6	46,2	46	45,4
		R_p	—	—	46,3	44,8	42,6	42	41,8	41,6	41,1
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,07	0,07	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09
Герцинит	104	$\underline{R}$	9,4	9,3	9,3	9,2	9,2	9,2	9,1	9,1	9,0
Гессит	105	R_2	—	37,4	37,8	38,2	38,4	38,8	39,3	39,8	40,2
		R_1	—	39,6	39,2	39,2	39,0	39,0	38,8	38,8	38,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,04	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03
Гетероморфит	106	R_g	—	45,6	45,4	45,2	45,0	44,7	44,3	43,8	43,2
		R_p	—	34,2	34,2	34,2	34,2	34,2	34,1	34,0	33,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22
Гётит	107	$\underline{R_g}$	24,2	22,7	21,3	19,6	18,9	18,7	18,2	17,5	16,9
		R_p	20,0	19,0	18,0	17,2	16,5	16,1	15,7	15,4	15,0
		$\Delta R_{отн}$	0,17	0,16	0,15	0,12	0,13	0,14	0,14	0,12	0,11
Геттардит	108	R_g	43,3	43,3	43,1	42,8	42,6	42,4	42,0	41,4	40,7
		R_p	38,4	38,3	38,2	37,9	37,6	37,2	36,8	36,3	35,8
		$\Delta R_{отн}$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Гетчелит	109	R_g	—	36,5	36,3	35,7	34,9	33,9	32,8	31,3	30,0
		R_p	—	32,2	32,1	31,8	31,6	30,7	29,5	28,2	27,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,11	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
Гиссенит	113	R_g	—	—	49,0	48,7	48,5	47,7	47,2	46,6	46,3
		R_p	—	—	44,4	44,0	43,0	43,3	42,5	42,0	41,4
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,09	0,10	0,11	0,09	0,10	0,10	0,11
Гладит	114	R_g	—	50,0	49,9	49,8	50,0	50,4	50,8	50,7	50,3
		R_p	—	41,4	41,3	41,2	41,0	40,7	40,4	40,1	39,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,17	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21
Глаукодот	115	R_2	53,4	53,4	53,3	53,3	53,3	53,3	53,2	53,1	53,0
		R_1	48,9	49,0	49,1	49,3	49,6	50,0	50,3	50,8	51,2
		$\Delta R_{отн}$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
Годлевскит	116	R_2	—	36,0	42,6	46,3	48,7	50,3	51,4	52,2	52,7
		R_1	—	32,6	38,0	42,2	45,2	47,4	49,1	50,5	51,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,11	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
Голдфилдит	117-1	$\underline{R}$	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	30,9	30,8	30,8	30,7
»	117-2	»	30,5	30,5	30,5	30,5	30,4	30,3	30,3	30,3	30,3
»	117-3	»	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9
Голдфилдит Sb	117-4	»	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	31,0	30,9
	117-5	»	30,8	30,8	30,8	30,8	30,7	30,7	30,6	30,5	30,4
Голдфилдит	117-6	»	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
»	117-7	»	30,4	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
Графит	119	R_o	—	19,1	19,4	19,6	20,0	20,4	20,8	21,1	21,4
		R_e	—	6,9	6,8	6,8	6,9	7,0	7,0	7,0	7,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,64	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67
Грейгит	120	$\underline{R}$	—	30,7	31,5	32,1	32,5	33,1	33,6	34,4	34,9
Грейтонит	121	R_2	41,0	40,5	39,7	38,7	37,9	37,2	36,8	36,7	36,8
		R_1	39,1	38,8	38,3	37,8	37,2	36,7	36,4	36,4	36,6

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
49,8	50,1	50,4	50,6	50,7	50,9	51,1	—	—	—	—	—	*Тырныауз*
51,2	51,3	51,3	51,4	51,4	51,5	51,6	—	—	—	—	—	*Андреасберг*
52,9	52,9	52,9	52,9	52,9	53,0	53,2	—	—	—	—	—	То же
56,7	56,6	56,6	56,5	56,4	56,3	56,3	—	—	—	—	—	КазССР
44,8	44	43,3	43	42,7	42,5	42,3	47,5	45,8	45,6	44,4	42,8	[10]
40,4	39,8	39,4	39,5	39,1	39,3	39,3	43,6	41,4	41,2	40,1	39,3	
0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,10	0,10	0,10	0,08	
8,9	8,9	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	9,2	9,1	9,1	8,9	8,8	*Франклин*
40,6	41,0	41,3	41,6	41,8	42,0	41,8	38,3	39,9	40,1	40,8	41,7	*Башкешлак*
38,8	38,8	38,9	39,0	39,1	39,2	39,2	39,1	38,8	38,8	38,8	39,0	
0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,02	0,03	0,03	0,05	0,06	
42,6	41,8	41,0	40,2	39,3	38,4	37,5	45,1	43,6	43,4	42,2	39,8	Ср. Азия
33,6	33,1	32,7	32,0	31,4	30,6	30,0	34,2	34,0	33,9	33,4	31,7	
0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,24	0,22	0,22	0,21	0,20	
16,4	16,0	15,8	15,6	15,4	15,3	15,2	19,2	17,3	17,1	16,2	15,5	»
14,8	14,6	14,4	14,3	14,2	14,1	14,0	16,8	15,3	15,2	14,7	14,2	
0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,12	0,11	0,11	0,09	0,08	
39,7	38,6	37,7	37,0	36,4	35,7	35,3	42,6	41,2	—	39,3	36,7	По П. Симпсону
35,0	34,4	33,8	33,2	32,5	31,8	31,3	37,6	36,1	—	34,8	32,8	
0,12	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	—	0,11	0,11	
29,0	28,4	28,0	27,8	27,6	27,4	27,3	35,4	30,9	30,4	28,8	27,7	*Хайдаркан*
26,0	25,4	25,0	24,9	24,8	24,6	24,6	31,7	27,8	27,4	25,8	24,8	
0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
45,9	45,0	45,2	45,3	44,9	—	—	48,6	46,5	—	45,5	45,1	По С. Каруп-Мёллеру
40,0	39,6	39,4	40,1	40,0	—	—	43,5	41,8	—	39,9	40,1	
0,13	0,12	0,13	0,11	0,11	—	—	0,10	0,10	—	0,12	0,11	
49,7	48,9	48,3	47,7	47,1	46,8	46,7	49,9	50,6	50,4	49,4	47,4	КазССР
39,6	39,3	39,0	38,8	38,6	38,5	38,5	41,1	40,0	40,0	39,5	38,7	
0,20	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	0,21	0,21	0,20	0,18	
52,8	52,5	52,4	52,2	52,0	51,8	51,6	53,3	53,1	53,0	52,7	52,1	АзССР
51,6	51,9	52,2	52,5	52,6	52,7	52,7	49,5	50,9	51,0	51,7	52,6	
0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,04	0,04	0,02	0,01	
53,0	53,3	53,7	54,1	54,7	55,2	55,8	47,5	52,4	52,6	53,1	54,1	[50]
52,4	53,3	54,2	55,0	55,8	56,5	57,2	43,7	50,8	51,3	52,8	55,4	
0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,03	0,02	0,01	0,02	
30,6	30,4	30,2	30,0	29,8	29,6	29,2	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
30,4	30,4	30,4	30,4	30,3	30,2	29,9	—	—	—	—	—	Ср. Азия
31,0	31,1	31,2	31,2	31,2	31,2	31,1	—	—	—	—	—	»
30,9	30,8	30,8	30,9	31,0	31,1	31,2	—	—	—	—	—	Ср. Азия
30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,4	30,5	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
30,2	30,2	30,2	30,2	30,3	30,4	30,5	—	—	—	—	—	То же
30,5	30,5	30,5	30,6	30,8	30,8	30,9	—	—	—	—	—	»
21,8	22,2	22,5	23,0	23,5	23,8	24,2	19,8	21,2	21,3	22,0	23,3	*Ботоголь-*
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,8	7,0	7, 0	7,0	7,0	*ское*
0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,71	0,66	0,67	0,67	0,68	0,70	
35,4	36,0	36,8	37,7	38,5	39,4	40,2	32,3	34,4	34,7	35,7	38,0	Гал-Хая
36,9	37,0	36,9	36,6	35,9	35,2	34,4	38,3	36,7	36,7	37,0	36,3	Куба
36,9	37,0	36,9	36,6	35,8	35,0	34,1	37,5	36,5	36,5	37,0	36,2	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
		$\Delta R_{отн}$	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Гринокит	122-1	R	20,1	20,2	20,2	20,3	20,6	21,2	21,2	20,6	19,6
»	122-2	»	20,1	20,2	20,2	20,3	20,7	21,3	21,3	20,3	19,7
Груздевит	123	»	—	32,8	33,0	33,1	33,1	33,0	32,9	32,8	32,8
Гуанахуатит	124-1	R_g	—	—	48,9	49,0	49,4	49,5	49,3	49,4	49,8
		R_p	—	—	39,6	40,1	40,3	39,9	40,1	40,0	40,3
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19
Гудмундит	125	R_2	—	57,8	58,0	58,2	58,2	58,0	57,7	57,3	56,8
		R_1	—	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5	51,7	52,1	52,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08
Гутчинсонит	127	$\overline{R_g}$	—	36,9	36,0	34,7	33,5	32,4	31,4	30,4	29,6
		R_p	—	32,3	31,8	31,0	29,9	29,4	29,6	29,4	28,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,12	0,11	0,11	0,09	0,06	0,03	0,05
Гюбнерит	128	R_g	—	19,3	18,8	18,3	17,5	17,2	17,0	16,7	16,5
		R_p	—	16,3	15,5	15,1	14,6	14,4	14,2	13,9	13,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,15	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16
Дадсонит	129	R_g	46,8	45,9	45,2	44,6	44,2	44,0	44,0	43,7	43,2
		R_p	*43,9*	*42,2*	*40,8*	*39,9*	*39,4*	*39,1*	*39,0*	*38,9*	*38,8*
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10
Делафоссит	130	R_o	—	22,3	22,4	22,6	22,9	23,2	23,4	23,4	23,2
		R_e	—	18,6	18,8	19,0	19,0	18,9	19,0	19,0	19,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,18
Дервиллит	487	R	29,7	25,6	24,9	24,2	23,7	23,5	23,1	22,2	22,2
Джайпурит	131	»	—	35,2	35,7	36,5	37,6	38,8	39,9	40,8	41,6
Джарлеит	132	R_g	—	35,2	34,6	34,0	33,2	32,3	31,2	30,2	29,3
		R_p	—	34,2	33,8	33,3	32,6	31,8	30,6	29,6	28,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Джезказганит	133	$\overline{R}$	—	29,6	29,1	28,6	28,4	28,1	28,0	28,0	28,1
Джемсонит	134	R_g	—	45,8	46,0	46,2	46,1	45,9	45,4	44,7	43,9
		R_p	—	40,3	40,1	40,0	39,9	39,7	39,2	38,8	38,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13
Джерфишерит	135	$\overline{R}$	—	15,8	16,9	18,0	19,2	20,3	21,3	22,1	22,9
Диафорит	137	R_g	41,8	41,8	41,6	41,2	40,8	40,4	40,1	39,8	39,4
		R_p	37,8	37,7	37,4	37,2	37,0	36,7	36,3	35,9	35,5
		$\Delta R_{отн}$	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
Дигенит	138	$\overline{R}$	29,8	29,4	28,6	27,6	26,6	25,5	24,4	23,4	22,3
Дискразит	141-1	R	60,2	61,1	62,1	62,9	63,8	64,6	65,2	65,7	66,1
»	141-2	»	60,0	60,6	61,3	62,0	62,7	63,2	63,7	64,2	64,6
Домейкит-α	143	R	—	45,0	46,4	47,8	49,0	50,1	51,0	51,9	52,7
Домейкит-β	144	$\overline{R_g}$	—	48,7	50,0	51,2	52,1	52,8	53,2	53,2	52,8
		R_p	—	46,8	48,0	49,0	49,8	50,3	50,4	50,1	49,7
		ΔR	—	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
Дрисдаллит	145	R_g	—	37,8	37,6	37,6	37,5	37,5	37,4	37,1	36,7
		R_p	—	18,2	19,4	20,4	21,4	21,8	21,8	21,6	21,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,52	0,48	0,46	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42
Дюранусит	146	R_g	—	39,4	36,8	34,8	33,6	32,7	32,2	31,8	31,5
		R_p	—	36,8	34,6	33,0	32,1	31,4	30,8	30,4	30,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	
19,0	18,6	18,4	18,1	18,0	17,9	17,8	20,4	20,3	20,0	18,8	18,0	Ср. Азия
19,0	18,6	18,2	17,9	17,7	17,6	17,5	20,5	20,2	19,8	18,8	17,8	Синт. фаза
32,7	32,5	32,4	32,2	31,9	31,8	31,6	33,1	32,8	32,8	32,6	32,0	*Чаувай*
49,6	49,2	48,5	48,0	47,7	47,5	47,2	49,2	49,5	—	49,4	47,8	[10]
40,1	39,7	39,7	39,4	38,9	38,8	38,8	40,2	40,1	—	40,0	39,1	
0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	—	0,19	0,18	
56,3	55,5	54,8	54,3	53,9	53,5	53,2	58,2	57,2	57,0	56,0	54,2	*Чалкильдак*
52,6	53,0	53,3	53,7	54,3	54,8	55,4	51,5	52,2	52,2	52,8	54,0	
0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,11	0,09	0,08	0,06	0,04	
28,8	28,1	27,7	27,4	27,2	27,1	27,1	34,1	30,2	29,8	28,5	27,3	[50]
27,1	26,4	25,9	25,5	25,2	25,0	24,8	30,5	29,0	28,6	26,8	25,3	
0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,11	0,10	0,04	0,04	0,06	0,07	
16,3	16,2	16,1	16,0	15,9	15,8	15,7	17,9	16,6	16,6	16,2	16,0	[50]
13,7	13,6	13,5	13,5	13,4	13,4	13,3	14,9	13,9	13,8	13,6	13,4	
0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	
42,4	41,3	40,6	39,9	39,0	38,0	37,1	44,3	43,6	—	41,9	39,5	По Б. Сервелу
38,3	37,8	37,2	36,6	36,1	35,7	35,4	39,6	38,9	—	38,1	36,4	
0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,11	0,11	—	0,09	0,08	
23,0	23,0	23,2	23,5	23,8	24,2	24,8	22,7	23,3	23,2	23,0	23,6	[50]
19,2	19,3	19,6	20,0	20,6	21,1	21,8	19,0	19,0	19,1	19,2	20,3	
0,16	0,16	0,15	0,15	0,13	0,13	0,12	0,16	0,18	0,18	0,16	0,14	
21,9	21,5	21,2	20,9	20,6	20,4	20,4	24,0	22,2	22,2	21,7	20,7	По Х. Бари
42,3	42,7	43,2	43,6	44,0	44,4	44,7	37,0	41,1	41,4	42,5	43,8	КазССР
28,6	28,1	27,6	27,1	26,7	26,4	26,1	33,6	29,9	29,6	28,5	26,9	[50]
27,8	27,0	26,4	25,7	25,0	24,4	23,6	32,9	29,3	28,8	27,4	25,4	
0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	
28,2	28,4	28,7	28,9	29,0	29,2	29,3	28,5	28,0	28,1	28,2	29,0	*Джезказган*
43,0	42,3	41,7	41,0	40,5	39,8	39,2	46,2	44,5	44,1	42,6	40,7	*Центральное*
37,6	37,2	36,8	36,4	36,0	35,7	35,2	40,0	38,6	38,4	37,4	36,2	
0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	
23,5	24,1	24,6	25,1	25,4	25,8	26,0	18,6	22,4	22,7	23,8	25,3	Хибины
39,0	38,6	38,3	37,9	37,6	37,2	36,8	41,0	39,7	39,5	38,9	37,7	*Альте-*
35,1	34,8	34,5	34,2	34,0	33,7	33,4	37,1	35,8	35,6	35,0	34,1	*Груне*
0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	*Цвейг*
21,4	20,5	19,6	18,8	17,9	17,0	16,2	27,1	23,1	22,7	21,0	18,4	По П. Симпсону [13]
66,4	66,8	67,0	67,2	67,4	67,5	67,7	63,4	65,8	66,0	66,6	67,3	*Синт. фаза*
64,9	65,3	65,6	65,8	66,1	66,4	66,9	—	—	—	—	—	Андреасберг
53,2	53,5	53,6	53,7	53,7	53,6	53,6	48,4	52,2	52,5	53,3	53,7	[50]
52,4	51,9	51,5	51,0	50,5	50,0	49,3	51,7	53,1	52,9	52,2	50,8	[50]
49,1	48,5	48,0	47,5	47,0	46,6	46,2	49,4	50,0	49,8	48,9	47,3	
0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,04	0,06	0,06	0,06	0,07	
36,0	35,5	35,1	35,0	35,0	35,2	35,6	37,6	37,0	36,8	35,8	35,0	[50]
21,1	20,8	20,6	20,5	20,4	20,4	20,4	20,9	21,5	21,4	21,0	20,4	
0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,42	0,42	0,41	0,42	
31,0	30,6	30,3	30,0	29,7	29,3	29,0	34,2	31,7	31,6	30,8	29,8	[50]
29,6	29,1	28,7	28,4	28,0	27,6	27,1	32,6	30,3	30,1	29,4	28,2	
0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Дюфренуазит	147	R_g	—	41,1	40,7	40,5	40,2	39,8	39,5	39,0	38,5
		R_p	—	37,5	37,4	37,0	36,6	36,3	36,0	35,5	35,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Железо	148	$\overline{R}$	—	59,5	59,6	59,8	59,9	60,0	59,9	59,7	59,6
Жеффроит	110	»	—	19,0	21,4	23,5	25,5	27,5	29,1	30,1	31,7
Жиродит	488	»	—	32,2	32,1	31,8	31,7	31,6	31,5	31,7	31,8
Жозеит А	149	R_e	—	55,3	55,4	55,6	55,7	55,8	55,9	56,0	55,9
		R_o	—	52,8	52,7	52,7	52,8	52,9	52,9	53,0	53,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Жозеит В	150	R_e	—	59,0	59,1	59,3	59,6	60,0	60,6	61,2	61,7
		R_o	—	54,8	54,6	54,4	54,3	54,2	54,2	54,2	54,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12
Зелигманнит	151	R_g	—	35,2	35,1	35,0	34,9	34,8	34,7	34,6	34,4
		R_p	—	33,4	33,3	33,0	32,6	32,3	31,9	31,5	31,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10	0,09
Зигенит	152	$\overline{R}$	41,0	41,5	42,0	42,6	43,2	43,9	44,6	45,4	46,3
Золото	154-1	»	32,7	34,4	35,2	37,0	42,2	53,9	66,5	73,7	79,1
»	154-2	»	—	34,7	34,6	35,7	41,1	54,4	68,4	75,7	80,0
»	154-3	»	—	30,3	31,8	35,0	45,3	60,5	70,5	77,2	81,5
»	154-4	»	—	30,6	37,8	48,0	60,5	69,2	75,3	79,4	82,3
Золото-Hg	154-5	»		32,6	38,8	49,0	60,5	68,3	73,7	76,7	78,9
»	154-6	»	27,6	27,7	30,1	37,1	47,8	58,0	65,2	69,9	73,5
»	154-7	»	22,4	21,9	29,4	40,8	50,5	58,1	63,4	67,7	70,8
»	154-8	»	15,0	17,1	21,9	31,0	39,3	47,1	54,0	58,9	62,7
Au_3Cu	155	$\overline{R}$	35,4	36,5	37,5	38,7	39,7	41,4	44,3	49,0	56,0
Идаит	156	$\overline{R_2}$	—	18,5	19,3	21,0	23,2	25,5	27,8	29,4	30,6
		R_1	—	14,8	15,7	16,9	18,4	20,5	23,2	26,1	28,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,20	0,19	0,20	0,21	0,20	0,17	0,11	0,06
Икунолит	158	R_g	—	49,0	49,2	49,0	48,7	48,6	48,6	48,8	48,9
		R_p	—	46,3	46,0	45,7	45,5	45,3	45,2	45,0	45,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08
Ильваит	159	R_e	—	9,8	9,8	9,8	9,8	9,9	10,0	9,9	9,8
		R_o	—	8,8	8,8	8,7	8,6	8,5	8,2	7,9	7,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14	0,18	0,20	0,23
Ильменит	160-1	R_o	21,7	21,3	20,7	20,3	20,0	19,9	19,8	19,8	19,8
		R_e	18,0	17,8	17,6	17,2	16,9	16,8	16,8	16,8	16,8
		$\Delta R_{отн}$	0,17	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15
»	160-2	R_o	21,3	20,9	20,3	19,9	19,7	19,5	19,4	19,4	19,4
		R_e	17,7	17,3	16,9	16,4	16,1	16,0	16,0	16,0	16,1
		$\Delta R_{отн}$	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17
»	160-3	R_o	20,3	19,9	19,3	18,9	18,7	18,4	18,3	18,3	18,3
		R_e	16,0	15,9	15,6	15,2	15,1	14,9	14,9	15,0	15,0
		$\Delta R_{отн}$	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18
Ингодит	163	R_g	—	54,3	54,4	54,8	55,3	55,7	56,2	56,4	56,4
		R_p	—	50,6	50,7	50,8	51,0	51,3	51,9	52,1	52,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Индит	164	$\overline{R}$	—	26,4	26,5	26,6	26,6	26,4	25,9	25,5	25,1
Инкаит	165	R_g	—	—	—	—	33,7	—	—	33,2	—
		R_p	—	—	—	—	29,8	—	—	29,0	—
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	—	0,11	—	—	0,13	—

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион, или литературный источник
37,7	36,9	36,1	35,2	34,5	33,8	33,2	40,3	38,9	38,7	37,4	34,9	*Биннен-*
34,7	34,0	33,3	32,5	31,8	31,2	30,7	36,8	35,4	35,3	34,3	32,0	*таль*
0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
59,4	59,4	59,6	59,8	60,2	60,7	61,2	59,8	59,7	59,6	59,4	60,0	*Курейское*
32,7	33,6	34,4	35,1	35,8	36,3	36,9	24,5	30,6	31,2	33,1	35,5	По З. *Ио-*
31,7	31,7	31,8	31,6	31,5	31,3	30,8	31,8	31,7	31,8	31,7	31,5	*хану*
55,7	55,5	55,3	55,1	55,0	54,9	54,8	55,6	56,0	56,0	55,6	55,0	*Бая-де-*
52,8	52,7	52,3	52,1	51,9	51,8	51,7	52,7	53,0	53,0	52,8	52,0	*Арамэ*
0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
62,1	62,3	62,3	62,2	62,1	62,0	62,0	59,4	61,3	61,5	62,2	62,2	*Хедли*
54,3	54,2	54,0	53,8	53,7	53,6	53,5	54,4	54,2	54,3	54,2	53,8	
0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,08	0,11	0,12	0,13	0,13	
34,1	33,6	33,0	32,4	31,8	31,3	30,8	35,0	34,5	34,4	33,9	32,1	*Эльбрус-*
31,0	*30,6*	*30,2*	*29,8*	*29,3*	*28,9*	*28,6*	*32,8*	*31,5*	*31,4*	*30,8*	*29,6*	*ское*
0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,09	0,09	0,09	0,08	
47,2	48,0	48,8	49,7	50,5	51,3	52,1	42,9	45,7	46,1	47,5	50,1	*Ла-Мотт*
82,6	84,8	86,5	88,1	89,4	90,1	90,6	39,1	75,5	77,7	83,6	88,7	КазССР
83,2	85,5	87,3	88,9	90,1	90,8	91,3	—	—	—	—	—	»
84,8	*87,5*	*89,0*	*90,0*	*90,7*	*91,4*	*91,7*	—	—	—	—	—	»
84,2	85,9	87,3	88,6	89,8	90,7	91,8	—	—	—	—	—	»
80,9	82,0	82,9	83,7	84,4	85,3	86,9	—	—	—	—	—	»
76,6	78,4	80,2	81,8	83,0	84,5	86,3	—	—	—	—	—	»
73,2	75,1	76,9	78,6	80,0	81,5	83,1	—	—	—	—	—	»
65,8	68,4	71,1	73,1	74,7	76,7	78,8	—	—	—	—	—	»
63,0	68,0	71,4	74,2	75,4	76,3	76,9	39,3	50,7	53,6	65,3	74,8	Урал
31,4	31,6	31,9	32,2	32,8	33,2	33,7	—	—	—	—	—	[50]
30,6	31,9	32,8	33,5	34,1	34,7	35,2	—	—	—	—	—	
0,03	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	—	—	—	—	—	
49,0	49,0	48,9	48,7	48,5	48,1	47,6	48,8	48,8	48,8	49,0	48,6	[50]
44,9	44,9	44,8	44,6	44,2	43,8	43,4	45,6	45,0	45,0	44,9	44,4	
0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,06	0,08	0,08	0,08	0,09	
9,6	9,5	9,5	9,4	9,4	9,5	9,6	9,8	9,9	9,8	9,5	9,4	*Тетюхе*
7,1	6,8	6,5	6,3	6,1	6,1	6,1	8,7	7,8	7,6	7,0	6,2	
0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,36	0,36	0,11	0,21	0,22	0,26	0,34	
19,8	*19,8*	*19,8*	*19,8*	*19,8*	*19,8*	*19,8*	*20,1*	*19,8*	*19,8*	*19,8*	*19,8*	КазССР
16,8	16,9	17,0	17,1	17,2	17,2	17,2	17,1	16,8	16,8	16,8	17,1	
0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	
19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,8	19,4	19,4	19,4	19,4	»
16,2	16,3	16,4	16,5	16,7	16,8	16,8	16,2	16,0	16,1	16,2	16,6	
0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	
18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,8	18,3	18,3	18,3	18,3	*Отайды-*
15,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,3	15,4	15,1	15,0	15,0	15,0	15,2	*Карасу*
0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,20	0,18	0,18	0,18	0,17	
56,3	56,0	55,8	55,7	55,6	55,6	55,7	55,0	56,4	56,4	56,2	55,6	*Брэнди-*
51,9	51,8	51,6	51,3	51,2	51,1	51,2	50,9	52,1	52,1	51,9	51,2	*Джилл*
0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	
24,9	24,6	24,4	24,0	23,9	23,8	23,8	26,6	25,4	25,2	24,8	24,0	*Джалинда*
—	32,9	—	32,5	—	—	—	—	33,2	33,2	—	—	По Е. Ма-
—	28,6	—	28,1	—	—	—	—	29,0	28,9	—	—	*ковицкому*
—	0,13	—	0,13	—	—	—	—	0,13	0,13	—	—	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Иорданит	166	R_g		42,0	41,4	41,1	40,8	40,5	40,2	39,8	39,3
		R_p		40,0	39,4	39,1	38,6	38,4	38,1	37,7	37,3
		$\Delta R_{отн}$		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Кадмоселит	168	R	23,1	23,0	22,9	22,8	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
Калаверит	169	R_g		54,8	56,7	58,8	60,8	62,3	63,7	64,8	65,5
		R_p		47,5	49,5	51,4	53,5	55,3	56,8	58,0	58,8
		$\Delta R_{отн}$		0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,11	0,10	0,10
Канницца-	171	R_g		52,4	53,5	53,7	53,3	52,8	52,2	51,6	51,0
рит		R_p	—	49,8	50,4	50,7	50,6	50,2	49,7	49,2	48,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Канфильдит	172	R	—	27,8	27,2	26,6	25,9	25,4	24,9	24,6	24,3
Карролит	174	$\underline{R}$	40,3	40,3	40,3	40,4	40,6	40,9	41,2	41,5	41,7
Касситерит	175	R_e	—	—	—	—	—	13,5	—	13,0	—
		R_o	—	—	—	—	—	11,0	—	10,8	—
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	—	—	0,18	—	0,17	—
Каттьерит	177	$\underline{R}$	—	—	33,8	33,6	33,5	33,4	33,3	33,4	33,6
Кермезит	179	R_g	—	39,4	37,8	36,5	35,4	34,4	33,4	32,5	31,7
		R_p	—	29,4	28,4	27,6	27,2	27,1	27,2	27,1	26,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	0,18	0,17	0,15
Кёстерит	180	R	—	23,4	24,1	24,6	24,9	25,1	25,0	25,0	24,9
Киноварь	181	R_e	—	33,2	32,3	31,5	31,0	30,7	30,6	30,2	29,6
		R_o	—	28,4	27,5	26,9	26,2	25,7	25,4	25,0	24,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,15	0,15	0,15	0,17	0,17	0,17	0,16
Киткаит	182	R_g	—	48,5	50,0	51,7	53,5	55,0	56,5	57,9	59,1
		R_p	—	46,6	47,4	48,2	49,1	50,2	51,2	52,3	53,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09
Клаусталит	183	$\underline{R}$	—	62,5	61,5	60,0	58,0	56,3	54,5	52,8	51,4
Клейофан	184	»	—	17,4	17,1	16,9	16,7	16,6	16,3	16,1	16,0
Клиносаф-	185	R_2	—	54,8	55,3	55,5	55,4	55,2	55,0	54,7	54,5
флорит		R_1	—	54,4	55,2	55,3	54,5	53,6	52,8	52,0	51,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Клокман-	186	R_e	—	37,7	38,9	39,3	39,1	38,7	37,9	37,1	36,2
нит		R_o	—	14,7	15,0	15,4	15,5	15,6	15,5	15,2	14,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59
Кобальтин	187-1	$\underline{R}$	—	47,7	47,5	47,5	47,6	48,1	48,8	49,7	50,7
»	187-2	»	—	48,3	48,1	47,8	48,0	48,7	49,6	50,4	51,4
»	187-3	»	—	48,1	48,0	47,9	48,2	48,5	49,0	49,5	50,2
Кобальтин	187-4	$\underline{R}$	45,9	46,4	46,8	47,2	47,7	48,0	48,3	48,7	49,0
»	187-5	»	52,8	52,9	53,0	53,0	53,0	53,0	53,1	53,2	53,3
»	187-6	»	55,7	55,4	55,3	55,1	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0
Кобеллит	189	R_g	—	47,9	48,0	47,8	47,4	46,8	45,9	45,4	44,8
		R_p	—	43,8	43,5	43,0	42,5	41,9	41,2	40,6	40,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ковеллин	190	R_e	—	31,0	30,4	29,5	28,4	27,2	25,7	24,1	22,5
		R_o	—	13,6	13,4	12,7	11,7	10,3	8,7	6,9	5,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,56	0,56	0,57	0,59	0,62	0,66	0,71	0,75
Когенит	191	R_g	—	55,2	55,7	56,2	56,7	57,1	57,7	58,2	58,8
		R_p	—	52,6	53,2	53,8	54,4	55,0	55,6	56,2	56,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
38,9	38,5	38,3	37,7	37,2	37,0	36,6	40,0	39,6	39,4	38,8	37,4	Урал
37,0	36,8	36,5	36,0	35,6	35,2	34,8	38,8	37,6	36,4	36,9	35,8	
0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	
22,6	22,5	22,4	22,3	22,3	22,3	22,3	22,7	22,7	22,7	22,6	22,3	Синт. фаза
66,0	66,3	66,6	66,7	66,8	66,9	67,0	59,7	65,0	65,4	66,2	66,8	*Калгурли*
59,5	60,0	60,5	60,9	61,3	61,7	62,0	52,4	58,3	58,6	59,8	61,1	
0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	
50,4	50,0	49,5	49,2	49,0	49,0	49,2	53,5	51,4	51,2	50,2	49,1	[50]
48,2	47,8	47,5	47,3	47,2	47,2	47,2	50,7	49,0	48,8	48,0	47,2	
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	
24,2	24,1	24,1	24,2	24,3	24,4	24,5	26,3	24,5	24,4	24,2	24,2	*Дождливое*
42,0	42,2	42,5	42,9	43,2	43,5	43,8	40,4	41,6	41,7	42,1	43,0	*Калвези*
12,6	—	12,4	—	12,0	—	—	—	12,9	—	—	—	По
10,5	—	10,3	—	10,0	—	—	—	10,7	—	—	—	И. Е. Мак-
0,17	—	0,17	—	0,17	—	—	—	0,17	—	—	—	симюк
33,8	33,9	34,3	34,7	35,2	—	—	33,5	33,4	33,5	33,8	34,9	По С. Демирсою
30,9	30,3	29,9	29,7	29,6	29,5	29,5	35,9	32,3	31,9	30,6	29,6	*Сарылах*
26,4	25,8	25,4	25,0	24,8	24,6	24,6	27,4	27,1	27,0	26,2	24,9	
0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,24	0,16	0,15	0,14	0,16	
24,7	24,6	24,6	24,8	24,9	25,0	25,0	24,8	24,9	24,9	24,7	24,8	*Кёстер*
29,0	28,6	28,2	27,8	27,6	27,5	27,5	31,2	30,0	29,8	28,8	27,7	*Хайдаркан*
24,5	24,2	24,0	23,8	23,7	23,6	23,5	26,6	24,9	24,8	24,4	23,7	
0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17	0,17	0,15	0,14	
60,3	61,4	62,3	63,2	63,9	64,4	64,8	52,6	58,3	58,7	60,8	63,6	[50]
54,7	55,8	56,9	57,8	58,7	59,6	60,4	48,6	52,6	53,1	55,2	58,2	
0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	
50,3	49,5	49,0	48,7	48,5	48,4	48,4	59,0	52,4	51,8	49,9	48,5	*Тилькероде*
15,9	15,8	15,7	15,6	15,5	15,5	15,5	16,8	16,1	16,0	15,8	15,6	*Сокольное*
54,2	53,8	53,5	53,2	52,8	52,4	52,0	55,4	54,6	54,6	54,0	53,0	[50]
51,0	50,4	50,0	49,5	49,2	49,0	48,8	54,8	51,8	51,6	50,7	49,3	
0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,01	0,05	0,05	0,06	0,07	
35,2	34,3	33,5	32,6	31,8	31,0	30,0	39,2	36,8	36,4	34,7	32,2	*Ла-Риоха*
13,9	13,0	12,4	12,3	12,8	13,8	15,9	15,4	15,0	14,8	13,4	12,4	
0,60	0,62	0,63	0,62	0,60	0,55	0,47	0,61	0,59	0,59	0,61	0,61	
51,8	53,0	54,1	55,0	55,4	55,5	55,6	47,5	50,0	50,4	52,3	55,2	*Чорух-Дайрон*
52,5	53,3	53,8	54,3	54,7	55,3	55,5	—	—	—	—	—	КазССР
50,9	51,6	52,3	53,0	53,5	54,0	54,0	48,0	49,8	50,0	51,2	53,3	*Ишкинино*
49,2	49,5	49,7	49,8	49,9	50,0	50,1	—	—	—	—	—	*Тырныауз*
53,4	53,5	53,6	53,6	53,6	53,7	53,8	—	—	—	—	—	*Андреасберг*
55,0	54,9	54,9	54,8	54,7	54,6	54,6	—	—	—	—	—	»
44,2	43,8	43,5	43,3	43,0	42,8	42,8	47,6	45,2	45,0	44,0	43,2	По
39,6	39,2	38,9	38,6	38,3	38,2	38,0	42,7	40,4	40,2	39,4	38,4	Л. Н. Со-
0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,11	болевой
21,0	20,0	20,5	21,0	21,6	22,2	22,8	28,9	23,5	23,0	20,3	21,4	*Ахтала*
4,0	3,0	2,5	3,0	5,5	10,9	17,9	12,2	6,4	5,9	3,5	3,8	
0,81	0,85	0,88	0,86	0,74	0,51	0,21	0,58	0,73	0,74	0,83	0,82	
59,3	60,0	60,6	61,3	62,0	62,8	63,6	56,4	58,4	58,6	59,6	61,6	[50]
57,4	58,0	58,7	59,3	60,0	60,8	61,6	54,1	56,4	56,6	57,7	59,6	
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Козалит	192	R_g	51,4	50,3	49,5	48,7	47,9	47,1	46,4	45,9	45,5
		R_p	48,2	47,0	45,9	44,9	43,9	43,0	42,2	41,6	41,1
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10
Колорадоит	193	$\overline{R}$	—	34,2	36,4	37,4	37,2	36,8	36,8	37,0	37,7
Колумбит	194	R_g	19,1	18,7	18,4	18,1	17,9	17,8	17,7	17,5	17,4
		R_p	17,9	17,5	17,3	17,0	16,7	16,6	16,5	16,3	16,2
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Колусит-As	195-1	$\overline{R}$	25,3	25,8	26,7	27,8	28,7	29,7	30,9	31,8	32,5
Колусит-Sb	195-2	»	22,5	23,0	23,8	24,7	25,5	26,3	27,0	28,1	28,8
Колусит-As-Sn	195-3	»	—	21,9	22,8	23,6	24,2	25,0	25,9	26,7	27,5
Колусит-Ge	195-4	»	22,6	22,9	23,3	23,8	24,6	25,7	26,7	27,4	28,0
Колымит	196	»	—	59,0	61,4	63,9	66,8	69,4	71,2	72,1	72,8
Коринит		»	—	52,1	51,0	49,6	48,9	47,8	48,2	47,7	47,6
Костовит	198	R_g	50,3	51,8	53,5	54,8	55,7	56,3	56,9	57,3	57,6
		R_p	38,3	40,0	41,5	43,1	44,4	45,3	46,0	46,7	47,1
		$\Delta R_{отн}$	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18
Коутекит	199	R_2	—	50,3	49,8	48,7	47,5	46,1	44,5	43,1	41,8
		R_1	—	51,0	49,4	47,5	45,3	43,3	41,4	39,7	38,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,01	0,01	0,02	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08
Коффинит	200	R	—	9,3	9,2	9,1	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Креннерит	201-1	R_g	—	51,7	53,5	55,2	56,6	57,7	58,5	59,1	59,4
		R_p	—	47,3	49,2	50,9	52,3	53,3	54,0	54,5	54,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07
»	201-2	R_g	—	52,4	54,2	56,3	58,0	59,5	60,6	61,4	62,1
		R_p	—	48,0	50,0	51,9	53,7	55,1	56,0	56,8	57,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08
Круксит	202	R_g	—	35,2	35,5	35,7	35,5	35,3	34,8	34,4	34,0
		R_p	—	32,8	32,8	32,4	32,2	32,3	32,6	32,8	32,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,09	0,09	0,08	0,06	0,05	0,03
Крупкаит	203	R_g	—	47,3	47,2	47,2	47,5	48,2	48,7	49,1	49,4
		R_p	—	38,9	38,9	39,0	39,1	39,2	39,3	39,3	39,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,18	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21
Крутаит	204	$\overline{R}$	—	36,2	36,4	36,3	36,1	35,8	35,4	34,9	34,3
Крутовит	205-1	»	59,7	59,9	60,1	60,2	60,2	60,2	60,3	60,3	60,3
»	205-2	»	60,2	60,4	60,5	60,6	60,6	60,5	60,5	60,5	60,5
»	205-3	»	—	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Ксантоконит	206	R_g	—	36,1	35,1	33,7	32,1	30,1	28,5	27,3	26,3
		R_p	—	32,2	30,7	29,1	27,6	26,1	24,8	23,7	22,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,12	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14
Кубанит	207	R_g	—	24,9	29,7	33,2	36,0	37,9	39,1	39,7	40,2
		R_p	—	20,4	23,9	27,0	29,5	31,6	33,2	34,5	35,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,18	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15	0,13	0,11
Кулсонит	209	$\overline{R}$	—	—	16,6	15,4	15,0	14,9	14,4	14,2	13,9
Куприт	210	»	—	29,5	30,6	31,5	31,4	30,1	28,3	26,8	25,8
Купроаурит	211	»	46,3	49,3	51,7	53,5	55,0	56,6	58,7	63,5	71,7

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
45,3	45,2	45,2	45,2	45,2	45,2	45,1	48,3	45,7	45,6	45,3	45,2	По Р. Кайе
40,8	40,5	40,4	40,2	40,1	40,1	40,0	44,4	41,4	41,2	40,7	40,1	[13]
0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	
39,0	39,5	39,0	38,0	37,4	37,1	36,6	37,4	37,1	37,4	39,2	37,8	*Калгурли*
17,3	17,2	17,1	17,0	16,9	16,8	16,8	18,0	17,5	17,4	17,3	17,0	Вост. Си-
16,1	16,0	15,9	15,8	15,7	15,7	15,7	16,8	16,3	16,2	16,1	15,8	бирь
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
32,8	33,0	32,7	32,2	31,8	31,4	31,0	28,2	32,0	32,3	32,9	32,0	По П. Орланди
29,5	30,1	30,6	31,0	31,1	31,1	31,1	25,1	28,3	28,6	29,8	31,0	Ср. Азия
28,2	29,1	29,6	30,0	30,0	30,0	29,9	23,9	27,0	27,2	28,6	30,0	*Бор*
28,2	28,3	28,4	28,4	28,3	28,2	28,0	24,1	27,6	27,9	28,3	28,3	*Уруп*
73,6	74,0	74,6	75,3	76,0	76,9	77,8	65,3	72,3	72,6	73,8	75,6	Северо-Восток СССР
47,3	47,2	47,2	47,5	48,2	48,2	49,1	49,3	47,6	47,6	47,2	47,8	[10]
57,9	58,0	58,1	58,5	58,7	58,9	59,0	—	—	—	—	—	Ср. Азия
47,4	47,7	48,2	48,9	49,4	49,8	50,3	—	—	—	—	—	
0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	—	—	—	—	—	
40,8	40,4	40,2	40,2	40,3	40,4	40,7	48,1	42,7	42,2	40,6	40,2	[50]
37,0	36,0	35,4	34,8	34,4	34,1	34,0	46,5	39,3	38,7	36,6	34,6	
0,09	0,11	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,03	0,08	0,08	0,10	0,14	
8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	8,9	8,9	ЧССР
59,7	59,9	60,1	60,2	60,3	60,4	60,5	55,9	59,2	59,4	59,8	60,2	КазССР
55,3	55,6	56,0	56,2	56,4	56,6	56,7	51,6	54,6	54,8	55,5	56,3	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	
62,7	63,0	63,3	63,4	63,6	63,7	63,8	—	—	—	—	—	»
57,9	58,4	58,7	59,0	59,2	59,5	59,7	—	—	—	—	—	
0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	—	—	—	—	—	
33,8	34,0	34,4	34,9	35,2	35,4	35,6	35,6	34,3	34,2	33,9	35,1	*Пржедборжице*
32,9	33,0	33,2	33,6	33,6	33,6	33,6	32,3	32,8	32,8	33,0	33,6	
0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,09	0,04	0,04	0,03	0,04	
49,6	49,3	49,0	48,6	48,2	48,0	47,8	47,3	49,2	49,3	49,5	48,4	КазССР
39,1	38,9	38,7	38,5	38,3	38,3	38,3	39,0	39,3	39,2	39,0	38,4	
0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,20	0,20	0,21	0,21	
33,6	33,0	32,4	32,0	31,7	31,5	31,4	36,2	34,7	34,5	33,4	31,8	[50]
60,3	60,3	60,4	60,4	60,4	60,4	60,4	60,2	60,3	60,3	60,3	60,4	Вост. Си-
60,4	60,3	60,2	60,2	60,1	60,1	60,0	60,6	60,5	60,5	60,4	60,1	бирь
60,0	60,0	60,0	59,9	59,9	59,8	59,8	60,0	60,0	60,0	60,0	59,9	КазССР
25,5	24,8	24,4	24,1	23,8	23,6	23,5	32,9	27,0	26,6	25,2	24,0	[50]
22,0	21,5	21,3	21,0	20,8	20,6	20,4	28,3	23,4	23,0	21,8	20,9	
0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	
40,7	41,1	41,8	42,4	42,8	43,3	43,4	34,7	39,8	40,1	40,8	42,6	*Питкяранта*
36,8	37,8	38,8	39,9	40,8	41,5	41,8	28,4	34,9	35,4	37,3	40,3	
0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,18	0,12	0,12	0,08	0,05	
13,8	13,6	13,2	13,1	13,2	—	—	15,2	14,1	14,0	13,7	13,2	*Калгурли*
24,9	24,4	23,8	23,5	23,2	23,0	22,8	31,6	26,6	26,1	24,7	23,4	Гора Высокая
79,0	83,8	86,7	88,8	89,7	90,0	90,2	54,2	65,8	69,0	81,3	89,3	Урал

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Купровисмутит	212	R_g	—	39,2	39,7	40,1	40,5	40,8	41,1	41,3	41,5
		R_p	—	32,5	33,5	34,4	35,2	35,8	36,3	36,8	37,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
Купростибит	213	R_e	—	59,3	58,7	57,0	54,4	52,5	50,1	46,8	44,3
		R_o	—	51,1	51,6	49,8	47,8	46,0	43,0	38,9	36,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,14	0,17	0,18
Курамит	214	$\bar{R}$	24,8	25,2	25,4	25,7	25,9	26,1	26,2	26,4	26,5
Кутинаит	215	$\bar{R}$	—	48,8	48,0	46,8	45,6	44,5	43,5	42,6	42,0
Кюстелит	216-1	»	71,9	76,4	80,0	82,2	83,9	85,4	86,7	88,0	89,2
Кюстелит-Hg	216-2	»	44,5	54,4	62,0	67,2	70,7	73,7	75,9	78,6	80,7
Лазаревичит	217	»	—	22,3	23,7	25,5	26,9	28,1	29,3	30,7	31,5
Лайтакарит	218-1	R_g	51,5	51,9	52,3	52,7	52,9	53,1	53,2	53,3	53,3
		R_p	48,8	48,8	48,9	49,0	49,1	49,1	49,1	49,0	48,9
		$\Delta R_{отн}$	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
»	218-2	R_g	54,4	54,8	55,0	55,0	55,0	54,9	54,8	54,7	54,6
		R_p	51,0	51,0	50,9	50,8	50,6	50,5	50,3	50,1	49,8
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
Лаутит	221	R	—	35,7	34,8	33,8	32,9	32,2	31,6	31,1	30,7
Лаффитит	222	R_g	—	35,6	35,2	34,8	34,4	33,9	33,2	32,3	31,3
		R_p	—	33,3	32,8	32,2	31,6	31,0	30,5	30,0	29,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
Лёллингит	223	R_2	—	50,0	51,0	52,0	53,0	53,5	54,0	54,6	55,0
		R_1	—	56,8	57,5	57,3	56,6	55,8	55,0	54,1	52,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,13	0,10	0,07	0,04	0,02	0,01	0,04
Ливингстонит	226	R_g	—	41,8	42,5	43,0	43,0	42,3	41,3	40,2	39,3
		R_p	—	32,0	31,9	31,8	31,5	31,1	30,6	30,3	30,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,23	0,25	0,26	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24
Лиллианит	227	R_g	—	52,7	51,5	50,4	49,5	48,6	47,7	46,9	46,1
		R_p	—	43,2	42,2	41,3	40,6	39,9	39,3	38,8	38,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17
Линдстрёмит	228	R_g	—	45,8	45,6	45,4	45,3	45,2	45,3	45,4	45,5
		R_p	—	42,2	42,1	42,0	41,8	41,6	41,4	41,1	41,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10
Линнеит-Ni	229	$\bar{R}$	—	41,3	42,0	42,8	43,8	44,8	45,9	46,9	47,9
Лорандит	231	R_g	—	37,7	37,2	36,4	35,5	34,7	33,8	33,0	32,0
		R_p	—	28,6	28,9	28,9	28,9	28,8	28,6	28,4	27,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,24	0,22	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13
Люцонит	232	R_e	—	28,2	26,5	25,4	25,2	25,7	26,7	27,8	28,7
		R_o	—	25,8	24,9	24,2	23,9	24,2	24,5	25,1	25,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11
Маггемит	233-2	$\bar{R}$	—	30,2	28,8	27,6	26,6	26,0	25,5	24,8	24,0
»	233-1	»	—	20,8	20,6	20,2	19,7	19,2	18,7	18,2	17,9
Магнетит	234-1	»	—	20,9	20,8	20,7	20,6	20,5	20,5	20,6	20,7
»	234-2	»	20,6	20,6	20,5	20,3	20,2	20,1	20,1	20,1	20,1
»	234-3	»	20,2	20,3	20,4	20,3	20,2	20,2	20,2	20,2	20,3
»	234-4	»	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
41,8	42,0	42,2	42,3	42,2	42,0	41,5	40,3	41,4	41,4	41,9	42,2	[50]
37,3	37,4	37,4	37,0	36,7	35,7	34,8	34,8	36,9	37,0	37,4	36,7	
0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,14	0,11	0,11	0,11	0,13	
43,6	44,8	47,7	51,1	53,7	55,8	56,8	55,7	46,0	45,0	43,8	52,4	*Илимаусак*
36,5	40,0	45,5	51,2	56,0	59,5	62,0	48,8	38,0	37,0	37,7	53,8	
0,16	0,11	0,05	0,00	0,04	0,07	0,09	0,12	0,17	0,18	0,14	0,03	
26,5	26,5	26,5	26,6	26,7	26,8	26,9	25,8	26,4	26,4	26,5	26,6	Ср. Азия
41,4	41,1	40,8	40,5	40,4	40,5	40,9	46,2	42,4	42,2	41,3	40,4	[50]
89,9	90,6	91,1	91,6	91,9	92,0	92,1	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
82,4	83,7	85,0	86,0	86,6	87,1	87,5	—	—	—	—	—	Урал
31,9	32,0	32,0	30,8	—	—	—	26,2	30,9	31,2	32,0	—	По К. Леви
53,3	53,3	53,3	53,2	53,1	52,9	52,6	52,8	53,3	53,3	53,3	53,2	*Фалун*
48,9	48,8	48,6	48,4	48,3	48,1	47,9	49,1	48,9	48,9	48,9	48,4	
0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	
54,5	54,3	54,2	54,0	53,9	53,7	53,6	55,0	54,7	54,6	54,4	54,0	*Невское*
49,5	49,2	49,0	48,9	48,7	48,6	48,3	50,7	50,0	49,9	49,4	48,8	
0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	
30,3	30,3	30,6	31,2	31,7	31,9	31,9	33,3	31,0	30,8	30,3	31,4	*Лаута*
30,4	29,6	29,0	28,4	28,1	27,8	27,8	34,6	32,0	31,6	30,1	28,2	*Хайдаркан*
28,3	27,6	26,9	26,4	26,1	26,0	25,9	31,9	29,8	29,4	28,0	26,2	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	
55,2	55,3	55,3	55,2	55,0	54,9	54,6	52,5	54,7	54,9	55,2	55,1	*Пезинок*
52,0	51,3	50,9	50,5	50,2	50,1	50,0	56,9	53,7	53,3	51,7	50,3	
0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,02	0,03	0,06	0,09	
38,4	37,6	36,7	35,7	35,0	34,3	33,9	43,1	40,1	39,6	38,1	35,4	*Хайдаркан*
29,6	29,2	28,7	28,0	27,4	26,9	26,6	31,7	30,2	30,1	29,4	27,8	
0,23	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,21	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	
45,4	44,9	44,4	44,2	44,2	44,2	44,2	49,9	46,6	46,3	45,2	44,2	*Букука*
37,7	37,6	37,6	37,6	37,6	37,6	37,6	40,0	38,5	38,3	37,6	37,6	
0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,17	0,17	0,17	0,15	
45,3	45,1	45,0	44,7	44,4	44,0	43,6	45,4	45,4	45,5	45,2	44,6	[50]
40,7	40,3	40,1	39,8	39,6	39,3	39,0	41,9	41,1	41,0	40,5	39,7	
0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,08	0,10	0,10	0,10	0,11	
48,9	49,7	50,6	51,5	52,4	53,4	54,3	43,3	47,2	47,6	49,2	51,9	КазССР
30,8	30,2	29,8	29,5	29,1	28,8	28,7	35,0	32,7	32,3	30,5	29,3	*Аллшар*
26,9	26,0	25,5	25,2	24,9	24,8	24,6	28,9	28,3	28,0	26,5	25,0	
0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,13	0,13	0,13	0,14	
29,4	29,9	30,5	30,9	31,2	31,4	31,4	25,3	28,2	28,5	29,7	31,0	*Челопеч*
26,2	27,0	27,8	28,4	28,8	29,2	29,2	24,1	25,2	25,4	26,6	28,6	
0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,05	0,11	0,11	0,11	0,08	
23,2	22,4	22,0	21,6	21,2	20,8	20,4	27,1	24,4	24,2	22,8	21,4	По Р. Кайс [13]
17,7	17,8	18,1	18,5	18,8	18,9	18,9	19,9	18,1	18,0	17,8	18,7	КМА
20,7	20,8	20,8	20,9	21,0	21,1	21,1	20,6	20,6	20,6	20,7	21,0	»
20,2	20,3	20,4	20,5	20,6	20,6	20,5	20,2	20,1	20,1	20,2	20,5	КазССР
20,3	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,3	20,3	20,2	20,3	20,3	20,4	*Крыккудук*
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,8	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	»

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Магнетит	234-5	$\underline{R}$	18,9	19,1	19,2	19,2	19,2	19,3	19,4	19,5	19,6
»	234-6	»	20,5	20,8	20,9	20,9	20,8	20,7	20,5	20,2	19,7
Макинавит	235	R_e	—	35,7	38,1	40,0	41,7	43,2	44,5	45,6	46,3
		R_o	—	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,7	20,8	21,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,44	0,47	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55
Маккинстриит	236	R_g	—	36,2	36,0	35,4	34,5	33,5	32,6	31,9	31,1
		R_p	—	29,5	30,0	30,2	30,0	29,3	28,5	28,0	27,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,18	0,17	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12
Мальдонит	237	$\underline{R}$	—	51,7	52,7	53,7	55,0	56,5	58,5	59,7	60,7
Марказит	239	R_g	—	45,1	46,8	50,2	53,2	55,8	57,1	57,5	57,0
		R_p	—	41,4	43,6	45,4	46,3	47,5	48,4	49,5	50,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,07	0,09	0,13	0,15	0,15	0,14	0,12
Матильдит	242	R_o	—	47,7	47,9	48,0	48,0	47,6	46,9	46,1	45,6
		R_e	—	45,0	45,1	45,2	45,2	45,0	44,6	44,0	43,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
Маухерит	244	R	44,1	44,5	45,1	45,8	46,6	47,2	48,0	49,0	50,0
Мгриит	245	$\underline{R}$	—	27,1	26,9	26,7	26,5	26,4	26,5	26,9	27,0
Медь	246	»	—	45,0	46,7	48,6	51,0	53,3	55,5	58,0	65,0
Мелонит	247-1	R_o	—	52,6	54,2	55,8	57,3	58,8	60,2	61,6	63,0
		R_e	—	54,8	54,3	54,0	53,9	54,4	55,0	56,2	57,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,00	0,03	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08
»	247-2	R_o	—	53,8	55,5	56,9	58,0	59,0	60,3	61,5	62,7
Менегинит	248	R_g	—	45,2	44,9	44,6	44,4	44,3	44,1	43,9	43,5
		R_p	—	36,4	36,6	36,6	36,6	36,5	36,4	36,2	36,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17
Метастибнит	249	R	—	31,3	30,9	30,6	30,1	29,5	28,9	28,2	27,4
Метациннабарит	250	$\underline{R}$	—	26,9	26,3	25,8	25,3	25,0	24,7	24,5	24,2
Миаргирит	251	R_g	39,4	39,3	39,2	38,8	38,4	38,0	37,5	36,8	36,1
		R_p	34,3	34,0	33,6	33,0	32,3	31,7	31,0	30,3	29,6
		$\Delta R_{отн}$	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18
Миллерит	252	R_e	—	24,4	32,0	38,9	44,8	49,4	52,4	54,8	56,4
		R_o	—	31,7	36,7	40,9	44,5	47,0	48,5	49,8	50,8
		ΔR	—	0,30	0,15	0,05	0,01	0,05	0,07	0,09	0,10
Михараит	253	R_g	—	32,6	32,8	33,0	33,3	33,4	33,5	33,6	33,7
		R_p	—	30,8	31,0	31,2	31,4	31,6	31,7	31,8	32,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
Моддерит	254	R	—	—	37,1	38,0	38,3	39,1	39,2	39,8	39,7
Моихукит	255	»	13,1	14,4	17,5	21,6	26,0	29,6	32,4	35,0	37,0
Молибд.-2H	256	R_o	53,9	53,9	54,7	55,3	53,4	50,9	48,4	46,6	45,2
Молибд.-3R	257	R_o	57,4	57,4	57,8	58,4	56,3	53,1	50,6	48,7	47,1
		R_e	23,8	24,3	25,4	26,1	26,1	25,3	24,3	23,4	22,5
		$\Delta R_{отн}$	0,58	0,58	0,56	0,55	0,54	0,52	0,52	0,52	0,51

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	20,1	20,1	19,2	19,5	19,6	19,8	20,0	КазССР
19,5	19,2	18,9	18,6	18,3	18,1	17,8	20,8	20,0	19,9	19,3	18,4	*Бегим*
46,9	47,3	47,7	48,1	48,4	48,6	48,8	40,8	45,8	46,1	47,1	48,2	*Норильское*
21,1	21,3	21,5	21,8	22,3	22,5	23,0	20,3	20,8	20,9	21,2	22,0	
0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,50	0,54	0,55	0,55	0,54	
30,5	30,0	29,5	29,0	28,8	28,5	28,2	35,0	31,6	31,3	30,2	28,9	*Седмочисленицы*
27,1	26,9	26,7	26,5	26,4	26,4	26,4	30,1	27,8	27,6	27,0	26,5	
0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,14	0,12	0,12	0,10	0,08	
61,5	61,7	61,8	61,9	62,0	62,1	62,2	54,3	60,0	60,5	61,6	62,0	Ср. Азия
55,9	55,4	55,4	55,3	54,5	54,0	53,5	51,7	57,5	57,3	55,6	54,9	*Весеннее*
50,1	49,9	49,7	49,4	48,9	48,5	48,3	45,8	49,7	49,9	50,1	49,2	
0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13	0,10	0,10	
45,0	44,8	44,8	44,8	44,7	44,8	44,8	48,0	46,0	45,7	44,9	44,8	По М. М. Болдыревой
43,0	42,7	42,4	42,1	42,0	41,6	41,4	45,2	43,9	43,7	42,8	42,0	
0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	
51,2	52,2	53,2	54,2	55,0	55,7	56,5	46,1	49,3	49,7	51,6	54,5	*Бени-Бушера*
27,0	27,0	26,8	26,6	26,4	26,2	26,0	26,6	26,9	27,0	27,0	26,5	ЧССР
77,0	85,6	90,8	92,1	93,0	93,5	94,0	49,7	59,7	62,5	81,3	92,5	Красноярский край
64,5	65,9	67,2	68,4	69,5	70,2	70,5	56,5	61,9	62,6	65,0	69,0	АрмССР
59,2	60,6	62,0	63,2	64,1	64,9	65,2	53,9	56,6	57,1	59,8	63,6	
0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	
64,5	65,8	67,2	68,5	69,3	70,2	70,6	—	—	—	—	—	*Робб-Монтбрей*
42,9	42,3	41,8	41,1	40,6	40,1	39,7	44,5	43,8	43,6	42,6	40,8	*Алгачи*
35,6	35,3	35,0	34,7	34,3	34,1	33,9	36,6	36,1	36,0	35,5	34,5	
0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,18	0,17	0,17	0,17	0,15	
26,5	25,8	25,2	24,7	24,3	24,1	24,0	30,3	27,9	27,6	26,1	24,5	*Джижикрут*
24,1	24,0	24,0	24,0	23,9	23,9	23,9	25,5	24,4	24,3	24,1	24,0	То же
35,4	34,8	34,1	33,4	32,7	32,0	31,5	38,6	36,6	36,3	35,1	33,1	Ср. Азия
28,9	28,3	27,8	27,4	27,0	26,6	26,3	32,6	30,1	29,8	28,7	27,2	
0,18	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	
58,0	59,3	60,3	61,0	61,6	62,1	62,6	42,0	55,2	55,9	58,6	61,3	*Березовское*
51,7	52,7	53,8	54,5	55,0	55,6	56,1	42,8	50,1	50,5	52,3	54,8	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,02	0,09	0,10	0,11	0,11	
34,0	34,3	34,8	35,2	35,6	36,0	36,3	33,2	33,6	33,6	34,1	35,5	Ср. Азия
32,1	32,3	32,7	33,1	33,5	34,0	34,3	31,3	31,8	31,9	32,2	33,3	
0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	
39,6	39,2	39,0	38,2	37,4	37,1	35,5	38,1	39,8	—	39,4	37,8	По А. Махмудову
38,0	38,9	39,3	39,7	40,0	40,1	40,3	23,7	35,6	36,5	38,4	39,8	Красноярский край
44,3	45,9	47,6	45,1	45,7	49,5	46,7	54,4	46,1	45,5	44,2	44,7	*Тырныауз*
45,9	45,0	46,3	48,8	45,3	48,5	48,1	57,9	48,2	47,5	45,5	47,0	*Слюдгора*
22,3	21,9	21,6	21,3	21,1	21,0	21,0	26,2	23,2	22,9	22,1	21,2	
0,51	0,51	0,53	0,56	0,53	0,57	0,56	0,55	0,52	0,52	0,51	0,55	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Монтбрейит	258-1	R_g	—	57,6	59,7	61,7	63,5	65,0	66,4	67,4	68,2
		R_p	—	48,0	49,6	51,2	52,8	54,2	55,4	56,4	57,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16
»	258-2	R_g	—	51,0	53,2	55,5	57,7	59,7	61,3	62,6	63,6
		R_p	—	41,6	44,6	47,3	50,1	52,5	54,5	55,8	57,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10
Моусонит	261	R_e	—	14,6	15,9	17,5	19,4	21,4	23,9	26,5	29,4
		R_o	—	17,4	18,9	20,5	22,2	23,5	24,4	25,5	26,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,19	0,19	0,17	0,14	0,10	0,02	0,04	0,10
Мохит	262	$\overline{R}$	—	—	24,6	24,7	25,3	25,6	25,4	25,5	25,6
Мошелланд-сбергит	263	$\overline{R}$	—	62,9	64,9	66,9	68,8	70,7	72,4	74,1	75,8
Мурунскит	264	R	—	14,4	15,0	15,6	16,6	17,4	18,2	19,2	20,0
Мутманнит	266	»	—	42,3	41,3	40,4	39,7	39,2	38,7	38,4	38,2
Мышьяк	267	R_o	—	59,2	58,8	58,5	58,3	58,2	58,1	58,0	57,8
		R_e	—	54,9	53,5	52,1	51,0	50,1	49,4	48,8	48,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16
Мэдокит	268	R_g	—	43,9	43,4	42,8	42,1	41,6	41,2	40,7	40,1
		R_p	—	38,7	38,1	37,3	36,7	36,2	35,8	35,3	34,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14
Нагиагит	270	$\overline{R}_g$	45,5	45,2	44,8	44,4	43,7	43,0	42,3	41,6	40,8
		$\overline{R}_p$	38,8	39,1	39,3	39,3	39,3	39,2	39,0	38,7	38,1
		$\Delta R_{отн}$	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
Настуран	272	$\overline{R}$	—	15,7	15,6	15,5	15,4	15,2	15,1	15,1	15,0
Науманнит	273	$\overline{R}$	—	39,0	39,7	40,0	39,7	39,0	38,0	36,9	35,8
Наффилдит	274	R_g	—	43,8	43,8	43,9	44,2	44,6	44,8	44,7	44,4
		R_p	—	38,4	38,3	38,5	38,6	38,8	39,0	38,9	38,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12
Невскит	275	R_g	—	—	58,0	57,3	56,8	56,3	55,9	55,5	55,0
		R_p	—	—	52,5	52,1	51,7	51,3	50,8	50,5	50,1
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	0,09	—	0,09	—	0,09	—
Некрасовит	277	$\overline{R}$	20,8	21,3	21,9	22,8	23,6	24,4	25,2	25,9	26,6
Никелин	278	R_o	—	44,0	43,3	43,5	44,6	46,5	49,1	51,2	53,5
		R_e	—	37,6	36,7	36,5	37,5	39,7	43,3	46,4	49,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15	0,12	0,09	0,07
Никель	279	$\overline{R}$	—	—	—	—	60,1	61,7	62,6	63,2	63,6
Никельскут-терудит	280	»	51,2	52,0	52,7	53,3	53,9	54,4	54,7	54,8	54,9
Нисбит	281	R	—	60,2	60,7	61,2	61,4	61,7	61,7	61,7	61,8
Новакит	282	R_g	—	50,5	52,0	53,0	53,9	54,6	55,2	55,6	56,0
		R_p	—	45,4	47,2	48,3	49,1	49,8	50,2	50,6	50,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Нукундамит	285	R_o	—	23,9	24,1	24,3	24,3	24,2	24,1	23,9	23,8
		R_e	—	13,4	13,4	13,4	13,5	13,8	14,7	15,8	17,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,44	0,44	0,45	0,44	0,43	0,39	0,34	0,24

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
68,8	69,5	70,2	70,8	71,2	71,5	71,8	62,6	67,6	68,0	69,1	71,0	*Робб-*
57,8	58,5	59,0	59,6	60,1	60,5	61,1	51,9	56,7	57,0	58,2	60,0	*Монтбрей*
0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	
64,3	64,8	65,2	65,6	66,0	66,2	66,4	56,7	63,0	63,4	64,5	65,8	КазССР
57,9	58,5	59,1	59,7	60,3	60,9	61,3	48,8	56,3	56,7	58,2	60,0	
0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,14	0,11	0,10	0,10	0,09	
32,0	34,5	36,7	38,5	39,7	40,4	40,8	18,4	27,3	28,5	33,1	39,2	*Уруп*
27,6	28,7	30,0	31,3	32,5	33,4	34,2	21,4	25,8	26,2	28,0	31,9	
0,14	0,17	0,18	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,05	0,08	0,15	0,19	
25,7	25,6	25,7	26,0	25,9	26,2	26,4	25,0	25,6	25,6	25,6	26,0	Ср. Азия
77,3	79,0	80,5	82,0	83,4	84,8	86,1	67,9	74,6	75,3	78,1	82,7	[50]
21,0	21,8	22,6	23,3	24,0	24,6	25,4	16,1	19,4	19,8	21,4	23,6	По М. М. Добровольской
38,1	38,0	38,0	38,0	38,1	38,2	38,4	40,1	38,3	38,2	38,0	38,0	*Баяде-Арьеш*
57,7	57,6	57,7	57,7	57,7	57,7	57,7	58,4	58,0	57,9	57,7	57,7	*Садон*
48,0	47,8	47,8	47,8	47,8	47,9	48,0	51,6	48,6	48,4	47,9	47,8	
0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,12	0,16	0,16	0,17	0,17	
39,5	38,6	37,9	37,3	36,5	35,4	34,7	42,5	40,5	40,3	39,1	36,9	По И. Моёло
34,1	33,5	32,8	32,2	31,4	30,7	30,0	37,0	35,0	34,7	33,8	31,8	
0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	
40,3	39,9	39,4	38,9	38,3	37,9	37,4	44,0	41,4	41,1	40,1	38,6	*Сэкэрымб*
37,7	37,3	37,1	36,9	36,8	36,6	36,3	39,3	38,5	38,2	37,5	36,8	
0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,11	0,07	0,07	0,06	0,05	
15,0	15,0	15,0	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,0	15,0	15,0	15,0	ЧССР
34,9	34,2	33,5	33,2	33,0	32,8	32,7	39,9	36,6	36,1	34,6	33,1	*Клаусталь*
43,8	43,3	42,8	42,2	41,7	41,3	41,2	44,0	44,6	44,5	43,6	41,9	КазССР
38,7	38,4	38,0	37,9	37,8	37,8	37,8	38,6	38,9	38,9	38,6	37,8	
0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,12	0,12	0,13	0,11	0,10	
54,5	54,1	53,7	53,2	52,8	52,5	52,2	57,0	55,3	55,2	54,3	53,0	По
49,8	49,6	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	51,9	50,4	50,2	49,7	49,0	Л. Н. Вяльсову
0,08	—	—	0,08	—	—	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	
27,3	27,9	28,5	29,1	29,3	29,6	29,6	23,2	26,1	26,4	27,6	29,2	Ср. Азия
55,6	57,3	58,8	60,3	61,8	63,0	64,0	44,0	51,9	52,8	56,4	61,1	КазССР
52,8	55,2	57,3	59,0	60,5	61,8	62,8	36,7	47,5	48,7	54,0	59,8	
0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,16	0,08	0,08	0,04	0,02	
64,2	65,1	66,2	66,9	—	—	—	59,0	63,3	—	64,6	67,3	По Е. Бюрке
54,9	54,8	54,5	54,1	53,7	53,3	53,0	53,6	54,9	54,9	54,8	53,9	Вост. Сибирь
62,0	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	62,1	61,3	61,8	61,8	62,0	62,1	Дальний Восток
56,3	56,6	56,8	56,9	57,0	57,1	57,2	53,5	55,7	55,9	56,4	57,0	[50]
51,2	51,3	51,4	51,5	51,5	51,5	51,5	48,7	50,7	50,8	51,2	51,5	
0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	
23,5	23,6	24,0	25,3	27,0	28,8	30,0	24,3	23,9	23,8	23,5	26,2	*Акатуевское*
19,2	20,8	22,6	24,2	25,8	27,2	28,5	13,4	16,2	16,9	19,9	25,0	
0,18	0,12	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,45	0,32	0,29	0,15	0,04	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Овихиит	286	R_g	—	44,4	44,2	44,1	43,9	43,6	43,1	42,7	42,2
		R_p	—	42,0	41,8	41,6	41,2	40,9	40,4	39,8	39,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
Окартит	287	R	27,4	27,4	27,2	26,5	26,3	26,3	26,1	26,0	25,9
Онофрит		R	—	28,5	27,7	27,0	26,5	26,0	25,7	25,4	25,2
Орегонит	290	R	—	43,0	44,3	45,3	46,1	46,7	47,2	48,0	48,9
Орселит	291	R_g	42,3	42,2	42,3	42,7	43,8	45,3	46,7	48,2	49,4
		R_p	39,7	40,0	40,5	41,3	42,4	44,0	45,5	46,7	47,9
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Павонит	294	R_g	—	50,5	50,3	50,0	49,8	49,5	49,0	48,4	47,8
		R_p	—	46,1	45,9	45,6	45,3	45,0	44,5	44,0	43,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Паксит	295	R_g	—	48,4	48,6	48,4	48,0	48,5	49,2	49,5	49,4
		R_p	—	45,8	45,2	44,8	44,6	44,6	44,5	44,2	43,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11
Парагуанахуатит	124-2	R_g	—	52,6	53,5	54,2	54,6	55,0	55,1	55,0	54,6
		R_p	—	48,1	49,2	50,0	50,5	50,9	51,1	51,0	50,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Парарам-мельсбергит	300	R_2	58,2	58,3	58,4	58,5	58,7	58,9	59,0	59,3	59,7
		R_1	59,1	59,2	59,3	59,3	59,4	59,4	59,3	59,2	59,0
		$\Delta R_{отн}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Парапьерротит	299	R_g	—	42,2	41,6	41,1	40,6	40,3	40,0	39,7	39,2
		R_p	—	31,3	30,9	30,3	29,9	29,5	29,3	29,1	28,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26
Паркерит	303	R_g	—	47,1	48,0	48,8	49,5	50,0	50,3	50,5	50,7
		R_p	—	44,6	45,1	45,5	45,7	45,8	45,8	45,8	46,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
Патронит	304	R_g	—	30,0	30,1	30,8	31,9	32,6	32,9	32,8	32,4
		R_p	—	20,0	19,8	19,8	20,0	20,1	20,1	20,0	19,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,39
Пенжинит	490	R_g	—	33,2	—	33,5	—	34,4	—	34,5	—
		R_p	—	32,2	—	31,8	—	31,5	—	31,2	—
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	—	0,05	—	0,08	—	0,10	—
Пентландит	306-1	R	32,0	37,9	42,0	45,0	47,7	49,7	51,6	52,8	54,0
»	306-2	»	31,5	36,2	39,5	42,3	44,3	46,1	47,5	48,5	49,3
»	306-4	»	28,4	32,0	35,3	38,2	40,7	42,8	44,7	46,2	47,4
»	306-5	»	29,3	33,0	36,2	39,0	41,4	43,3	44,8	46,0	47,1
»	306-6	»	25,9	30,4	33,6	36,3	39,0	41,3	43,1	44,6	45,8
»	306-7	»	27,4	31,0	33,8	36,2	38,7	40,5	42,0	43,3	44,2
	23	»	21,7	22,2	23,0	23,9	25,0	26,3	27,5	28,8	30,0
Перминжатит	307	R_2	29,3	29,1	28,5	27,8	27,1	26,8	26,6	25,8	25,1
		R_1	29,3	30,3	30,8	30,5	29,0	27,5	26,2	25,4	25,3
		$\Delta R_{отн}$	0	0,04	0,08	0,10	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01
Петровицит	308	R_g	—	44,8	45,2	45,4	45,7	46,1	46,3	46,5	46,4
		R_p	—	44,1	44,2	44,3	44,4	44,7	45,1	45,2	45,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Петцит	309-1	R	—	42,8	42,0	41,2	40,6	40,0	39,6	39,3	39,0
»	309-2	»	—	44,2	42,8	41,8	41,1	40,5	40,1	39,8	39,6
»	309-3	»	—	43,3	42,1	41,2	40,1	39,8	39,5	39,1	38,8
»	309-4	»	—	40,5	39,6	39,0	38,6	38,3	38,2	38,0	38,0

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
41,6	41,1	40,6	40,0	39,2	38,5	37,9	44,0	42,5	42,3	41,4	39,6	Якутия
38,9	38,6	38,2	37,7	37,2	36,6	35,9	41,4	39,7	39,5	38,8	37,5	
0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	
26,2	26,6	26,7	26,6	26,1	25,6	25,4	26,4	26,0	26,0	26,4	26,4	[10]
25,1	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	26,7	25,4	25,3	25,1	25,0	*Горхон*
50,1	51,3	52,8	54,2	55,4	56,4	57,2	45,7	48,3	48,6	50,6	54,7	[50]
50,4	51,4	52,3	53,2	54,1	54,8	55,5	43,2	48,6	49,1	50,9	53,6	По
48,7	49,9	51,0	52,0	53,0	53,8	54,5	41,8	47,1	47,5	49,4	52,5	Н. С. Рудашевскому
0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	
47,3	47,0	46,7	46,4	46,2	46,0	45,8	49,9	48,2	48,0	47,2	46,3	[50]
42,9	42,5	42,2	42,0	41,9	41,7	41,6	45,5	43,8	43,6	42,7	42,0	
0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,9	47,6	48,2	49,5	49,4	49,0	48,5	[50]
43,5	43,4	43,5	43,7	43,8	43,7	43,3	44,7	44,1	43,9	43,4	43,8	
0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,07	0,11	0,11	0,11	0,10	
54,2	53,7	53,0	52,2	51,5	50,6	49,8	54,4	54,9	54,7	54,0	51,9	[50]
50,5	50,0	49,5	48,8	48,2	47,4	46,5	50,2	50,9	50,8	50,3	48,5	
0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	
60,1	60,5	60,8	61,2	61,3	61,4	61,5	58,6	59,4	59,5	60,3	61,2	*Бу-Аззер*
58,9	58,7	58,5	58,3	58,1	58,0	57,8	59,4	59,2	59,1	58,8	58,2	
0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	
38,5	37,9	37,1	36,1	35,1	34,1	34,2	40,9	39,6	39,4	38,2	35,6	[50]
28,6	28,2	27,9	27,3	26,7	26,0	26,6	30,1	29,0	28,9	28,4	27,0	
0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,22	0,26	0,27	0,27	0,26	0,24	
51,0	51,5	51,9	52,3	52,8	53,3	53,8	49,1	50,6	50,8	51,3	52,6	[50]
46,3	46,8	47,4	48,0	48,5	49,1	49,6	45,6	45,8	45,9	46,5	48,3	
0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,10	0,09	0,08	
31,4	30,5	29,6	29,6	29,8	30,3	31,0	31,3	32,7	32,5	31,0	29,7	[50]
19,6	19,1	18,9	18,8	19,0	19,2	19,5	19,9	20,0	19,9	19,4	18,9	
0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,36	0,39	0,39	0,37	0,36	
33,8	—	33,0	—	32,0	—	31,5	33,7	34,2	34,4	33,7	32,3	По Л. И Бочек
31,2	—	30,7	—	30,1	—	29,8	31,7	31,6	31,5	31,1	30,3	
0,08	—	0,07	—	0,06	—	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06	
54,9	55,8	56,6	57,3	57,8	58,3	58,7	46,4	53,2	53,6	55,7	57,5	Красноярский край
50,2	50,9	51,6	52,3	52,7	53,1	53,4	43,2	48,7	49,0	50,8	52,5	
48,3	49,2	49,8	50,5	51,0	51,6	52,2	39,4	46,6	47,1	48,7	50,7	То же
48,0	48,8	49,6	50,3	50,8	51,3	51,6	40,2	46,4	46,8	48,8	50,5	»
46,7	47,6	48,5	49,1	49,6	50,2	50,7	37,6	45,0	45,4	46,6	49,3	»
45,1	45,9	46,7	47,4	47,9	48,3	48,8	37,4	43,3	43,9	45,9	47,6	»
31,2	32,4	33,4	34,5	35,3	36,0	36,8	24,5	29,2	29,6	31,7	34,9	Красноярский край
24,8	24,8	24,9	25,2	26,0	26,8	27,7	27,5	25,6	25,4	24,8	25,6	*Пржедборжице*
25,5	26,3	27,2	28,4	29,6	30,2	30,7	29,8	25,4	25,4	25,8	29,0	
0,03	0,06	0,09	0,13	0,14	0,13	0,11	0,08	0,01	0	0,04	0,13	
46,2	46,0	45,9	45,8	45,7	45,6	45,5	45,5	46,4	46,4	46,1	45,8	[50]
45,1	45,1	45,0	44,9	44,9	44,8	44,8	44,4	45,2	45,2	45,1	44,9	
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	
38,7	38,6	38,6	38,7	38,8	39,0	39,2	40,9	39,2	39,1	38,6	38,7	Урал
39,3	39,2	39,1	38,9	38,8	38,8	38,9	41,4	39,7	39,7	39,3	38,9	КазССР
38,6	38,3	38,1	38,0	37,9	37,9	37,9	40,6	39,0	38,9	38,5	38,0	»
37,9	37,8	37,7	37,7	37,7	37,7	37,8	38,8	38,0	38,0	37,9	37,7	»

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Пикополит	310	R_g	—	30,3	31,9	32,4	32,0	31,3	31,0	31,0	31,4
		R_p	—	24,5	25,5	25,8	25,4	24,6	24,3	24,2	24,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
Пильзенит	311	R_e	—	61,8	61,8	61,9	62,2	62,6	63,0	63,6	64,1
		R_o	—	58,8	58,9	59,0	59,1	59,2	59,3	59,5	59,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
Пираргирит	312	R_o	—	36,6	36,9	36,5	35,7	34,3	32,9	31,3	30,0
		R_e	—	34,8	35,2	34,4	32,8	31,5	30,0	28,5	27,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
Пирит	313-0	$\bar{R}$	—	38,6	41,0	44,3	48,4	51,0	52,8	53,8	54,5
»	313-1	»	—	37,7	38,6	40,0	41,8	43,7	45,7	47,2	48,8
»	313-2	»	—	36,6	37,6	38,9	40,7	43,0	44,8	46,3	47,7
»	313-3	»	—	35,1	35,8	37,1	38,8	40,7	42,5	44,1	45,3
»	313-4	»	—	34,8	35,4	36,7	38,2	39,8	41,5	43,0	44,4
»	313-5	»	35,8	35,1	34,6	34,7	35,6	36,6	37,7	38,9	39,9
Пирит-Sb	314-1	»	—	38,1	39,0	40,7	42,8	44,7	46,3	47,5	48,3
»	314-2	»	—	37,2	37,8	39,2	41,1	42,9	44,4	45,4	46,2
»	314-3	»	—	37,1	37,7	38,8	40,2	41,8	43,0	44,0	44,7
Пиркитасит	315	R_2	—	24,2	24,0	23,7	23,6	23,5	23,6	23,7	23,8
		R_1	—	23,7	23,4	23,1	23,0	23,0	23,0	23,0	23,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Пиростильпнит	316	R	—	25,1	26,1	27,1	26,8	27,2	26,3	25,5	25,5
Пирротин гекс.	317	R_e	30,7	32,2	33,6	34,7	35,8	36,9	37,9	38,7	39,4
		R_o	27,2	27,8	28,6	29,4	30,3	31,2	32,1	33,0	33,9
		$\Delta R_{отн}$	0,11	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14
Пирротин монокл.	318	R_g	31,0	32,2	33,5	34,8	36,0	37,3	38,3	39,2	39,9
		R_p	27,9	28,4	29,1	30,0	31,0	31,9	32,8	33,7	34,6
		$\Delta R_{отн}$	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13
Пирсеит	319	R_g	—	35,0	35,0	34,9	34,7	34,4	34,2	33,9	33,8
		R_p	—	31,1	30,9	30,4	29,8	29,1	28,5	28,1	28,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,17	0,17
Плагионит	320	R_g	—	43,3	43,5	43,5	43,3	43,0	42,6	41,9	41,3
		R_p	—	32,9	33,2	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4	33,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19
Полибазит	322	R_2	—	35,0	34,8	34,6	34,3	34,1	33,8	33,5	33,3
		R_1	—	35,4	34,9	34,2	33,5	32,9	32,2	31,7	31,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06
Полидимит	323	$\bar{R}$	40,4	41,4	42,3	43,2	43,8	44,4	44,8	44,9	44,9
Поубаит	326	R_g	—	55,2	56,0	56,1	55,6	55,1	55,8	55,4	55,1
		R_p	—	52,7	54,2	54,4	53,9	53,8	54,2	53,8	53,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Прустит	329	R_o	—	34,2	33,7	32,9	31,8	30,4	29,2	28,0	27,2
		R_e	—	31,1	30,2	29,2	27,7	26,3	25,3	24,5	23,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,10	0,11	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12
Путоранит	330-1	$\bar{R}$	14,6	16,1	18,7	22,3	26,1	29,4	32,2	34,4	36,1
»	330-2	»	15,4	17,8	21,5	25,6	29,8	33,0	35,7	38,1	40,0
Пяккёненит	332	R_g	—	52,4	52,1	51,7	50,8	49,8	48,7	47,8	47,0
		R_p	—	42,2	40,9	39,8	38,7	38,0	37,5	37,2	36,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,19	0,21	0,23	0,24	0,24	0,23	0,22	0,21

8 0	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
32,2	33,1	33,8	34,7	35,6	36,6	37,6	32,3	31,1	31,2	32,6	35,1	[50]
24,6	25,2	25,7	26,5	27,3	28,2	29,2	25,6	24,2	24,3	24,9	26,8	
0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,22	0,22	0,24	0,24	
64,6	65,1	65,5	65,9	66,2	66,6	66,7	62,0	63,7	63,9	64,8	66,0	*Ильковцы-*
59,9	60,0	60,2	60,4	60,6	60,8	61,0	59,0	59,5	59,6	59,9	60,6	*Подулки*
0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	
28,8	28,0	27,4	27,0	26,5	26,2	25,8	36,2	30,9	30,4	28,4	26,7	*Андреасберг*
26,4	25,8	25,3	25,0	24,6	24,3	24,0	33,5	28,2	27,7	26,1	24,8	
0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,09	0,08	0,07	
54,9	55,1	55,2	55,5	55,9	56,3	56,8	46,5	54,1	54,4	55,0	55,7	*Березовское*
50,1	50,9	51,5	52,0	52,6	52,9	53,0	40,9	47,9	48,4	50,5	52,3	КазССР
49,1	49,8	50,5	51,2	51,6	51,8	51,9	—	—	—	—	—	»
46,4	47,2	47,9	48,5	48,9	49,2	49,4	38,0	44,4	45,0	46,8	48,7	»
45,4	46,2	46,8	47,2	47,6	48,0	48,1	37,4	43,5	44,0	45,8	47,4	»
41,1	41,9	42,8	43,7	44,7	45,7	46,8	35,1	39,2	39,6	41,5	44,2	По П. Симпсону [13]
49,0	49,3	49,7	50,0	50,4	51,0	51,3	—	—	—	—	—	*Сарылах*
46,8	47,1	47,5	47,8	47,9	48,0	48,1	—	—	—	—	—	»
45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	39,5	44,2	44,5	45,3	46,1	»
23,8	23,4	22,7	22,1	21,6	21,2	20,9	23,6	23,7	23,8	23,6	21,8	По З. Иохану
23,1	23,2	23,3	22,8	22,1	21,4	21,0	23,0	23,0	23,0	23,2	22,5	
0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	
25,3	24,8	24,3	23,8	23,3	23,0	22,8	26,9	25,5	25,5	25,1	23,6	[10]
40,2	40,8	41,3	41,9	42,4	42,9	43,3	35,2	39,0	39,2	40,4	42,1	*Норильское*
34,8	35,6	36,4	37,3	38,0	38,7	39,3	29,8	33,3	33,7	35,1	37,6	
0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,15	0,15	0,14	0,13	0,11	
40,6	41,3	42,0	42,5	43,0	43,6	44,0	35,4	39,3	39,6	40,9	42,7	»
35,7	36,5	37,4	38,3	39,0	39,7	40,5	30,5	34,0	34,4	36,0	38,6	
0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10	
33,6	33,1	32,4	31,8	31,4	31,0	30,6	34,8	33,9	33,8	33,4	31,6	*Миргалимсай*
28,1	28,2	28,3	28,2	28,1	27,9	27,8	30,1	28,1	28,0	28,2	28,2	
0,16	0,15	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,14	0,17	0,17	0,16	0,11	
40,9	40,6	40,3	39,7	39,0	38,2	37,2	43,4	41,7	41,5	40,8	39,4	*Вольфсберг*
33,0	32,6	32,0	31,4	30,6	30,0	29,4	33,4	33,4	33,4	32,8	31,0	
0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,23	0,20	0,20	0,20	0,21	
33,1	32,9	32,6	32,2	31,9	31,5	31,2	34,4	33,4	33,4	33,0	32,1	Ср. Азия
30,9	30,9	30,8	30,7	30,5	30,4	30,2	33,9	31,5	31,4	30,9	30,6	
0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,06	0,06	0,06	0,05	
45,0	45,3	46,0	46,9	48,0	49,3	50,7	43,6	44,9	44,9	45,1	47,4	*Камбалда*
54,8	54,6	54,2	54,0	53,8	53,4	53,3	55,8	55,3	55,2	54,7	53,9	По Ф. Чеху
53,2	53,0	52,7	—	52,2	51,7	51,6	54,2	53,7	53,6	53,1	52,3	
0,03	0,03	0,03	—	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
26,6	26,2	25,9	25,6	25,3	25,1	24,8	32,4	27,8	27,4	26,4	25,4	*Чаньярсильо*
23,2	22,8	22,5	22,3	22,0	21,9	21,8	28,5	24,3	24,0	23,0	22,2	
0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	
37,3	38,0	38,6	39,0	39,4	39,6	39,8	24,1	35,1	35,7	37,6	39,2	Красноярский край
41,0	41,6	42,0	42,2	42,3	42,3	42,4	27,7	38,8	39,5	41,3	42,2	
46,3	45,8	45,5	45,3	45,1	45,4	45,3	51,3	47,5	47,2	46,1	45,2	По
36,7	36,6	36,5	36,4	36,2	36,2	36,0	39,2	37,1	37,0	36,6	36,3	Н. Н. Мозговой
0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Пьерротит	331	R_g	—	38,8	38,0	37,2	36,6	36,0	35,5	35,0	34,5
		R_p	—	35,2	34,5	33,7	33,1	32,5	31,9	31,3	30,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11
Рагинит	333	R_g	—	30,4	32,8	33,6	31,8	29,8	30,2	32,1	34,3
		R_p	—	24,1	24,5	24,8	25,0	25,1	25,2	25,4	25,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,21	0,25	0,26	0,21	0,16	0,16	0,21	0,25
Раклиджит	334	R_g	—	60,9	61,0	61,3	61,6	62,0	62,6	63,0	63,4
		R_p	—	57,8	57,9	58,0	58,3	58,7	58,9	59,1	59,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
Рамдорит	335	R_g	—	42,8	42,5	42,2	42,0	41,6	41,2	40,9	40,5
		R_p	—	38,8	38,3	37,8	37,4	36,9	36,5	36,0	35,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12
Раммельсбергит	336	R_g	59,8	60,0	60,2	60,2	60,2	60,2	60,1	60,1	60,1
		R_p	57,1	57,1	57,0	57,0	56,8	56,7	56,6	56,6	56,6
		$\Delta R_{отн}$	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
Расвумит	337	R_g	—	—	31,0	30,1	29,6	29,2	29,0	28,9	29,0
		R_p	—	—	13,2	14,1	14,6	14,7	14,7	14,9	15,1
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,57	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,48
Ратит	338	R_g	—	42,2	41,5	41,0	40,5	40,0	39,6	39,2	38,6
		R_p	—	37,8	37,0	36,2	35,5	34,9	34,3	33,8	33,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
Реальгар	339	$\underline{Rg}$	—	22,9	23,6	23,9	23,6	22,8	21,7	20,9	20,2
		R_p	—	21,6	21,4	20,8	20,3	19,7	19,3	18,8	18,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,09	0,13	0,14	0,13	0,11	0,10	0,08
Рейит	341	R_g	41,8	41,3	40,9	40,6	40,4	40,1	39,9	39,6	39,4
		R_p	38,3	38,0	37,8	37,6	37,6	37,5	37,5	37,5	37,4
		$\Delta R_{отн}$	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
Реньерит	342	R_e	—	18,3	17,8	17,7	18,6	20,6	22,9	25,4	27,6
		R_o	—	18,9	18,4	18,0	18,3	19,3	21,3	23,5	25,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,07	0,07	0,08
Риккардит	343	R_o	—	36,5	33,4	30,4	27,5	24,8	22,4	20,3	19,0
		R_e	—	26,7	24,2	21,7	19,2	16,8	14,2	12,1	11,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,27	0,27	0,29	0,30	0,32	0,37	0,40	0,40
Робинсонит	344	R_g	—	46,4	45,6	45,0	44,7	44,3	43,9	43,6	43,2
		R_p	—	36,7	36,0	35,5	35,2	34,8	34,6	34,3	33,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Родостаннин	345	R_g	—	29,9	29,4	29,3	29,4	29,8	30,2	30,4	30,6
		R_p	—	28,7	28,3	28,2	28,2	28,3	28,5	28,8	28,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05
Рожковит	491	R_g	—	—	—	49,6	50,5	52,8	—	57,1	—
		R_p	—	—	—	46,0	46,9	49,0	—	53,0	—
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	0,07	0,07	0,07	—	0,07	—
Рокезит	346	R	—	24,7	24,1	23,6	23,3	22,9	22,6	22,3	22,2
Рохаит	347	R_g	—	36,4	36,6	36,7	36,5	36,1	36,0	35,4	35,2
		R_p	—	27,7	27,5	26,8	25,9	25,2	24,5	23,9	23,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,24	0,25	0,27	0,29	0,30	0,32	0,32	0,33
Рутил	348	R_e	28,0	27,0	26,0	25,2	24,6	24,2	23,7	23,3	23,0
		R_o	24,3	23,2	22,4	21,7	21,0	20,6	20,3	20,0	19,8
		$\Delta R_{отн}$	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
Рутьерит	349	R_g	34,0	33,2	32,4	31,7	31,2	30,9	30,5	30,0	29,1
		R_p	31,7	31,3	30,9	30,5	30,0	29,5	28,9	28,1	27,1
		$\Delta R_{отн}$	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
34,0	33,4	32,8	32,1	31,5	30,9	30,3	36,9	34,8	34,6	33,7	31,8	[50]
30,2	29,7	29,1	28,6	28,0	27,4	26,7	33,4	31,1	30,9	30,0	28,3	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	
36,3	38,0	39,5	40,7	41,5	42,0	42,4	32,9	32,8	33,6	37,1	41,1	[50]
25,7	25,8	26,0	26,3	26,6	26,9	27,2	24,9	25,4	25,5	25,8	26,4	
0,29	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,24	0,22	0,24	0,30	0,36	
63,8	64,0	64,2	64,4	64,6	64,8	65,0	61,5	63,2	63,3	63,9	64,5	АрмССР
59,6	59,7	59,8	60,1	60,4	60,8	61,1	58,2	59,2	59,2	59,6	60,3	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	
40,2	39,7	39,2	38,7	38,0	37,3	36,4	42,1	40,8	40,6	40,0	38,4	[50]
35,3	34,8	34,4	34,0	33,4	32,8	32,0	37,6	35,9	35,8	35,1	33,8	
0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	
60,0	59,8	59,5	59,1	58,7	58,3	57,8	60,2	60,1	60,1	59,9	58,9	Вост. Сибирь
56,6	56,6	56,6	56,6	56,6	56,5	56,4	57,0	56,6	56,6	56,6	56,6	
0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04	
29,4	29,9	30,7	31,4	32,2	32,8	33,2	29,8	28,9	29,0	29,6	31,8	[10]
15,1	15,3	15,4	15,6	15,7	15,7	15,7	14,4	14,9	15,0	15,2	15,6	
0,49	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,53	0,52	0,48	0,48	0,49	0,51	
38,0	37,1	36,2	35,4	34,7	34,1	33,6	40,7	39,0	38,8	37,6	35,0	[50]
32,8	32,2	31,6	30,8	30,0	29,2	28,4	35,8	33,6	33,4	32,5	30,4	
0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,12	0,14	0,14	0,13	0,13	
19,7	19,6	19,5	19,4	19,3	19,3	19,3	23,8	20,6	20,4	19,6	19,4	*Лухуми*
18,2	18,1	18,0	17,9	17,8	17,8	17,8	20,5	18,7	18,6	18,1	17,8	
0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,14	0,09	0,09	0,08	0,08	
38,9	38,4	37,9	37,5	37,3	37,2	37,1	40,5	39,6	—	38,7	37,4	По
37,2	37,0	36,7	36,3	35,9	35,6	35,3	37,6	37,5	—	37,1	36,1	Н. Н. Мозговой
0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,05	—	0,04	0,03	
29,5	31,1	32,5	33,6	34,5	35,3	35,8	18,0	26,1	27,0	30,2	34,1	*Принц Леопольд*
27,4	29,0	30,2	31,4	32,4	33,2	33,8	18,0	24,1	24,9	28,1	31,9	
0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,00	0,08	0,08	0,07	0,06	
18,1	17,8	18,2	19,3	21,5	24,3	27,4	28,9	19,9	19,3	18,0	20,3	Урал
12,6	15,9	21,4	27,3	33,7	39,7	44,9	20,5	11,7	11,4	14,0	30,6	
0,30	0,11	0,17	0,41	0,57	0,63	0,64	0,29	0,41	0,41	0,22	0,51	
42,5	41,8	41,0	40,4	39,8	39,1	38,3	44,9	43,4	43,3	42,2	40,1	[35]
33,4	33,0	32,7	32,3	31,8	31,5	31,0	35,3	34,2	34,0	33,2	32,0	
0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	
30,8	30,8	30,8	30,7	30,7	30,5	30,3	29,3	30,5	30,6	30,8	30,7	[50]
28,9	28,9	28,9	28,8	28,8	28,7	28,6	28,2	28,8	28,8	28,9	28,8	
0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	
63,5	—	68,5	—	71,6	—	76,4	—	—	—	—	—	По
59,0	—	64,0	—	67,4	—	72,4	—	—	—	—	—	Л. В. Разину
0,07	—	0,07	—	0,06	—	0,05	—	—	—	—	—	
22,0	22,0	22,1	22,2	22,2	22,3	22,5	23,4	22,3	22,2	22,0	22,2	*Уруп*
35,0	34,6	34,4	34,0	33,9	33,7	33,7	36,6	35,3	35,2	34,8	34,0	По Е. Маковицкому
23,4	23,2	23,3	23,1	22,9	22,6	22,3	26,3	23,8	23,7	23,3	23,0	
0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,28	0,32	0,33	0,33	0,32	
22,8	22,6	22,4	22,4	22,3	22,2	22,1	24,9	23,2	23,1	22,7	22,3	*Никитовское*
19,6	19,4	19,3	19,2	19,1	19,1	19,0	21,3	20,0	19,9	19,5	19,2	
0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
28,1	27,3	26,6	26,1	25,7	25,2	24,8	31,5	29,6	29,4	27,4	25,9	По Р. Кайс
26,3	25,5	25,0	24,5	24,1	23,8	23,5	30,3	27,7	27,5	26,0	24,3	[13]
0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,07	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Сабатьерит	350	R_g	—	33,2	34,3	33,8	33,0	32,2	31,5	30,6	29,6
		R_p	—	31,0	30,9	30,6	30,1	29,5	28,7	27,9	27,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09
Самсонит	352	R_g	—	36,6	35,6	34,7	34,0	33,2	32,2	31,2	30,0
		R_p	—	35,5	34,8	34,0	33,0	32,0	31,0	30,0	29,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
Сарторит	354	R_q	—	42,7	41,8	41,0	40,2	39,7	39,2	38,6	37,8
		R_p	—	38,0	37,4	36,8	36,4	35,8	35,2	34,6	33,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
Саффлорит	355	R_2	—	52,8	53,3	53,7	54,0	54,2	54,3	54,3	54,3
		R_1	—	55,9	55,7	55,2	54,7	53,9	53,2	52,6	51,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Свинец	356	$\bar{R}$	—	56,7	56,3	55,8	55,6	55,3	55,2	55,2	55,2
Сейняйокит	*358*	$\bar{R}$	—	—	—	63,8	62,4	61,4	60,8	60,8	60,8	60,8
Селен	359	R_e	—	38,9	38,3	37,3	36,5	35,8	35,4	35,5	35,6
		R_o	—	28,8	27,8	26,9	26,2	25,7	25,5	25,9	26,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26
Семсейит	360	R_g	44,5	44,2	43,9	43,6	43,3	43,1	42,8	42,5	42,2
		R_p	38,6	38,3	38,0	37,7	37,4	37,2	37,0	36,7	36,4
		$\Delta R_{отн}$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14
Сера	361	R_g	—	14,4	14,4	14,4	14,5	14,7	14,8	14,8	14,9
		R_p	—	10,5	10,2	10,2	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,27	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29
Серебро	362-1	$\bar{R}$	88,4	89,6	90,8	91,8	92,7	93,5	94,3	94,9	95,5
Серебро-Hg	362-2	»	—	62,5	64,1	65,8	67,8	69,5	71,1	72,7	74,3
Сильванит	364-1	R_g	—	52,2	54,5	56,6	58,2	59,1	59,5	59,8	59,9
		R_p	—	40,2	42,7	44,9	46,5	48,0	48,9	49,7	50,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16
»	364-2	R_g	—	51,5	54,2	56,5	58,2	59,1	59,4	59,6	59,8
		R_p	—	38,5	40,7	43,0	45,0	46,8	47,6	48,4	49,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18
Синнерит	153	$\bar{R}$	—	29,3	29,3	29,3	29,2	29,2	29,0	29,0	28,9
Скиннерит	365	R_g	37,6	37,2	36,6	35,8	35,0	34,5	33,9	33,3	32,7
		R_p	32,6	32,8	32,6	32,1	31,5	31,0	30,3	29,7	29,0
		$\Delta R_{отн}$	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
Скуттерудит	366-1	$\bar{R}$	57,0	57,2	57,5	57,6	57,5	57,4	57,1	56,8	56,5
»	366-2	»	54,5	54,7	54,9	55,0	55,0	55,0	54,9	54,8	54,6
Смайтит	367	R_g	—	—	—	43,6	44,2	44,8	45,4	46,0	46,5
		R_p	—	—	—	38,4	39,3	40,1	41,0	41,8	42,6
		$\Delta R_{отн}$	—	—	—	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08
Смитит	368	R_g	—	43,2	42,4	41,5	40,4	39,2	38,0	36,6	35,4
		R_p	—	40,0	39,3	38,7	37,9	37,0	36,0	35,0	33,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04
Соучекит	371	R_g	—	48,2	47,9	47,5	47,1	47,1	47,2	47,2	47,3
		R_p	—	44,6	44,2	44,1	43,7	43,9	43,8	43,7	43,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
Станнин	373-1	R	—	22,3	23,8	25,0	26,0	26,6	27,0	27,5	27,7

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
28,4	27,2	26,0	24,8	23,8	22,7	21,6	33,4	30,4	29,9	27,9	24,3	По З. Иохану
26,1	25,3	24,8	23,8	23,0	22,2	21,3	30,4	27,7	27,3	25,8	23,5	
0,08	0,07	0,05	0.04	0,03	0,02	0,01	0,09	0,09	0,09	0,07	0,03	
29,2	28,5	27,8	27,4	26,9	26,5	26,1	34,4	30,8	30,4	28,9	27,1	[50]
28,5	27,8	27,2	26,7	26,2	25,8	25,6	33,5	29,7	29,4	28,2	26,4	
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	
37,0	36,0	35,1	34,2	33,4	32,8	32,2	40,6	38,4	38,0	36,6	33,8	[50]
33,0	32,2	31,5	30,8	30,2	29,6	29,2	36,6	34,4	34,0	32,6	30,4	
0,11	*0,10*	*0,10*	*0,10*	*0,09*	*0,10*	*0,09*	*0,10*	*0,10*	*0,10*	*0,11*	*0,10*	
54,3	54,3	54,5	54,6	54,8	54,8	54,8	53,8	54,3	54,3	54,3	54,7	Вост. Сибирь
51,2	50,7	50,2	50,1	50,1	50,0	50,0	55,0	52,3	52,0	50,9	50,1	
0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,02	0,04	0,04	0,06	0,08	
55,4	55,9	56,5	57,2	58,0	59,0	60,2	55,7	55,2	55,2	55,6	57,6	*Лонгбан*
61,0	61,4	61,9	62,7	63,4	64,3	65,3	61,8	60,8	60,8	61,2	63,0	По Н. Н. Мозговой
35,6	35,5	35,4	35,2	34,7	34,1	33,3	37,0	35,5	35,6	35,6	34,9	Синт. фаза
26,8	27,2	27,7	28,0	28,0	27,7	27,0	26,5	26,0	26,2	27,0	28,0	
0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,19	0,28	0,27	0,26	0,24	0,20	
41,7	*41,1*	*40,4*	*39,8*	*39,1*	*38,4*	*37,6*	*43,4*	*42,3*	*42,2*	*41,4*	*39,5*	По Р. Кайе
36,0	35,4	34,9	34,3	33,6	32,9	32,2	37,6	36,6	36,5	35,8	34,0	[13]
0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	
14,8	14,8	14,8	14,9	14,9	15,0	15,0	14,4	14,8	14,9	14,8	14,9	*Екатерино-Благодатское*
10,6	10,6	10,6	10,7	10,8	10,8	10,9	10,2	10,5	10,6	10,6	10,7	
0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,28	0,27	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	
96,0	96,4	96,7	96,9	97,1	97,2	97,3	92,3	95,1	95,3	96,1	97,0	Ср. Азия
75,6	76,6	76,9	76,6	76,1	75,5	74,8	66,7	73,1	73,8	76,1	76,4	По В. Атанасову
60,0	60,2	60,5	60,8	60,9	61,1	61,2	57,4	59,8	59,9	60,0	60,8	*Бая-де-*
50,4	50,9	51,3	52,0	52,3	52,7	53,3	45,7	49,8	49,9	50,6	52,2	*Арьеш*
0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,20	0,17	0,17	0,16	0,14	
59,8	60,0	60,2	60,3	60,6	60,7	61,0	—	—	—	—	—	Жана-Тюбе
49,3	49,4	49,8	50,3	51,0	51,7	52,4	—	—	—	—	—	
0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	—	—	—	—	—	
28,7	28,6	28,5	28,5	28,6	28,7	28,7	29,2	29,0	28,9	28,7	28,5	*Эльбрусское*
32,1	31,4	30,6	29,8	29,3	28,8	28,5	35,5	33,1	32,9	31,8	29,6	По С. Каруп-Мёллеру
28,4	27,6	27,0	26,3	26,0	25,6	25,2	31,9	29,5	29,2	28,0	26,2	
0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	
56,1	*55,8*	*55,4*	*55,0*	*54,6*	*54,2*	*53,7*	*57,5*	*56,7*	*56,6*	*55,9*	*54,8*	*Бу-Аззер*
54,4	54,0	53,6	53,2	52,8	52,4	52,0	55,0	54,8	54,7	54,2	53,0	*Тырныауз*
47,0	47,6	48,2	48,8	49,4	—	—	43,9	46,1	46,4	47,3	49,1	По
43,5	44,4	45,2	46,0	46,8	—	—	38,8	42,0	42,4	43,9	46,4	Б. Ф. Леонарду
0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	—	—	0,12	0,09	0,09	0,07	0,05	
34,7	34,0	33,4	32,9	32,4	31,8	31,4	40,9	36,2	35,7	34,4	32,6	[50]
32,7	32,0	31,4	31,0	30,6	30,4	30,1	38,3	34,7	34,2	32,4	30,8	
0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05	
47,3	47,4	47,5	47,6	47,7	47,5	47,7	47,3	47,2	47,3	47,4	47,6	По Ф. Чеху
43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	43,4	43,5	43,9	43,7	43,6	43,5	43,5	
0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	
27,9	27,9	27,7	27,6	27,6	27,7	27,7	25,5	27,6	27,6	27,9	27,6	*Чат-Карагай*

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Станнин	373-1	R	21,2	21,5	22,4	23,5	24,6	25,6	26,3	26,7	27,0
»	373-2	»									
Станноидит	374	R_2	—	20,8	21,7	22,6	23,6	24,5	24,9	25,3	25,9
		R_1	—	17,8	18,2	18,9	19,8	20,4	20,9	21,4	22,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
Стефанит	376	$\frac{R_g}{R_p}$	33,0	33,4	33,9	34,1	33,8	33,0	32,3	31,3	30,5
			31,6	31,7	31,7	31,8	31,9	31,5	30,9	30,1	29,4
		$\Delta R_{отн}$	0,04	0,05	0,06	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04
Стибарсен	377	R_g	—	68,0	68,2	67,9	67,2	66,8	66,6	66,3	66,0
		R_p	—	65,0	65,2	64,8	64,0	63,0	62,3	61,6	61,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
Стистаит	379	$\overline{R}$	—	—	74,0	76,5	78,1	80,7	81,5	81,7	81,9
Сульванит	380	»	—	26,0	23,8	22,6	26,0	30,8	30,4	28,2	27,0
Сульфоцумоит	382	R_g	—	53,8	54,1	54,7	55,3	56,0	56,7	57,3	57,8
		R_p	—	51,8	51,8	52,0	52,3	52,7	53,2	53,6	53,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
Сурьма	383	R_o	—	73,2	74,4	75,6	76,2	76,2	76,0	75,4	74,9
		R_e	—	70,0	71,3	72,4	73,0	73,0	72,7	72,0	71,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Сфалерит-клейофан	384-1	$\overline{R}$	—	18,3	18,1	17,9	17,8	17,6	17,5	17,3	17,2
Сфалерит-Fe	384-2	$\overline{R}$	—	20,4	19,6	19,1	18,8	18,4	18,2	18,0	17,8
Сфалерит-Hg	384-3	»	—	23,6	22,9	22,0	21,2	20,4	19,9	19,4	19,1
Талкусит	385	R_2	28,4	28,7	28,8	29,0	28,9	28,6	28,3	27,9	27,8
		R_1	30,0	30,0	29,9	29,8	29,5	28,6	28,0	27,5	27,1
		$\Delta R_{отн}$	0,06	0,04	0,04	0,03	0,02	0,0	0,01	0,01	0,02
Талнахит	386	$\overline{R}$	13,0	15,2	19,2	23,9	28,6	32,1	34,9	37,1	38,7
Талфенисит	387	»	24,2	23,8	23,6	23,5	23,6	23,9	24,3	24,9	25,6
Танталит	388	R_g	18,7	18,4	18,2	18,0	17,9	17,8	17,7	17,5	17,3
		R_p	17,9	17,5	17,4	17,2	16,9	16,7	16,6	16,4	16,2
		$\Delta R_{отн}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
Твалчрелидзеит	389	R_2	40,0	40,0	40,1	40,3	40,7	40,8	40,6	39,3	37,8
		R_1	45,4	44,6	43,5	42,3	41,0	39,9	38,6	37,2	35,8
		$\Delta R_{отн}$	0,13	0,11	0,08	0,05	0,01	0,02	0,05	0,05	0,05
Твиннит	390	R_g	41,9	41,9	41,9	41,9	41,7	41,5	41,3	41,0	40,6
		R_p	37,0	37,0	37,0	37,0	36,9	36,8	36,7	36,6	36,3
		$\Delta R_{отн}$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
Теллур	391	R_e	—	67,7	68,1	68,3	68,5	68,6	68,6	68,5	68,3
		R_o	—	59,6	60,2	60,5	60,7	60,9	60,9	60,8	60,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
Теллуран-тимонит	392	R_g	59,8	60,9	61,8	62,6	63,1	63,5	63,8	64,2	64,5
		R_p	57,6	58,5	59,2	59,8	60,2	60,4	60,8	61,1	61,4
		$\Delta R_{отн}$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
27,1	26,9	26,8	26,6	26,4	26,5	26,6	24,1	26,8	26,9	27,0	26,5	Северо-Восток СССР
26,3	26,7	27,3	28,0	28,6	29,4	30,1	23,1	25,5	25,7	26,5	28,3	*Уруп*
23,0	24,0	25,4	26,9	28,1	29,6	30,9	19,3	21,6	21,8	23,4	27,4	
0,12	0,10	0,07	0,04	0,02	0,01	0,03	0,16	0,15	0,15	0,12	0,03	
29,8	29,5	29,3	29,2	29,1	29,2	29,3	34,0	31,1	30,7	29,7	29,2	*Ремизов*
29,1	29,0	28,9	28,9	28,7	28,5	28,3	31,9	29,9	29,6	29,1	28,8	
0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	
65,9	65,8	65,7	65,8	66,2	66,3	66,4	67,6	66,2	66,1	65,8	66,0	[50]
60,8	60,5	60,3	60,1	60,0	59,8	59,6	64,4	61,5	61,3	60,7	60,0	
0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,05	0,07	0,07	0,08	0,09	
82,2	82,6	82,5	82,5	82,5	82,4	82,3	77,3	81,8	—	82,4	82,5	По М. И. Новгородовой
29,1	29,8	31,2	29,8	28,2	27,2	26,6	23,3	27,7	27,1	29,7	29,1	*Бор*
58,0	58,0	58,0	58,0	57,9	57,9	57,8	55,0	57,4	57,6	58,0	58,0	*Бурчагыкан*
53,8	53,8	53,7	53,6	53,6	53,6	53,6	52,2	53,6	53,7	53,8	53,6	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	
74,3	74,1	74,0	73,8	73,6	73,6	73,6	75,9	75,3	75,0	74,2	73,7	*Каньон*
70,5	70,0	69,5	69,0	68,3	67,7	67,2	72,7	71,7	71,4	70,2	68,6	
0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	
17,1	17,0	16,9	16,8	16,8	16,7	16,7	17,8	17,3	17,2	17,1	16,8	*Сокольное*
17,6	17,5	17,3	17,2	17,2	17,2	17,2	18,9	17,9	17,8	17,6	17,2	Синт. фаза
18,8	18,6	18,4	18,3	18,2	18,1	18,1	21,5	19,4	19,2	18,8	18,2	*Догдо*
27,8	27,9	28,3	29,0	29,7	30,6	31,2	29,0	27,9	27,8	27,8	29,3	*Раджпура-*
26,8	26,7	26,8	27,1	27,6	28,1	28,7	29,7	27,4	27,2	26,7	27,4	*Дариба*
0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,02	0,02	0,02	0,04	0,06	
39,7	40,4	40,8	41,2	41,4	41,8	42,0	26,4	37,6	38,3	40,0	41,4	Красноярский край
26,4	27,3	28,0	28,7	29,5	30,3	30,9	23,6	25,1	25,4	26,8	29,1	По Н. С. Рудашевскому
17,1	17,0	16,9	16,8	16,7	16,7	16,7	18,0	17,5	17,4	17,1	16,8	Вост. Сибирь
16,1	16,0	16,0	15,9	15,9	15,9	15,9	17,1	16,4	16,3	16,1	15,9	
0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	
36,5	35,5	34,7	33,9	33,3	32,6	32,0	40,5	38,9	38,3	36,0	33,6	*Хайдаркан*
34,8	33,9	33,3	32,8	32,3	31,9	31,6	41,7	36,8	36,3	34,4	32,6	
0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	
40,0	39,3	38,5	37,4	36,6	35,9	35,0	41,8	40,9	40,7	39,6	36,9	КазССР
35,9	35,3	34,5	33,7	33,0	32,3	31,6	36,9	36,5	36,4	35,7	33,3	
0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	
68,1	67,8	67,4	66,9	66,3	65,7	65,1	68,4	68,4	68,3	68,0	66,6	*Моктецума*
60,4	60,1	59,8	59,4	58,9	58,4	57,8	60,4	60,7	60,6	60,3	59,1	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	
64,7	64,9	65,0	65,2	65,3	65,3	65,3	—	—	—	—	—	Ср. Азия
61,6	61,7	61,6	61,6	61,6	61,6	61,5	—	—	—	—	—	
0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	—	—	—	—	—	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Теллурит	393	R	—	18,5	18,0	17,6	17,3	17,0	16,8	16,6	16,5
Теллуровисмутит	394-1	R_g	—	62,0	62,0	62,1	62,3	62,8	63,2	63,6	64,0
		R_p	—	59,1	59,0	58,9	58,8	58,8	58,9	59,0	59,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
То же	394-2	R_g	—	61,7	61,6	61,6	61,8	62,3	63,0	63,3	63,8
		R_p	—	58,2	58,0	58,0	58,0	58,2	58,6	58,6	59,0
»	394-3	R_g	—	61,1	61,0	61,2	61,6	61,9	62,4	62,8	63,1
		R_p	—	55,7	56,0	56,4	56,7	57,2	57,7	58,0	58,4
Теллуровисмутит	394-4	R_g	—	62,2	62,2	62,3	62,7	63,0	63,8	64,0	64,7
		R_p	—	57,5	57,6	57,7	57,8	58,0	58,2	58,3	58,8
Теннантит	396-1	$\bar{R}$	—	30,4	29,7	29,1	28,5	28,1	27,8	27,4	26,8
»	396-2	»	29,1	29,0	28,7	28,4	28,3	28,1	27,9	27,6	27,0
»	296-3	»	—	29,3	29,5	29,7	29,7	29,6	29,6	29,4	29,1
»	296-4	»	29,3	29,5	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,9	29,9
Тетраэдрит	398-1	»	31,2	31,2	31,1	31,0	30,7	30,7	30,7	30,8	30,9
»	398-2	»	—	31,0	31,1	31,1	31,3	31,6	31,7	31,7	31,6
»	398-3	»	32,2	32,1	31,8	31,6	31,6	31,7	31,8	31,9	31,8
Тетрадимит	399-1	R_e	—	57,2	57,3	57,5	58,0	58,6	59,4	59,8	59,9
		R_o	—	50,9	50,9	51,0	51,2	51,6	52,2	52,7	53,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
»	399-2	R_e	—	57,1	57,9	58,7	59,5	60,0	60,6	60,7	60,7
		R_o	—	48,7	49,0	49,4	49,9	50,6	51,4	51,9	52,0
»	399-3	R_e	—	54,6	54,9	55,2	56,3	57,6	58,2	58,3	58,4
		R_o	—	48,7	48,9	49,0	49,6	50,8	51,8	52,0	52,1
Тиллит	400	R_g	—	48,9	49,6	49,6	49,4	48,7	48,0	47,2	46,6
		R_p	—	42,6	43,3	43,7	43,8	43,8	43,6	43,4	43,1
		$\Delta R_{отн}$	—	0,13	0,13	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
Тиманнит	401	$\bar{R}$	—	33,8	34,4	33,8	32,7	31,8	30,9	30,3	29,7
Тиррелит	403	»	—	44,2	45,2	45,8	46,0	46,7	47,0	47,3	47,5
Точилинит	405	R_g	—	14,4	15,0	15,8	16,3	16,9	17,4	17,8	18,2
		R_p	—	9,3	9,3	9,2	9,1	8,9	8,8	8,8	8,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,35	0,38	0,42	0,44	0,47	0,49	0,50	0,52
Трогталит	408	$\bar{R}$	—	42,2	41,9	41,4	41,0	40,8	41,1	41,3	42,0
Троилит	409	R_e	31,6	33,0	34,5	35,8	37,3	38,7	39,7	40,8	41,7
		R_o	26,9	27,7	28,7	29,8	31,3	32,9	34,2	35,5	36,7
		$\Delta R_{отн}$	0,15	0,16	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
Трюстедтит	410	$\bar{R}$	43,0	43,6	45,0	46,4	47,5	48,5	49,4	50,3	51,2
Тугаринович	411	R_2	28,0	26,4	25,2	24,1	23,1	22,5	21,9	21,4	21,0
		R_1	16,3	14,9	13,9	13,4	13,3	13,3	13,7	14,5	16,2
		$\Delta R_{отн}$	0,42	0,43	0,45	0,44	0,42	0,41	0,37	0,32	0,23
Тунгстенит	412	R_o	25,5	26,2	26,7	26,9	26,6	26,2	25,8	25,5	25,2
		R_e	13,2	13,2	13,3	13,3	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
		ΔR	0,48	0,50	0,50	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,47
Тучекит	415	R_g	—	40,6	41,6	43,2	45,0	46,6	47,3	47,7	48,1
		R_p	—	37,0	37,6	38,6	39,9	41,2	42,3	43,1	43,9
		$\Delta R_{отн}$	—	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09
Ульманит	416	$\bar{R}$	—	49,0	49,2	49,1	48,7	48,0	47,4	46,5	45,8

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Место-рождение, регион или литературный источник
16,4	16,3	16,3	16,2	16,2	16,2	16,1	17,4	16,6	16,5	16,4	16,2	Вост. Сибирь
64,5	65,0	65,7	66,3	66,8	67,4	68,0	62,2	63,7	63,9	64,0	66,6	АрмССР
59,7	60,2	60,8	61,5	62,2	63,0	63,8	58,8	59,1	59,2	59,9	61,9	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,06	0,07	
64,3	64,6	64,8	65,6	66,2	66,7	67,0	—	—	—	—	—	КазССР
59,4	59,6	59,8	60,7	61,3	62,0	62,7	—	—	—	—	—	
63,4	63,7	63,7	64,3	64,5	64,8	65,3	—	—	—	—	—	*Болиден*
58,7	58,9	59,3	59,7	60,0	60,4	60,9	—	—	—	—	—	
65,0	65,2	65,5	66,2	66,5	66,8	67,1	—	—	—	—	—	КазССР
59,1	59,4	59,8	60,5	61,0	61,4	62,1	—	—	—	—	—	
26,0	25,2	24,3	23,3	—	—	—	—	—	—	—	—	По К. Леви
26,2	25,4	24,6	24,0	23,6	23,2	22,9	28,4	27,3	27,2	25,8	23,8	*Гал-Хая*
28,8	28,5	28,1	28,0	27,9	27,8	27,6	29,7	29,3	29,2	28,7	28,0	*Таочан*
29,8	29,4	28,9	28,3	27,8	27,4	27,1	—	—	—	—	—	КазССР
30,9	30,7	29,9	28,8	28,0	27,4	27,0	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
31,3	31,0	30,6	30,3	30,0	29,8	29,6	31,2	31,7	31,7	31,2	30,2	*Пришибрам*
31,6	31,4	31,2	30,8	30,4	30,1	29,8	—	—	—	—	—	КазССР
59,7	59,4	59,2	59,1	59,1	59,1	59,2	57,8	59,9	59,9	59,6	59,1	*Жарновица*
53,0	52,8	52,6	52,3	52,2	52,2	52,2	51,1	52,8	52,9	52,9	52,2	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	
60,6	60,5	60,4	60,2	60,1	60,1	60,1	—	—	—	—	—	*Мисхана*
52,2	52,2	52,2	52,1	52,1	52,2	52,4	—	—	—	—	—	
58,3	58,1	58,0	58,0	58,1	58,1	58,0	—	—	—	—	—	КазССР
52,1	52,0	51,9	51,7	51,7	51,7	51,7	—	—	—	—	—	
46,0	45,4	44,9	44,4	44,0	43,6	43,2	49,5	47,0	46,7	45,7	44,2	[50]
42,7	42,2	41,6	41,1	40,6	40,1	39,6	43,8	43,3	43,2	42,5	40,9	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,11	0,08	0,07	0,07	0,07	
29,2	28,9	28,7	28,5	28,5	28,4	28,4	33,2	30,0	29,8	29,0	28,5	*Тилькероде*
47,8	48,0	48,4	48,8	49,3	49,7	50,2	45,9	47,4	47,4	47,9	49,0	[50]
18,8	19,3	19,8	20,2	20,5	20,8	21,0	16,0	18,0	18,1	19,0	20,4	[10]
8,6	8,4	8,3	8,2	8,1	8,0	8,0	9,2	8,8	8,7	8,5	8,2	
0,54	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,42	0,51	0,52	0,55	0,60	
42,6	43,3	43,9	44,5	45,2	45,6	45,8	41,2	41,5	41,7	42,9	44,8	[50]
42,3	42,9	43,3	43,8	44,2	44,5	44,9	34,7	41,1	41,4	42,5	43,9	Красноярский край
37,8	38,8	39,9	40,7	41,5	42,2	43,0	30,7	35,8	36,3	38,3	41,1	
0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,11	0,13	0,12	0,10	0,06	
52,0	52,6	53,1	53,8	54,3	54,9	55,4	46,9	50,5	50,9	52,2	54,0	[50]
20,7	20,6	20,7	21,1	21,9	22,9	24,2	23,6	21,2	21,1	20,6	21,5	Синт. фаза
18,4	21,3	24,3	28,0	31,1	34,2	37,3	13,3	14,9	15,5	19,6	29,5	
0,11	0,03	0,17	0,33	0,42	0,49	0,54	0,44	0,30	0,26	0,05	0,37	
24,9	24,8	24,8	25,0	24,9	24,8	24,7	26,8	25,4	25,3	25,0	24,6	Эмма
13,3	13,3	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,4	13,4	13,4	13,2	13,2	(США)
0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,50	0,47	0,47	0,47	0,47	
48,4	48,7	49,1	49,5	49,9	50,5	51,0	44,1	47,9	—	48,5	49,7	По
44,5	44,9	45,3	45,7	46,3	46,9	47,5	39,2	43,4	—	44,7	46,0	Н. С. Рудашевскому
0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,11	0,09	—	0,08	0,07	
45,2	44,9	45,0	45,2	45,5	45,8	46,3	49,0	46,3	46,0	45,0	45,3	*Удерей*

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Умангит	417	R_e	24,0	22,7	21,5	20,3	19,2	18,4	17,7	17,2	16,7
		R_o	25,2	22,7	20,7	18,7	17,1	15,7	14,4	13,3	12,8
		$\Delta R_{отн}$	0,05	—	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,23
Уранинит	418	$\bar{R}$	—	17,6	17,6	17,1	16,8	16,7	16,4	16,2	16,0
Фалькманит	419	R_g	—	—	45,9	44,8	44,0	43,4	43,0	42,8	42,3
		R_p	—	—	35,2	35,2	35,1	34,9	34,6	34,2	33,9
		$\Delta R_{отн}$	—	—	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Фаматинит	420	R_e	—	24,5	24,2	23,3	23,0	23,1	24,0	25,1	26,1
		R_o	—	23,5	23,3	23,0	22,4	22,1	22,2	23,0	23,7
		$\Delta R_{отн}$	—	0,04	0,04	0,01	0,03	0,04	0,07	0,08	0,09
Ферберит	421	R_g	—	19,2	18,9	18,7	18,5	18,7	18,7	18,7	18,7
		R_p	—	16,4	16,3	16,2	15,9	16,0	16,0	16,0	16,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Ферроселит	422	R_2	—	43,8	44,1	44,7	45,8	47,2	48,7	50,1	51,6
		R_1	—	42,6	42,7	42,9	43,2	43,6	44,1	44,8	45,8
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11
Физелиит	423	R_g	41,3	41,3	41,0	40,8	40,5	40,3	39,9	39,4	38,9
		R_p	37,7	37,7	37,5	37,3	37,0	36,8	36,5	36,2	35,8
		$\Delta R_{отн}$	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
Фишессерит	424	$\bar{R}$	36,6	35,2	34,1	33,0	32,1	31,4	30,7	30,3	30,2
Флетчерит	425	$\bar{R}$	—	36,4	38,7	40,9	41,7	42,5	42,9	43,3	44,0
Франкеит	427	R_g	39,2	39,1	38,9	38,7	38,5	38,3	38,0	37,6	37,1
		R_p	36,3	36,2	36,1	35,9	35,7	35,4	35,1	34,7	34,2
		$\Delta R_{отн}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
Франклинит	428	$\bar{R}$	18,5	18,5	18,4	18,4	18,5	18,4	18,4	18,3	18,1
Фрейбергит	430-1	$\bar{R}$	31,2	31,1	31,0	30,9	30,9	31,0	31,0	31,0	31,0
»	430-2	»	32,3	32,3	32,3	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2
»	430-3	»	31,7	31,7	31,6	31,6	31,6	31,6	31,7	31,7	31,7
»	430-4	»	34,6	34,7	34,6	34,5	34,4	34,1	33,8	33,5	33,2
»	430-5	»	35,4	35,4	35,3	35,2	34,9	34,5	34,1	33,7	33,2
»	430-6	»	30,8	30,8	30,8	30,7	30,6	30,6	30,6	30,7	30,7
»	430-7	»	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,3	30,3
Фрейеслебенит	431	R_g	43,2	43,0	42,7	42,4	42,0	41,7	41,3	40,9	40,4
		R_p	38,8	38,5	38,3	38,0	37,7	37,4	37,1	36,8	36,5
		$\Delta R_{отн}$	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Фробергит	433	R_2	—	53,0	53,1	53,0	52,8	52,4	51,8	51,3	51,2
		R_1	—	53,0	52,8	52,6	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Фюлёппит	436	R_g	42,8	43,0	42,9	42,6	43,2	43,0	43,1	42,8	43,0
		R_p	39,6	39,7	39,3	39,2	38,9	39,0	38,8	38,0	37,5
		$\Delta R_{отн}$	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10	0,11	0,13
Хакит	438-1	$\bar{R}$	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,1	34,3
»	438-2	»	35,0	35,0	35,0	35,0	35,1	35,2	35,2	35,2	35,3
Халькозин	439	R	—	37,0	36,7	36,3	35,8	35,1	34,1	33,1	32,2
Халькопирит	440	»	—	21,3	27,9	34,2	39,8	43,8	46,7	48,3	49,1

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
16,3	16,2	16,2	16,3	16,4	16,6	16,8	19,8	17,0	16,9	16,3	16,4	*Пржедборжице*
13,0	14,7	17,3	20,7	23,8	26,7	29,8	18,0	13,1	12,9	13,6	22,1	
0,20	0,09	0,07	0,27	0,45	0,61	0,77	0,09	0,23	0,24	0,16	0,35	
15,9	15,8	15,8	15,8	15,8	15,9	15,9	17,0	16,2	16,1	15,9	15,8	ЧССР
41,5	40,8	40,0	39,3	38,6	38,0	37,3	44,4	42,6	42,4	41,2	39,0	По
33,5	33,1	32,7	32,3	31,8	31,4	30,9	35,1	34,1	34,0	33,3	32,0	Н. Н. Мозговой
0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20	0,19	0,17	
26,9	27,3	27,7	28,3	28,7	28,9	29,0	23,1	25,4	25,8	27,1	28,5	[10]
23,8	24,2	24,7	25,3	26,0	26,7	27,3	22,7	23,2	23,5	23,9	25,6	
0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,08	0,06	0,02	0,09	0,09	0,12	0,10	
18,6	18,6	18,6	18,5	18,3	18,1	18,0	18,6	18,7	18,7	18,6	18,4	[50]
15,8	15,8	15,7	15,6	15,5	15,4	15,5	16,0	16,0	16,0	15,8	15,6	
0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	
53,2	54,6	55,9	56,9	57,6	58,0	58,2	45,2	50,5	51,1	53,8	57,3	Тува
46,7	47,4	48,0	48,6	49,2	49,7	50,3	43,0	45,1	45,5	47,1	48,9	
0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,05	0,11	0,11	0,12	0,15	
38,3	37,6	36,9	36,1	35,5	34,9	34,4	40,6	39,3	39,1	38,0	35,8	*Хержа*
35,4	34,9	34,4	33,9	33,5	33,0	32,6	37,2	36,1	36,0	35,2	33,7	
0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	
30,5	31,2	31,8	32,7	33,6	34,2	34,4	32,5	30,2	30,2	30,7	33,2	*Пржедборжице*
44,9	43,8	—	—	—	—	—	41,3	43,4	—	45,3	—	По И. Крейгу
36,7	36,4	36,0	35,7	35,3	34,9	34,5	38,6	37,4	37,2	36,6	35,5	Боливия
33,7	33,4	33,0	32,6	32,3	31,9	31,5	35,8	34,6	34,4	33,6	32,4	
0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	
17,7	17,4	17,2	16,9	16,7	16,4	16,2	18,4	18,2	18,2	17,6	16,8	*Франклин*
30,8	30,6	30,3	30,0	29,7	29,4	29,2	—	—	—	—	—	КазССР
32,1	32,0	31,9	31,7	31,4	31,1	30,7	32,2	32,2	32,2	32,1	31,6	Ср. Азия
31,6	31,4	31,0	30,7	30,3	30,0	29,8	31,6	31,7	31,7	31,5	30,5	»
32,7	32,2	31,7	31,3	30,9	30,5	30,2	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
32,8	32,2	31,6	31,2	30,7	30,4	30,0	35,1	33,5	33,4	32,5	30,9	КазССР
30,7	30,5	29,9	29,3	28,6	28,0	27,4	—	—	—	—	—	»
30,3	30,3	30,1	29,6	28,9	28,3	27,7	—	—	—	—	—	*Иендельэнсина*
40,0	39,6	39,2	38,7	38,4	38,0	37,7	42,2	40,7	40,6	39,8	38,5	
36,2	35,8	35,6	35,3	35,0	34,6	34,2	37,8	36,7	36,6	36,0	35,1	
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	
51,3	52,0	52,8	53,7	54,7	55,7	56,8	52,9	51,2	51,1	51,6	54,2	*Робб-Монтбрей*
50,4	50,7	51,2	51,8	52,6	53,3	54,1	52,4	50,4	50,3	50,6	52,2	
0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	
43,2	42,1	41,4	40,0	39,2	38,2	37,3	42,9	42,9	43,0	42,7	39,6	По
37,5	36,8	35,7	34,4	33,5	32,7	32,3	39,1	37,8	37,7	37,2	34,0	Д. К. Щербачеву 1982
0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,09	0,12	0,12	0,13	0,14	
34,4	34,4	34,5	34,7	34,9	34,9	34,8	34,0	34,1	34,2	34,4	34,8	*Пржедборжице*
35,3	35,4	35,5	35,5	35,5	35,4	35,2	35,1	35,2	35,2	35,4	35,5	
31,3	30,7	30,2	29,9	29,6	29,4	29,3	36,0	32,8	32,4	31,0	29,7	По В. А. Атанасову
49,7	49,9	50,0	49,9	49,7	49,4	49,1	37,2	48,6	48,9	49,8	49,8	*III Интернационал*

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Халькостибит	441	R_g	—	41,1	43,0	44,1	44,9	44,7	43,8	42,4	41,1
		R_p	—	38,8	39,1	39,2	39,1	38,8	38,4	37,8	37,0
		$\Delta R_{отн}$	—	0,06	0,09	0,11	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
Халькоталлит	442	R_g	—	34,3	34,3	34,2	33,9	33,4	32,7	31,7	30,7
		R_p	—	29,6	29,2	28,4	27,9	27,7	27,3	27,2	27,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,14	0,15	0,17	0,18	0,17	0,16	0,14	0,11
Хаммарит	443	R_g	—	47,0	47,0	47,1	47,2	47,4	47,5	47,5	47,3
		R_p	—	39,9	39,7	39,6	39,6	39,5	39,4	39,3	39,2
		$\Delta R_{отн}$	—	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
Хастит	444	R_g	—	47,7	48,2	48,8	49,6	50,4	51,2	52,2	53,3
		R_p	—	46,4	46,2	46,1	46,0	46,2	46,6	46,9	47,4
		$\Delta R_{отн}$	—	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
Хедлейит	445	R_g	—	63,0	63,4	64,0	64,6	65,3	65,9	66,4	67,0
		R_p	—	59,9	60,0	60,2	60,6	60,9	61,2	61,4	61,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,05	—	0,06	—	—	—	0,07	—
Хемусит	448	$\overline{R}$	—	21,3	21,8	22,4	23,2	24,0	24,2	24,0	23,5
Хенриит	492	»	42,1	40,6	39,1	37,8	36,5	35,3	34,3	33,3	32,5
Хизлевудит	449	R_g	27,5	33,9	40,2	45,4	49,7	52,7	55,0	56,7	57,7
		R_p	23,7	30,5	38,2	43,8	48,0	50,3	51,8	52,8	53,6
		$\Delta R_{отн}$	0,14	0,10	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06	0,07	0,07
Ходрушит	450	R_g	—	40,4	41,0	41,6	42,0	42,4	42,6	42,8	43,0
		R_p	—	36,2	36,2	36,3	36,4	36,6	36,9	37,4	37,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,10	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12
Хромит	454-1	$\overline{R}$	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2	14,0	13,9	13,8	13,6
»	454-2	»	13,8	13,8	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4	13,3	13,2
»	454-3	»	15,2	15,2	15,2	15,1	15,0	14,9	14,8	14,7	14,6
»	454-4	»	17,0	17,1	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2
»	454-5	»	19,0	18,9	18,8	18,7	18,5	18,2	17,9	17,6	17,3
Цилиндрит	456	R_g	—	37,3	37,9	38,6	38,9	39,0	38,8	38,3	37,8
		R_p	—	34,6	34,9	35,2	35,4	35,3	35,0	34,7	34,3
		$\Delta R_{отн}$	—	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09
Цинкенит	457	R_e	—	45,5	45,5	45,4	45,1	44,8	44,2	43,3	42,6
		R_o	—	39,8	39,8	39,7	39,5	39,2	38,7	38,1	37,5
		$\Delta R_{отн}$	—	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Цинкит	458	R	13,8	13,4	13,0	12,5	12,2	12,0	11,8	11,6	11,4
Цумоит	460	R_g	—	61,9	62,1	62,3	62,6	63,0	63,6	64,1	64,4
		R_p	—	59,5	59,4	59,3	59,3	59,5	59,5	59,6	59,8
		ΔR	—	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07
Чаткалит	461	R_{max}	—	24,5	25,0	25,6	26,2	26,7	27,1	27,6	28,1
Шабурнеит	463	R_g	—	40,0	39,5	39,0	38,4	37,9	37,3	36,6	35,8
		R_p	—	32,1	31,8	31,5	31,3	31,1	31,0	30,8	30,6
		$\Delta R_{отн}$	—	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14
Шадлунит	464	$\overline{R}$	—	16,4	18,0	19,5	20,8	22,0	23,4	24,5	25,8
»	238	»	—	18,9	21,0	23,2	24,8	26,3	27,8	28,8	29,9
Шамеанит	494-1	»	—	27,1	26,8	26,5	26,4	26,6	26,9	27,1	27,3
»	494-2	»	—	25,8	25,7	25,5	25,1	25,3	25,6	25,8	26,0

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
40,0	39,0	38,2	38,0	38,0	38,1	38,1	44,6	42,1	41,5	39,4	38,0	*Терекское*
36,0	35,1	34,5	34,0	33,8	33,8	33,8	39,1	37,5	37,2	35,6	33,9	
0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	
29,9	29,3	29,0	28,8	28,6	28,6	28,6	34,9	31,3	31,0	29,6	28,7	*Илимаусак*
27,5	28,0	28,0	27,9	27,0	26,4	26,0	28,2	27,2	27,2	27,7	27,5	
0,08	0,04	0,03	0,03	0,05	0,08	0,09	0,17	0,13	0,12	0,06	0,04	
47,0	46,5	46,0	45,5	45,0	44,5	44,0	47,2	47,4	—	46,8	45,3	[50]
39,0	38,8	38,5	38,2	37,9	37,6	37,5	39,6	39,2	—	38,9	38,1	
0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,17	—	0,17	0,16	
54,2	55,4	56,4	57,2	58,0	58,6	59,0	49,2	52,5	53,0	54,7	57,6	[50]
47,9	48,5	49,1	49,7	50,4	51,0	51,4	46,0	47,0	47,2	48,1	50,0	
0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0 13	0,06	0,10	0,11	0,12	0,13	
67,4	67,8	68,0	68,4	68,6	68,8	69,0	64,3	66,6	66,8	67,6	68,5	*Питкяранта*
61,7	61,8	61,9	62,0	62,2	62,3	62,5	60,4	61,5	61,6	61,7	62,1	
0,08	—	—	0,09	—	—	0,09	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	
23,1	23,5	24,5	25,2	25,3	24,9	24,3	22,8	23,9	23,7	23,2	25,3	По В. А. Коваленкеру
31,7	30,7	29,7	28,7	27,8	26,8	26,0	37,7	33,0	32,8	31,2	28,3	
58,3	58,8	59,1	59,2	59,4	59,6	59,9	47,8	57,0	57,4	58,5	59,3	Карелия
54,2	54,8	55,2	55,6	56,0	56,3	56,7	46,1	53,1	53,4	54,5	55,8	
0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,07	0,07	0,07	0,06	
43,2	43,3	43,5	43,7	43,7	43,6	43,4	41,8	42,8	42,9	43,2	43,7	[50]
37,8	37,9	38,0	38,0	38,0	37,9	37,8	36,4	37,4	37,5	37,8	38,0	
0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	
13,4	13,3	13,2	13,1	13,0	13,0	13,0	14,3	13,7	13,6	13,4	13,0	КазССР
13,0	12,9	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7	13,7	13,2	13,2	12,9	12,7	»
14,4	14,2	14,1	14,0	13,9	13,8	13,7	15,1	14,6	14,6	14,3	14,0	»
17,1	16,9	16,8	16,6	16,5	16,4	16,2	17,2	17,2	17,2	17,0	16,5	»
17,1	16,8	16,6	16,4	16,3	16,1	16,0	18,6	17,5	17,4	16,9	16,3	»
37,4	37,0	36,7	36,3	37,0	35,6	35,1	38,8	38,2	38,0	37,2	36,2	[10]
34,0	33,7	33,3	33,0	32,5	32,1	31,7	35,3	34,6	34,4	33,9	32,8	
0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
41,9	41,3	40,6	40,1	39,5	39,0	38,3	45,3	43,1	42,8	41,6	39,8	*Вольфсберг*
37,0	36,5	36,0	35,5	35,1	34,7	34,0	39,6	37,8	37,6	36,8	35,3	
0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	
11,3	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	12,4	11,5	11,5	11,3	11,2	*Франклин*
64,7	65,0	65,2	65,6	65,9	66,2	66,5	62,4	64,2	64,3	64,8	65,7	*Бурчагыкан*
60,0	60,1	60,4	60,8	61,1	61,5	61,7	59,3	59,6	59,7	60,0	60,9	
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	
28,6	29,0	29,3	29,4	29,4	29,2	28,9	25,9	27,8	28,0	28,8	29,4	По В. А. Кавaленкеру
35,1	34,3	33,5	32,8	32,0	31,3	30,7	38,7	36,4	36,0	34,7	32,4	[50]
30,2	29,6	29,0	28,2	27,5	26,8	26,4	31,4	30,8	30,7	30,0	27,8	
0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,19	0,15	0,15	0,13	0,14	
26,9	27,7	28,7	29,3	30,2	30,8	31,7	20,1	24,9	25,4	27,3	29,8	[10]
30,8	31,6	32,4	33,0	33,8	34,5	35,0	24,0	29,1	29,5	31,2	33,4	[10]
27,5	27,7	27,8	28,0	28,2	28,4	28,7	26,5	27,1	27,2	27,6	28,1	По З. Иохану
26,0	26,1	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	25,3	25,9	26,0	26,0	26,0	

Продолжение приложения 3

Минерал	Номер спектра	Символ	400	20	40	60	80	500	20	40	60
Швацит	467-1	$\underline{R}$	32,1	32,1	32,0	31,8	31,6	31,4	31,6	32,1	32,6
»	467-2	»	31,2	31,0	30,7	30,5	30,0	30,0	30,1	30,6	31,5
»	467-3	»	31,2	31,0	30,3	29,9	29,8	30,0	30,3	30,5	30,7
»	467-4	»	31,6	31,3	30,8	30,1	29,6	29,6	29,9	30,2	30,6
»	467-5	»	30,9	30,6	30,0	29,6	29,3	29,4	29,7	30,0	30,4
»	467-6	»	30,2	29,7	29,4	29,2	29,2	29,5	30,1	30,5	30,6
»	467-7	»	31,8	31,3	30,9	30,9	31,0	31,2	31,3	31,3	31,3
»	467-8	»	31,8	31,6	31,3	31,0	30,9	31,0	31,3	31,7	31,8
Шеелит	468	R	—	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Ширмерит	469	R_g	—	47,3	48,0	48,2	48,2	48,0	47,7	47,2	46,7
		R_p	—	43,0	43,4	43,6	43,5	43,2	42,9	42,4	42,0
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Шпинель	495	$\underline{R}$	8,5	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,5	8,5
Штернбергит	470	R_g	—	29,7	30,9	32,1	33,1	34,0	34,9	35,7	36,4
		R_p	—	21,3	22,3	23,3	24,3	25,2	26,0	26,8	27,4
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25
Штиллеит	471	$\underline{R}$	24,2	23,8	23,5	23,4	22,6	22,0	21,7	21,3	21,0
Штромейерит	472	R_g	—	39,5	39,7	38,5	35,5	33,4	31,9	30,8	30,0
		R_p	—	31,2	30,4	29,4	28,7	28,1	27,6	27,2	27,0
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,21	0,23	0,24	0,19	0,16	0,13	0,12	0,10
Штютцит	473	R_2	—	41,4	41,4	41,3	41,2	41,1	40,9	40,8	40,6
		R_1	—	43,5	43,2	42,8	42,4	41,9	41,3	40,7	40,0
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01
Эвкайрит	474	R_2	32,8	33,2	33,7	34,5	35,8	37,1	37,7	37,6	37,1
		R_1	34,8	34,6	34,4	34,4	34,6	35,0	35,6	36,2	36,8
		$\Delta R_{\text{отн}}$	0,06	0,04	0,02	0,00	0,03	0,06	0,05	0,04	0,01
Электрум	475-1	$\underline{R}$	48,8	62,5	71,9	77,6	81,2	83,7	85,4	86,9	88,3
»	475-2	»	44,5	54,4	62,0	67,2	70,7	73,7	75,9	78,6	80,7
Эмплектит	477	R_g	—	36,4	37,3	38,5	39,9	41,0	41,7	42,0	42,2
		R_p	—	34,7	35,3	35,9	36,6	37,0	37,2	37,3	37,3
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,05	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12
Эмпрессит	478	R_g	—	40,3	41,5	43,0	44,6	45,8	46,8	47,5	47,7
		R_p	—	33,0	33,0	33,1	33,3	33,8	34,4	34,9	35,2
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,18	0,20	0,23	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26
Энаргит	479	R_e	—	30,4	29,7	29,2	28,7	28,5	28,5	28,4	28,4
		R_o	—	25,8	26,3	26,4	26,3	26,1	25,6	25,3	25,0
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,15	0,11	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,12
Эрдит	496	R_g	—	—	15,3	15,8	13,5	11,7	16,7	20,7	19,4
		R_p	—	—	6,6	6,8	7,0	7,4	7,6	8,8	8,5
Эскеборнит	480	R_g	22,8	26,3	28,8	30,6	32,3	33,7	34,7	35,4	35,8
		R_p	19,0	21,7	23,6	24,8	25,9	26,7	27,5	28,2	28,8
		$\Delta R_{\text{отн}}$	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,20	0,19
Ялпаит	483	R_g	—	36,0	36,4	36,4	35,6	34,6	33,9	33,3	32,8
		R_p	—	34,1	33,8	33,3	32,4	31,8	31,2	30,7	30,3
		$\Delta R_{\text{отн}}$	—	0,05	0,07	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08

80	600	20	40	60	80	700	470	546	554	589	650	Месторождение, регион или литературный источник
33,0	32,9	32,3	31,3	30,4	29,6	28,8	31,7	32,3	32,4	33,0	30,8	*Терлиг-Хая*
31,8	31,9	31,8	31,3	30,4	29,8	29,4	—	—	—	—	—	*Таджилу,*
31,0	30,9	30,5	29,9	29,2	28,5	27,7	29,9	30,6	30,6	31,0	29,6	*Чипровцы*
30,9	30,8	30,3	29,3	28,3	27,5	26,8	—	—	—	—	—	*Орлиная Гора*
30,3	29,9	29,2	28,2	27,2	26,4	25,9	—	—	—	—	—	*Отсалар,*
30,3	29,6	28,7	27,2	26,2	25,6	25,3	—	—	—	—	—	*Чазадыр,*
31,2	30,9	30,4	30,0	29,7	29,3	29,0	—	—	—	—	—	КазССР
31,5	30,9	30,0	29,1	28,4	27,9	27,6	31,0	31,7	31,8	31,7	28,8	*Хайдаркан*
9,8	9,8	9,8	9,9	9,9	9,9	9,9	9,8	9,8	9,8	9,8	9,9	*Лянгар*
46,2	46,0	45,7	45,6	45,5	45,3	45,1	48,2	47,0	46,8	46,1	45,6	[50]
41,7	41,4	41,2	41,1	41,0	40,9	40,9	43,6	42,3	42,1	41,6	41,0	
0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	
8,4	8,4	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4	8,6	8,5	8,5	8,4	8,3	*Отайды-Карасу*
37,0	37,4	37,8	38,1	38,4	38,6	38,8	32,6	35,9	36,2	37,2	38,2	*Андреасберг*
28,0	28,6	29,3	30,0	30,5	31,0	31,4	23,8	27,0	27,2	28,3	30,3	
0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,27	0,25	0,25	0,24	0,21	
20,8	20,6	20,4	20,3	20,1	20,0	20,0	23,4	21,3	21,1	20,7	20,2	Синт. фаза
29,4	29,0	28,7	28,6	28,6	28,6	28,7	37,0	30,5	30,2	29,2	28,6	*Норильское*
26,9	26,8	26,8	26,7	26,7	26,8	26,9	29,0	27,2	27,0	26,9	26,7	
0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,22	0,11	0,10	0,08	0,07	
40,6	40,6	40,6	40,7	41,0	41,2	41,4	41,2	40,7	40,6	40,6	40,8	[50]
39,4	38,9	38,3	37,8	37,3	36,8	36,4	42,6	40,5	40,2	39,2	37,6	
0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,12	0,03	0,00	0,01	0,03	0,08	
36,3	35,4	34,6	34,0	33,4	33,0	32,7	35,1	37,5	37,3	35,8	33,7	*Скрикерум*
37,0	36,7	36,0	35,3	34,7	34,2	33,8	34,5	36,4	36,6	36,8	35,0	
0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	
89,2	89,9	90,5	91,1	91,4	91,5	91,6	—	—	—	—	—	Северо-Восток СССР
82,4	83,7	85,0	86,0	86,6	87,1	87,5	—	—	—	—	—	Урал
42,2	42,0	41,7	41,4	41,0	40,5	40,2	39,2	42,1	42,2	42,0	41,2	Ср. Азия
37,2	37,2	37,1	37,0	36,8	36,6	36,4	36,2	37,3	37,3	37,2	36,9	
0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,11	0,12	0,11	0,10	
47,9	48,0	48,3	48,8	49,3	49,8	50,3	43,8	47,6	47,6	48,0	49,0	*Эмпресс*
35,4	35,6	35,6	35,7	35,7	35,8	35,9	33,2	35,0	35,1	35,5	35,7	
0,26	0,24	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,24	0,26	0,26	0,26	0,27	
28,4	28,5	28,5	28,6	28,8	28,9	29,1	29,0	28,4	28,4	28,4	28,7	*Кафан*
24,9	25,2	25,6	26,2	26,7	26,9	27,0	26,4	25,2	25,1	25,0	26,4	
0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,08	
22,8	26,7	31,1	34,7	34,5	30,4	26,5	14,6	20,3	19,8	24,4	34,6	По Г. Заманскому
8,8	8,7	9,6	9,9	10,0	9,9	9,9	6,9	8,7	8,6	8,7	9,9	
36,0	36,2	36,4	36,7	37,1	37,5	38,0	31,5	35,6	35,7	36,1	36,9	*Тилькероде*
29,3	29,8	60,3	30,8	31,2	31,6	31,9	25,4	28,4	28,6	29,5	31,0	
0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,20	0,20	0,18	0,16	
32,3	31,9	31,5	31,1	30,7	30,2	29,8	36,0	33,2	32,9	32,2	30,9	[50]
29,8	29,5	29,3	29,0	28,8	28,6	28,2	32,9	30,6	30,5	29,7	28,9	
0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,09	0,08	0,07	0,08	0,06	

Приложение 4

Отражение и двуотражение рудных минералов для отдельных участков видимого спектра

Минерал	Номер спектра	Длина волны, нм				Литературный источник
		470	546	589	650	
Арсеногаухекорнит	28	43,0—41,6 / 0,03	47,1—46,2 / 0,02	49,2—48,2 / 0,02	51,6—50,8 / 0,02	По Р. Гайту
Ашамальмит	485	48,1—45,1 / 0,06	46,3—43,4 / 0,06	46,3—42,9 / 0,07	46,3—42,9 / 0,07	По В. Мюмме
Берриит	47	47,6—39,4 / 0,17	47,0—38,6 / 0,17	46,6—37,9 / 0,18	46,1—37,3 / 0,18	По Д. Харрису
Веенит	70	45,5—39,5 / 0,13	43,1—37,3 / 0,13	—	39,9—34,3 / 0,14	По Д. Джамбору
Вейсбергит	72	38,4—36,0 / 0,06	36,8—35,0 / 0,05	35,8—34,5 / 0,04	33,8—32,1 / 0,05	По Ф. Диксону
Викингит	76	45,4—44,6 / 0,02	43,8—43,1 / 0,02	43,2—42,5 / 0,02	42,8—42,1 / 0,02	По М. Вендрел-Сазу
Виллиамит	79	47,2 / —	47,7 / —	46,7 / —	48,9 / —	По Л. Кабри
Гаравеллит	95	42,8—33,5 / 0,22	42,0—32,8 / 0,22	41,0—32,6 / 0,20	41,0—32,4 / 0,21	По П. Симпсону
Гортдрамит		—	—	27,9—25,1 / 0,10	—	По Г. Стиду
Густавит	126	48,7—44,0 / 0,10	45,8—41,5 / 0,09	45,1—40,8 / 0,10	43,8—39,5 / 0,10	По Д. Харрису

Джуноит	136	—	49—41 0,16	—	—	По Р. Ларге
Карлинит	173	41,3—39,6 0,04	40,1—38,8 0,03	40,6—39,2 0,03	42,0—40,5 0,04	По А. Радтке
Кобальтпентландит	188	49,5 —	53,7 —	55,2 —	57,2 —	По В. Петруку
Костибит	197	44,4 —	45,9 —	45,5 —	47,8 —	По Л. Кабри
Лангисит	219	46,4—45,4 0,02	47,1—46,4 0,01	48,2—47,5 0,01	51,0—49,9 0,02	По В. Петруку
Ларозит	220	32,7—31,7 0,03	32,0—30,1 0,06	31,7—30,0 0,05	32,0—30,0 0,06	По В. Петруку
Лонэит	230	46,2—38,6 0,16	43,8—36,9 0,16	42,7—36,2 0,15	40,9—35,5 0,13	По Д. Джамбору
Маттагамит	243	54,3—51,7 0,05	52,6—50,0 0,05	52,6—50,3 0,04	53,9—50,8 0,06	По Р. Торпе
Парадокразит	297	75,0—68,6 0,09	73,8—67,8 0,08	73,6—67,6 0,08	70,2—65,9 0,06	По Б. Ф. Леонарду
Паракостибит	298	47,8—46,9 0,02	48,1—47,5 0,01	48,4—47,7 0,01	48,8—48,0 0,02	По Л. Кабри
Парашахнерит		—	—	73,7—70,9 0,04	—	По Е. Силиджеру
Плейферит	321	42,3—38,3 0,09	40,3—36,4 0,10	39,2—35,4 0,10	37,7—34,0 0,10	По Д. Джамбору

Продолжение приложения 4

Минерал	Номер спектра	Длина волны, нм				Литературный источник
		470	546	589	650	
Полковичит	324	44,5—43,5 / 0,02	44—43 / 0,02	45—44 / 0,02	46,5—45,5 / 0,02	По Ч. Харанчику
Полхемусит	325	24,4—20,1 / 0,18	18,3—17,1 / 0,07	17,7—16,5 / 0,07	17,9—17,9 / 0	По Б. Леонарду
Сакураит	351	22,4 / —	22,3 / —	22,4 / —	23,0 / —	По Е. Бюрке
Сарабауит	353	25,8—20,1 / 0,22	24,7—19,7 / 0,20	23,5—19,1 / 0,19	20,0—14,0 / 0,30	По И. Накай
Сорбиит	370	45—39 / 0,13	42,4—37,0 / 0,13	41—36 / 0,12	40—34 / 0,15	По Д. Джамбору
Спионкопит	372	—	20,6—15,5 / 0,25	—	—	По Р. Гоббле
Стерриит	375	40,4—37,6 / 0,07	38,7—36,0 / 0,07	37,7—35,1 / 0,07	36,3—33,9 / 0,07	По Д. Джамбору
Теллургаухекорнит	395	44,8—41,2 / 0,08	47,7—43,9 / 0,08	49,4—45,6 / 0,08	51,9—48,2 / 0,08	По Р. Гейту
Тинтинаит	402	43,9—37,4 / 0,15	43,3—36,3 / 0,16	41,9—35,0 / 0,16	42,0—35,1 / 0,10	По Е. Бюрке

Фридрихит	432	$\frac{46,7—41,0}{0,12}$	$\frac{46,2—40,1}{0,13}$	$\frac{45,8—39,9}{0,13}$	$\frac{45,6—39,9}{0,13}$	По К. Бенте
Фурутобеит	435	$\frac{34,6—32,0}{0,04}$	$\frac{34,9—32,8}{0,06}$	$\frac{35,2—33,2}{0,06}$	$\frac{34,6—33,6}{0,03}$	По А. Сугаки
Хейровскиит	447	$\frac{47,3—43,3}{0,08}$	$\frac{44,6—40,6}{0,09}$	$\frac{43,9—39,8}{0,09}$	$\frac{43,7—39,6}{0,09}$	По В. Мюмме
Христит	453	$\frac{30,0}{—}$	$\frac{26,9}{—}$	$\frac{25,2}{—}$	$\frac{24,1}{—}$	По А. Радтке
Черниит	462	$\frac{25,5}{—}$	$\frac{25,6}{—}$	$\frac{25,0}{—}$	$\frac{24,3}{—}$	По И. Заманскому
Шахнерит	466	—	—	$\frac{72}{—}$	—	По Е. Силиджеру
Эллисит	476	$\frac{31,7}{—}$	$\frac{29,7}{—}$	$\frac{28,9}{—}$	$\frac{28,3}{—}$	По Ф. Диксону
Эскимоит	481	$\frac{48,2—45,4}{0,06}$	$\frac{46,5—43,7}{0,06}$	$\frac{45,6—42,8}{0,06}$	$\frac{44,8—42,0}{0,06}$	По М. Вендрел — Сазу
Ютенбогардтит	482	$\frac{34,6—33,2}{0,04}$	$\frac{34,6—30,3}{0,12}$	$\frac{35,2—31,1}{0,12}$	$\frac{33,3—30,5}{0,08}$	По Е. Бюрке
Ярроуит	484	—	$\frac{20,6—12,1}{0,41}$	—	—	По Р. Гоббле

Примечание: В числителе приведены пределы значений R, %, в знаменателе — $\Delta R_{отн}$, доли ед.; для минералов, у которых отсутствует эффект двуотражения, приведено одно значение R.

Приложение 5

Минералы, изменяющие оптический знак в интервале видимой области

Минерал	R, %/λ нм	Минерал	R, %/λ нм	Минерал	R, %/λ, нм
Аллоклазит	48,8/452	Грейтонит	37/600	Полибазит	34,8/445
Аркубисит*	33,6/450	Гудмундит	54/650	Полхемусит*	18/650
Арсенопирит (торцевое сечение)	52/525	Идаит*	31,6/595	Реньерит	18/460
То же (призматическое сечение)	52/580	Клиносаффлорит*	55/~540	Риккардит	18/610
Бартонит*	18,2/454	Ковеллин	23/~700	Саффлорит	54/495
Бетехтинит	28/615	Коутекит*	50/432	Станноидит	29/670
Билибинскит	30,2/626	Купростибит	51/635	Талкусит	28,6/500
Богдановит	38,6/670	Лёллингит	54/525	Твалчрелидзеит	40,8/485
Буковит	29/600	Мелонит	54,2/440	Тугариновит	20,6/596
Валлериит	13,7/422	Миллерит	44/475	Умангит	22,8/420 и 16,2/612
Вулканит	24/470	Моусонит	25/525	Ферроселит	48,3/380
Гессит	39/505	Нукундамит	~25/~650	Фробергит	53/425
Глаукодот	52,3/625	Парараммельсбергит	59,2/535	Халькоталлит	~34/~620
Годлевскит*	53,2/600	Перминжатит	27/510 и 25,2/565	Хизлевудит	~45/~450
		Пиркитасит*	23,2/605	Штютцит*	40,8/535
				Эвкайрит	34,4/458 и 36,9/565

* По литературным данным.

Приложение 6

Отражение рудных минералов в интервале спектра λ 260—400 нм

Минерал	Символ	260	280	300	320	340	360	380	400	Месторождение или регион
Акантит	R	25,0	25,2	26,3	30,2	32,8	35,3	36,8	37,4	*Фрейберг*
Алабандин	R	37,5	34,6	33,2	32,5	31,3	29,7	27,8	26,7	*Дастакерт*
Алтаит	R	45,2	51,3	56,5	59,4	61,1	61,7	61,7	62,5	*Кафан*
Ауростибит	R	23,8	29,0	33,9	37,6	41,6	45,9	49,7	52,1	Ср. Азия
Бертьерит	R_g	37,1	38,5	38,3	40,7	41,0	41,0	40,8	39,8	
	R_p	33,7	35,1	35,1	35,3	35,5	36,2	35,6	35,8	*Удерей*
Берцелианит	R	34,3	33,9	32,5	30,7	29,1	27,8	26,9	26,8	*Пржедборжице*
Блокит	R	25,4	26,4	28,6	31,2	33,5	35,4	36,3	37,4	*Пакахаке*
Борнит	R	28,4	28,0	26,9	26,1	25,7	24,7	22,1	21,6	*Норильское*
Брейтгауптит	R_o	62,3	65,5	67,3	67,2	65,0	61,8	58,7	56,3	
	R_e	55,3	56,8	58,7	59,5	57,7	55,1	52,7	50,6	*Андреасберг*
Валлериит	R_o	18,0	18,1	17,8	17,0	16,3	15,8	15,3	15,0	
	R_e	17,2	17,0	16,3	15,0	14,0	13,2	12,6	12,7	*Норильское*
Виоларит	R	27,5	30,2	33,6	35,6	36,1	36,6	36,9	37,1	*Шануч*
Висмут	R_o	27,0	28,5	35,4	42,5	48,4	53,0	56,5	59,0	Ср. Азия
Висмутин	R_g	47,0	48,2	49,1	49,5	49,3	49,2	49,4	50,2	
	R_p	37,8	37,8	38,0	37,8	37,8	37,9	38,5	39,5	*Кировское*
Виттихенит	R_g	28,0	28,3	28,8	29,3	29,4	29,0	28,3	28,7	*Виттихен*
	R_p									
Галенит	R	46,0	50,1	53,6	56,0	57,4	56,4	55,0	52,2	Юж. Якутия
Гвадалкацарит	R	19,8	21,1	23,2	26,0	29,1	28,8	28,9	26,2	*Хайдаркан*
Герсдорфит	R	39,1	41,8	43,5	45,8	47,4	49,0	49,2	49,0	*Пышма*
Глаукодот	R_2	46,2	46,7	47,8	49,0	49,0	48,6	48,5	49,0	
	R_1	44,7	45,1	45,5	45,7	46,0	46,3	46,3	47,3	АзССР
Годлевскит	R_2	23,4	23,4	22,0	19,8	18,5	19,2	22,2	26,9	*Норильское*
	R_1	24,9	24,4	23,8	22,3	21,0	20,0	20,3	23,4	
Голдфилдит	R	28,8	28,9	30,5	32,1	32,5	32,7	32,9	33,1	Ср. Азия
Гринокит	R	24,3	23,4	22,4	21,7	21,1	20,6	20,3	20,2	Синт. фаза
Джерфишерит	R	28,1	28,0	26,3	23,7	21,2	19,6	18,8	19,1	
Дискразит	R	39,6	42,2	47,0	51,7	54,7	56,7	58,1	60,0	*Андреасберг*
Дюфренуазит	R_g	38,2	39,4	40,9	42,1	42,9	43,1	43,0	43,0	*Бинненталь*
	R_p	34,0	35,2	36,5	37,2	37,5	37,9	37,9	38,0	
Зигенит	R	26,0	28,0	30,7	33,3	35,5	37,5	39,0	40,5	*Ла-Мотт*
Золото	R	33,6	35,9	35,9	34,5	32,9	31,9	31,9	31,9	КазССР
Золото высокопробное	R	23,0	28,0	27,8	30,0	28,2	29,0	30,2	30,8	»
Золото (пр. 500)	R	21,1	22,7	23,2	22,3	21,7	22,5	24,9	29,6	Северо-Восток СССР
Золото (пр. 300)	R	13,5	12,5	10,6	8,5	7,6	7,4	7,9	11,5	То же
Золото — амальгама	R	27,2	28,3	28,2	28,1	26,9	25,7	25,3	25,4	КазССР
Калаверит	R_g		37,2	38,6	40,1	40,5	41,4	42,2	43,1	
	R_p		40,7	43,2	45,5	46,5	48,2	48,9	49,8	АрмССР
Карролит	R	22,0	26,5	31,7	35,0	37,5	39,2	40,1	40,6	*Калвези*
Киноварь	R_e	42,1	42,7	43,3	43,1	41,8	40,8	38,9	35,2	
	R_o	39,1	38,6	38,1	37,2	36,4	35,7	33,9	31,7	*Хайдаркан*

Продолжение приложения 6

Минерал	Символ	260	280	300	320	340	360	380	400	Месторождение или регион
Клаусталит	$\overline{R}$	51,2	52,6	55,5	58,7	61,1	63,2	64,5	65,7	*Тилькероде*
Кобальтин	$\overline{R}$	45,7	46,2	46,5	47,0	47,7	48,2	48,8	49,2	АзССР
Кобальтин-Ni	$\overline{R}$	38,0	40,9	41,0	41,8	42,2	43,3	44,1	44,0	*Ишкинино*
Ковеллин	$\overline{R}_e$	26,3	24,0	22,3	22,9	25,9	28,3	29,8	29,8	
	R_o	20,3	19,1	17,1	16,4	15,9	15,3	15,2	15,4	*Ахтала*
Колорадоит	$\overline{R}$	34,2	31,7	29,1	28,5	26,9	28,3	29,2	30,4	*Калегурли*
Кубанит	$\overline{R}_g$	17,3	16,8	15,0	13,6	13,5	14,7	17,3	21,0	
	$\overline{R}_p$	16,8	16,8	15,2	13,9	13,6	14,2	15,7	18,1	*Норильское*
Куприт	$\overline{R}$	33,0	36,3	36,6	32,2	33,4	34,9	33,0	30,9	*Гора Высокая*
Купростибит	R_e	51,5	52,5	54,3	55,5	57,7	59,2	60,1	61,8	*Илимаусак*
	R_o	52,0	52,7	54,3	55,2	55,2	54,7	54,7	56,1	
Курамит	R	29,8	30,2	29,3	27,8	26,4	25,4	24,9	25,2	Ср. Азия
Ливингстонит	R_g	47,5	49,1	50,5	51,2	50,8	50,3	49,5	48,5	*Хайдаркан*
	R_p	40,0	40,5	41,8	41,5	41,0	40,5	39,8	38,8	
Макинавит	R_e	21,0	21,2	21,5	22,6	24,2	27,2	29,9	32,6	*Норильское*
	R_o	22,0	22,0	21,5	21,0	20,4	20,0	19,9	19,9	
Марказит	R_2	36,7	38,0	38,3	38,6	38,6	41,9	43,0	43,2	*Весеннее*
	R_1	36,2	45,5	45,7	40,1	37,6	37,4	39,1	40,7	
Медь	$\overline{R}$	21,8	22,7	24,5	29,4	32,5	36,4	39,5	42,2	*Талмяси*
Мелонит	R_o	30,7	34,8	38,7	42,8	45,5	47,7	49,2	49,8	АрмССР
	R_e	24,9	29,9	36,0	40,8	43,5	46,2	48,0	49,1	
Метацинна-барит	$\overline{R}$	26,9	26,8	27,2	27,4	28,0	28,8	27,2	25,9	*Джижикрут*
Миаргирит	R_2	32,8	34,8	37,2	38,6	39,5	40,1	40,1	40,2	
	R_1	29,5	30,9	32,7	33,9	34,8	35,1	34,9	34,9	Ср. Азия
Миллерит	R_e	27,2	27,5	28,0	27,5	25,8	25,2	27,0	31,2	*Березовское*
	R_o	30,8	31,7	32,1	31,0	28,5	27,0	26,3	28,0	
Моихукит	R	28,0	27,9	27,8	26,6	23,7	20,5	17,0	13,8	*Красноярский край*
Монтбрейит	R_g	36,3	44,2	47,6	49,7	51,7	53,3	54,0	54,4	*Робб-Монтбрей*
	R_p	32,6	35,1	36,7	38,1	38,6	39,7	40,2	41,7	
Науманнит	R	22,5	23,5	25,4	27,3	30,9	34,2	36,2	37,4	*Тилькероде*
Никелин	R_o	47,7	50,1	50,3	50,4	50,3	49,6	48,0	45,9	*Талмяси*
	R_e	43,7	46,6	47,4	47,7	47,1	46,1	44,6	42,8	
Онофрит	$\overline{R}$	21,6	22,4	23,3	24,8	27,0	29,0	28,9	27,6	*Сан-Онофре*
Парарам-мельсбергит	R_1	57,0	58,5	60,4	61,2	61,2	60,7	60,1	60,1	
	R_2	55,0	55,5	56,5	57,3	57,5	58,1	58,7	59,3	*Бу-Аззер*
Пентландит (сп.-306-1)	$\overline{R}$	18,5	18,5	17,9	16,3	15,8	18,7	25,1	31,8	*Норильское*
Пентландит (сп.-306-7)	$\overline{R}$	24,2	23,7	22,7	21,2	20,7	21,7	23,9	27,4	»
Пентландит (сп.-306-6)	$\overline{R}$	24,2	23,5	21,8	20,0	19,2	20,1	22,5	25,9	»
Петцит	$\overline{R}$	35,1	37,6	40,6	42,2	42,8	43,7	43,2	41,6	Урал
Пираргирит	R_o	28,0	30,0	31,5	33,3	34,4	35,2	35,3	35,4	*Андеасберг*
	R_e	23,3	24,7	27,2	29,5	31,0	32,0	32,6	33,0	
Пирит	$\overline{R}$	38,2	39,9	41,3	43,6	38,5	36,6	35,4	35,4	*Березовское*
Полидимит	$\overline{R}$	26,0	29,6	32,3	34,3	36,3	38,2	39,6	40,7	*Камбалда*
Пирротин монокл.	$\overline{R}_g$	26,0	26,4	26,1	26,3	27,0	27,8	28,7	30,0	
	$\overline{R}_p$	23,7	24,1	24,7	25,3	25,7	26,3	26,9	27,7	*Норильское*
Пирротин гекс.	R_e	27,8	28,2	28,2	28,2	28,5	29,0	29,7	31,4	
	R_o	25,3	26,1	26,2	26,4	26,5	26,7	26,9	27,7	»

Продолжение приложения 6

Минерал	Символ	260	280	300	320	340	360	380	400	Месторождение или регион
Пирсеит	R_m	—	31,2	32,7	33,8	34,5	34,5	34,3	34,3	*Бьют* (США)
Прустит	R_o	28,0	28,5	29,7	31,2	32,3	33,0	33,0	33,0	*Чаньярсильо*
	R_e	25,2	25,7	26,6	27,4	28,1	29,0	29,9	30,6	
Путоранит	$\underline{R}$	25,3	25,1	24,6	23,1	21,2	19,4	17,7	16,0	*Красноярский край*
Раммельсбергит	R_g	54,2	55,6	58,3	60,2	61,3	61,0	60,3	59,7	
	R_p	54,0	54,8	56,2	57,5	57,4	57,2	56,9	56,9	Вост. Сибирь
Сакураиит	R	22,8	24,1	24,5	24,6	25,2	23,2	21,9	20,6	Япония
Сарторит	R_m	36,0	37,0	37,8	37,9	37,8	37,7	37,4	37,2	*Бинненталь*
Серебро	$\underline{R}$	16,2	15,6	10,8	2,3	42,6	51,3	57,8	60,4	Канада
Сильванит	R_g	32,6	34,5	35,1	35,5	34,9	35,5	38,2	40,4	*Бая-де-Арьеш*
	R_p	27,6	29,4	29,8	29,7	29,1	30,3	32,3	34,6	
Скуттерудит	$\underline{R}$	57,0	57,1	56,9	56,0	55,3	55,0	54,6	54,9	*Бу-Аззер*
Станноидит	R_2	29,6	29,3	27,5	25,0	22,4	21,9	21,2	20,6	Урал
	R_1	23,0	22,4	21,0	19,4	17,7	16,3	15,2	14,6	
Сульванит	$\underline{R}$	14,5	13,5	12,1	14,2	23,0	35,5	37,3	30,3	*Бор*
Сурьма	R_o	32,8	44,2	54,3	64,0	66,2	67,6	68,7	68,2	*Черненское*
	R_e	29,6	40,3	48,2	54,0	57,5	60,4	61,8	61,4	
Сфалерит-Zn	$\underline{R}$		23,4	22,7	22,6	22,0	20,5	19,3	17,9	*Сокольное*
Сфалерит-Fe	$\underline{R}$	24,6	24,2	24,0	23,6	23,0	22,2	21,3	20,2	Синт. фаза
Сфалерит-Hg	$\underline{R}$	24,5	23,2	22,9	22,7	22,4	22,0	21,7	21,8	*Догдо*
Талнахит	$\underline{R}$	22,7	22,5	21,3	19,7	17,3	15,5	13,7	12,0	*Красноярский край*
Теллур	R_e	41,0	46,0	52,6	56,4	59,3	61,2	62,3	63,5	*Моктецума*
	R_o	28,0	33,3	39,8	45,0	48,7	51,2	52,5	54,0	
Теллуровисмутит	R_e	33,7	42,8	48,8	53,5	57,0	59,3	60,3	60,2	*Робб-Монтбрей*
	R_o	45,3	50,3	52,4	54,7	56,7	58,9	58,8	58,3	
Тиманнит	$\underline{R}$	21,7	22,2	23,7	25,1	26,8	29,2	31,6	33,9	*Ла-Риоха*
Тиманнит-S	$\underline{R}$	20,0	20,4	21,3	23,2	25,2	28,1	30,0	30,9	*Горхон*
Теннантит	$\underline{R}$	27,8	29,1	30,8	31,1	30,7	30,4	30,1	30,0	*Гал-Хая*
»	$\underline{R}$	27,3	27,7	29,3	29,9	30,0	30,1	30,1	30,1	*Таочан*
Теннантит-Hg	$\underline{R}$	27,0	28,0	29,2	30,2	30,8	31,3	31,5	31,5	*Хайдаркан*
Тетраэдрит	$\underline{R}$	26,5	27,3	28,9	29,9	30,3	30,8	31,0	31,3	*Пршибрам*
Троилит	R_e	26,0	26,0	26,2	26,3	26,6	27,2	28,2	30,1	*Норильское*
	R_o	24,7	24,4	24,3	24,2	24,0	24,0	24,0	24,8	
Ульманит	$\underline{R}$	46,4	47,4	48,6	49,4	49,8	50,4	50,9	50,9	*Удерей*

Продолжение приложения 6

Минерал	Символ	260	280	300	32	34	360	3 0	400	Месторождение или регион
Умангит	R	32,4	32,3	31,1	30,5	29,7	28,2	26,6	24,6	*Пржедборжице*
	R_e	33,8	33,5	32,5	31,6	29,2	27,0	25,0	23,5	
Фаматинит	R_e	28,7	32,5	33,8	32,5	30,2	29,3	28,4	28,6	Ср. Азия
	R_0	26,0	29,2	30,6	29,7	28,8	27,2	25,3	25,0	
Ферроселит	R_2	49,8	50,3	49,2	49,5	49,2	49,5	48,3	47,1	Тува
	R_1	42,4	43,1	45,0	48,9	52,6	53,8	48,3	45,9	
Фишессерит	$\underline{R}$	31,0	32,7	35,0	36,1	36,6	37,0	36,0	35,0	*Пржедборжице*
Фробергит	$\overline{R_2}$	38,6	45,5	48,7	50,2	50,2	51,0	50,0	48,9	*Робб-Монт-*
	R_1	27,1	33,7	37,6	40,1	41,1	43,1	45,1	45,5	*брей*
Халькозин	R	29,3	31,0	32,6	34,3	35,6	36,7	37,3	38,0	Урал
Халькопирит	R	17,3	15,5	13,4	11,2	10,5	11,3	13,2	16,5	*III Интернационал*
Цинкит	R	12,2	12,5	13,1	13,7	14,3	16,1	20,1	15,7	*Франклин*
Эмпрессит	R_g	37,0	37,8	38,6	39,7	40,3	40,7	40,2	40,3	*Эмпресс*
	R_p	25,3	24,6	24,0	23,3	23,0	23,5	24,0	24,2	
Энаргит	R_g	30,3	32,7	34,5	35,0	33,1	30,7	30,6	31,0	*Кафан*
	R_p	27,5	30,0	31,5	31,7	30,6	29,2	28,0	27,0	

Приложение 7

Микротвердость минералов в порядке возрастания VHN

Минерал	Микротвердость, VHN	Масса груза, г
I. Твердость низкая (1—3 по Моосу, VHN < 145; чертятся медной иглой)		
Свинец	6—9	2—5
Графит	7—12	5
Хлораргирит	12—29	5—10
Висмут	13—29	5—10
Точилинит	15—49	5—10
Молибденит	16—84	5—15
Карлинит	20—24	5—10
Акантит	20—30	5—10
Сера	20—35	5—10
Макинавит	20—95	5—15
Ялпаит	23—30	5—10
Эвкайрит	23—42	5—10
Расвумит	24—49	5—10
Агвиларит	25—40	5—10
Тетрадимит	25—76	10
Аурипигмент	26—33	5—10
Вейсбергит	26—41	5—10
Стефанит	26—47	5—10
Теллур	26—89	5—15
Вакабаяшилит	26—98	5—15
Колорадоит	27—37	5—10
Науманнит	27—56	10
Ленгенбахит	29—40	5—10
Селен	30—40	5—10
Берцелианит	30—42	5—10
Дигенит	30—74	5—15
Канниццарит	30—116	10—15
Гессит	31—45	5—10
Фишессерит	32	5—10
Тиманнит	32—39	5—10
Теллуровисмутит	32—93	10—15
Беллидоит	33—41	5—10
Алексит	33—88	10—15
Тунгстенит	34—49	5—10
Костовит	35—43	5—10
Кермезит	36—99	10—15
Вейбуллит	39—73	10—15
Штромейерит	40—54	10
Лорандит	40—57	10
Жозеит А	40—129	10—20
Пикополит	41	10
Серебро	41—57	5—10
Гетчелит	42—82	10—15
Парагуанахуатит	44—160	10—20
Золото	45—90	5—15
Дрисдаллит	46	10
Метастибнит	46	10
Петцит	46—54	10
Клаусталит	46—63	10—15
Жозеит В	48—72	10—15
Герценбергит	48—114	10—20
Киноварь	48—120	10—20
Цилиндрит	48—172	10—20
Штернбергит	49—136	10—20
Реальгар	50—57	10—20
Икунолит	50—82	10—20
Валлериит	50—93	10—20
Гипперцинна-барит	51	10
Витнеит	52—58	10—20
Гринокит	52—91	10—15
Джемсонит	52—147	10—20
Волынскит	55—99	10—20
Дюранузит	58	10
Гладит	58—143	10—20
Галенит	60—110	10—20
Невскит	60—114	10—20
Ингодит	61—65	10
Халькоталлит	61—91	10—15
Сурьма	61—135	10—20
Мелонит	63—166	10—20
Сульфоцумоит	64—66	10
Халькозин	64—98	10—15
Гиссенит	65	10
Антимонит	65—167	10—20
Маккинстриит	66—77	10
Гвадалкацарит	66—89	10—15
Пираргирит	66—165	10—20
Жеффроит	67—72	10
Нагиагит	68—129	10—15
Платина	70—170	30—50
Кюстелит	71—88	10—15
Богдановичит	73—143	10—15
Висмутин	73—188	10—20
Джарлеит	74—83	10—15
Метациннабарит	74—86	10—15
Штютцит	75—127	10—20
Прустит	75—187	10—20
Ковеллин	77—92	10—15
Умангит	77—108	10—15
Бенавидесит	77—116	10—20
Атабаскаит	78	10
Балканит	79—92	10—15
Матильдит	79—119	10—15
Электрум	80—105	10—15
Верлит	81	10—15
Фрудит	83	7
Борнит	84—133	10—20
Кобеллит	84—186	10—20
Ларозит	87—124	10—20
Клокманнит	89—124	10—20
Киткаит	89—132	10—20
Козалит	89—207	10—30
Ширмерит	90—98	10—20

Минерал	Микротвердость, VHN	Масса груза, г
Медь	90—145	10—20
Сильванит	91—149	10—10
Буланжерит	92—182	10—30
Бертьерит	92—221	10—30
Мышьяк	93—137	10—20
Бартонит	94—120	10—20
Шабурнеит	95	10—20
Геокронит	95—140	10—20
Железо	97—199	10—30
Полибазит	98—129	10—30
Меренскит (*синт.*)	99—128	10
Фурутобеит	100—108	10—20
Диафорит	100—238	10—30
Крукесит	101—142	10—20
Менегинит	101—197	10—30
Петровицит	102	10—20
Ливингстонит	102—155	10—30
Стистаит	103—127	10—20
Кальцит	103—202	10—30
Висмутид-Pd	105—125	7—10
Канфильдит	105—133	10—30
Домейкит	*105—140*	*10—30*
Хенриит	109—119	10—20
Паркерит	111—142	10—30
Майченерит II	112	10
Валлисит	113—165	10—30
Физелиит	113—182	10—30
Платина (металл.)	114—147	20—50
Купровисмутит	115—161	10—30
Фюлёппит	116	10—20
Мончеит	117—149	10—20
Робинсонит	118—123	10—20
Алларгентум	120—157	10—30
Парадокразит	121—142	10—30
Коутекит	124—191	10—30
Церуссит	125—132	10—30
Галенобисмутит	*125—199*	*10—30*
Овихиит	125—216	10—30
Рамдорит	126—195	10—30
Калаверит	127—215	20—30
Барит	127—232	20—30
Баумгауерит	128—182	20—50
Иорданит	130—154	20—50
Берриит	131—201	20—50
Павонит	131—203	20—50
Аргентопентландит	132—173	20—50
Семсейит	133—179	20—50
Густавит	134—243	20—50
Биллингслеит	135—163	20—50
Гетероморфит	137—187	20—50
Грейтонит	138—148	20—50
Алабандин	*140—156*	*20—50*
Андорит	140—247	20—50
Эскеборнит	141—165	20—50
Мэдокит	141—171	20—50
Сульванит	142—165	20—50
Имгрэит	142—220	20—50
II. Твердость средняя (3—5 по Моосу, VHN 145—600; чертятся стальной иглой)		
Дюфренуазит	145—155	30—50
Дискразит	146—160	30—50
Вюртцит	146—264	30—50
Тинтинаит	149—157	30—50
Плейферит	150—171	30—50
Зелигманнит	151—205	30—50
Пирсеит	153—164	30—50
Джерфишерит	*158—193*	*30—50*
Викингит	153—207	30—50
Сфалерит	153—270	30—50
Иорданит	154—130	30—50
Веенит	156—172	30—50
Виттихенит	156—205	30—50
Тинтинаит	157—149	30—50
Цинкит	157—229	30—50
Аргиродит	159—178	30—50
Парагуанахуатит	160—44	30—50
Купровисмутит	161—115	30—50
Лаутит	161—261	30—50
Флюорит	162—200	30—50
Эскимоит	162—223	30—50
Ag-хакит	165—265	30—70
Хейровскиит	166—234	30—70
Лиллианит	*167—239*	*30—70*
Гутчинсонит	170—171	30—70
Мэдокит	171—141	30—70
Галхаит	171—205	30—70
Моддерит	171—253	30—70
Цилиндрит	172—48	30—70
Мутманнит	172—207	50—70
Стерриит	179	50—70
Мохит	179	50—70
Семсейит	179—133	50—70
Линдстрёмит	179—243	50—70
Геттардит	180—197	50—70
Физелиит	182—113	50—70
Кобеллит	186—84	50—70
Никель	186—210	50—70
Гортдрамит	186—230	50—70
Михараит	*187—232*	*50—70*
Троилит	187—277	50—70
Висмутин	188—73	50—70
Коутекит	191—124	50—70
Куприт	192—210	50—70
Дервиллит	195	50—70
Рамдорит	195—126	50—70

Продолжение приложения 7

Минерал	Микротвердость, VHN	Масса груза, г
Монтбрейит	198—228	50—70
Железо	199—97	50—70
Галеновисмутит	199—125	50—70
Павонит	203—131	50—70
Кадмоселит	203—222	50—70
Хакит	203—352	50—70
Купроаурид	205—223	50—70
Домейкит-α	206	50—70
Делафоссит	210—478	50—70
Гаравеллит	212—222	50—70
Овихиит	216—125	50—70
Идаит	216—260	50—70
Пиркитасит	*218*	*50—70*
Джезказганит	224—235	50—70
Пирротин (гекс.)	225—260	50—70
Голдфилдит-Se	229—237	50—70
Тетраэдрит	230—350	50—70
Коффинит	236—333	50—70
Кутинаит	237—270	50—70
Диафорит	238—100	50—70
Ферроколумбит	240—470	50—70
Рокезит	241	50—70
Густавит	243—134	50—70
Фрейбергит	245—265	50—70
Кобальтпентландит	245—363	50—70
Шамеанит	247—292	50—70
Швацит	248—296	50—70
Фробергит	250—297	50—70
Вольфрамит (группа)	250—420	50—70
Тиррелит	258—469	50—70
Пирротин (монокл.)	269—367	50—70
Вожминит	270—436	50—70
Чаткалит	274	50—70
Кёстерит	292—325	50—70
Индит	293—325	50—70
Тетрааурикуприд	294	50—70
Груздевит	295	50—70
Тучекит	302—746	50—100
Грейгит	314—342	50—70
Фаматинит	*315—357*	*50—70*
Мгриит	318—357	50—70
Реньерит	318—367	50—70
Германит	348—458	50—70
Гудмундит	350—723	50—100
Карролит	351—566	50—100
Смайтит	354—404	50—100
Зиннерит	*357—390*	*50—100*
Маггемит	357—412	50—100
Магнетит	364—585	50—100
Флетчерит	368—464	50—100
Годлевскит	382—418	50—100
Шеелит	392—412	50—100
Сидерит	397	50—100
Галлит	405—460	50—100
Лазаревичит	412—488	50—100
Виоларит	*413—460*	*50—100*
Смитсонит	409—420	50—100
Гётит	420—662	50—100
Гаухекорнит	447—655	50—100
Зигенит	503—553	50—100
Вестервелдит	575—973	50—100
Анатаз	576—623	50—100
Ильменит	*593—734*	*50—100*
III. Твердость высокая (>5 по Моосу, VHN > 600; не чертятся стальной иглой)		
Орегонит (синт.)	605—635	70—100
Анатаз	623—576	70—100
Лёллингит	635—741	70—100
Герсдорфит	640—806	70—100
Крутовит	645—760	70—100
Ильваит	650—1055	70—100
Гаухекорнит	655—447	70—100
Титанит	658—683	70—100
Маухерит	658—788	70—100
Гетит	662—420	70—100
Мангантанталит	700—1070	100—150
Марказит	717—1119	100—150
Гудмундит	723—350	70—100
Ваэсит	727—1119	100—150
Касситерит	731—1528	100—150
Ильменит	*734—593*	*100—150*
Арсенопирит	745—1127	100—200
Тучекит	746—302	70—100
Франклинит	753—794	100—150
Лангисит	780—857	100—150
Раммельсбергит	780—882	100—150
Уранинит	782—839	100—150
Ферроселит	*824—861*	*100—150*
Глаукодот	841—978	100—150
Кобальтин	886—1116	100—200
Оливин (форстерит)	897—1290	100—200
Рутил	920—974	100—200
Гематит	920—1062	100—200
Паракостибит	936—1091	100—200
Пирит	965—1560	100—200
Вестервелдит	973—575	100—200
Кварц	1023—1236	100—200
Шерл	*1070—1186*	*100—200*
Циркон	1109—1415	100—200
Андрадит	1200	100—200
Герцинит	1402—1561	100—200

Приложение 8

Значения микротвердости (VHN) при испытании алмазной квадратной пирами

Размер диагонали отпечатка, мкм		20 г			30 г			40 г		
		Размер диагонали								
Единицы	Десятые доли	0	10	20	0	10	20	0	10	20
	0	—	370,0	92,8	—	556	139,1	—	742	185,4
	1	—	363,6	91,9	—	545	137,7	—	727	183,6
	2	—	357,2	91,1	—	535	136,3	—	713	181,7
	3	—	350,8	90,2	—	524	135,0	—	699	180,0
0	4	—	344,4	89,3	—	514	133,7	—	686	178,2
	5	—	338,0	88,5	—	505	132,3	—	673	176,5
	6	—	331,6	87,6	—	495	131,1	—	660	174,8
	7	—	325,2	86,7	—	486	129,8	—	648	173,1
	8	—	318,8	85,8	—	477	128,6	—	636	171,5
	9	—	312,4	85,0	—	468	127,3	—	624	169,8
	0	—	306,0	84,1	—	460	126,1	—	613	168,2
	1	—	301,2	83,4	—	451	124,9	—	602	166,6
	2	—	296,4	82,6	—	443	123,8	—	591	165,0
	3	—	291,6	81,9	—	436	122,6	—	581	163,5
	4	—	286,6	81,1	—	428	121,5	—	571	161,8
	5	—	282,0	80,4	—	421	120,3	—	561	160,4
1	6	—	277,2	79,6	—	413	119,2	—	551	159,0
	7	—	272,4	78,9	—	406	118,1	—	542	157,5
	8	—	267,6	78,1	—	400	117,0	—	533	156,3
	9	—	262,8	77,4	—	393	116,0	—	524	154,6
	0	—	258,0	76,6	—	386	114,9	—	515	153,2
	1	—	254,2	76,0	—	380	113,9	—	507	151,8
	2	—	250,4	75,3		373	112,9	—	498	150,5
	3	—	246,6	74,7	—	368	111,8	—	490	149,1
	4	—	242,8	74,0	—	362	110,8	—	482	147,8
	5	—	239,0	73,4	—	356	109,9	—	475	146,5
2	6	—	235,2	72,7	—	350	108,9	—	467	145,2
	7	—	231,4	72,1	—	345	107,9	—	460	143,9
	8	—	227,6	71,4	—	340	107,0	—	453	142,7
	9	—	223,8	70,8	—	334	106,1	—	446	141,4
	0	—	220,0	70,1	—	329	105,1	—	439	140,2
	1	—	216,9	69,5	—	324	104,2	—	432	139,0
	2	—	213,8	69,0	—	319	103,3	—	426	137,8
	3	—	210,8	68,4	—	314	102,4	—	419	136,6
3	4	—	207,7	67,8	—	310	101,6	—	413	135,4
	5	—	204,6	67,3	—	305	100,7	—	407	134,3
	6	—	201,5	66,7	—	301	99,9	—	401	133,2
	7	—	198,4	66,1	—	296	99,0	—	395	132,7
	8	—	195,4	65,5	—	292	98,2	—	389	130,9
	9	—	192,3	65,0	—	288	97,4	—	384	129,8
	0	—	189,2	64,4	—	284	96,6	—	378	128,8
	1	—	186,8	63,9	—	280	95,8	—	373	127,7
	2	—	184,3	63,4	—	276	95,0	—	368	126,6
	3	—	181,9	62,9	—	272	94,2	—	363	125,6
4	4	—	179,4	62,4	—	268	93,4	—	358	124,7
	5	—	177,0	61,9	—	265	92,7	—	353	123,5
	6	—	174,6	61,4	—	261	91,9	—	348	122,5
	7	—	172,1	60,9	—	257	91,2	—	343	121,2
	8	—	169,7	60,4	—	254	90,4	—	339	120,4
	9	—	167,2	59,9	—	251	89,7	—	334	119,4

дой с двугранным углом при вершине 136° для различных масс грузов

50 г			70 г			100 г			150 г		
отпечатка, десятки микрометров											
0	10	20	0	10	20	0	10	20	0	10	20
—	925	232,0	—	1298	325	—	1850	464	—	2781	695
—	909	229,8	—	1272	321	—	1818	460	—	2726	688
—	893	227,6	—	1247	318	—	1786	455	—	2673	682
—	877	225,4	—	1223	315	—	1754	451	—	2621	675
—	861	223,2	—	1200	312	—	1722	446	—	2571	668
—	845	221,0	—	1177	309	—	1690	442	—	2522	662
—	829	218,8	—	1155	306	—	1658	438	—	2475	655
—	813	216,6	—	1134	303	—	1626	433	—	2429	649
—	797	214,4	—	1113	300	—	1594	429	—	2384	643
—	781	212,2	—	1092	297	—	1562	424	—	2340	637
—	765	210,0	—	1073	294	—	1530	420	—	2298	631
—	753	208,2	—	1053	292	—	1506	416	—	2257	625
—	741	206,4	—	1035	289	—	1482	413	—	2217	619
—	729	204,6	—	1016	286	—	1458	409	—	2177	613
—	717	202,8	—	999	283	—	1434	405	—	2139	607
—	705	201,0	—	981	281	—	1410	402	—	2102	602
—	693	199,2	—	965	278	—	1386	398	—	2066	596
—	681	197,4	—	948	276	—	1362	394	—	2031	591
—	669	195,6	—	932	273	—	1338	390	—	1997	585
—	657	193,8	—	917	271	—	1314	387	—	1963	580
—	645	192,0	—	901	268	—	1290	383	—	1931	575
—	636	190,3	—	886	266	—	1271	380	—	1899	569
—	626	188,6	—	872	263	—	1252	376	—	1868	564
—	617	186,9	—	858	261	—	1233	373	—	1838	559
—	607	185,2	—	844	259	—	1214	370	—	1809	554
—	598	184	—	831	256	—	1195	367	—	1780	549
—	588	181	—	818	254	—	1176	363	—	1752	545
—	579	180	—	805	252	—	1157	360	—	1724	540
—	569	178	—	792	250	—	1138	357	—	1697	535
—	560	177	—	780	248	—	1119	353	—	1671	530
—	550	175	—	768	245	—	1100	350	—	1646	526
—	542	174	—	756	243	—	1085	347	—	1621	521
—	535	172	—	745	241	—	1069	344	—	1596	517
—	527	171	—	734	239	—	1054	342	—	1572	512
—	519	169	—	723	237	—	1038	339	—	1549	508
—	512	168	—	712	235	—	1023	336	—	1526	504
—	504	167	—	702	233	—	1008	333	—	1504	499
—	496	165	—	692	231	—	992	330	—	1482	495
—	488	164	—	682	229	—	977	328	—	1460	491
—	481	162	—	672	227	—	961	325	—	1439	487
—	473	161	—	662	225	—	946	322	—	1419	483
—	467	160	—	653	223	—	934	320	—	1399	479
—	461	158	—	644	222	—	922	317	—	1379	475
—	455	157	—	635	220	—	909	315	—	1360	471
—	449	155	—	624	218	—	897	312	—	1341	467
—	443	154	—	617	216	—	885	310	—	1323	463
—	436	153	—	609	215	—	873	307	—	1305	460
—	430	152	—	601	213	—	861	305	—	1287	456
—	424	151	—	593	211	—	848	302	—	1269	452
—	418	149	—	585	209	—	836	300	—	1253	449

Продолжение приложения 8

Размер диагонали отпечатка, мкм		20 г			30 г			40 г		
		Размер диагонали								
Единицы	Десятые доли	0	10	20	0	10	20	0	10	20
	0	1484,0	164,8	59,4	—	247	89,0	—	330	118,7
	1	1438,6	162,8	58,9	—	244	88,3	—	325	117,7
	2	1393,2	160,8	58,5	—	241	87,6	—	321	116,8
	3	1347,8	158,8	58,0	—	238	86,9	—	317	115,9
	4	1302,4	156,8	57,6	—	235	86,2	—	313	114,9
5	5	1257,0	154,8	57,1	—	232	85,5	—	309	114,0
	6	1211,6	152,8	56,6	—	229	84,9	—	305	113,2
	7	1166,2	150,8	56,2	—	226	84,2	—	301	112,2
	8	1120,8	148,8	55,7	—	223	83,6	—	297	111,1
	9	1075,4	146,8	55,3	—	220	82,9	—	293	110,6
	0	1030,0	144,8	54,8	1545	217	—	2060	290	109,7
	1	1002,6	143,2	54,4	1495	215	—	1993	286	108,8
	2	975,2	141,5	54,0	1447	212	—	1929	283	108,0
	3	947,8	139,9	53,6	1401	209	—	1869	279	107,5
	4	920,4	138,2	53,2	1358	207	—	1811	276	106,4
	5	893,0	136,6	52,8	1316	204	—	1755	272	105,6
6	6	865,6	135,0	52,4	1277	202	—	1725	269	104,8
	7	838,2	133,3	52,0	1239	199	—	1652	266	104,0
	8	810,8	131,7	51,6	1203	197	—	1604	263	103,3
	9	783,4	130,0	51,2	1168	195	—	1558	260	102,5
	0	756,0	128,4	50,8	1135	193	—	1514	257	—
	1	738,4	127,0	50,5	1103	190	—	1471	254	—
	2	720,8	125,6	50,1	1073	188	—	1431	251	—
	3	703,2	124,2	49,8	1044	186	—	1392	248	—
7	4	685,6	122,8	49,4	1016	184	—	1354	245	—
	5	668,0	121,4	49,1	989	182	—	1318	242	—
	6	650,4	120,0	48,7	963	179,6	—	1284	239,4	—
	7	633,8	118,6	48,4	938	177,5	—	1251	236,7	—
	8	615,2	117,2	48,0	914	175,5	—	1219	234,1	—
	9	597,7	115,8	47,7	891	173,6	—	1188	231,5	—
	0	580,0	114,4	47,3	869	171,1	—	1159	228,9	—
	1	567,8	113,2	47,0	848	169,8	—	1130	226,4	—
	2	555,6	111,1	46,7	827	167,9	—	1103	223,9	—
	3	543,4	110,9	46,4	807	166,1	—	1077	221,4	—
8	4	531,2	109,8	46,1	788	164,3	—	1051	219,0	—
	5	519,0	108,6	45,8	770	162,5	—	1026	216,7	—
	6	506,8	107,4	45,4	752	160,8	—	1003	214,4	—
	7	494,6	106,3	45,1	735	159,1	—	980	212,1	—
	8	482,4	105,1	44,8	718	157,4	—	958	209,8	—
	9	470,2	103,9	44,5	702	155,7	—	936	207,6	—
	0	458,0	102,8	44,2	687	154,1	—	916	205,4	—
	1	449,2	101,8	43,9	672	152,5	—	896	203,3	—
	2	440,4	100,8	43,6	657	150,9	—	876	201,2	—
	3	431,6	99,8	43,3	643	149,3	—	854	199,1	—
	4	422,8	98,8	43,0	630	147,8	—	839	197,0	—
9	5	414,0	97,8	42,7	616	146,3	—	822	195,0	—
	6	405,2	96,8	42,4	604	144,8	—	805	193,0	—
	7	396,4	95,8	42,1	591	143,3	—	788	191,0	—
	8	387,6	94,8	41,8	579	141,9	—	772	189,0	—
	9	378,8	93,8	41,5	568	140,5	—	757	187,3	—

50 г			70 г			100 г			150 г		
отпечатка, десятки микрометров											
0	10	20	0	10	20	0	10	20	0	10	20
3710	412	148,0	—	577	208	7420	824	297	—	1236	445
3597	407	146,9	—	569	206	7193	813	295	—	1220	441
3483	401	145,8	—	562	204	6966	803	292	—	1204	438
3370	397	144,7	—	554	203	6739	794	290	—	1188	435
3256	392	143,6	—	547	201	6512	784	288	—	1173	431
3143	387	142,5	—	540	200	6285	774	286	—	1158	428
3029	382	141,4	—	533	198	6058	764	283	—	1143	424
2916	377	140,3	—	527	197	5831	754	281	—	1128	421
2902	371	139,2	—	520	195	5604	744	277	—	1114	418
2789	367	138,1	—	513	193	5377	733	276	—	1100	415
2575	362	137,0	3605	507	—	5150	724	274	7725	1086	—
2507	358	136,0	3488	501	—	5013	716	272	7473	1073	—
2438	354	135,0	3376	495	—	4876	708	270	7235	1060	—
2370	350	134,0	3270	489	—	4739	699	268	7007	1047	—
2301	346	133,0	3169	483	—	4602	691	266	6790	1034	—
2233	342	132,0	3072	477	—	4465	683	264	6582	1022	—
2164	337	131,0	2979	471	—	4328	675	262	6384	1009	—
2096	333	130,0	2891	465	—	4191	667	260	6195	997	—
2027	329	129,0	2807	460	—	4054	658	258	6014	985	—
1959	325	128,0	2726	454	—	3917	652	256	5841	974	—
1890	321	127,0	2649	449	—	3780	642	254	5676	962	—
1846	318	126,1	2575	444	—	3692	635	252	5517	951	—
1802	314	125,2	2504	439	—	3604	628	250	5365	940	—
1758	311	124,3	2435	434	—	3516	621	249	5219	929	—
1714	307	123,4	2370	429	—	3428	614	247	5079	919	—
1670	304	122,5	2307	424	—	3340	607	245	4944	908	—
1626	300	121,6	2247	419	—	3252	600	243	4815	898	—
1582	297	120,7	2189	414	—	3164	593	241	4691	888	—
1538	293	119,6	2133	410	—	3076	586	240	4571	878	—
1494	290	118,9	2080	405	—	2988	579	238	4456	868	—
1450	286	118,0	2028	401	—	2900	572	236	4345	858	—
1420	283	117,3	1978	396	—	2830	566	235	4239	849	—
1389	280	116,5	1930	392	—	2778	560	233	4136	840	—
1359	277	115,8	1884	388	—	2717	555	232	4037	831	—
1328	274	115,0	1839	383	—	2656	549	230	3941	821	—
1298	272	114,3	1796	379	—	2595	543	229	3849	813	—
1267	269	113,5	1755	375	—	2534	537	227	3760	804	—
1237	266	112,8	1715	371	—	2473	531	226	3674	795	—
1206	263	112,0	1676	367	—	2412	526	224	3591	787	—
1176	260	111,3	1638	363	—	2351	520	223	3511	779	—
1145	257	110,5	1602	360	—	2290	514	221	3433	770	—
1123	255	109,8	1567	356	—	2246	509	220	3358	762	—
1101	252	109,0	1533	352	—	2202	504	218	3286	754	—
1079	250	108,3	1501	348	—	2158	499	217	3215	747	—
1057	247	107,5	1469	345	—	2114	494	215	3147	739	—
1035	245	106,8	1438	341	—	2070	489	214	3081	731	—
1013	242	106,0	1408	338	—	2026	484	212	3018	724	—
991	240	105,3	1379	334	—	1982	479	211	2956	717	—
969	237	104,5	1351	331	—	1938	474	209	2896	709	—
947	235	103,8	1324	328	—	1894	469	208	2838	702	—

Приложение 9

Ряды изотропных и слабоанизотропных минералов, близких по форме спектра и абсолютной величине отражения

Номер спектр	R_N, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
1	64,3	141 (16,99)
7	22,5	487 (14,88); 346 (17,73)
11	17,2	184 (8,84)
12	70,9	—
18	10,6	—
20	30,2	488 (7,5); 430 (15,26); 117 (18,56); 153 (18,13)
23	29,4	—
31	31,4	—
33	66,4	211 (32,65)
35	61,3	334 (7,71); 141 (16,53); 1 (25,23)
49	28,0	—
54	39,3	174 (25,42)
57	21,0	—
58	48,7	410 (17,31)
69	31,5	—
78	23,3	—
80	44,0	229 (10,48); 290 (18,11)
83	67,7	211 (67,84); 33 (71,85)
91	43,7	215 (18,57)
94	24,6	—
101	21,5	—
102	45,5	—
104	9,1	200 (4,94); 468 (5,4)
110	30,9	238 (15,46)
117	31,0	—
120	34,7	—
133	28,0	—
135	22,5	—
138	22,9	—
143	52,3	410 (26,54); 58 (32,35)
148	59,7	—
152	45,9	229 (18,82)
154	76,4	—
155	52,5	—
164	25,3	—
174	41,6	—
177	33,5	253 (14,99); 438 (17,57); 488 (19,11)
183	52,1	—
184	17,2	—
187	50,2	—
193	37,3	—
195	27,1	—
196	72,4	—
204	34,6	2 (11,99); 4 (13,32); 273 (21,62)
205	60,3	281 (10,74); 149 (11,45)
209	14,1	—
210	26,3	—
211	67,6	33 (32,83); 83 (67,99)
215	42,3	—
216	88,6	—
217	31,1	—

Продолжение приложения 9

Номер спектра	R_N, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
229	47,4	80 (10,66); 244 (14,22); 152 (18,60); 219 (19,40); 290 (23,49)
233	18,0	—
234	20,1	—
237	60,2	—
238	29,4	110 (15,29); 23 (36,61)
245	27,0	52 (13,28); 287 (16,58); 153 (18,23); 214 (21,55); 494 (21,57)
246	61,5	33 (78,30); 155 (90,31); 211 (93,8)
250	24,4	172 (10,72)
263	74,9	—
272	15,1	—
277	26,6	—
279	63,4	13 (19,98)
280	54,8	56 (11,40)
309	39,2	—
313	54,2	—
314	44,3	—
323	44,9	403 (30,7)
330	35,2	255 (18,80); 386 (32,59)
356	55,2	—
362	95,2	—
366	54,7	326 (14,84); 149 (16,47)
379	81,8	—
380	27,6	—
384	17,9	194 (8,28); 90 (10,67); 184 (13,40); 454 (15,47)
386	37,9	—
387	25,2	—
396	27,3	4 (26,64); 164 (28,18)
398	31,6	430 (7,97); 123 (11,31); 5 (16,49)
401	30,0	439 (21,38)
403	47,4	—
408	41,7	—
410	50,7	58 (17,30); 97 (21,17); 143 (26,99)
416	46,2	171 (29,18)
418	16,1	194 (6,24); 184 (6,70)
424	30,2	—
425	43,7	—
428	18,2	—
430	31,1	398 (7,79); 123 (8,47); 5 (12,37); 20 (15,13); 488 (17,62)
438	34,4	—
448	23,7	—
454	17,5	194 (11,42); 418 (13,34)
464	25,1	—
467	32,3	—
471	21,1	487 (13,41); 93 (15,14); 346 (17,12)
475	87,6	—
487	22,2	471 (13,39); 7 (14,57)
488	31,7	20 (7,4); 123 (14,30); 345 (15,50); 117 (16,41); 430 (17,99)
492	32,9	73 (30,40)
494	27,2	133 (15,50); 214 (17,53)
2	35,3	204 (11,84); 4 (14,42)
4	32,5	204 (13,26); 2 (14,40)
5	29,5	—

Продолжение приложения 9

Номер спектра	R_N, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
8	52,5	56 (10,61); 280 (20,24)
9	71,8	—
13	63,3	—
25	24,2	250 (12,74)
42	41,5	—
52	25,2	245 (13,39); 93 (14,26); 164 (15,69); 287 (16,99)
56	53,5	8 (10,84); 280 (11,50)
60	27,5	—
73	32,0	352 (15,72); 439 (21,36) 492(30,21)
74	26,3	—
87	53,2	356 (27,87)
90	19,8	—
92	48,5	171 (15,99)
93	24,2	168 (13,63); 52 (14,16); 471 (15,8); 250 (17,37); 487 (22,46)
97	48,7	—
100	40,9	—
122	20,0	—
123	32,8	—
131	41,2	—
141	64,4	35 (16,56); 1 (16,67); 334 (17,68); 392 (27,56)
144	53,0	280 (27,24)
146	31,6	—
149	56,0	205 (11,24); 336 (14,71); 366 (16,28); 326 (16,28); 281 (18,10)
153	29,0	5 (11,25)
166	39,5	84 (10,99); 341 (11,55); 100 (12,58)
168	22,7	—
171	51,3	—
172	24,5	—
180	25,0	262 (10,96); 74 (18,31)
191	58,5	334 (21,96); 35 (29,59)
194	16,7	184 (6,99); 418 (6,19); 384 (8,79); 454 (11,99)
200	9,0	104 (4,61)
214	26,5	262 (8,31)
221	30,9	—
242	45,9	—
244	49,5	229 (14,24); 291 (21,65); 290 (22,55); 187 (32,81)
253	33,7	177 (14,60)
254	39,7	—
255	36,0	—
262	25,5	214 (8,20); 180 (10,70)
264	19,6	—
273	36,3	439 (16,5); 204 (21,64); 2 (23,66)
281	61,7	205 (10,60)
287	26,0	—
290	48,5	80 (18,19); 244 (22,66); 229 (23,63); 152 (27,10)
291	48,8	229 (19,51); 244 (21,77); 80 (27,7)
308	46,5	—
316	25,5	—
326	55,2	366 (14,99); 149 (16,56)
334	63,2	35 (9,73)
336	60,1	149 (14,82)
341	39,5	166 (11,45); 84 (12,66); 100 (21,24)
345	30,5	488 (15,26); 20 (17,42); 117 (19,43); 153 (21,41); 398 (22,37)
346	22,2	—
352	30,6	73 (15,99); 439 (20,18)

Продолжение приложения 9

Номер спектра	R_N, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
358	60,8	—
373	27,6	195 (24,74); 461 (29,68)
392	64,2	—
439	32,7	273 (16,9)
440	48,7	—
458	11,5	—
461	27,9	—
468	9,8	104 (5,2); 18 (7,84)

Примечание. Пунктирная линия отделяет изотропные минералы от слабоанизотропных; прочерк означает, что минерал по спектрам определяется однозначно.

Приложение 10

Ряды анизотропных минералов, близких по форме спектра и абсолютной величине отражения

Номер спектра	R_g, %	A, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
2	35,3	0	4 (14,42)
3	47,7	17	
4	32,5	0	2 (14,40); 376 (14,54)
5	29,5	0	
8	52,5	3	56 (10,61)
9	71,8	0	
10	51,4	7	
13	63,3	0	
17	41,6	14	286 (10,34)
21	47,0	34	
22	42,1	8	
24	36,7	18	
25	24,2	0	172 (14,84)
26	35,0	8	
29	52,5	1	
32	25,5	31	
34	28,4	33	181 (29,12)
37	33,7	18	
40	22,2	4	
41	40,1	12	354 (13,4); 108 (15,62); 147 (15,43); 251 (15,35)
42	41,5	0	
44	42,3	8	390 (18,40)
45	48,7	15	469 (18,65)
48	42,5	29	
50	28,4	4	
51	24,6	77	
52	25,2	0	93 (14,26); 287 (16,99)
55	32,0	82	
56	53,5	0	8 (10,84)
59	50,4	24	
60	27,5	0	
61	30,7	4	
62	43,7	17	268 (9,2); 344 (13,69); 108 (15,24); 22 (16,46)
63	36,3	6	
65	24,3	13	
67	21,8	38	

Продолжение приложения 10

Номер спектра	R_g, %	A, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и ρ, %)
71	46,2	14	
73	32,0	0	352 (15,72); 132 (17,47); 365 (18,19); 349 (18,34)
74	26,3	0	180 (18,29)
75	48,0	10	
81	66,3	12	
82	50,7	25	443 (14,15); 114 (16,67); 124 (20,64)
84	46,6	12	294 (12,57); 189 (12,41)
85	36,0	9	
87	53,2	0	
88	31,8	9	
89	42,3	62	
90	19,8	0	
92	48,5	6	171 (15,99); 294 (16,70); 84 (16,1); 242 (16,1)
93	24,2	0	171 (15,99); 294 (16,70); 84 (16,1); 242 (16,1)
97	48,7	6	
99	30,7	13	
100	40,9	5	166 (12,99)
103	45,7	10	
105	40,0	3	
106	43,5	22	
107	17,2	12	
108	41,0	12	423 (10,53); 147 (10,5); 134 (14,99); 457 (15,25)
109	30,6	10	
113	46,5	10	92 (17,12)
114	50,5	21	82 (16,99); 124 (19,70)
115	53,0	4	
116	52,5	3	
119	21,2	67	
121	36,7	1	
122	20,0	0	
123	32,8	0	
124	49,6	19	443 (13,43); 3 (17,39); 295 (19,96); 114 (19,53)
125	57,0	9	
127	30,0	4	352 (20,99)
128	16,6	17	194 (10,86)
129	43,5	11	344 (13,85); 62 (19,95); 286 (23,93)
130	23,3	18	
131	41,2	0	
132	29,7	2	352 (11,76); 73 (17,86); 349 (20,71)
134	44,3	13	457 (10,37); 423 (14,29); 108 (14,43); 286 (15,52)
137	39,6	10	431 (5,68); 166 (6,99)
141	64,4	0	334 (17,68); 392 (18,56)
144	53,0	6	
145	36,9	42	
146	31,6	5	
147	38,7	9	108 (10,6)
149	56,0	5	218 (12,1); 336 (14,70); 163 (14,58); 326 (16,27)
150	61,5	12	
151	34,5	9	
153	29,0	0	5 (11,25)
156	30,0	8	
158	48,8	8	295 (14,99); 371 (19,61); 124 (21,93); 443 (22,66)
159	9,9	22	
160	19,8	15	
163	56,4	8	399 (7,54); 149 (14,96); 218 (14,6)
166	39,5	5	431 (5,80); 137 (6,56); 341 (12,54); 100 (12,58)
168	22,7	0	

Продолжение приложения 10

Номер спектра	R_g, %	A, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
169	65,2	10	258 (17,99)
171	51,3	5	242 (14,2)
172	24,5	0	
175	12,9	17	
179	32,1	16	127 (7,29); 329 (18,61)
180	25,0	0	262 (9,95); 74 (18,31)
181	29,9	17	236 (24,99); 442 (24,99); 34 (29,12)
182	58,5	10	
185	54,6	5	
186	36,7	60	
189	45,1	11	294 (9,98); 84 (12,99); 242 (12,56)
190	23,3	73	
191	58,5	3	
192	45,7	10	
194	16,7	6	128 (10,84)
198	57,5	18	
199	42,5	8	
200	9,0	0	
201	59,2	8	
202	34,2	4	
206	26,8	13	329 (26,68)
207	40,0	12	
212	41,4	11	
213	45,5	17	
214	26,5	0	262 (8,30)
218	53,3	8	149 (12,2); 163 (14,6)
221	30,9	0	
222	31,8	7	439 (9,89); 365 (19,48)
223	54,8	2	
226	39,7	24	
227	46,5	17	332 (14,44); 103 (23,16); 192 (24,16)
228	45,5	10	295 (12,85); 443 (19,14); 371 (21,36)
231	32,5	13	236 (12,74); 109 (13,40); 365 (21,30); 179 (23,66)
232	28,2	10	
235	46,0	55	
236	31,5	12	
239	57,2	13	
242	45,9	5	171 (14,4)
244	49,5	0	291 (21,65); 290 (22,55)
247	62,3	9	
248	43,7	17	17 (6,2); 360 (10,36); 286 (12,63); 457 (18,41)
251	36,5	18	423 (8,64); 147 (8,30); 338 (12,34); 463 (12,37)
252	55,6	10	
253	33,7	5	
254	39,7	0	
255	36,0	0	
256	45,9	50	257 (63,55)
257	47,9	52	256 (63,53)
258	67,8	16	169 (17,54)
261	28,0	7	
262	25,5	0	214 (8,20); 180 (9,70)
264	19,6	0	
267	57,9	16	
268	40,4	14	338 (9,99); 331 (13,33); 147 (14,30); 251 (14,23)
270	41,2	7	22 (10,99); 100 (12,65)
273	36,3	0	439 (16,5); 2 (23,65); 483 (26,15)
274	44,5	13	

Продолжение приложения 10

Номер спектра	R_g, %	A, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
275	55,2	9	
278	52,3	8	
281	61,7	0	
282	55,8	9	382 (22,27); 56 (33,44)
285	23,9	31	
286	42,5	7	
287	26,0	0	52 (16,69)
290	48,5	0	244 (22,65)
291	48,8	3	244 (21,77)
294	48,1	9	189 (9,42); 84 (12,62); 113 (13,53); 92 (16,38)
295	49,5	11	228 (12,36); 158 (14,46); 3 (15,37); 443 (21,37)
299	39,5	27	
300	59,5	1	
303	50,6	9	
304	32,6	39	
307	25,5	0	
308	46,5	3	
310	31,2	23	
311	63,9	7	460 (10,90); 334 (12,83)
312	30,6	9	
315	23,7	3	
316	25,5	0	
317	39,0	14	318 (6,90); 409 (12,28); 24 (34,1)
318	39,5	14	317 (6,99); 409 (13,23)
319	33,8	17	151 (7,73); 347 (17,41); 483 (21,51)
320	41,6	20	360 (15,65); 390 (16,61); 106 (16,11)
322	33,4	6	
326	55,2	3	149 (16,55)
329	27,6	13	
331	34,7	11	338 (12,38); 268 (13,13); 354 (15,39); 251 (15,96)
332	47,4	22	227 (14,99)
333	33,2	23	
334	63,2	6	460 (5,55); 311 (12,63)
335	40,7	12	360 (7,15); 286 (9,12); 423 (13,71); 431 (13,87)
336	60,1	6	149 (14,82)
337	29,0	48	
338	38,9	14	268 (9,63); 331 (12,57)
339	20,5	9	93 (21,50)
341	39,5	5	431 (11,29); 166 (12,45); 137 (12,43); 427 (13,49)
342	26,5	8	
343	19,6	40	
344	43,4	21	360 (12,42); 62 (13,81); 129 (13,86); 286 (14,79)
345	30,5	5	153 (21,40); 5 (23,73)
346	22,2	0	
347	35,3	33	319 (17,46)
348	23,1	14	
349	29,5	7	352 (17,73)
350	30,1	9	73 (34,60)
352	30,6	3	132 (11,57); 73 (15,99); 349 (17,40); 127 (20,66)
354	38,2	11	41 (13,4); 338 (14,54); 331 (15,99)
355	54,3	4	
358	60,8	0	
359	35,5	27	
360	42,3	14	335 (7,20); 286 (9,95); 344 (12,52); 17 (13,44)
361	14,9	29	
364	59,8	17	
365	33,0	11	251 (17,6); 222 (19,38); 483 (20,99)

Продолжение приложения 10

Номер спектра	R_g, %	A, %	Номера ближайших минералов (в скобках $\delta \times 100$ и p, %)
367	46,2	9	
368	36,0	4	
371	47,2	8	158 (19,63)
373	27,6	0	461 (28,67)
374	25,6	15	
376	30,9	4	4 (14,99)
377	66,2	7	
382	57,5	3	399 (17,88)
383	75,2	5	
385	27,9	2	
389	38,5	5	
390	40,8	11	17 (14,99); 360 (14,26); 423 (15,55); 286 (15,21)
391	68,4	11	
392	64,3	5	334 (17,64); 141 (18,99); 281 (18,38); 445 (19,29)
394	63,8	7	
399	59,8	12	163 (7,39); 150 (16,30); 382 (17,63); 149 (18,87)
400	46,9	7	457 (13,3); 134 (6,23); 171 (18,57); 189 (18,32)
405	18,0	51	
409	41,2	13	
411	21,2	28	
412	25,4	47	
415	47,9	9	97 (31,99); 367 (31,29)
417	17,0	23	
420	25,6	9	
421	18,7	14	160 (12,7)
422	50,8	11	
423	39,2	8	147 (8,38); 251 (8,73); 108 (10,26); 17 (12,23)
427	37,3	8	341 (13,81); 423 (14,94)
431	40,7	10	166 (5,99); 137 (5,48); 341 (11,44); 100 (12,72)
433	50,2	2	
436	42,9	12	390 (18,53); 44 (20,66); 106 (24,30); 17 (26,65)
439	32,7	0	222 (9,62); 273 (16,8); 352 (10,21)
440	48,7	0	
441	43,5	14	
442	31,2	13	
443	47,4	17	124 (13,72); 82 (14,28)
444	52,7	11	
445	66,7	8	460 (14,37)
449	57,2	7	
450	42,9	13	
456	38,0	9	427 (20,87); 63 (22,49); 137 (22,1)
457	43,0	12	134 (10,99); 286 (11,99)
458	11,5	0	
460	64,2	7	334 (5,62); 311 (10,77); 445 (14,33); 150 (16,22)
461	27,9	0	
463	36,2	15	354 (10,28); 331 (15,99); 299 (17,46); 423 (18,59)
468	9,8	0	
469	47,0	10	171 (17,60); 45 (18,99); 294 (18,99)
470	36,0	25	
472	30,4	11	179 (31,63)
473	40,7	1	
474	37,3	2	
477	42,1	11	
478	47,6	26	
479	28,4	11	25 (6,6); 153 (18,44); 262 (21,33); 214 (25,33)
480	35,6	20	470 (31,28)
483	33,0	8	365 (20,86)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрикосов Н. Х., Банкина В. Ф., Полецкая Л. В.* Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. М., Наука, 1975, 218 с.

2. *Агроскин Л. С., Папаян Г. В., Петров В. К.* Микроспектрофотометр с пространственной, спектральной и поляризационной модуляцией.—Докл. АН СССР, 1975, т. 221, № 3, с. 580—583.

3. *Агроскин Л. С., Папаян Г. В., Раутиан Л. П.* Регистрирующий абсолютный микроспектрорефлексометр «Блеск». — Геология рудн. месторождений, 1972, т. 14, № 3, с. 81—90.

4. *Безсмертная М. С., Чвилева Т. Н.* Определитель рудных минералов в отраженном свете. М., Недра, 1976, 71 с.

5. *Боришанская С. С., Виноградова Р. А., Крутов Г. А.* Минералы никеля и кобальта. М., Изд-во МГУ, 1981, 222 с.

6. *Бородаев Ю. С.* Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ.— В кн.: Лабораторные методы исследования минералов руд и пород. М., Изд-во МГУ, 1975, с. 7—80.

7. *Воган Д., Крейг Дж.* Химия сульфидных минералов. М. Мир, 1981, 575 с.

8. *Волынский И. С.* Определение рудных минералов под микроскопом. Т. 3. М., Недра, 1966, 339 с.

9. *Волынский И. С.* О взаимозависимости оптических свойств рудных минералов.— В кн.: Экспериментально-методические исследования рудных минералов. М., Наука, 1965, с. 13—31.

10. *Вяльсов Л. Н.* Спектры отражения рудных минералов (научно-методическое пособие), М., изд. ИГЕМ, 1973, 67 с.

11. *Вяльсов Л. Н.* Оптические методы диагностики рудных минералов. М., Недра, 1976, 375 с.

12. *Галопен Р., Генри Н.* Исследование непрозрачных минералов под микроскопом. М. Мир, 1975.

13. *Годовиков А. А.* Висмутовые сульфосоли. М., Наука, 1972., 393 с.

14. *Диагностика* и диагностические свойства минералов. Под ред. В. Г. Фекличева. М., Наука, 1981, 248 с.

15. *Диагностические* свойства рудных минералов/С. А. Юшко, О. Е. Юшко-Захарова, С. И. Лебедева, И. Е. Максимюк. М., Недра, 1975, 286 с.

16. *Дриц М. Е., Бочвар Н. Ф., Гузей Л. С.* Двойные и многокомпонентные сплавы на основе меди. М., Наука, 1979, 248 с.

17. *Костов И., Минчева-Стефанова И.* Сульфидные минералы. Кристаллохимия, парагенезисы, систематика. М., Мир, 1984, 290 с.

18. *Крейг Дж., Воган Д.* Рудная микроскопия и рудная петрография. М., Мир, 1984, 424 с.

19. *Ларсен Е., Берман Г.* Определение прозрачных минералов под микроскопом. М., Недра, 1965, 320 с.

20. *Лебедева С. И.* Микротвердость минералов. М., Недра, 1977, 118 с.

21. *Минералы.* Справочник. М., Изд-во АН СССР, т. 1, 1960, 616 с., т. 2, 1963, 295 с.

22. *Мозгова Н. Н.*, Нестехиометрия и гомологические ряды сульфосолей. М., Наука, 1985, 264 с.

23. *Определение* рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости/М. С. Безсмертная, Т. Н. Чвилева, Л. С. Агроскин и др. М., Недра, 1973, 222 с.

24. *Патнис А., Мак-Коннели Дж.* Основные черты поведения минералов. М., Мир, 1983, 289 с.

25. *Пирсон У.* Кристаллохимия и физика металлов. М., Мир, 1977, т. 1, 419 с., т. 2, 467 с.

26. *Поваренных А. С., Герасимов А. Ю.* Новый метод определения микромеханических свойств минералов на приборе УПМ-1.— Минерал. журн. 1980, т. 2, № 2, с. 11—24.

27. *Рамдор П.* Рудные минералы и их срастания. М., ИЛ, 1962. 1132 с.
28. *Руководство* по рентгеновскому исследованию минералов. Под ред. В. А. Франк-Каменецкого/В. Н. Герасимов, Е. М. Доливо-Добровольская, И. Е. Каменцев и др. Л., Недра, 1975, 399 с.
29. *Сульфидные* медно-никелевые руды Норильских месторождений/А. Д. Генкин, В. В. Дистлер, А. А. Филимонова и др. М., Наука, 1981, 234 с.
30. *Сульфосоли*, платиновые минералы и рудная микроскопия. М., Наука, 1980, 236 с.
31. *Фрондел Д.* Минералогия Луны. М., Мир, 1978, 334 с.
32. *Чвилева Т. Н.* Минералогическая характеристика и диагностика сульфоантимонитов свинца. М., Наука, 1973, 161 с.
33. *Чвилева Т.Н., Клейнбок В. Е., Безсмертная М. С.* Цвет рудных минералов в отраженном свете. М., Недра, 1977, 189 с.
34. *Чичагов О. В., Сипавина Л. В.* Рентгенометрические параметры твердых растворов. М., Наука 1982, 171 с.
35. *Шумская Н. И., Ильина Л. И., Миловзорова И. Т.* Система диагностики рудных минералов по кристаллооптическим данным. Л., Недра, 1979, 166 с.
36. *Эстерле О. В.* Автоматизация диагностики минералов: Обзор. М., (ОНТИ. ВИЭМС), 1975.
37. *Atkin B. P., Harvey P. K.* Nottinham interactive system for opaque mineral identification: NISOMI.— Trans. Inst. Min. and Metallurg., 1979, v. 88, p. 1324—1327.
38. *Berhardt H.-J.* Computer — gestützte 'Erzmineral-Duagnose mittels Reflexionsspektren in sichtbaren Licht. — Neues Jahrb. Mineral. Mh., 1979, Hit 9, S. 403—407.
39. *Berhardt H.-J.* Ein einfaches Verfahren für die Erzminerul-Diagnose mittels Reflexionsspektren.—Neues Jahrb Mineral. Mh., 1982, Hit.6, S. 241—247.
40. *Berry L. G., Thompsom R. M.* X-ray data for ore minerals; the Peacock atlas.—Geol. Soc. Amer. Mem. 1962, v. 85, 281 p.
41. *Criddle A.I.* Editorial policy for the second issue of the IMA/COM quantitative data file. Canad. Mineralogis t, 1980, v. 18, p. 553—558.
42. *Goble R.I.* The leaching of copper from anilite and the production of a metastable copper sulfide structure.—Canad. Mineralogist, 1981, v. 19, p. 583—591.
43. IMA/COM Quantitative data File first Issue, 1977 (Dr. N. V. M. Henry) Department of Mineralogy, Downing Place, Cambridge CB2,3EW, England, 214 p.
44. *Introduction* to Japanese minerals.— Geol. Surv. Japan, 1970, 235 p.
45. *Kuhnel R. A., Prins J. J., Boorda H. J.*— Jhe delft sistem for mineral identification. 1. Ore minerals. — Mineral Mater. News Bull. Microsc. Methods., 1976, N 1, p. 2—3.
46. *Moëlo I.* Contribution a l'etude des conditons naturelles de formation des sulfures conplexes d'antimoine et ploneb (Sulfosels de Pb/Sb).— Signification metallogenique serie documents du BRGM 1983, N 55, 613 p.
47. *Moh G. H.* Ore mineral systems.— Neues Jahrb. Mineral. Abhandl, 1976, v. 128, p. 115—188.
48. *Nakhla F. M.* A systematic approach of ore minerals determination by their reflectance values, physicochemical and structural parameters.— Egypt. J. Geol., 1982, v. 26, N 2, p. 141—159.
49. *Oxide* minerals. Reviews in Mineralogy, v. 3, 1981. 502 p.
50. *Picot P., Johan Z.* Atlas des mineraux metalliques.— Mem. Bureau recherches geol. minieres, 1977, N 90.
51. *Piller H.* Microskope photometry. Berlin, Springer-Verlag, 1977.
52. *Ramdohr P.* The ore minerals and their intargrowths. Perqamon Press, 1982. 1207 p.
53. *Rice C. M., Atkin D. Bowles I. F. W., Criddle A. I.* Nukundamite, a new mineral and idaite.— Min. Mag., 1979, v. 43, N 326, p. 193—200.
54. *Uytenbogaardt W., Burke E. A. J.* Tables for microscopic identification of ore minerals. Amsterdam. London, N. Y., Els. publ. company, 1971, 430 p.
55. *Vendrell-Saz M., Karup-Moller S., Lopez-Soler A.*— Optical study of acanthite, bismuthinite and galena.— Neues Jahrb. Mineral. Abhandl., 1978, Bd 132, N 1, s. 101—112.

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

	Ячейка в цветной таблице	Стр.
Аваруит	а-17	92, 416
Агвиларит	к-2	369, 416, 466
Айкинит	Г-II	256, 416
Айтенбогардтит (см. *ютенбогардтит*)		—
Акантит	З-6	282, 416, 463, 466
Акташит	И-7	352, 416
Алабандин	Л-13, б′-2	327, 416, 463, 467
Алексит	в-14	132, 416, 466
Алларгентум	а-10	96, 416, 467
Аллоклазит	г-I	164, 416, 462
Алмаз	Н-12, г′-5	94, 416
Алтаит	А-6, а-11	123, 416, 463
Альгодонит	б-5	156, 416
Амальгама золота	—	98
Анатаз	в′-6	468
Англезит	е′-9	405
Андорит	Е-5	295, 416, 467
Андрадит	д′-9	406, 416, 468
Анилит	—	302
Анимикит	а-5	96, 416
Аннивит	л-16	319, 416
Антимонит	Д-1, д-10	270, 416, 466
Арамайоит	ж-14	242, 416
Аргентит (см. акантит)	—	—
Аргентопентландит	И-12	184, 416, 467
Аргентопирит	и-12	284, 416
Аргентотетраэдрит	л-9	317
Аргиродит	Л-7	342, 416, 467
Ардаит	к-4	275, 416
Аркубисит	к-9	240, 416, 462
Арсеногаухекорнит	д-4	172, 458
Арсенопирит	В-8, в-9	161, 418, 462, 468
Арсенополибазит (см. *полибазит*)		—
Арсеносульванит	л-11	346, 418
Атабаскаит	н-17	378, 418, 466
Аурикуприт	а-15	89, 418
Au_3Cu	в-4	90, 428
Аурипигмент	К-7	363, 418, 466
Ауростибит	А-15, в-7	95, 418, 463
Ашавалит	—	380
Ашамальмит	д-15	233, 458
Балканит	З-3	293, 418, 466
Бамболлаит	—	139
Барит	О-14, ж′-4	405, 467
Бартонит	п-14	216, 418, 462, 467
Баумгауерит	з-13	279, 418, 467
Безсмертновит	Е-11	113, 418
Беллидоит	м-7	376, 466
Бенавидесит	ж-15	268, 418, 466
Бенжаминит	г-9	242, 418
Берндтит	—	228
Берриит	д-9	258, 458, 467

Бертьерит	Е-1, ж-9	269, 418, 463, 467
Берцелианит	И-14	376, 418, 463, 466
Бетехтинит	К-1	305, 418, 462
Билибинскит	Л-12	116, 418, 462
Биллингслеит	Л-2	286, 418, 467
Блокит	и-1	384, 420, 463
Богдановит	И-11	113, 420, 462
Богдановичит	В-4	371, 420, 466
Борнит	М-5, б′-6	208, 420, 463, 466
Борнхардтит	г-7	381, 420
Брейтгауптит	Г-5	139, 420, 463
Бриартит	И-16	339, 420
Буковит	З-16	218, 420, 462
Буланжерит	Д-14, ж-3	259, 420, 467
Бурнонит	Ж-11	266, 420
Бурсаит	е-17	234, 420
Вайрауит	—	92
Вакабаяшилит	о-17	361, 420, 466
Валентинит	д′-1	—
Валлериит	М-4, б′-5	211, 420, 462, 463, 466
Валлисит	и-8	358, 467
Вартаит (см. хейровскиит)	—	—
Ваэсит	З-14	197, 420, 468
Веенит	ж-6	273, 458, 467
Вейбуллит	е-6	376, 420, 466
Вейссбергит	и-11	355, 458, 466
Вейссит	З-12	136, 420
Великит	К-14	331, 420
Верлит (см. пильзенит)	—	—
Вестервелдит	Г-10	147, 420, 468
Викингит	е-15	246, 458, 467
Вилкманит	—	382
Вилламанинит	Л-17	198, 420
Виллиамит	г-13	160, 458
Виоларит	Д-9	191, 420, 463, 468
Висмут	А-9	118, 422, 463, 466
Висмутин	Г-1, г-2	238, 422, 463, 466
Висмутогаухекорнит	д-3	172, 422
Витнеит	а-12	156, 422, 466
Виттит	д-7	237, 422
Виттихенит	Ж-12	247, 422, 463, 467
Вожминит	в-17	169, 422, 468
Волынскит	В-7	124, 422, 466
Вольфрамит, гр. (см. гюбнерит, ферберит)	—	—
Врбаит	л-6	257, 422
Вулканит	Е-3	138, 422, 462
Вюртцит	в′-4	325, 422, 467
Галенит	Д-10, е-14	231, 422, 463, 466
Галеновисмутит	Г-9	238, 422, 467
Галлит	Л-8	340, 422, 468
Галхаит	Л-10	351, 422, 467
Гаравеллит	з-2	251, 458, 468
Гатчит	и-7	358
Гаухекорнит	Г-8	171, 422, 468
Гвадалкацарит	о-15	422, 463, 466
Гематит	и-4, а′-4	391, 422, 468
Гемусит (см. хемусит)	—	—
Геокронит	Д-11	272, 422, 467
Германит	М-2	338, 422, 468
Герсдорфит	Д-3	168, 422, 463, 468
Герценбергит	е-4	227, 424, 466

Герцинит	е′-6	396, 424, 468
Гессит	Е-10	109, 424, 462, 466
Гетероморфит	ж-4	263, 424, 467
Гётит	г′-8	399, 424, 468
Геттардит	з-6	424, 467
Гетчелит	И-2	360, 424, 466
Гиперциннабарит	о-12	350, 466
Гирит	—	303
Гиссенит	е-1	234, 424, 466
Гладит	Г-4	253, 424, 466
Глаукодот	в-10	163, 424, 462, 463, 468
Годлевскит	В-12	175, 424, 462, 463, 468
Голдфилдит	л-8	320, 424, 463, 468
Гортдрамит	м-11	354, 458, 467
Графит	М-8, б′-9	93, 424, 466
Грейгит	Ж-17	188, 424, 468
Грейтонит	Ж-8	277, 424, 462, 467
Гринокит	М-10, в′-5	328, 426, 463, 466
Груздевит	к-14	352, 426, 468
Грюнлингит (см. жозеит А)	—	—
Гуанахуатит	г-5	373, 426
Гудмундит	Б-13	159, 426, 462, 468
Гунгаррит (см. хейровскиит)	—	—
Густавит	е-3	246, 458, 467
Гутчинсонит	м-1	359, 426, 467
Гюбнерит	в′-9	403, 426
Дадсонит	ж-1	275, 426
Делафоссит	б′-4	401, 426, 468
Дервиллит	п-13	290, 426, 467
Джайпурит	з-3	181, 426
Джарлеит	И-8, а′-5	301, 426, 466
Джезказганит	И-15	226, 426, 468
Джемсонит	Д-12	267, 426, 466
Джерфишерит	Л-14	214, 426, 463, 467
Джуноит	г-10	257, 459
Диафорит	Е-12	294, 426, 467
Дигенит	Л-15, а′-8	308, 426, 466
Диморфит	—	362
Диопсид	ж′-1	406
Дискразит	А-8	97, 426, 463, 467
Доломит	ж′-5	404
Домейкит-α	в-13	157, 426, 468
Домейкит-β	в-11	157, 426, 467
Дрисдаллит	и-13	226, 426, 466
Дюранузит	л-5	361, 426, 466
Дюфренуазит	Ж-1	277, 428, 463, 467
Железо	Б-3	90, 428, 467
Жеффроит	л-10	371, 428, 466
Жиродит	л-2	322, 428
Жозеит А	Б-15	131, 428, 466
Жозеит В	А-17	130, 428, 466
Зелигманнит	к-5	280, 428, 467
Зигенит	д-11	191, 428, 463, 468
Зиннерит (см. синнерит)	—	—
Золото	А-2, а-6	81, 428, 463, 466
Идаит	м-4	210, 428, 462, 468
Изостаннин	—	330
Икунолит	г-8	240, 428, 466
Ильваит	Н-17, е′-4	406, 428, 468
Ильменит	М-12, в′-2	390, 428, 468

Имгрэит	—	134, 467
Имхофит	—	358
Ингодит	б-16	129, 428, 466
Индит	К-17	345, 428, 468
Инкаит	к-16	428
Иорданит	з-11	276, 430, 467
Кавацулит	б-11	132
Кадмоселит	б′-1	388, 430, 468
Калаверит	А-10	102, 430, 463, 467
Кальцит	О-15, ж′-6	405, 467
Камасит		91
Канниццарит	в-16	236, 430, 466
Канфильдит	Л-6	341, 430, 467
Карлинит	з-10	354, 459, 466
Карролит	ж-11	189, 430, 463, 468
Касситерит	Н-15, д′-4	401, 430, 468
Кастаньит		226
Каттьерит	З-4	197, 430
Кварц	О-16, ж′-8	407, 468
Кераргирит (см. хлораргирит)	—	—
Кермезит	а′-3	430, 466
Кёстерит	о-13	330, 430, 468
Киддкрикит	—	337
Киноварь	И-10	348, 430, 463, 466
Киткаит	Б-9	134, 430, 466
Клаусталит	В-11, в-15	372, 430, 464, 466
Клейофан (см. сфалерит)	—	430
Клинопирротин (см. пирротин монокл.)		—
Клиносаффлорит	в-7	151, 430, 462
Клокманнит	Ж-9	378, 430, 466
Кобальтин	Г-2, г-3	165, 430, 464, 468
Кобальтпентландит	в-6	184, 459, 468
Кобеллит	е-9	236, 430, 466
Ковеллин	Л-16, а′-9	304, 430, 462, 464, 466
Когенит	б-14	92, 430
Козалит	Д-6	235, 432, 466
Колорадоит	Ж-4	136, 432, 464, 466
Колусит	К-10, м-12	345, 432
Колымит	А-5	99, 432
Костибит	д-13	160, 459
Костовит	Б-1	105, 432, 466
Коутекит	ж-13	157, 432, 462, 467
Коффинит	е′-5	432, 468
Креннерит	Б-7	103, 432
Кристит (см. христит)	—	—
Круксит	З-2	386, 432, 467
Крупкаит	г-11	254, 432
Крутаит	Ж-16	383, 432
Крутовит	б-10	153, 432, 468
Ксантоконит	м-16	289, 432
Кубанит	Е-13	206, 432, 464
Куллерудит	—	385
Кулсонит	д′-3	395, 432
Куприт	К-13, а′-7	400, 432, 464, 467
Купроаурит	а-13	88, 432, 468
Купровисмутит	з-5	249, 434, 467
Купропавонит	—	244
Купростибит	Д-7	141, 434, 462, 464
Курамит	Н-14	332, 434, 464
Кутинаит	ж-10	158, 434, 468
Кюстелит	а-2	81, 434, 466

Лазаревичит	л-12	309, 434, 468
Лайтакарит	В-9	374, 434
Лангисит	д-5	147, 459, 468
Ларозит	л-4	306, 459, 466
Лаутит	л-13	311, 434, 467
Лаффитит	З-13	291, 434
Лёллингит	В-1	149, 434, 462, 468
Ленгенбахит	и-10	299, 466
Ливейнгит (см. ратит)	—	—
Ливингстонит	Е-15	351, 434, 464, 467
Лиллианит	е-7	234, 434, 467
Линдстремит	е-2	255, 434, 467
Линнеит	Г-13	188, 434
Лиюджинюйнит	—	367
Лонэит	ж-2	273, 459
Лорандит	З-8	356, 434, 466
Люцонит	К-5	307, 434
Маггемит	*в′-7*	*392, 434, 468*
Магнетит	М-11, в′-1	393, 434, 468
Макинавит	Д-8	186, 436, 464, 466
Маккинстриит	л-7	281, 436, 466
Мальдонит	Б-2	95, 436
Манган-танталит	г′-7	402, 468
Манганшадлунит	м-6	185
Марказит	Б-14	198, 436, 464, 468
Маррит	—	299
Матильдит	Г-17	240, 436, 466
Маттагамит	в-12	136, 459
Маухерит	Г-3	146, 436, 468
Мгриит	м-14	386, 436, 468
Медь	А-16, б-8	87, 436, 464, 467
Мелонит	А-14	133, 436, 462, 464, 466
Менегинит	Д-13	265, 436, 467
Метастибнит	м-8	271, 436, 466
Метациннабарит	Л-5	350, 436, 464, 466
Мекиненит	—	380
Миаргирит	Ж-7	290, 436, 464
Миллерит	В-2	175, 436, 462, 464
Михараит	к-10	250, 436, 467
Моддерит	з-9	147, 436, 467
Моихукит	и-16	204, 436, 464
Молибденит 2*H*	Д-2	223, 436, 466
Молибденит 3*R*	д-1	223, 436, 466
Монтбрейит	*А-12*	*100, 438, 464, 468*
Морозевичит	е-16	348
Моусонит	К-3	335, 438, 462
Мохит	н-13	333, 438, 467
Мошелландсбергит	а-7	98, 438
Мурунскит	М-9	220, 438
Мусковит	ж′-7	407
Мутманнит	и-6	108, 438, 467
Мышьяк	Б-10	144, 438, 467
Мэдокит	*з-15*	*272, 438, 467*
Нагиагит	Е-9	112, 438, 466
Накасеит	—	295
Настуран	г′-9	438
Науманнит	Ж-10, и-14	368, 438, 464, 466
Наффилдит	е-10	258, 438
Невскит	в-3	374, 438, 466
Нейит	—	257
Некрасовит	—	346, 438

Никелин	В-13	148, 438, 464
Никель	б-6	92, 438, 467
Никельскуттерудит	Б-16	155, 438
Нисбит	А-13	140, 438
Новакит	б-17	158, 438
Новацкиит	—	312
Нордстрёмит	—	257
Нукундамит	Л-11	210, 438, 462
Овихиит	ж-12	297, 440, 467
Окартит	К-12	332, 440
Оливин	е′-2	406, 468
Олово	—	117
Онофрит	—	440, 464
Орегонит	г-12	146, 440, 468
Орселит	Г-7	145, 440
Оруэтит (см. жозеит А)	—	—
Оттеманит	—	228
Оурейит	—	245
Павонит	г-15	243, 440, 467
Паксит	г-4	158, 440
Парагуанахуатит	в-2	373, 440, 466
Парадокразит	А-4	143, 459, 467
Паракостибит	г-14	160, 459, 468
Парапьерротит	з-16	355, 440
Парараммельсбергит	Б-4	152, 440, 462, 464
Парареальгар	—	363
Парашахнерит	а-8	99, 459
Паркерит	В-17	440, 467
Патронит	З-10	348, 440
Пекоит	—	252
Пенжинит	к-11	365, 440
Пентландит	В-6, в-8	182, 440, 464
Пентландит медистый	е-13	185, 440
Перминжатит	Л-3	385, 440, 462
Петровицит	д-14	353, 440, 467
Петцит	Е-16	106, 440, 464, 466
Пикополит	л-15	222, 442, 466
Пильзенит	б-3	120, 442, 466
Пираргирит	И-1	286, 442, 464, 466
Пирит	В-3, в-5	192, 442, 464, 468
Пирит сурьмянистый	е-12	196, 442
Пиркитасит	о-16	333, 442, 462, 468
Пиростильпнит	н-15	289, 442
Пирротин гексаг.	и-5	178, 442, 464, 468
Пирротин монокл.	Е-14	180, 442, 464, 468
Пирсеит	к-12	285, 442, 465, 467
Плагионит	Е-6	264, 442
Плейферит	з-14	276, 459, 467
Полибазит	З-7	284, 442, 462, 467
Полидимит	Д-4, д-12	190, 442, 464
Полковичит	е-16	348, 460
Полхемусит	п-17	327, 460, 462
Поубаит	в-1	375, 442
Проудит	—	256
Прустит	К-6	288, 442, 465, 466
Путоранит	и-17	205, 442, 465
Ni-путоранит	з-17	205
Пьерротит	к-6	355, 444
Пяккёненит	Г-16	360, 442
Рагинит	З-9	222, 444
Раклиджит	б-12	123, 444

Рамдорит	з-8	295, 444, 467
Раммельсбергит	Б-5	151, 444, 465, 468
Расвумит	И-13	217, 444, 466
Ратит	и-4	278, 444
Реальгар	М-6	362, 444, 466
Ребулит		356
Рейит	з-12	298, 444
Ренъерит	К-11	339, 444, 462, 468
Риккардит	М-13	137, 444, 462
Робинсонит	ж-8	261, 444, 467
Родостаннин	З-17	333, 444
Рожковит	б-13	89, 444
Рокезит	М-3	343, 444, 468
Рохаит	к-7	221, 444
Рутил	М-1, б′-3	398, 444, 468
Рутьерит	м-2	357, 444
Сабатьерит	м-3	387, 446
Сакураит	п-12	343, 460, 465
Самсонит	л-14	289, 446
Сарабауит	о-14	460
Сарторит	Ж-3	279, 446, 465
Саффлорит	В-5	150, 446, 462
Свинец	Б-17	118, 446, 466
Седерхолмит		380
Сейняйокит	б-9	141, 446
Селен	Ж-15	364, 446, 466
Семсейит	ж-16	262, 446, 467
Сера	Н-14, д′-2	364, 446, 466
Серебро	А-1, а-1	86, 446, 465, 466
Сидерит	О-12, е′-8	404, 468
Сильванит	Б-8	104, 446, 465, 467
Симонит	—	358
Синнерит	м-5	310, 446, 468
Скиннерит	к-17	309, 446
Скуттерудит	Б-11	154, 446, 465
Смайтит	д-17	181, 446, 468
Смальтин (см. скуттерудит)	—	—
Смитит	и-15	291, 446
Смитсонит	е′-7	404, 468
Сорбиит	ж-17	273, 460
Соучекит	д-6	375, 446
Спионкопит	б′-7	303, 460
Станнин	И-17, м-10	329, 446, 448
Станноидит	К-15	334, 448, 462, 465
Стерриит	и-3	460, 467
Стефанит	З-15	286, 448, 466
Стибарсен	а-16	144, 448
Стибнит (см. антимонит)	—	—
Стибиопирсеит (см. пирсеит)	—	—
Стистаит	а-4	142, 448, 467
Сульванит	К-9	347, 448, 465, 467
α-сульфид мышьяка	—	363
Сульфоцумоит	б-15	129, 448, 466
Сурьма	А-3	142, 448, 465, 466
Сфалерит	М-14, п-16, г′-3	323, 448, 465, 467
Сфен (см. титанит)	—	—
Талкусит	К-2	219, 448, 462
Талнахит	Ж-2	201, 448, 465
Талфенисит	Л-1	215, 448
Танталит	—	402, 448
Твалчрелидзеит	Е-17	350, 448, 462

Твиннит	Е-7	274, 448
Теллур	А-7	125, 448, 465, 466
Теллурантимонит	б-1	126, 448
Теллурит	г′-6	450
Теллуровисмутит	А-11, б-4	121, 450, 465, 466
Теллурогаухекорнит	г-16	173, 460
Теннантит	К-8, м-13, а′-6	312, 450, 465
Тетрааурокуприт	—	88, 468
Тетраэдрит	З-11, л-1, а′-2	312, 450, 465, 468
Hg-тетраэдрит (см. швацит)	—	456
Тетрадимит	Б-6	127, 450, 466
Тиллит	Г-14	229, 450
Тиманнит	И-6	389, 450, 465, 466
Тинтинаит	ж-7	267, 460, 467
Тиррелит	д-2	382, 450, 468
Титанит	д′-6	405, 468
Точилинит	г′-2	212, 450, 466
Трёжерит	—	246
Тремолит	ж′-3	407
Трехманнит	п-15	291
Трогталит	Е-2	384, 450
Троилит	з-7	177, 450, 465, 467
Трюстедтит	В-14	382, 450
Тугариновит	М-7	408, 450, 462
Тунгстенит	Л-4	225, 450, 466
Турмалин (шерл)	О-13, ж-2	407
Тучекит	г-17	173, 450, 468
Тэнит	—	91
Ульманнит	Д-5	161, 450, 465
Умангит	М-17	377, 452, 462, 465, 466
Уранинит	Н-13, г′-9	452, 468
Урейит (см. оурейит)	—	—
Учукчакуаит	—	295
Фалькманит	д-1	260, 452
Фаматинит	н-15	306, 452, 465, 468
Ферберит	М-14, в′-9	403, 452
Ферроколумбит	М-15, в′-8	402, 432, 468
Феррит (см. железо)	—	—
Ферроселит	В-16	383, 452, 462, 465, 468
Физелиит	и-2	295, 452, 467
Фишессерит	И-5	365, 452, 465, 466
Флетчерит	е-11	192, 452, 468
Флюорит	О-17, ж′-9	407, 467
Форстерит	е′-2	406, 468
Франкеит	Ж-6	230, 452
Франклинит	г′-1	395, 452, 468
Фребольдит	—	380
Фрейбергит	л-9	317, 452, 468
Фрейеслебенит	Е-8	293, 452
Фридрихит	е-5	255, 461
Фробергит	В-15	134, 452, 462, 465, 468
Фукучилит	—	198
Фурутобеит	к-3	298, 461, 467
Фюлеппит	ж-5	264, 452, 467
Хаапалаит	—	213
Хакит	к-8	322, 452, 467, 468
Халькозин	З-5, а′-1	300, 452, 465, 466
Халькопирит	Г-6, г-6	200, 452, 465
Халькопирротин	—	208
Халькостибит	Д-16	309, 454
Халькоталлит	И-3	220, 454, 466

Хаммарит	д-8	255, 454
Хастит	В-10	383, 454
Хедлейит	а-14	120, 454
Хейкокит	—	206
Хейровскиит	е-8	232, 461, 467
Хемусит	Л-9	337, 454
Хенриит	к-13	111, 454, 467
Хизлевудит	Б-12	173, 454, 462
Хлоантит (см. никельскуттерудит)	—	—
Хлораргирит	д′-5	466
Ходрушит	Д-17	249, 454
Хокартит (см. окартит)	—	—
Хоробетсуит	—	239
Хоулиит	—	328
Христит	м-17	357, 461
Хромит	г′-4	397, 454
Церуссит	д′-8	404, 467
Цилиндрит	и-9	229, 454, 466
Цинкенит	Д-15	262, 454
Цинкит	д′-7	401, 454, 465, 467
Циркон	е′-1	405, 468
Цумоит	б-2	121, 454
Чаткалит	м-9	336, 454, 468
Черниит	н-12	331, 461
Шабурнеит	к-1	359, 454, 467
Шадлунит	К-16	185, 454
Шамеанит	м-15	386, 454, 468
Шахнерит	а-9	98, 461
Швацит	л-3	315, 456, 468
Шеелит	Н-16, е′-3	403, 456, 468
Шерл	О-13, ж′-2	407, 468
Ширмерит	Г-15	245, 456, 466
Шпинель	—	396, 456
Штернбергит	Ж-14	283, 456, 466
Штиллеит	в′-3	388, 456
Штромейерит	И-9	280, 456, 466
Штютцит	з-4	110, 456, 462, 466
Шульцит	—	272
Эвкайрит	Ж-5	369, 456, 462, 466
Электрум	а-3	81, 456, 466
Эллисит	л-17	356, 461
Эмплектит	Е-4	248, 456
Эмпрессит	Г-12	111, 456, 465
Энаргит	К-4	308, 456, 465
Эрдит	—	217, 456
Эскеборнит	Ж-13	379, 456, 467
Эскимоит	д-16	245, 461, 467
Ютенбогардтит	З-1	367, 461
Юшкинит		214
Ялпаит	к-15	282, 456, 466
Ярроуит	б′-8	303, 461
Acanthite	З-6	282, 416, 463, 466
Achavalite	—	380
Aguilarite	к-2	369, 416, 466
Aikinite	Г-11	256, 416
Aktaschite	И-7	352, 416
Alabandite	Л-13, б′-2	327, 416, 463, 467
Alexite	в-14	132, 416, 466
Algodonite	б-5	156, 416

Allargentum	а-10	96, 416, 467
Alloclasite	г-1	164, 416, 462
Altaite	А-6, а-11	123, 416, 463
Anatase	в′-6	468
Andorite	Е-5	295, 416, 467
Andradite	д′-9	406, 416, 468
Anglesite	е′-9	405
Anilite	—	302
Animikite	а-5	96, 416
Annivite	л-16	319, 416
Antimonite (see stibnite)	—	—
Antimony	А-3	142, 448, 465, 466
Aramayoite	ж-14	242, 416
Arcubisite	к-9	240, 416, 462
Ardaite	к-4	275, 416
Argentite (see acanthite)	—	—
Argentopentlandite	И-12	184, 416, 467
Argentopyrite	и-12	284, 416
Argentotetrahedrite	л-9	317
Argyrodite	Л-7	342, 416, 467
Arsenic	Б-10	144, 438, 467
Arsenohauchecornite	д-4	172, 458
Arsenopyrite	В-8, в-9	161, 418, 462, 468
Arsenpolybasite (see polybasite)	—	—
Arsenosulvanite	л-11	346, 418
Aschamalmite	д-15	233, 458
Athabascaite	н-17	378, 418, 466
Auricuprite	а-15	89, 418
Au_3Cu	в-4	90, 428
Aurostibite	А-15, в-7	95, 418, 463
Awaruite	а-17	92, 416
Balkanite	З-3	293, 418, 466
Bambollaite	—	139
Barite	О-14, ж′-4	405, 467
Bartonite	п-14	216, 418, 462, 467
Baumhauerite	з-13	279, 418, 467
Bellidoite	м-7	376, 466
Benavidesite	ж-15	268, 418, 466
Benjaminite	г-9	242, 418
Berndtite	—	228
Berryite	д-9	258, 458, 467
Berthierite	Е-1, ж-9	269, 418, 463, 467
Berzelianite	И-14	376, 418, 463, 466
Bessmertnovite	Е-11	113, 418
Betechtinite	К-1	305, 418, 462
Bilibinskite	Л-12	116, 418, 462
Billingsleyite	Л-2	286, 418, 467
Bismuth	А-9	118, 422, 463, 466
Bismuthinite	Г-1, г-2	238, 422, 463, 466
Bismuthohauchecornite	д-3	172, 422
Blockite	и-1	384, 420, 463
Bohdanowiczite	В-4	371, 420, 466
Bogdanovite	И-11	113, 420, 462
Bornhardtite	г-7	381, 420
Bornite	М-5, б′-6	208, 420, 463, 466
Boulangerite	Д-14, ж-3	259, 420, 467
Bournonite	Ж-11	266, 420
Breithauptite	Г-5	139, 420, 463
Briartite	И-16	339, 420
Bukovite	З-16	218, 420, 462
Bursaite	е-17	234, 420

Cadmoselite	б′-1	388, 430, 468
Calaverite	А-10	102, 430, 463, 467
Calcite	О-15, ж′-6	405, 467
Canfieldite	Л-6	341, 430, 467
Cannizzarite	в-16	236, 430, 466
Carlinite	з-10	354, 459, 466
Carrollite	ж-11	189, 430, 463, 468
Cassiterite	Н-15, д′-4	401, 430, 468
Castaingite	—	226
Cattierite	З-4	197, 430
Cernyite	и-12	331, 461
Cerussite	д′-8	404, 467
Chabourneite	к-1	359, 454, 467
Chalcocite	З-5, а′-1	300, 452, 465, 466
Chalcopyrite	Г-6, г-6	200, 452, 465
Chalcopyrrhotite	—	208
Chalcostibite	Д-16	309, 454
Chalcothallite	И-3	220, 454, 466
Chameanite	м-15	386, 454, 468
Chatkalite	м-9	336, 454, 468
Chloanthite (see nickelskutterudite)	—	—
Chlorargyrite	д′-5	466
Christite	м-17	357, 461
Chromite	г′-4	397, 454
Cinnabar	И-10	348, 430, 463, 466
Clausthalite	В-11, в-15	372, 430, 464, 466
Cleiophane (see sphalerite)	—	—
Clinosafflorite	в-7	151, 430, 462
Cobaltite	Г-2, г-3	165, 430, 464, 468
Cobaltpentlandite	в-6	184, 459, 468
Coffinite	е′-5	432, 468
Cohenite	б-14	92, 430
Coloradoite	Ж-4	136, 432, 464, 466
Columbite	М-15, в′-8	402, 432, 468
Colusite	К-10, м-12	345, 432
Copper	А-16, б-8	87, 436, 464, 467
Cosalite	Д-6	235, 432, 466
Costibite	д-13	160, 459
Coulsonite	д′-3	395, 432
Covelline	Л-16, а′-9	304, 430, 462, 464, 466
Crooksite	З-2	386, 432, 467
Cubanite	Е-13	206, 432, 464
Cuprite	К-13, а′-7	400, 432, 464, 467
Cuproaurite	а-13	88, 432, 468
Cuprobismutite	з-5	249, 434, 467
Cupropavonite	—	244
Cuprostibite	Д-7	141, 434, 462, 464
Cylindrite	и-9	229, 454, 466
Dadsonite	ж-1	275, 426
Delaffossite	б′-4	401, 426, 468
Dervillite	п-13	290, 426, 467
Diamond	Н-12, г′-5	94, 416
Diaphorite	Е-12	294, 426, 467
Digenite	Л-15, а́-8	302, 426, 466
Dimorphite	—	362
Diopside (pyroxene)	ж′-1	406
Djerfisherite	Л-14	214, 426, 463, 467
Djurleite	И-8, а́′-5	301, 426, 466
Dolomite	ж′-5	404
Domeykite-α	в-13	157, 426, 468
Domeykite-β	в-11	157, 426, 467

Drysdallite	и-13	226, 426, 466
Dufrenoysite	Ж-1	277, 428, 463, 467
Duranusite	л-5	361, 426, 466
Dyscrasite	А-8	97, 426, 463, 467
Dzhezkazganite	И-15	226, 426, 468
Electrum	а-3	81, 456, 466
Ellisite	л-17	356, 461
Emplectite	Е-4	248, 456
Empressite	Г-12	111, 456, 465
Enargite	К-4	308, 456, 465
Erdite	—	217, 456
Eskebornite	Ж-13	379, 456, 467
Eskimoite	д-16	245, 461, 467
Eucairite	Ж-5	369, 456, 462, 466
Falkmanite	з-1	260, 452
Famatinite	н-16	306, 452, 465, 468
Ferberite	М-14, в′-9	403, 452
Ferricolumbite	М-15, в′-8	402, 432, 468
Ferrite (see iron)	—	—
Ferroselite	В-16	383, 452, 462, 465, 468
Fischesserite	И-5	365, 452, 465, 466
Fizelyite	и-2	295, 452, 467
Fletcherite	е-11	192, 452, 468
Fluorite	О-17, ж′-9	407, 467
Franckeite	Ж-6	230, 452
Franklinite	г′-1	395, 452, 468
Freboldite	—	380
Freibergite	л-9	317, 452, 468
Freieslebenite	Е-8	293, 452
Friedrichite	е-5	255, 461
Frohbergite	В-15	134, 452, 462, 465, 468
Fucuchilite	—	198
Fuloppite	ж-5	264, 452, 467
Furutobeite	к-3	298, 461, 467
Galena	Д-10, е-14	231, 422, 463, 466
Galenobismutite	Г-9	238, 422, 467
Galkhaite	Л-10	351, 422, 467
Gallite	Л-8	340, 422, 468
Garavellite	з-2	251, 458, 468
Geerite	—	303
Geffroyite	л-10	371, 428, 466
Geocronite	Д-11	272, 422, 467
Germanite	М-2	338, 422, 468
Gersdorffite	Д-3	168, 422, 463, 468
Getchellite	И-2	360, 424, 466
Giessenite	е-1	234, 424, 466
Giraudite	л-2	322, 428
Gladite	Г-4	253, 424, 466
Glaucodote	в-10	163, 424, 462, 463, 468
Goldlevskite	В-12	175, 424, 462, 463, 468
Goethite	г′-8	399, 424, 468
Gold	А-2, а-6	81, 428, 463, 466
Gold amalgam	—	98
Goldfieldite	л-8	320, 424, 463, 468
Goongarrite (see heyrovskyite)	—	—
Gortdrumite	м-11	354, 458, 467
Graphite	М-8, б′-9	93, 424, 466
Gratonite	Ж-8	277, 424, 462, 467
Greenockite	М-10, в′-5	328, 426, 463, 466
Greigite	Ж-17	188, 424, 468
Gruzdevite	к-14	352, 426, 468

Grunlingite (see Joseite A)	—	—
Guanajuatite	г-5	373, 426
Gudmundite	Б-13	159, 426, 462, 468
Guettardite	з-6	424, 467
Gustavite	е-3	246, 458, 467
Haapalaite	—	213
Hakite	к-8	322, 452, 467, 468
Hammarite	д-8	255, 454
Hastite	В-10	383, 454
Hatchite	и-7	358
Hauchecornite	Г-8	171, 422, 468
Hawleyite	—	328
Haycockite	—	206
Heazlewoodite	Б-12	173, 454, 462
Hedleyite	а-14	120, 454
Hematite	И-4, а′-4	391, 422, 468
Hemusite	Л-9	337, 454
Henryite	к-13	111, 454, 467
Hercynite	е′-6	396, 424, 468
Herzenbergite	е-4	227, 424, 466
Hessite	Е-10	109, 424, 462, 466
Heteromorphite	ж-4	263, 424, 467
Heyrovskyite	е-8	232, 461, 467
Hodrushite	Д-17	249, 454
Hokartite	К-12	332, 440
Horobetsuite	—	239
Hübnerite	в′-9	403, 426
Hutchinsonite	м-1	359, 426, 467
Hypercinnabar	о-12	350, 466
Idaite	м-4	210, 428, 462, 468
Ikunolite	г-8	240, 428, 466
Ilmenite	М-12, в′-2	390, 428, 468
Ilvaite	Н-17, е′-4	406, 428, 468
Imgreite	—	134, 467
Imhofite	—	358
Incaite	к-16	428
Indite	К-17	345, 428, 468
Ingodite	б-16	129, 428, 466
Iron	Б-3	90, 428, 467
Isostannite	—	330
Jaipurite	з-3	181, 426
Jaipaite	к-15	282, 456, 466
Jamesonite	Д-12	267, 426, 466
Jarrowite	б′-8	303, 461
Jordanite	з-11	276, 430, 467
Joseite A	Б-15	131, 428, 466
Joseite B	А-17	130, 428, 466
Junoite	г-10	257, 459
Jushkinite	—	214
Kamacite	—	91
Kawatsulite	б-11	132
Kerargyrite (see chlorargyrite)	—	—
Kermesite	а′-3	430, 466
Késterite	о-13	330, 430, 468
Kiddcreekite	—	337
Kitkaite	Б-9	134, 430, 466
Klokmannite	Ж-9	378, 430, 466
Kobellite	е-9	236, 430, 466
Kolymite	А-5	99, 432
Kostovite	Б-1	105, 432, 466

Koutekite	ж-13	157, 432, 462, 467
Krennerite	Б-7	103, 432
Krupkaite	г-11	254, 432
Krutaite	Ж-16	383, 432
Krutovite	б-10	153, 432, 468
Kullerudite	—	385
Kuramite	н-14	332, 434, 464
Küstelite	а-2	81, 434, 466
Kutinaite	ж-10	158, 434, 468
Laffitite	З-13	291, 434
Laitakariite	В-9	374, 434
Langisite	д-5	147, 459, 468
Larosite	л-4	306, 459, 466
Launayite	ж-2	273, 459
Lautite	л-13	311, 434, 467
Lazarevicite	л-12	309, 434, 468
Lead	Б-17	118, 446, 466
Lengenbachite	и-10	299, 466
Lillianite	е-7	234, 434, 467
Lindströmite	е-2	255, 434, 467
Linnaeite	Г-13	188, 434
Liveingite (see rathite)	—	—
Livingstonite	Е-15	351, 434, 464, 467
Liujinyinite	—	367
Löllingite	в-1	149, 434, 462, 468
Lorandite	З-8	356, 434, 466
Luzonite	К-5	307, 434
Mackinawite	Д-8	186, 436, 464, 466
Mackinstryite	л-7	281, 436, 466
Madocite	з-15	272, 438, 467
Maghemite	в′-7	392, 434, 468
Magnetite	М-11, в′-1	393, 434, 468
Mäkinenite	—	380
Maldonite	Б-2	95, 436
Manganshadlunite	м-6	186
Marcasite	Б-14	198, 436, 464, 468
Marrite	—	299
Matildite	Г-17	240, 436, 466
Mattagamite	в-12	136, 459
Maucherite	Г-3	146, 436, 468
Mawsonite	К-3	335, 438, 462
Melonite	А-14	133, 436, 462, 464, 466
Meneghinite	Д-13	265, 436, 467
Metacinnabarite	Л-5	350, 436, 464, 466
Metastibnite	м-8	271, 436, 466
Mgriite	м-14	386, 436, 468
Miargyrite	ж-7	290, 436, 464
Miharaite	к-10	250, 436, 467
Millerite	В-2	175, 436, 462, 464
Modderite	з-9	147, 436, 467
Mohite	н-13	333, 438, 467
Mooihoekite	и-16	204, 436, 464
Molybdenite 2*H*	Д-2	223, 436, 466
Molybdenite 3*R*	д-1	223, 436, 466
Montbrayite	А-12	100, 438, 464, 468
Morozevicite	е-16	348
Moschellandsbergite	а-7	98, 438
Murunskite	М-9	220, 438
Muscovite	ж′-7	407
Muthmannite	и-6	108, 438, 467
Nagyagite	Е-9	112, 438, 466

Nakaseite	—	295
Nasturan	г′-9	438
Naumannite	Ж-10, и-14	368, 438, 464, 466
Nayite	—	257
Nekrasovite	—	346, 438
Nevskite	в-3	374, 438, 466
Niccolite	В-13	148, 438, 464
Nickel	б-6	92, 438, 467
Nickelskutterudite	Б-16	155, 438
Nisbite	А-13	140, 438
Nordströmite	—	257
Novakite	б-17	158, 438
Nowackiite	—	312
Nuffieldite	е-10	258, 438
Nukundamite	Л-11	210, 438, 462
Olivine	е′-2	406, 468
Onofrite	—	440, 464
Orcelite	Г-7	145, 440
Oregonite	г-12	146, 440, 468
Orpiment	К-7	363, 418, 466
Oruetite (see joseite A)	—	—
Ottemannite	—	228
Ourayite	—	245
Owyheete	ж-12	297, 440, 467
Pääkkönnenite	Г-16	360, 442
Paracostibite	г-14	160, 459, 468
Paradocrasite	А-4	143, 459, 467
Paraguanajuatite	в-2	373, 440, 466
Parapierrotite	з-16	355, 440
Pararammelsbergite	Б-4	152, 440, 462, 464
Pararealgar	—	363
Paraschachnerite	а-8	99, 459
Parkerite	В-17	440, 467
Patronite	З-10	348, 440
Pavonite	г-15	243, 440, 467
Paxite	г-4	158, 440
Pearceite	к-12	285, 442, 465, 467
Pecoite	—	252
Penjinite	к-11	365, 440
Pentlandite	В-6, в-8	182, 440, 464
Pentlandite-Cu	е-13	185, 440
Permingeatite	Л-3	385, 440, 462
Petrovicite	д-14	353, 440, 467
Petzite	Е-16	106, 440, 464, 466
Picotpaulite	л-15	222, 442, 466
Pierrotite	к-6	355, 444
Pilsenite	б-3	120, 442, 466
Pirquitasite	о-16	333, 442, 462, 468
Plagionite	Е-6	264, 442
Playfairite	з-14	276, 459, 467
Polhemusite	п-17	327, 460, 462
Polkovicite	е-16	348, 460
Polybasite	З-7	284, 442, 462, 467
Polydymite	Д-4, д-12	190, 442, 464
Poubaite	в-1	375, 442
Proudite	—	256
Proustite	К-6	288, 442, 465, 466
Pyrargyrite	И-1	286, 442, 464, 466
Pyrite	В-3, в-5	192, 442, 464, 468
Pyrite-Sb	е-12	196, 442
Pyrostilpnite	н-15	289, 442

Pyrrhotine monocl.	Е-14	180, 442, 464, 468
Pyrrhotine Hexag.	и-5	178, 442, 464, 468
Putoranite	и-17	205, 442, 465
Quadalcazarite	о-15	422, 463, 466
Quartz	О-16, ж′-8	407, 468
Raguinite	З-9	222, 444
Ramdohrite	з-8	295, 444, 467
Rammelsbergite	Б-5	151, 444, 465, 468
Rasvumite	И-13	217, 444, 466
Rathite	и-4	278, 444
Rayite	з-12	298, 444
Realgar	М-6	362, 444, 466
Rebulite	—	356
Renierite	К-11	339, 444, 462, 468
Rickardite	М-13	137, 444, 462
Rhodostannite	З-17	333, 444
Robinsonite	ж-8	261, 444, 467
Rohaite	к-7	221, 444
Roguésite	М-3	343, 444, 468
Routhierite	м-2	357, 444
Rozhkovite	б-13	89, 444
Rucklidgeite	б-12	123, 444
Rutile	М-1, б′-3	398, 444, 468
Sabatierite	м-3	387, 446
Safflorite	В-5	150, 446, 462
Sakuraiite	п-12	343, 460, 465
Samsonite	л-14	289, 446
Sarabauite	о-14	460
Sartorite	Ж-3	279, 446, 465
Schachnerite	а-9	98, 461
Scheelite	Н-16, е′-3	403, 456, 468
Schirmerite	Г-15	245, 456, 466
Schörl	О-13, ж′-2	407, 468
Schultzite	—	272
Schwazite	л-3	315, 456, 468
Sederholmite	—	380
Seinäjokite	б-9	141, 446
Selenium	Ж-15	364, 446, 466
Seligmannite	к-5	280, 428, 467
Semseyite	ж-16	262, 446, 467
Shadlunite	К-16	185, 454
Siderite	О-12, е′-8	404, 468
Siegenite	д-11	191, 428, 463, 468
Silver	А-1, а-1	86, 446, 465, 466
Simonite	—	358
Sinnerite	м-5	310, 446, 468
Skinnerite	к-17	309, 446
Skutterudite	Б-11	154, 446, 465
Smaltite (see skutterudite)	—	—
Smithite	и-15	291, 446
Smithsonite	е′-7	404, 468
Smythite	д-17	181, 446, 468
Sorbyite	ж-17	273, 460
Soucekite	д-6	375, 446
Sphalerite	М-16, п-16, г′-3	323, 448, 465, 467
Sphene (see titanite)	—	—
Spinel	—	396, 456
Spionkopite	б′-7	303, 460
Stannite	И-17, м-10	329, 446, 448
Stannoidite	К-15	334, 448, 462, 465

Stephanite	З-15	286, 448, 466
Sternbergite	Ж -14	283, 456, 466
Sterryite	и-3	460, 467
Stibarsen	а-16	144, 448
Stibiopearceite (see pearceite)	—	—
Stibnite	Д-1, д-10	270, 416, 466
Stilleite	в′-3	388, 456
Stistaite	а-4	142, 448, 467
Stromeyerite	И-9	280, 456, 466
Stüetzite	з-4	110, 456, 462, 466
Sulphotsumoite	б-15	129, 448, 466
Sulphur	Н-14, д′-2	364, 446, 466
Sulvanite	К-9	347, 448, 465, 467
Sylvanite	Б-8	104, 446, 465, 467
Taenite	—	91
Talnakhite	Ж-2	201, 448, 465
Tantalite	—	402, 448
Teallite	Г-14	229, 450
Tellurantimony	б-1	126, 448
Tellurite	г′-6	450
Tellurium	А-7	125, 448, 465, 466
Tellurobismuthite	А-11, б-4	121, 450, 465, 466
Tellurohauchecornite	г-16	173, 460
Tennantite	К-8, м-13, а′-6	312, 450, 465
Tetraaurocuprite	—	88, 468
Tetradymite	Б-6	127, 450, 466
Tetrahedrite	З-11, л-1, а′-2	312, 450, 465, 468
Thalcusite	К-2	219, 448, 462
Thalfenisite	Л-1	215, 448
Tiemannite	И-6	389, 450, 465, 466
Tin	—	117
Tintinaite	ж-7	267, 460, 467
Titanite	д′-6	405, 468
Tochilinite	г′-2	212, 450, 466
Treasurite	—	246
Trechmannite	п-15	291
Tremolite	ж′-3	407
Trogtalite	Е-2	384, 450
Troilite	з-7	177, 450, 465, 467
Trüstedtite	В-14	382, 450
Tsumoite	б-2	121, 454
Tučekite	г-17	173, 450, 468
Tugarinovite	М-7	408, 450, 462
Tungstenite	Л-4	225, 450, 466
Turmaline (see schörl)	—	—
Tvalchrelidzeite	Е-17	350, 448, 462
Twinnite	Е-7	274, 448
Tyrrelite	д-2	382, 450, 468
Ullmannite	Д-5	161, 450, 465
Umangite	М-17	377, 452, 462, 465, 466
Uraninite	Н-13, г′-9	452, 468
Uytenbogaardtite	З-1	367, 461
Vaesite	З-14	197, 420, 468
Valentinite	д′-1	—
Valleriite	М-4, б′-5	211, 420, 462, 463, 466
Veenite	ж-6	273, 458, 467
Velikite	К-14	331, 420
Vikingite	е-15	246, 458, 467
Villamaninite	Л-17	198, 420
Violarite	Д-9	191, 420, 463, 468
Volynskite	В-7	124, 422, 466

Vozhminite	в-17	169, 422, 468
Vrbaite	л-6	257, 422
Vulcanite	Е-3	138, 422, 462
Wairauite		92
Wakabayashilite	о-17	361, 420, 466
Wallisite	и-8	358, 467
Warthaite (see heyrovskyite)	—	—
Wehrlite (see pilsenite)	—	—
Weibullite	е-6	376, 420, 466
Weissbergite	и-11	355, 458, 466
Weissite	З-12	136, 420
Westerveldite	Г-10	147, 420, 468
Whitneyite	а-12	156, 422, 466
Wilkmanite	—	382
Willyamite	г-13	160, 458
Wittichenite	Ж-12	247, 422, 463, 467
Wittite	д-7	237, 422
Wolframite	М-14, в′-9	403, 452
Wurtzite	в′-4	325, 422, 467
Xanthoconite	м-16	289, 432
Zinkenite	Д-15	262, 454
Zinkite	д′-7	401, 454, 465, 467
Zircon	е′-1	405, 468

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Введение 7

Сокращения и принятые обозначения 9

Часть первая

Определение минералов в полированных шлифах 11

Краткие сведения о методиках исследования 11
О рентгеноспектральном микроанализе с помощью электронного микрозонда 11
О рентгеновском анализе 14
Количественные методы изучения оптических свойств 16
Исследование отражения 16
Систематизация спектров отражения и взаимозависимость оптических свойств рудных минералов 20
Краткий обзор литературных данных по отражению минералов 24
Количественное выражение цвета рудных минералов 25
Категории визуального восприятия оптических свойств рудных минералов в отраженном свете 29
Количественный метод измерения твердости по микровдавливанию (микротвердости) 39
Методика определения микротвердости минералов 40
Об анизотропии твердости 43
Обработка результатов и стандартизация условий измерения 43
Микротвердометрия как метод анализа природных минеральных систем 45
Новая модификация метода микровдавливания 46
Определение рудных минералов по таблицам, приведенным в приложениях 50
Краткий обзор систем диагностики рудных минералов в полированных шлифах 50
Принципы систематизации минералов 51
Цветная таблица-определитель 51
Автоматизированная система диагностики рудных минералов 54
Основные принципы разработанной системы 57
Комплекс аппаратуры для автоматизированной диагностики минералов . 58
Критерии сравнения спектров и источники погрешностей 62
Организация банка данных 65
Анализ эффективности диагностических параметров 70
Алгоритмы диагностики 73
Автоматизированная диагностика минералов 76

Часть вторая

Систематическое описание минералов 79

Пояснения к описанию 79
Минералы Au—Ag (Hg) 81
Минералы Au—Cu 86
Минералы Fe, Co, Ni—C 90
Минералы Au—Bi, Sb 95
Минералы Ag—Sb 96
Амальгамы Au, Ag, Cu, Pb 98
Теллуриды Au, Ag (Cu) 99

Плюмботеллуриды, стибиотеллуриды Au, Ag, Cu, Fe 112
Самородные Sn, Pb, Bi 117
Теллуриды Bi (минералы системы Bi—Te) 119
Теллуриды Pb, Bi, Ag (минералы систем Pb, Bi—Te; Ag—Bi—Te) 123
Минералы Te—Sb 125
Сульфотеллуриды Bi (Pb) (минералы системы Bi, Pb—Te—S, Se) 127
Теллуриды Ni, Fe, Co (минералы системы Ni, Fe, Co—Te, Se) 133
Теллуриды Hg, Cu 136
Антимониды Ni, Fe, Cu 139
Минералы Sb—Sn 142
Минералы Sb—As 142
Арсениды Fe, Co, Ni 145
Арсениды Cu (Ag) 155
Сульфоантимониды Fe, Co, Ni 159
Сульфоарсениды Fe, Co, Ni 161
Минералы группы гаухекорнита (соединения Ni—Bi, Sb, As, Te, Pb—S) . . 170
Сульфиды Ni 173
Минералы группы пирротина 176
Минералы группы пентландита 181
Тиошпинели (минералы группы линнеита) 187
Минералы группы пирита 192
Минералы группы халькопирита (минералы системы Cu—Fe—S) 200
Минералы группы валлериита 211
Сульфиды Fe, Ni, Cu—K, Na, Tl 214
Сульфиды Tl—Cu, Fe — (Sb) (минералы систем Tl—Cu, Fe — (Sb) — S, Se) 218
Минералы Mo (Re) — W — (Fe, Cu) — S (Se) 223
Сульфиды и сульфосоли Sn — Pb — Sb 227
Сульфиды и сульфосоли Pb—Bi (минералы системы Pb (Cu, Fe, Ag)—Bi (Sb, As) — S (Se)) 231
Сульфосоли Ag—Bi (минералы системы Ag (Cu) — Bi (Sb, Pb) — S) 240
Сульфосоли Ag—Pb—Bi (минералы системы Ag (Cu) — Pb—Bi (Sb) — S) 244
Сульфосоли Cu—Bi (минералы системы Cu (Fe) — Bi (Pb, Sb) — S) . . . 247
Минералы группы айкинита (минералы системы Cu—Pb—Bi—S, Se) 252
Сурьмяные сульфосоли Pb 258
Сульфосоли Pb—Sb с Cu 265
Сульфосоли Pb—Sb с Fe, Mn 267
Минералы Sb—S 270
Мышьяково-сурьмяные сульфосоли Pb (Cu) 272
Хлорсодержащие сурьмяные и мышьяково-сурьмяные сульфосоли Pb . . . 275
Мышьяковые сульфосоли Pb (Cu) 276
Сульфиды Ag, Cu (Fe) 280
Сульфиды Ag—Fe 283
Сурьмяные и мышьяковые сульфосоли Ag (Cu) 284
Сульфосоли Ag—Pb—Sb 293
Сульфиды Cu (минералы системы Cu—S) 299
Сурьмяные и мышьяковые сульфосоли Cu (Zn) 306
Минералы группы блеклых руд Fahlerz 312
Сульфиды Zn, Mn, Cd 323
Минералы группы станнина 329
Сульфиды Ge—Ga—Sn—Mo, W (As, Sb, Fe) 337
Сульфиды Ag—Sn, Ge (Te) 341
Сульфиды In—Cu, Fe 343
Сульфиды V—Cu (Fe, Zn) — As, Sn, Sb, Ge, Ga 345
Сульфиды и сульфосоли Hg 348
Сульфиды и сульфосоли Tl—Sb, As 354
Сульфосоли Tl—Hg—Sb, As 357
Сульфосоли Tl—Cu, Ag, Pb—Sb, As 358
Сульфиды As, Sb 360
Самородные S, Se 364
Селениды, сульфоселениды, сульфиды Au—Ag (Cu) 365
Селениды Pb 372

Селениды и сульфоселениды Bi (Pb) 373
Селениды Cu,Fe, Co, Ni 376
Селениды Cu—Sb, As 385
Селениды Tl—Cu 386
Селениды Zn, Cd, Hg 388
Оксиды Fe, Ti, Cr, Al, Mg, Zn, V 389
Оксиды Cu, Zn (Fe) 400
Оксиды Sn, Nb, W, Mo 401
Наиболее распространенные жильные, некоторые гипергенные и породообразующие минералы 404

Приложение 1. Цветная таблица-определитель. Главные диагностические свойства рудных минералов в отраженном свете (на трех листах)
Приложение 2. Систематизация минералов в порядке снижения отражения их в белом свете (R_{max} при λ 550 нм) 410
Приложение 3. Отражение (в %) и двуотражение (в долях ед.) рудных минералов в интервале спектра λ 400—700 нм 416
Приложение 4. Отражение и двуотражение рудных минералов для отдельных участков видимого спектра 458
Приложение 5. Минералы, изменяющие оптический знак в интервале видимой области 462
Приложение 6. Отражение рудных минералов в интервале спектра λ 260—400 нм 463
Приложение 7. Микротвердость минералов в порядке возрастания VHN 467
Приложение 8. Значения микротвердости (VHN) при испытании алмазной квадратной пирамидой с двугранным углом при вершине 136° для различных масс грузов 470
Приложение 9. Ряды изотропных и слабоанизотропных минералов, близких по форме спектра и абсолютной величине отражения 474
Приложение 10. Ряды анизотропных минералов, близких по форме спектра и абсолютной величине отражения 477

Список литературы 482

Указатель минералов 484

СПРАВОЧНИК СПЕЦИАЛИСТА

Татьяна Никифоровна Чвилёва, Марианна Сергеевна Безсмертная, Эрнст Максович Спиридонов и др.

СПРАВОЧНИК-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Редактор издательства *С. Г. Бароянц*
Технический редактор *О. А. Колотвина*
Корректор *Н. А. Громова*

ИБ № 5077

Сдано в набор 06.02.87. Подписано в печать 18.01.88. Т-05737. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага кн.-журн. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл.-печ. л. 32,8 с 3 вкл. Усл. кр.-отт. 53,6 с 3 вкл. Уч.-изд. л. 39,77 с 3 вкл. Тираж 4000 экз. Заказ 361/9302—4. Цена 2 р. 60 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3
Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

4951

НЕДРА

ГЛАВНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИКИ МИНЕРАЛОВ ПО УБЫВАЮЩИМ ЗНАЧЕНИЯМ R при λ =550 нм

СОСТАВЛЕНА Т.Н.ЧВИЛЁВОЙ И М.С.БЕЗСМЕРТНОЙ



У К А З А Т Е Л Ь М И Н Е Р А Л О В

Au_3Cu	в-4	Вейссбергит	и-11	Золото	а-6	Манганшадлунит	м-6	Пирсеит	к-12	Теллуровисмутит	б-4
Авруит	а-17	Викингит	е-15	Идаит	м-4	Маттагамит	в-12	Плэйфэрит	з-14	Теллурогаухекорнит	г-16
Агвиларит	к-2	Виллиамит	г-13	Икунолит	г-8	Мгриит	м-14	Полидимит	д-12	Теннантит	м-13
Алларгентум	а-10	Висмутин	г-2	Ингодит	б-16	Медь	б-8	Полковичит	е-16	Тетраэдрит	л-1
Алексит	в-14	Висмутогаухекорнит	д-3	Инкаит	к-16	Метастибнит	м-8	Полхемусит	п-17	Ag–тетраэдрит	л-9
Аллоклазит	г-1	Витнеит	а-12	Иорданит	з-11	Михараит	к-10	Поубаит	в-1	Тинтинаит	ж-7
Алтаит	а-11	Виттит	д-7	Навацулит	б-11	Моддерит	з-9	Путоранит	и-17	Туррелит	д-2
Альгодонит	б-5	Вожминит	в-17	Канниццарит	в-16	Моухунит	и-16	Путоранит–Ni	з-17	Трёхманнит	п-15
Аникит	а-5	Врбаит	л-6	Карлинит	з-10	Молибденит-3R	д-1	Пьерротит	к-6	Троилит	з-7
Аннивит	л-16	Галенит	е-14	Карролит	ж-11	Мохит	н-13	Раклиджит	б-12	Тучекит	г-17
Антимонит	д-10	Гаравеллит	з-2	Кёстерит	о-13	Мошелландсбергит	а-7	Рамборит	з-8	Фалькманит	з-1
Арамайоит	ж-14	Гатчит	и-7	Клаусталит	в-15	Мутманнит	и-6	Ратит	и-4	Фаматинит	н-16
Аргентопирит	и-12	Гвадалкацарит	о-15	Клиносаффлорит	в-7	Мэдокит	з-15	Рейит	з-12	Физелиит	и-2
Ардаит	к-4	Герценбергит	е-4	Кобальтин	г-3	Науманнит	и-14	Робинсонит	ж-8	Флетчерит	е-11
Аркубисит	к-9	Гетероморфит	ж-4	Кобальтпентландит	в-6	Наффилдит	е-10	Рожковит	б-13	Фрейбергит	л-9
Арсеногаухекорнит	д-4	Геттардит	з-6	Кобеллит	е-9	Невскит	в-3	Рохаит	к-7	Фридрихит	е-5
Арсенопирит	в-9	Гиперциннабарит	о-12	Когенит	б-14	Никель	б-6	Рутьерит	м-2	Фурутобеит	к-3
Арсеносульванит	л-11	Гиссенит	е-1	Колусит	м-12	Новакит	б-17	Сабатьерит	м-3	Фюлёппит	ж-5
Атабаскаит	н-17	Глаукодот	а-10	Костибит	д-13	Овихиит	ж-12	Сакураит	п-12	Хакит	к-8
Аурикуприт	а-15	Голдфилдит	л-8	Коутекит	ж-13	Оregонит	г-12	Самсонит	л-14	Халькопирит	г-6
Ауростибит	б-7	Гортдраит	м-11	Крупкаит	г-11	Павонит	г-15	Сарабауит	о-14	Хаммарит	д-8
Ашамальмит	д-15	Груздевит	к-14	Крутовит	б-10	Паксит	г-4	Сейняйокит	б-9	Хедлиит	а-14
Бартонит	п-14	Гуанахуатит	г-5	Ксантоконит	м-16	Парагуанахуатит	в-2	Семсейит	ж-16	Хенриит	к-13
Баумгауерит	з-13	Густавит	е-3	Купроаурит	а-13	Паракостибит	г-14	Серебро	а-1	Хейровскиит	е-8
Беллидоит	м-7	Гутчинсонит	м-1	Куповисмутит	з-5	Парапьерротит	з-16	Синнерит	м-5	Христит	м-17
Бенавидесит	ж-15	Дервиллит	п-13	Курамит	н-14	Парашахнерит	а-8	Скиннерит	к-17	Цилиндрит	и-9
Бенжаминит	г-9	Джайпурит	з-3	Кутинаит	ж-10	Пенжинит	к-11	Смайтит	д-17	Цумоит	б-2
Берриит	д-9	Джуноит	г-10	Кюстелит	а-2	Пентландит	в-8	Смитит	и-15	Чаткалит	м-9
Бертьерит	ж-9	α–домейкит	в-13	Лазаревичит	л-12	Пентландит медистый	в-13	Сорбиит	ж-17	Черниит	н-12
Блокит	и-1	β–домейкит	в-11	Лангисит	д-5	Петровицит	д-14	Соучекит	д-6	Шабурнеит	к-1
Борнхардтит	г-7	Дрисдаллит	и-13	Ларозит	л-4	Пикополит	л-15	Станнин	м-10	Шамеанит	м-15
Буланжерит	ж-3	Дэдсонит	ж-1	Лаутит	л-13	Пильзенит	б-3	Стерриит	и-3	Шахнерит	а-9
Бурсаит	е-17	Дюранузит	л-5	Ленгенбахит	и-10	Пирит	в-5	Стибарсен	а-16	Швацит	л-3
Вакабаяшилит	о-17	Жеффроит	л-10	Лиллианит	е-7	Пирит–Sb	е-12	Стистаит	а-4	Штютцит	з-4
Валлисит	и-8	Жиродит	л-2	Линдстрёмит	е-2	Пиркитасит	о-16	Сульфоцумоит	б-15	Электрум	а-3
Веенит	ж-6	Зелигманнит	к-5	Лонзуит	ж-2	Пиростильпнит	н-15	Сфалерит	п-16	Эллисит	л-17
Вейбуллит	е-6	Зигенит	д-11	Макинстрит	л-7	Пирротин гекс.	и-5	Теллуравтимонит	б-1	Эскимоит	д-16
										Ялпаит	к-15

Условные обозначения смотри на листе 1

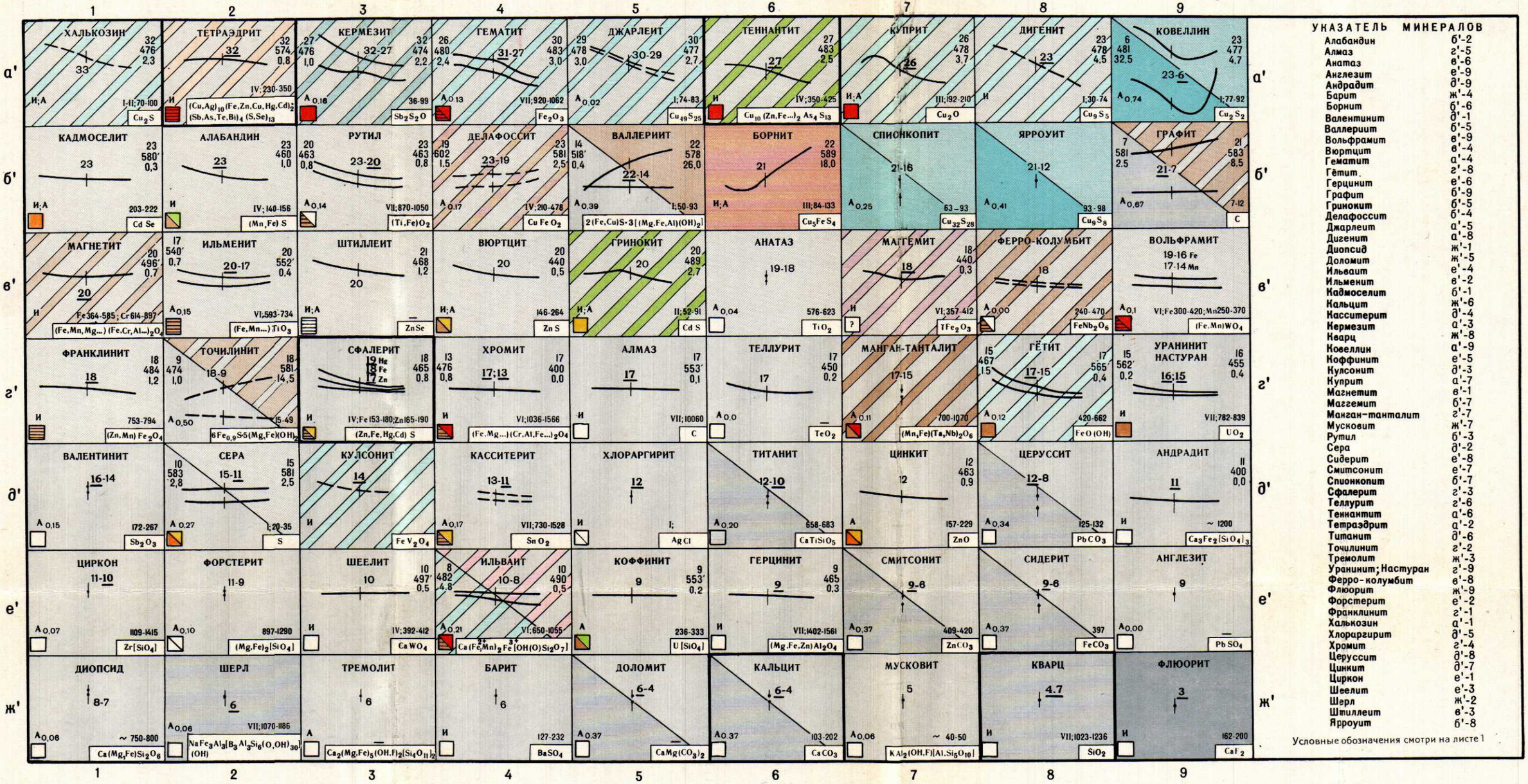
Зак. 1444. Тир. 4 000 Подписано к печати 18.05.87 г. ЛПФ

ТАБЛИЦА - ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ

ГЛАВНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКООТРАЖАЮЩИХ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИКИ МИНЕРАЛОВ ПО УБЫВАЮЩИМ ЗНАЧЕНИЯМ R при λ = 550 нм

Составлена Т.Н.Чвидёвой и М.С.Безсмертной



УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ	
Алабандин	б'-2
Алмаз	г'-5
Анатаз	в'-6
Англезит	е'-9
Андрадит	д'-9
Барит	ж'-4
Борнит	б'-6
Валентинит	д'-1
Валлериит	б'-5
Вольфрамит	в'-9
Вюртцит	в'-4
Гематит	а'-4
Гётит	г'-8
Герцинит	е'-6
Графит	б'-9
Гриноки т	б'-5
Делафоссит	б'-4
Джарлеит	а'-5
Дигенит	а'-8
Диопсид	ж'-1
Доломит	ж'-5
Ильваит	е'-4
Ильменит	в'-2
Кадмоселит	б'-1
Кальцит	ж'-6
Касситерит	д'-4
Кермезит	а'-3
Кварц	ж'-8
Ковеллин	а'-9
Коффинит	е'-5
Кулсонит	д'-3
Куприт	а'-7
Магнетит	в'-1
Маггемит	б'-7
Манган-танталит	г'-7
Мусковит	ж'-7
Рутил	б'-3
Сера	д'-2
Сидерит	е'-8
Смитсонит	е'-7
Спионкопит	б'-7
Сфалерит	г'-3
Теллурит	г'-6
Теннантит	а'-6
Тетраэдрит	а'-2
Титанит	д'-6
Точилинит	г'-2
Тремолит	ж'-3
Уранинит; Настуран	г'-9
Ферро-колумбит	в'-8
Флюорит	ж'-9
Форстерит	е'-2
Франклинит	г'-1
Халькозин	а'-1
Хлораргирит	д'-5
Хромит	г'-4
Церуссит	д'-8
Цинкит	д'-7
Циркон	е'-1
Шеелит	е'-3
Шерл	ж'-2
Штиллеит	в'-3
Ярроуит	б'-8

Условные обозначения смотри на листе 1

Отпечатано на Ленинградской картографической фабрике ВСЕГЕИ.
Зак. 1444. Тир. 4 000 Подписано к печати 18.05.87 г.

ТАБЛИЦА-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ

ГЛАВНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

НА ОСНОВЕ СИСТЕМАТИКИ МИНЕРАЛОВ ПО УБЫВАЮЩИМ ЗНАЧЕНИЯМ R при λ = 550 нм

СОСТАВЛЕНА Т.Н.ЧВИЛЁВОЙ И М.С.БЕЗСМЕРТНОЙ



УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Айкинит	Г-11	Брейтгауптит	Г-5	Германит	М-2	Ильменит	М-12	Купростибит	Д-7	Мышьяк	Б-10	Рагинит	З-9	Талькусит	Н-2	Франкеит	Ж-6
Акантит	З-6	Бриартит	И-16	Герсдорфит	Д-3	Индит	Н-17	Лаптанарит	В-9	Нагиагит	Е-9	Раммельсбергит	Б-5	Талнахит	Ж-2	Фрейслебенит	Е-8
Акташит	И-7	Буковит	З-16	Гессит	Е-10	Калаверит	А-10	Лаффитит	З-13	Науманнит	Ж-10	Расвумит	И-13	Талфенисит	Л-1	Фробергит	В-15
Алабандин	Л-13	Буланжерит	Д-14	Гетчелит	И-2	Кальцит	О-15	Лёллингит	В-1	Никелин	В-13	Реальгар	М-6	Твалчрелидзеит	Е-17	Халькозин	З-5
Алмаз	Н-12	Бурнонит	Ж-11	Гладит	Г-4	Канфильдит	Л-6	Ливингстонит	Е-15	Никельскуттерудит	Б-16	Реньерит	Н-11	Твиннит	Е-7	Халькопирит	Г-6
Алтаит	А-6	Валлериит	М-4	Годлевский	В-12	Касситтерит	Н-15	Линнеит	Г-13	Висбит	А-13	Риккардит	М-13	Теллур	А-7	Халькостибит	Д-16
Андорит	Е-5	Вавсит	З-14	Графит	М-8	Каттьерит	З-4	Лорандит	З-8	Нукундамит	Л--11	Родостаннин	З-17	Теллуровисмутит	А-11	Халькоталлит	И-3
Антимонит	Д-1	Вейссит	З-12	Грейгит	Ж-17	Кварц	О-16	Люцонит	Н-5	Окартит	Н-12	Рокезит	М-3	Теннантит	Н-8	Хастит	В-10
Аргентопентландит	И-12	Великит	Н-14	Грейтонит	Ж-8	Киноварь	И-10	Магнетит	М-11	Орселит	Г-7	Рутил	М-1	Тетраэдрит	З-11	Хемусит	Л-9
Аргиродит	Л-7	Вестервельдит	Г-10	Гринокит	М-10	Киткаит	Б-9	Макинавит	Д-8	Парадокразит	А-4	Сартторит	Ж-3	Тетрадимит	Б-6	Хизлевудит	Б-12
Арсенопирит	В-8	Вилламанинит	Л-17	Гудмундит	Б-13	Клаусталит	В-11	Мальдонит	Б-2	Парараммельсбергит	Б-4	Саффлорит	В-5	Тиллит	Г-14	Ходрушит	Д-17
Аурипигмент	Н-7	Виоларит	Д-9	Джерлеит	И-8	Клокманнит	Ж-9	Марказит	Б-14	Паркерит	В-17	Свинец	Б-17	Тиманнит	И-6	Цинкенит	Д-15
Ауростибит	А-15	Висмут	А-9	Джезказганит	И-15	Кобальтин	Г-2	Матильдит	Г-17	Патронит	З-10	Селен	Ж-15	Трогталит	Е-2	Шадлунит	Н-16
Балканит	З-3	Висмутин	Г-1	Джемсонит	Д-12	Ковеллин	Л-16	Маухерит	Г-3	Пентландит	В-6	Сера	Н-14	Трюстедтит	В-14	Шеелит	Н-16
Барит	О-14	Виттихенит	Ж-12	Джерфишерит	Л-14	Козалит	Д-6	Медь	А-16	Пермингжатит	Л-3	Серебро	А-1	Тугариновит	М-7	Ширмерит	Г-15
Безсмертновит	Е-11	Волынскит	В-7	Диафорит	Е-12	Колорадоит	Ж-4	Мелонит	А-14	Петцит	Е-16	Сидерит	О-12	Тунгстенит	Л-4	Штернбергит	Ж-14
Бертьерит	Е-1	Вулканит	Е-3	Дигенит	Л-15	Колусит	Н-10	Менегинит	Д-13	Пираргирит	И-1	Сильваанит	Б-8	Ульманит	Д-5	Штромейерит	И-9
Берцелианит	И-14	Галенит	Д-10	Дискразит	А-8	Колымит	А-5	Метациннабарит	Л-5	Пирит	В-3	Скуттерудит	Б-11	Уманцит	М-17	Шерл	О-13
Бетехтинит	Н-1	Галеновисмутит	Г-9	Дюфренуазит	Ж-1	Костовит	Б-1	Миаргирит	Ж-7	Пирротин монокл.	Е-14	Станнин	И-17	Уранинит	Н-13	Эвкайрит	Ж-5
Билибинский	Л-12	Галлит	Л-8	Железо	Б-3	Креннерит	Б-7	Миллерит	В-2	Плагионит	Е-6	Станноидит	Н-15	Фербериит	М-14	Эмплектит	Е-4
Биллингслеит	Л-2	Галхаит	Л-10	Жозеит А	Б-15	Круксит	З-2	Молибденит-2H	Д-2	Полибазит	З-7	Стефанит	З-15	Ферро-колумбит	М-15	Эмпрессит	Г-12
Богдановит	И-11	Гаухекорнит	Г-8	Жозеит В	А-17	Крутаит	Ж-16	Монтбрейит	А-12	Полидимит	Д-4	Сульваанит	Н-9	Ферроселит	В-16	Энаргит	Н-4
Богдановичит	В-4	Гематит	И-4	Золото	А-2	Кубанит	Е-13	Моусонит	Н-3	Прустит	Н-6	Сурьма	А-3	Фишессерит	И-5	Эскеборнит	Ж-13
Борнит	М-5	Геокронит	Д-11	Ильваит	Н-17	Куприт	Н-13	Мурунский	М-9	Пяккёненит	Г-16	Сфалерит	М-16	Флюорит	О-17	Ютенбогардтит	З-1

ЦВЕТ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

1. Параметры цвета относительно источника С
   - 31 47 - яркость (B,%)
   - 490 480 - цветовой тон (λ,нм)
   - 0.9 3.0 - чистота цвета (P,%)
2. Окраска ячейки таблицы
   - Сплошная - цвет насыщенный
   - Широкая полоса - отчетливые } цветовые
   - Узкая полоса - едва заметные } оттенки

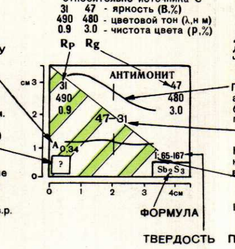
Двумя цветами (через диагональ) показаны минералы с очень сильным двуотражением (ΔRотн>0,20) и с плеохроизмом; окраска верхней (правой) части соответствует цвету минерала в светлом положении, нижней-в темном.

ОТНОШЕНИЕ К ПОЛЯРИЗОВАННОМУ СВЕТУ

И-изотропные,
А 0,34 - анизотропные;
числовая величина при символе А показывает силу двуотражения (Δ R отн.в долях ед.) при λ=550 нм.

ВНУТРЕННИЕ РЕФЛЕКСЫ (в.р.)

Окраска квадрата соответствует цвету в.р.
Квадрат не закрашен - в.р. бесцветные
квадрат зашрихован - в.р. заметны только с иммерсией.
Вариации цвета и интенсивность в.р. показаны через диагональ.



ФОРМУЛА

ТВЕРДОСТЬ ПО МИКРОВДАВЛИВАНИЮ (VHN)

СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ

Построены для интервала λ=400-700 нм в масштабе: по ординате 1мм=1 %, по абсциссе 1мм=10нм (спектры серебра, золота, колымита, меди, безсмертновита, богдановита, билибинскита имеют масштаб 1мм=2%, 1мм=20нм); положение на графике λ=550нм отмечено штрихом; пунктиром показаны литературные данные

ЗНАЧЕНИЯ R при λ=550 нм.

Коэффициенты отражения (R) минералов куб.с. (серебро А-1) и постоянный коэффициент (круговое сечение) одноосных минералов (сурьма, А-3) выделены жирным шрифтом и подчеркнуты.

ГРУППА ОТНОСИТЕЛЬНОГО РЕЛЬЕФА

I-VII семь групп в порядке повышения относительного рельефа

Зак. 1444. Тир. 4 000 Подписано к печати 18.05.87 г. ЛСФ