

А. И. Махмудов

МИНЕРАЛОГИЯ КОБАЛЬТОВЫХ РУД

А. И. Махмудов

МИНЕРАЛОГИЯ КОБАЛЬТОВЫХ РУД

3773



МОСКВА «НЕДРА» 1982



Махмудов А. И. Минералогия кобальтовых руд. М., Недра, 1982. 234 с.

Приведены характеристики кобальта и никеля, описаны их месторождения и рудопроявления (геохимия, минералогия, генетические типы месторождений), структура и морфология рудных тел. Даны результаты исследования современными комплексными методами минералогии кобальтовых и кобальт-никельсодержащих руд месторождений Азербайджанской ССР. Описано около 50 кобальтовых, кобальт- и никельсодержащих, висмутовых и теллурических минералов. Рассмотрены изоморфные ряды этих минералов, приведены результаты их химического и рентгеновского анализа, определения микротвердости, изучения оптических констант. Описаны структурные разновидности минералов, а также установленные новые для СССР минералы — аллоклазит, карролит и моддерит.

Для геологов, геохимиков, минералогов и других специалистов, занимающихся изучением рудных месторождений.

Табл. 93, ил. 150, список лит. — 43 назв.

Рецензент д-р геол.-мин. наук С. А. Бекташи (Управление геологии АзССР)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Кобальт относится к числу важнейших полезных ископаемых. Основная часть (до 75%) его мировых запасов (без СССР) заключена совместно с никелем в силикатных и сульфидных рудах, 23% — в медно-кобальтовых и 2% — в рудах других промышленно-генетических типов. Одним из кобальтоносных районов СССР с сульфидным и медно-кобальтовым оруденением является Малый Кавказ.

В настоящее время на первый план выдвигается задача повышения эффективности поисков и разведки, а также качества подготовки запасов полезных ископаемых на основе дальнейшего совершенствования применяемых методик их изучения, что непосредственно связано с решениями XXVI съезда КПСС по увеличению минерально-сырьевой базы страны и улучшению ее качества. При этом большое внимание уделяется проведению широкого комплекса исследований и прогнозу новых месторождений в конкретных регионах. В связи с этим детальное изучение кобальтовых сульфидных и кобальтсодержащих комплексных руд месторождений Малого Кавказа в пределах Азербайджанской ССР приобретает немаловажное значение.

Систематическое изучение кобальтовых руд Азербайджана, особенно месторождений Дашкесанского рудного района, началось после 1945 г. До 1960 г. ряд исследователей — А. М. Быбочкин и М. А. Карасик (1946 г.), М. А. Кашкай и И. М. Либерзон (1952 г.), В. П. Фролова и И. Б. Рогоза (1954 г.), Г. Х. Эфендиев (1957 г.), Ш. Н. Мамедов, Л. П. Кочуров и В. М. Григорьев (1958 г.), Г. А. Крутов, Г. Ф. Румянцев и Л. К. Яхонтова (1959—1960 гг.) и др. — изучили генезис и вещественный состав кобальтовых руд. Вопросы стратиграфии, литологии, тектоники, магматизма и металлогении кобальтоносных рудных полей освещены в опубликованных монографиях и в периодической литературе.

Однако некоторые вопросы геологии, минералогии и условий формирования руд были изучены недостаточно, не дана характеристика довольно распространенного, но слабо изученного типа кобальт- и никельсодержащих скарных месторождений Азербайджана, с малой степенью детальности описан минеральный состав руд (так, например, М. А. Кашкай и Н. Н. Шишкин из кобальтовых минералов характеризовали лишь кобальтин и глаукоdot). Кроме того, применяемые методы минералогических исследований были недостаточно совершенными.

В основу настоящей монографии положены результаты более чем 20-летней работы автора по детальному изучению минералогии кобальтовых и кобальтсодержащих руд месторождений Дашкесанского, Ордубадского и Кельбаджарского рудных районов Азербайджанской ССР. В книге кратко освещена геология рассматриваемых месторождений, описаны типы руд и их текстурно-структурные особенности, наиболее подробно приведена характеристика минералогии руд с детальным описанием гипогенных и гипергенных рудных и нерудных минералов.

При подготовке монографии автор использовал свою рабочую коллекцию руд и минералов из месторождений Азербайджанской ССР и из зарубежных месторождений, послужившую основным источником ма-

териала для химического, спектрального, рентгеновского исследований, а также для фотоиллюстраций.

Минеральный состав руд исследовался с применением новейших современных минералогических, физических и химических методов анализа. Исследования выполнены в Москве на кафедре минералогии Московского государственного университета, в различных лабораториях Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ), Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ), Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС) и Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), в Ленинграде в институте Гипроникель и во Всесоюзном научно-исследовательском институте механической обработки полезных ископаемых (Механобр) и в Баку в Азербайджанском государственном университете.

Всем сотрудникам этих организаций, оказавшим помощь в проведении анализов, автор выражает свою искреннюю благодарность. Кроме того, автор глубоко признателен докт. геол.-минер. наук проф. С. А. Бекташи, чьи критические замечания и советы содействовали улучшению работы, а также С. Н. Багировой, принимавшей большое участие в подготовке рукописи к печати.

Часть I

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОБАЛЬТОНОСНЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

Глава I

ДАШКЕСАНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН

Геолого-структурная позиция месторождений Дашкесанского рудного района определяется сложной природой формирования Дашкесанского пологого синклинория — одной из крупных структур, входящих в систему Сомхито-Агдамской тектонической зоны Малого Кавказа.

Синклинорий сложен вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями верхнебайосского, батского, келловейского, оксфордского и кимериджского возраста и прорван полифазным многофациальным гранитоидным плутоном неокомского времени. Верхнебайосские кварцевые плагиопорфиры и их туфы с небольшим угловым несогласием (10—15°) подстилают батские образования, представленные туфобрекчиями, агломератовыми туфами, порфиритами и др. Видимая мощность толщи кварцевых плагиопорфиров и их пирокластов 100 м, а отложений бата — 700 м. В осадочно-вулканогенных образованиях келловей-нижнеоксфордского подъяруса и в известняках верхнеоксфордского и нижнекимериджского подъярусов (лузитан) локализовано скарново-железородное оруденение. Суммарная мощность келловей-оксфордских образований колеблется от 100 до 400 м, мощность лузитанских известняков достигает 200 м. Выше залегают верхнекимериджские вулканогенные породы мощностью 550—600 м. Туфы этой толщи в различной степени алунитизированы и пиррофиллитизированы (рис. 1).

Дашкесанский рудный район размещен в пологой и широкой синклинали субширотного простирания, осложненной разрывами и выходами гранитоидов и габброидов одноименного интрузива. Разрывные структуры в виде малоамплитудных сбросов и сбросо-сдвигов сыграли большую роль в распределении рудоносных растворов.

Дашкесанский интрузив сформирован в четыре фазы внедрения глубинной магмы различного состава: первая фаза — габброидная, вторая — адамеллит-гранодиоритовая, третья — лейкократовая жильная (в основном граноаплиты и плагиоаплиты); к четвертой фазе относятся широко развитые в районе трещинные инъекции основного состава в виде даек диабазов, диабазовых порфиритов, спессартитов и других пород [11]. Продуктами нормального метаморфизма являются мраморы и роговики. Контактново-метасоматические новообразования, связанные с постмагматическими растворами, представлены пироксен-гранатовыми скарнами, магнетитовыми рудами, эпидотовыми, дашкесанитовыми, хлоритовыми и другими породами.

Кобальтовые руды Дашкесанского рудного района сконцентрированы в Северном кобальтовом, Северо-Восточном, Северо-Западном и Южном железо-кобальтовых месторождениях, а также в кобальтсодер-

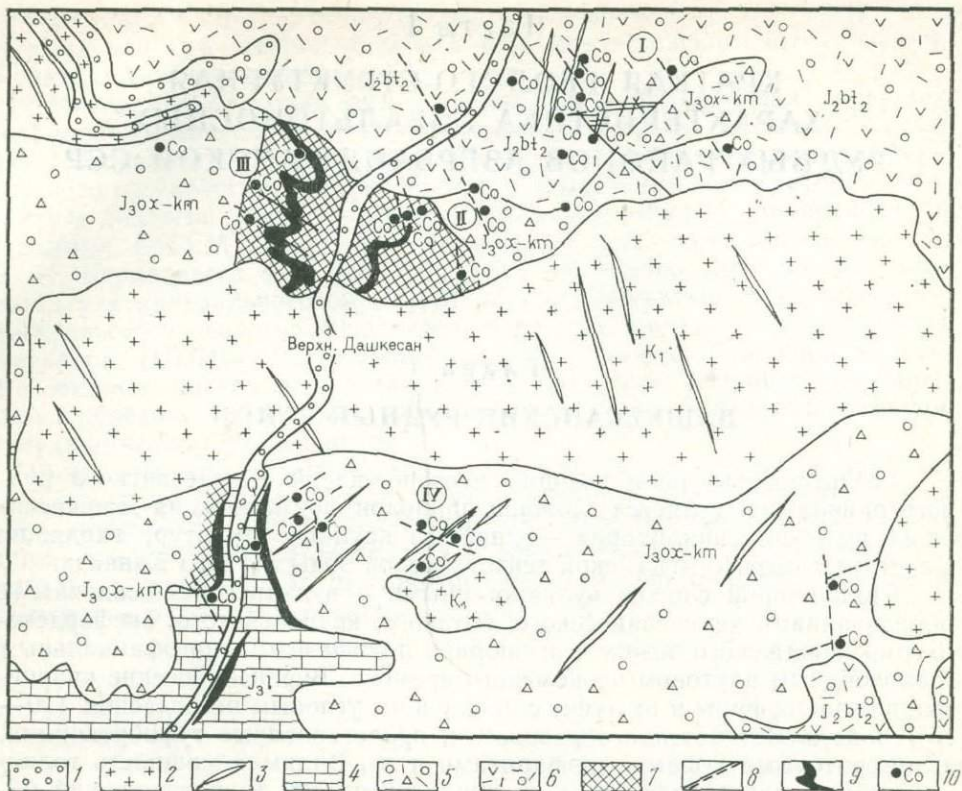


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождений Дашкесанского рудного района.

1 — четвертичные, аллювиальные, элювиальные и делювиальные отложения; 2 — интрузивные нижнемолодые породы (K_1): 1) габбро, габбро-нориты, нориты, габбро-диориты и диориты, 2) адамеллиты, гранодиориты, тонолит-кварцевые диориты, 3) гранит-аплиты и аляскиты; 3 — жильные породы основного состава (K_1); 4 — мраморизованные известняки лузитана (J_{3l}); 5 — туфы, известковистые туффиты, туфопесчаники, конгломераты и гравелиты оксфорд-кимериджа (J_{3ox-km}); 6 — агломеративные туфы, туфобреккии, туфоконгломераты и туфопесчаники, чередующиеся с отдельными потоками андезитовых и андезит-дацитовых порфиров верхнего батского подъяруса (J_{2bt_2}); 7 — роговики; 8 — кобальтоносные тектонические зоны; 9 — скарново-железородные залежи; 10 — проявления кобальтовой минерализации. Римскими цифрами в кружках даны: I — Северное кобальтовое месторождение; II — Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение; III — Северо-Западное кобальтсодержащее железородное месторождение; IV — Южное железо-кобальтовое месторождение.

жащих Моллагасанлинском полиметаллическом и Кашкачайском медно-колчеданном месторождениях. Все эти месторождения сформированы в аналогичных геолого-структурных условиях и генетически связаны с единым плутоном — Дашкесанским интрузивом. Отмечается парагенетическая связь кобальтового оруденения с дайками основного состава, являющимися пострудными образованиями в отношении скарново-железородной залежи.

Исходя из взаимосвязи кобальтового гидротермального, скарново-железородного оруденения и жильных образований, приуроченных к разрывным структурам различной ориентировки, автором выделены три морфогенетических типа кобальтовых руд: жильный, развитый по контактовым зонам гидротермально-измененных даек и по трещинным структурам; линзовидный и гнездообразный в трещиноватых участках скарново-магнетитовых руд; прожилково-вкрапленный и неправильной формы в гидротермально-измененных породах, скарново-магнетитовых

рудах и по зальбандам скарново-рудной залежи. Отдельные месторождения отличаются друг от друга соотношениями морфогенетических типов руд и главных рудообразующих минералов. Кобальтовое оруденение пространственно тяготеет к известковым скарнам.

Кобальт и никель в различных формах и концентрациях приурочены к тектоническим разрывам, вмещающим дайки основного состава (Северное месторождение). В других месторождениях (Северо-Восточное, Северо-Западное, Южное и Кашкачайское) минерализация кобальта и никеля связана с зонами трещиноватости и дробления, развитыми в скарнах скарново-магнетитовой залежи, на ее контакте с дайками и на контакте отдельных горизонтов метасоматитов. По отношению к скарново-магнетитовым рудам выделяются дайки дорудные и пострудные, а по отношению к позднему гидротермальному кобальтовому оруденению — только дорудные (диабазы и габбро-диабазы). Установлено, что скарнированные дайки габбро-диабазов и диабазов северо-восточного, реже северо-западного простирания являются секущими пострудными в отношении скарново-магнетитовых залежей и несут вкрапленное кобальтовое оруденение (Юго-Восточный и Юго-Западный участки Южного месторождения). Оруденение развивается в дайках и дайковых трещинах, используя унаследованные разрывные структуры.

СЕВЕРНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

В геологическом строении Северного кобальтового месторождения, расположенного на северном крыле Дашкесанской синклинали, принимает участие вулканогенно-осадочная толща средней юры (байос и бат), прорванная дайками диабазов и габбро-диабазов. Диабазы северо-западного простирания ($290-325^\circ$) и встречаются в рудных зонах (рис. 2). На месторождении выделяются Главная рудная зона и сопряженные с ней параллельные жилы.

Главная рудная зона первоначально представляла собой дайку диабазовых порфиритов, вдоль которой впоследствии проявилась гидротермальная деятельность, выразившаяся в интенсивной хлоритизации, а затем в кобальтовой минерализации. В результате возникла зона, сложенная глинисто-хлоритовой массой с вкрапленностью, прожилками, линзами и гнездами кобальтина, аллоклазита и др. Благодаря повторным тектоническим подвижкам жильные дериваты магм и постмагматические рудоносные растворы использовали одну и ту же полость — разлом северо-западного простирания, контролирующей Главную рудную зону Северного месторождения.

В Главной рудной зоне выделяются 12 более мелких рудных зон, 3 апофизы и 3 жилы. Все апофизы приурочены к дайкам диабазов. Некоторые из рудных тел представляют собой рудные столбы, расположенные в узлах пересечения тектонических трещин и на участках развития системы оперяющих трещин, создавших зоны интенсивного дробления (рис. 3).

Главная рудная зона прослежена по простиранию на 3 км и по падению на $450-480$ м. Мощность ее варьирует в широких пределах, составляя в среднем 2—3 м. Оруденение локализовано на измененных, перетертых, хлоритизированных участках диабазовой дайки. Местами оно охватывает трещиноватые зоны вмещающих пород, образуя раздувы мощностью до 10 м, иногда полностью выклинивается. Вследствие этого рудное тело приобретает в целом линзообразную форму с очень неравномерным распределением прожилков, а также с рассеянной (реже густой) вкрапленностью кобальтина, аллоклазита, высококобальти-

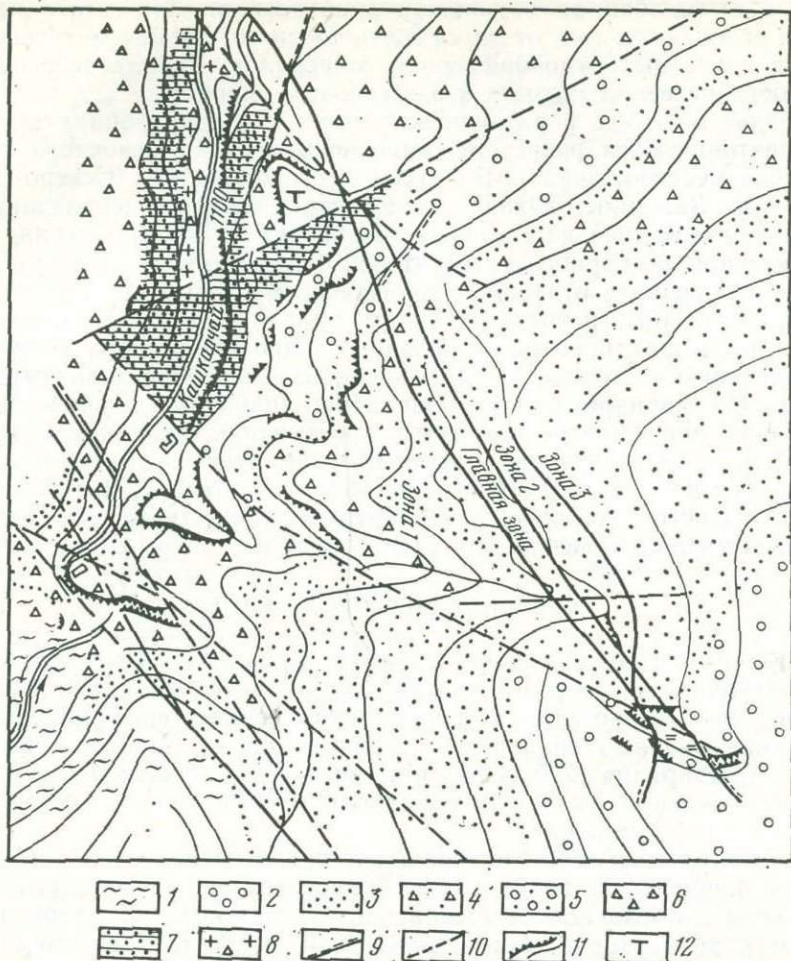


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Северного кобальтового месторождения. 1 — ороговикованные туфобрекчи и туфопесчаники; 2 — туфоконгломераты; 3 — алевритовые и зернистые кварцевые туфопесчаники; 4 — туфобрекчи и туфоконгломераты с прослойками туфопесчаников; 5 — туфоконгломераты с прослойками туфопесчаников и туфобрекчи; 6 — агрегативные туфобрекчи порфиритов и туфоконгломераты; 7 — алевритовые кварцевые туфопесчаники; 8 — туфы кварцевых порфиритов; 9 — дайки диабазов и габбро-диабазов; 10 — послерудные тектонические разрывы; 11 — тектонические зоны с дайками диабазов; 12 — элементы залегания

стого глаукодота, глаукодота, данаита, моддерита и саффлорита. Зона проходит по висячему зальбанду дайки, но иногда перемещается на лежащий бок. Висячий бок сложен хлоритовыми разностями пород и брекчией трения. Контакт рудной зоны с вмещающими породами обычно резкий, иногда с хорошо выраженными зеркалами скольжения (рис. 4).

Кобальтовая минерализация распределяется неравномерно, образуя серии мелких прожилков, линзы, гнезда и густую вкрапленность (рис. 5) в центральной части зоны, где от нее отделяются апофизы 3 и 2.

Рудная зона Тутунц-Ару, представляющая наибольший интерес в пределах Главной рудной зоны, прослежена штольнями и скважинами на глубину около 2 км. Она проходит по ущелью руч. Тутунц-Ару, откуда и получила свое название. Мощность ее в среднем 3 м. Дайка диабазового порфирита проходит по висячему боку зоны. Порфириты

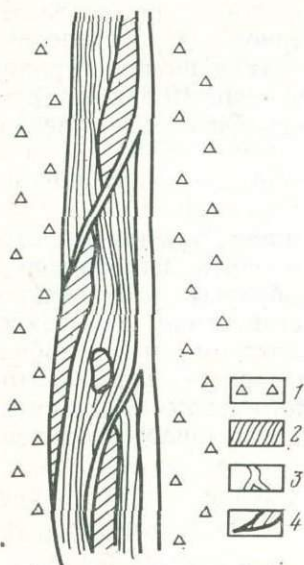


Рис. 3. Тектоническая зона, выполненная карбонатно-хлоритовым материалом с рудными прожилками.

1 — туфопесчаники; 2 — зона расщепления; 3 — кальцитовые прожилки; 4 — линзовидные рудные прожилки

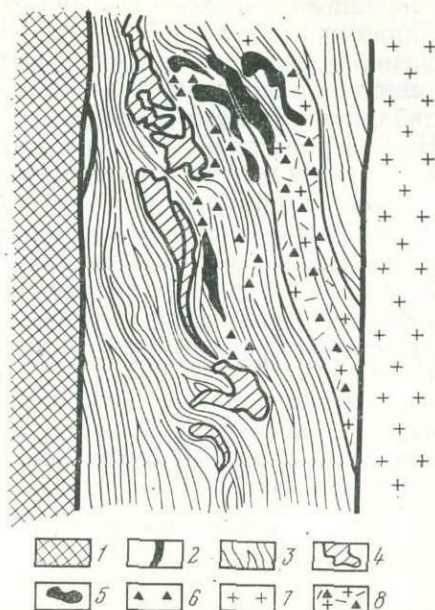


Рис. 4. Зона расщепления с прожилками и вкрапленностью кобальтового оруденения:

1 — хлоритизированная порода; 2 — глина трения; 3 — породы зоны расщепления; 4 — кварцевые прожилки; 5 — рудные прожилки; 6 — вкрапленное оруденение; 7 — дайка диабазового порфирита; 8 — зона дробления с оруденением

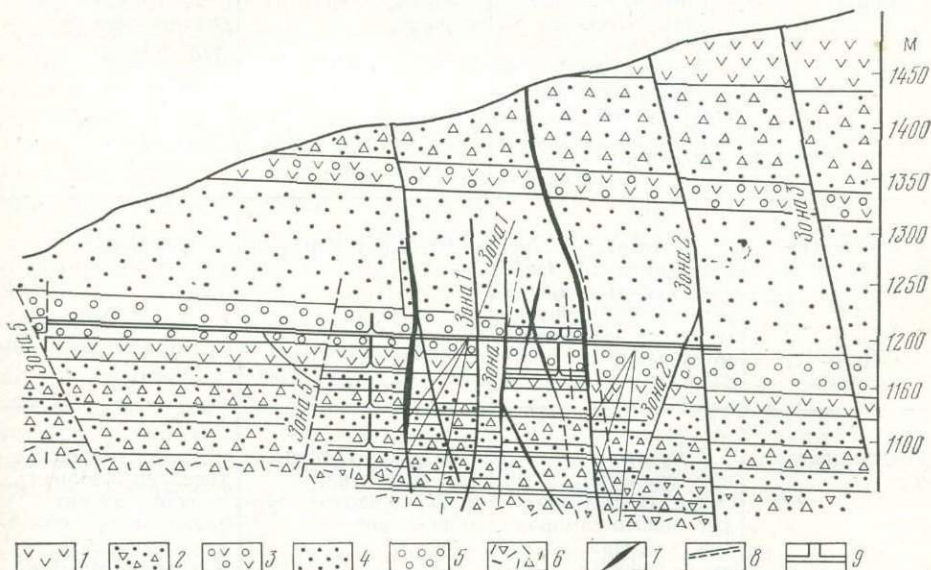


Рис. 5. Характер расположения и форма рудных тел Северного кобальтового месторождения. По К. А. Маркову, 1963 г.

1 — туфы и порфириты; 2 — туфы и туфопесчаники; 3 — туфы и туфоконгломераты; 4 — песчаники и туфопесчаники; 5 — туфы и туфобрекчии; 6 — туфобрекчии; 7 — рудные зоны; 8 — границы рудных столбов; 9 — горные выработки

хлоритизированы, карбонатизированы и рассланцованы. Контакты зоны с вмещающими породами хорошо выражены.

Характерной особенностью кобальтового оруденения является разнообразие морфологии рудных выделений (прожилки, линзы, гнезда, рассеянная вкрапленность) и весьма неравномерное его распределение в залбандах основных даек как по падению, так и по простиранию.

На Северном кобальтовом месторождении описаны 40 рудных (в том числе 13 гипергенных) и 15 нерудных минералов. Основной минеральный состав руд приведен в табл. 1.

На месторождении нами выделяются четыре стадии гипогенной минерализации:

1) магнетит-гематитовая с образованием турмалина, скаполита, гематита, магнетита, кварца, эпидота, хлорита и актинолита, встречающихся в виде гнездообразных и линзообразных скоплений;

2) мышьяково-кобальтовая, представленная сульфоарсенидами — арсенопиритом, кобальтином, аллоклазитом, высококобальтистым глаукодотом, глаукодотом, дананитом, моддеритом, саффоритом, пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом, кальцитом, хлоритом, в небольшом количестве халькопиритом, эпидотом, актинолитом;

Таблица 1

Минеральный состав руд Северного кобальтового месторождения

Степень распространенности	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы
	рудные	нерудные	
Главные	Кобальтин, аллоклазит, высококобальтистый глаукодот, глаукодот, дананит, кобальтсодержащий арсенопирит, пирит, кобальтпирит, халькопирит	Кварц, хлорит, кальцит	Эритрин, гидрокислы железа и марганца
Второстепенные	Моддерит, саффорит, гематит, магнетит, кобальтсодержащий пирит, пирротин, марказит, сфалерит, молибденит	Эпидот, цеолиты	Гидробютит, борнит, халькозин
Редковстречающиеся	Теннантит, кубанит, валлериит, блеклая руда, пентландит, золото самородное, электрум, серебро, галенит	Актинолит, серицит, серпентин, тальк, скаполит, турмалин, барит	Медь самородная, ковеллин, каолинит, малахит, азурит, виоларит, гетерогенит, галлуазит, гейландит, натролит, клиноцоизит

Примечание. Курсивом в табл. 1—5 выделены минералы, впервые установленные на месторождении автором.

3) кварц-карбонатная, завершившаяся отложением кварца, кальцита и хлорита с сульфидами — пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом и в небольшом количестве халькопиритом;

4) полисульфидная, характеризующаяся формированием собственно сульфидных руд с кварцем и кальцитом. На этой стадии минерализации выделяются кварц, пирит, кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, халькопирит, теннантит, пирротин, кубанит, барит, марказит, сфалерит, валлерит, блеклая руда, пентландит, золото, электрум, серебро, галенит, молибденит, серицит, цеолиты, серпентин и др.

Основная масса кварц-кальцитового материала в виде тонких прожилков и гнездообразных выделений локализовалась в дорудных и порудных зонах дробления, цементируя перетертую массу. В первые три стадии, особенно во вторую и третью, происходила хлоритизация вмещающих пород. Последовательность минералообразования приведена на рис. 6.

СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение расположено на правом склоне долины р. Кошкарчай. Рудная залежь имеет пластообразную форму [11].

В геологическом строении верхнего горизонта участвуют вулканогенно-осадочные породы верхнеюрского возраста, представленные авгитовыми, авгит-плагноклазовыми порфиритами, их туфами и туфоконгломератами. Нижний горизонт скарнирован с образованием гранатовых пород, состоящих преимущественно из гранатов андрадит-гроссулярового ряда с небольшим развитием обычных скарных минералов — магнетита, эпидота, роговой обманки, хлорита, кальцита, кварца и др.

На Северо-Восточном месторождении образование кобальтовых руд, их распределение и форма залежей связаны с особенностями тектоники. Определяющими элементами являются система крутопадающих трещин и разломов северо-западного простирания и сопряженные с ней горизонтальные зоны дробления. Разломы северо-западного направления секут и местами сбрасывают ранее сформированную скарно-рудную толщу [42]. Сульфоарсенидное и сульфидное оруденение на месторождении локально связано с горизонтальными зонами дробления.

На месторождении при разработке открытым карьером железных руд обнаружена сульфидная, в частности кобальтовая, минерализация (аллоклазит, кобальтин, высококобальтистый глаукоdot, глаукоdot, отчасти карролит) со специфической морфологией руд. Она приурочена в основном к трещинам в магнетитовых рудах, гранатовых скарнах, роговиках и дашкесанитовых породах, образуя прожилковые, линзовидные, гнездообразные и вкрапленные выделения (рис. 7). Линзообразные тела тяготеют к висячему боку магнетитовой залежи и располагаются, как правило, в дашкесанитовых скарнах. Вкрапленная кобальтовая минерализация главным образом рассеяна в роговиках, магнетитовых и сульфидных рудах, скарнах, дайковых породах.

Скарны с наложенным кобальтовым оруденением ориентированы перпендикулярно к Урдаринскому сбросу северо-западного простирания. Здесь вырисовывается куполовидное поднятие скарно-железорудной залежи, с которой связана интенсивная сульфидная и сульфоарсенидная минерализация в виде ряда линзовидных рудных тел, приуроченных к висячему боку рудной залежи. Выше следуют роговики и ме-

Минералы	С т а д и и				
	магнетит-гематитовая	собственно мышьяково-кобальтовая	кварц-карбонатная	полисульфидная	гипергенная
1	2	3	4	5	6
Турмалин	—				
Скаполит	—				
Гематит	■				
Магнетит	■				
Кварц	■	■	■	■	
Эпидот	■	■			
Хлорит	■	■	■		
Актинолит	■	■			
Клиноцоизит		■			
Арсенопирит		■			
Кобальтин		■			
Аллоклазит		■			
Высококобальтистый глаукоdot		■			
Глаукоdot		■			
Данаит		■			
Моддерит		■			
Сафлорит		■			
Пирит	■	■	■	■	
Кобальтсодержащий пирит	■	■	■	■	
Кобальтпирит	■	■	■	■	
Халькопирит		■	■	■	
Теннантит				■	
Пирротин				■	
Кубанит				■	
Барит				■	
Серицит				■	
Гидробиотит				■	
Марказит				■	
Сфалерит				■	
Валлериит				■	
Кобальтпентландит				■	
Пентландит				■	
Самородное золото				■	
Электрум				■	

тасоматиты мощностью до 30 м. Оруденелая часть роговиков достигает 5 м.

В составе руд Северо-Восточного месторождения (табл. 2) насчитывается более 100 минералов, в том числе 37 рудных. На месторождении намечаются четыре гипогенные стадии минерализации (рис. 8):

1) скарновая, представленная диопсидом, андрадитом, гроссуляром, альмандином, пиропом, спессартином, меланитом, апатитом, ортитом, авгитом, эпидотом, салитом, геденбергитом, волластонитом, сфеном, ильменитом, турмалином, рутилом, кальцитом I;

2) магнетит-гематитовая с преимущественным развитием пироксен-гранатовых скарнов с ортитом, эпидотом, кальцитом II, магнетитом, сопровождаемых салитом, геденбергитом, гематитом, шпинелью, пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом I, теннантитом, дашкесанитом, роговой обманкой, ильванитом, мушкетовитом, маггемитом и актинолитом;

3) мышьяково-кобальтовая, выраженная образованием арсенопирита, кобальтсодержащего арсенопирита, кобальтина, аллоклазита, высококобальтистого глаукоdotа, глаукоdotа, данаита, реже сафлорита, карролита, высококобальтистого и никелистого пирита, линнеита, миллерита, пентландита, бравойта, кальцита III, кобальтсодержащего пирита, кобальтпирита, халькопирита II, кварца I и хлорита II;

4) полисульфидная, наложенная на предыдущие и оторванная от них тектоническим перерывом. В эту стадию происходит выделение

1	2	3	4	5	6
Самородное серебро					—
Галенит					—
Молибденит				—	
Кальцит	—	—	—	—	—
Цеолиты				—	
Серпентин					—
Тальк				—	
Борнит					—
Халькозин					—
Самородная медь					—
Ковеллин					—
Виоларит					—
Наолинит					—
Эритрин					—
Гидроокислы железа					—
Малахит					—
Азурит					—
Гетерогенит					—
Галлуазит					—
Гейландит					—
Натролит					—
Характерные парагенезисы минералов	Гематит + магнетит + кварц	Арсенопирит + кобальтин + аллоклазит + глаукодол + данаит	Кварц + кальцит + пирит	Пирит + халькопирит + кальцит	Эритрин + гидроокислы + железо
Характерные парагенезисы элементов	Fe, Si, O	Fe, Co, As, S, Ni, Si, O	Si, Fe, Ca, S, O, CO ₃	Fe, Cu, Ca, S, Ca, CO ₃ , Ni, Zn, Pb, Mo, Au, Ag	Fe, Cu, Co, OH, As, O, S, Ni, Si, Na, Al, Mg

1 — 2 — 3

Рис. 6. Схема последовательности выделения минералов на Северном кобальтовом месторождении.

1 — главные минералы стадий; 2 — второстепенные минералы стадий; 3 — редковстречающиеся минералы стадий

кальцита IV, пирита, кобальтсодержащего пирита, кобальтпирита, пирротина, карролита, высококобальтистого и никелистого пирита, кубанита, валлериита, линнеита, миллерита, пентландита, бравоита, золота, серебра, электрума, серицита, сфалерита, галенита, молибденита, марказита, анальцима, цеолитов и др. Кварц-карбонатная масса в виде тонких прожилков и гнездобразных выделений заполняет трещины в магнетитовых рудах и скарновых породах.

СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное месторождение расположено на левом склоне р. Кошкарчай и сложено в основном верхнеюрскими вулканогенно-обломочными и осадочными образованиями.

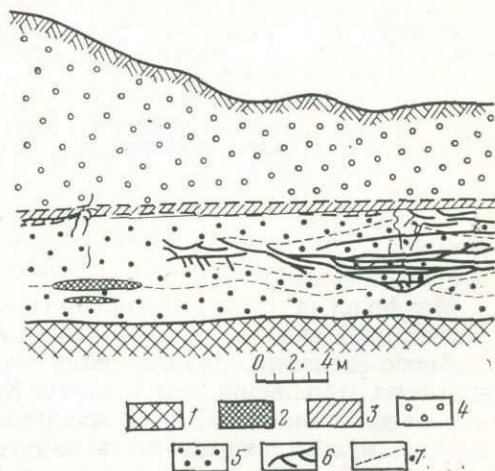


Рис. 7. Линза кобальтовой руды. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение. По К. А. Маркову, 1963 г.

1 — основная магнетитовая залежь; 2 — мелкие линзы магнетита в роговиках; 3 — скарны; 4 — роговики; 5 — дашкесанитовая порода; 6 — прожилки и вкрапленность кобальтина; 7 — послерудные нарушения

Минеральный состав руд Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения

Степень распространенности	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы
	рудные	нерудные	
Главные	Магнетит, пирит, халькопирит, кобальтин, <i>аллоклазит</i> , арсенопирит, <i>кобальтсодержащий арсенопирит</i> , кобальтпирит	Кальцит, кварц, андрадит, гроссуляр, альмандин, пироп, спессартин, эпидот, дашкесанит, роговая обманка, аметист, хлорит, авгит, диопсид, геденбергит	Гидроокислы железа и марганца, эриктрин, стениерит, шульенит, кальцит, кобальткальцит, кварц, <i>сферокобальтит</i> , малахит, азурит
Второстепенные	Гематит, мушкетовит, кобальтсодержащий пирит, <i>высококобальтистый глаукодот</i> , глаукодот, галенит, сфалерит, маггемит, ильменит, рутил, шпинель, марказит, молибденит, пирротин, <i>пентландит</i> , <i>кубанит</i> , теннантит, <i>высококобальтистый и никелистый пирит</i>	Волластонит, актинолит, тремолит, салилит, турмалин, серицит, алунит, пирофиллит, плагиоклазы, гейландит, алунит	Гетерогенит, мартит, скородит, псиломелан, лампадит, бемят, каолинит, галлуазит, пирофиллит, купрогаллуазит, феррогаллуазит, борнит, <i>дигенит</i> , хризоколла, нонтронит, гинзингерит, арагонит, адамин, кобальтадамин, смольяниновит, кальциокопиопит, ковеллин, халькозин, медь самородная, опал, гипс
Редковстречающиеся	<i>Карролит</i> , <i>саффлорит</i> , блеклая руда, <i>миллерит</i> , <i>линнеит</i> , <i>данаит</i> , бравоит, валерияит, золото самородное, электрум, серебро	Десмин, ильваит, сфен, ортит, меланит, апатит, пренит	Халькантит, кобальтхалькантит, мелантерит, <i>виоларит</i> , пизанит, ярозит, каламин, купроадамин, соконит, кобальтсодержащий соконит

Морфология, состав и мощность скарново-рудной залежи довольно изменчивы. В ряде случаев она нарушена вертикальными и продольными сбросо-сдвигами, разбивающими залежь на отдельные блоки, смещенные по отношению друг к другу. Кроме вкрапленных пласто- и линзообразных скоплений магнетита, наблюдается также густая сеть жил и прожилков сплошных магнетитовых руд, секущих роговики приконтактной зоны Дашкесанского интрузива [11].

Кобальтоносный пиритовый прожилок мощностью 40 см располагается висячем боку скарна между магнетитовой рудой и трещиноватой роговиковой породой. Он сложен пиритом с незначительным количеством халькопирита, магнетита, эпидота и кальцита. Кобальт (0,44%) определен по данным химического анализа керн буровой скв. 21 с глу-

бины 54 м (правый берег руч. Нов-Ахпюр). Такой же прожилок мощностью 40 см с кобальтпиритом, халькопиритом, кальцитом и кварцем встречен в висячем боку магнетитовой залежи (район г. Лянджак). К югу от Джабрацорского сброса, смещающего скарново-рудную толщу на 80—100 м, нами констатированы многочисленные прожилковые выделения сульфидов (халькопирит, борнит, пирит) с кварцем в трещинах магнетитовой руды.

Г. Х. Эфендиев [42] указывает, что возможность нахождения в пределах описываемого месторождения собственно кобальтового оруденения не исключается. М. А. Кашкай [11] отмечает, что кобальтовая минерализация здесь проявлена слабо и выражена кобальтпиритом; кобальт не образует самостоятельных минералов, а изоморфно замещает железо в пирите. Халькопирит, пирит и другие сульфиды имеют локальное развитие.

Среди магнетитовой залежи автором [23] обнаружена зона дробления мощностью от 10 до 45 см, выполненная кварц-карбонатным материалом и содержащая маломощную жилу с богатой мелкозернистой кобальтовой рудой. Кобальтовая руда состоит из кобальтпирита (5%), кобальтина (60%), аллоклазита (30%) с размерами зерен от 0,11—0,5 мм до 1 мм. Под микроскопом обнаруживаются зерна магнетита, гематита, пирита и арсенопирита. Руда образует пластообразные, гнездообразные и скелетообразные выделения.

В общих чертах Северо-Западное месторождение обнаруживает сходство с Северо-Восточным.

ЮЖНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Южное железо-кобальтовое месторождение расположено на юго-западном крыле Дашкесанской синклинали. Здесь выделяется несколько рудных участков, из которых основные Юго-Восточный и Юго-Западный [11]. Месторождение сложено осадочными и вулканогенно-обломочными породами верхней юры (рис. 9). На Юго-Восточном участке в нижней части разреза обнажаются лузитанские мраморизованные известняки, а на севере Юго-Западного участка — гранитоиды.

На месторождении устанавливаются следующие морфогенетические типы руд: гидротермально-измененные зоны с прожилково-вкрапленным оруденением; вкрапленное и жильно-линзовидное оруденение на контактах даек диабазовых порфиритов; рассеянная, реже густая вкрапленность, гнезда и прожилки сульфоарсенидов кобальта и кобальтсодержащих сульфидов в скарново-магнетитовых рудах, роговиках и мраморизованных известняках.

Существенным отличием морфологии рудных тел Южного месторождения от кобальтовых рудопроявлений северной части Дашкесанского района является отсутствие рудных столбов по гидротермально-измененным дайкам. Мощность кобальтоносных линз колеблется от 0,05 до 0,1—0,3 м. По простирацию некоторые из них прослеживаются на десятки метров, а рудоносные дайки и зоны на сотни метров.

Линзы как собственно кобальтиновых руд, так и кобальтсодержащих пиритовых руд Пирсултанского участка месторождения залегают ниже магнетитовой залежи, а вкрапленно-прожилковые аллоклазит-кобальтиновые руды Юго-Восточного участка приурочены к контактовой зоне скарново-магнетитовых руд по лежащему боку (рис. 10, 11 и 12).

Минералы	С т а д и и				
	скарновая		гидротермальная		гипергенная
	собственно скарновая	магнетит-гематитовая	мышьяково-кобальтовая	полисульфидная	
1	2	3	4	5	6
Диопсид	■				
Анрадит	■				
Альмандин	■				
Пироп	■				
Гроссуляр	■				
Спессартин	■				
Эпидот	■	■			
Кальцит	■	■	■	■	■
Дашкесанит	■	■			
Роговая обманка	■	■			
Апатит	■				
Авгит	■				
Геденберgit	■	■			
Волластонит	■				
Сфен	■				
Ильменит	■				
Рутил	■				
Турмалин	■				
Шпинель	■				
Магнетит		■			
Гематит		■			
Пирит		■	■	■	
Кобальтсодержащий пирит			■	■	
Кобальтпирит			■	■	
Халькопирит		■	■	■	
Ильваит		■			
Мушкетовит		■			
Маггемит		■			
Ортит		■			
Актинолит		■			
Тремолит		■			
Альбит		■			
Олигоклаз		■			
Лабрадор		■			
Анортит		■			
Кварц			■	■	
Аметист			■	■	
Хлорит		■	■	■	
Скаполит		■			
Клинохлор			■		
Арсенопирит			■	■	
Кобальтсодержащий арсенопирит			■	■	
Леллингит			■		
Кобальтин			■		
Аллоклазит			■		
Высококобальтистый глаукоdot			■		
Глаукоdot			■		
Данаит			■		
Сафлорит			■		
Карролит			■		
Пирротин				■	
Кубанит				■	
Теннантит				■	
Валлериит				■	
Серицит				■	
Линнеит				■	
Пентландит				■	
Миллерит				■	
Бравоит				■	
Сфалерит				■	
Галенит				■	

3773

1	2	3	4	5	6
Молибденит				■	
Марказит				■	
Золото самородное				■	
Электрум				■	
Висмут самородный				■	
Висмутин				■	
Цеолиды				■	
Тальк				■	
Алунит				■	
Пренит				■	
Флюорит				■	
Малахит					■
Азурит					■
Халцедон					■
Эритрин					■
Гидроокислы железа					■
Халькозин					■
Борнит					■
Дигенит					■
Гизингерит					■
Каолинит					■
Кобальткальцит					■
Сферокобальтит					■
Стениерит					■
Шультенит					■
Гетерогенит					■
Псилломелан					■
Купроасболан					■
Лампадит					■
Бемит					■
Галлуазит					■
Купрогаллуазит					■
Ферригаллуазит					■
Скородит					■
Адамин					■
Кобальтадамин					■
Хризоколла					■
Арагонит					■
Халькантит					■
Кобальтхалькантит					■
Мелантерит					■
Пизанит					■
Ярозит					■
Каламин					■
Купроадамин					■
Соконит					■
Аллофан					■
Смитсонит					■
Кальциопиापит					■
Нонтронит					■
Опал					■
Гипс					■
Характерные парагенезисы минералов	Диопсид + андрадит + альмандин + эпидот + кальцит + волластонит	Эпидот + кальцит + магнетит + гематит + пирит + халькопирит	Кобальтин + арсенопирит + аллоклазит + глаукокод + данаит + карролит	Пирит + халькопирит + пирротин + линнеит + пентландит + бравойт	Кальцит + тальк + борнит + малахит + эритрин + Со-кальцит
Характерные парагенезисы элементов	Ca, Mg, Al, Fe, Ti, Si, OH	Fe, Cu, Ca, Mg, Al, Si, OH	Fe, Cu, Co, As, Si	Fe, Cu, Co, Ni, S, Zn, Pb, Mo, Au, Ag, As, Si, Cl	Fe, Cu, Co, Ni, As, OH, O, S, Si, Na, Al, Mg

■ 1 — 2 — 3

Рис. 8. Схема последовательности выделения минералов на Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении (1, 2, 3 — см. рис. 6)

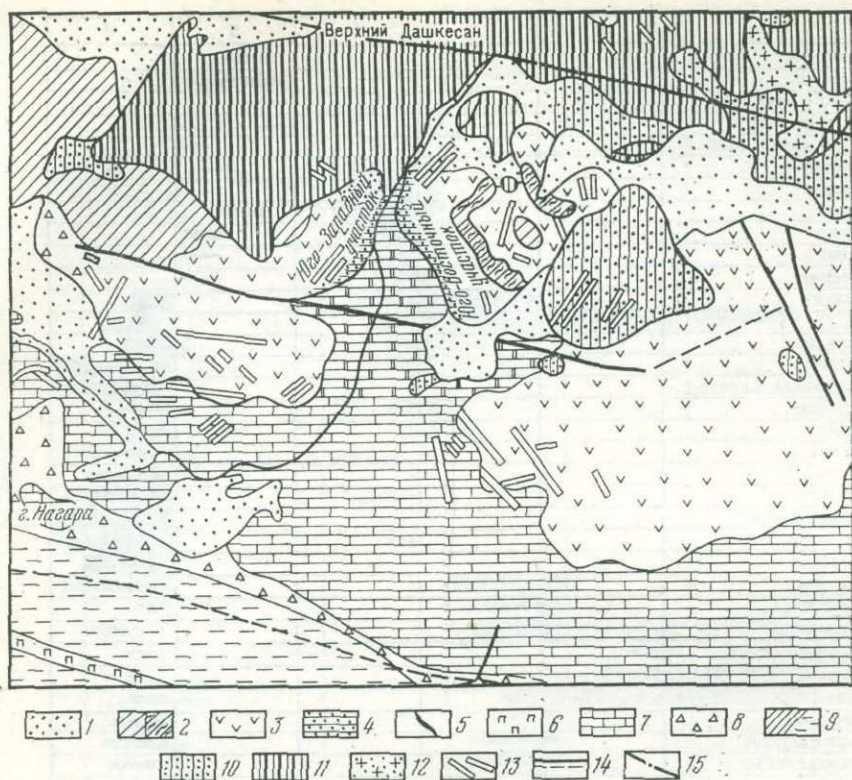


Рис. 9. Схематическая геологическая карта Южного железо-кобальтового месторождения. По М. А. Кашкай.

Четвертичные отложения (Q): 1 — аллювиальные и делювиальные отложения. Нижний мел — верхняя юра (K₁—J₃): 2 — экструзивные и эффузивные диабазы, диабазовые порфиры и пластовый интрузив нижнего мела — кимериджа (K₁—J₃km). Верхняя юра (J₃): 3 — свита туфов и туффитов кимериджа (J₃km); 4 — роговики по породам кимериджа; 5 — скарново-железородный горизонт преимущественно по вулканогенным породам кимериджа; 6 — мраморизованные известняки (лузитанская толща) оксфорда—кимериджа (J₂ox—km); 7 — известняковые отложения оксфорда—кимериджа (J₂ox—km); 8 — туфогенные породы (известковые туффиты, конгломераты, гравелиты, туфопесчаники) оксфорда (J₂ox); 9 — аргиллиты и песчаники с прослоями мергелей келловоя (J₂cl); 10 — габброиды (габбро, нориты, габбро-диориты) первой фазы нижнего мела K₁F₁; 11 — гранитоиды (адамеллиты — гранодиориты, тоналиты — кварцевые диориты) второй фазы нижнего мела (K₁F₂); 12 — гранит-аплиты, аляскиты третьей фазы нижнего мела (K₁F₃); 13 — дайки жильных пород основного состава четвертой фазы нижнего мела (K₁F₄); 14 — линии тектонического разрыва зафиксированные и предполагаемые; 15 — ось Дашкесанской синклинали

Аллоклазит-кобальтиновые руды в форме прожилков, небольших линз и вкрапленности находятся в непосредственной близости к магнетитовой залежи, что видно на рис. 10.

Ниже дано краткое описание некоторых наиболее характерных линзовидных тел Пирсултанского участка месторождения с рассеянным кобальтовым оруденением. Одна из линз имеет неправильную форму, протяженность ее по простиранию от 90 до 240 м, падение пологое (5°) на запад-северо-запад; мощность изменяется от 1,3 м (скв. 1014) до 15 м (скв. 1002). Линза по падению и по простиранию разветвляется на две главные части, которые затем вновь соединяются, образуя единое рудное тело. Другая линза расположена ниже на расстоянии от 5 до 16 м от первой. Длина ее по простиранию от 47 до 137 м, падение такое же пологое на север-северо-запад, мощность до 4 м. Остальные кобальтоносные линзы имеют меньшие размеры и расположены в раз-

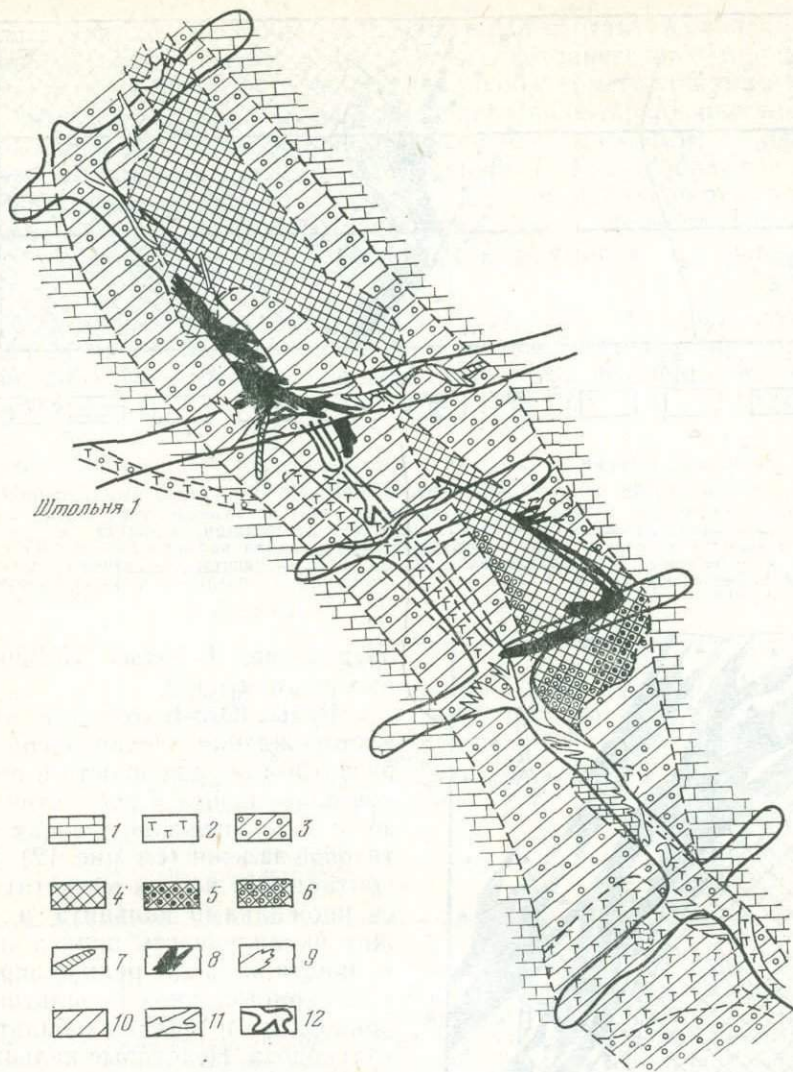


Рис. 10. Морфология кобальтовых и кобальтсодержащих рудных тел Юго-Восточного участка (штольня 1) Южного железо-кобальтового месторождения. Масштаб 1:100.

1 — мраморизованные известняки; 2 — дайки порфиров; 3 — скарнированные породы; 4 — магнетитовые руды; 5 — гранатовый скарн с хлоритом и магнетитом; 6 — хлоритовая порода с магнетитом; 7 — минерализованные раздробленные гидротермально-измененные породы; 8 — аллокладит-кобальтиновые руды (прожилки, линзы, вкрапленники, иногда мелкие гнезда в скарнах, магнетитовых рудах, зонах смятия и по контактам диабазовых порфиров); 9 — глаукоdot-данаит-арсенопиритовые руды (прожилки, линзы, вкрапленники, иногда мелкие гнезда в скарнах и магнетитовых рудах); 10 — кобальтпиритовые руды (рассеянная, реже густая вкрапленность и прожилки кобальтсодержащих сульфидов, редко сульфоарсенидов кобальта в скарново-магнетитовых рудах, роговиках и мраморизованных известняках); 11 — прожилки кальцита; 12 — горные выработки

ных частях скарновой зоны на небольших расстояниях друг от друга и первых двух линз.

Кобальтсодержащие пиритовые руды слагают 12 линзовидных тел. Более богата кобальтом по сравнению с другими верхняя линза протяженностью по простиранию до 165 м и мощностью от 1,2 до 9 м. Другие линзы характеризуются меньшими размерами.

Кобальтсодержащие минералы в линзах, в том числе собственно кобальтовые сульфоарсениды, распределены неравномерно. Наиболее распространены вкрапленные руды, значительно менее — прожилковые

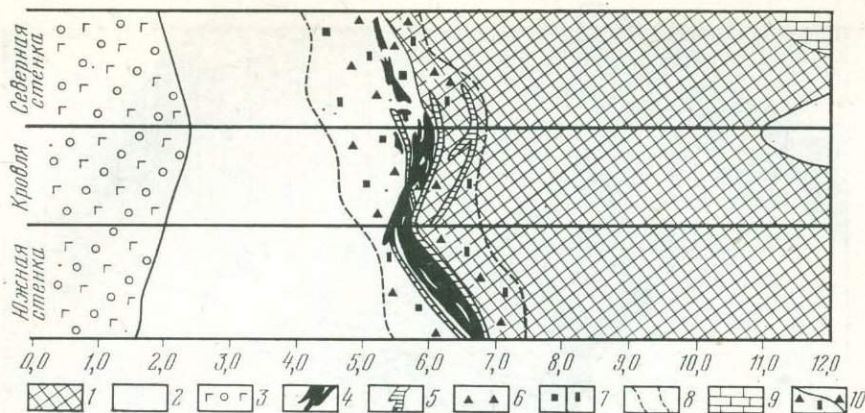


Рис. 11. Зарисовка штрека из штольни 1 Юго-Восточного участка Южного железо-кобальтового месторождения.

1 — магнетитовая руда; 2 — скарны; 3 — скарнированные диабазовые порфириды; 4 — кобальтин с аллоклазитом, высококобальтистым глаукоцитом, глаукоцитом, дананитом и выделениями минералов висмута и теллура среди аллоклазита; 5 — прожилки кальцита; 6 — вкрапленности кобальтина и аллоклазита; 7 — вкрапленности пирита и халькопирита; 8 — границы аллоклазит-кобальтового оруденения; 9 — мрамор; 10 — трещины с кобальтом и аллоклазитом

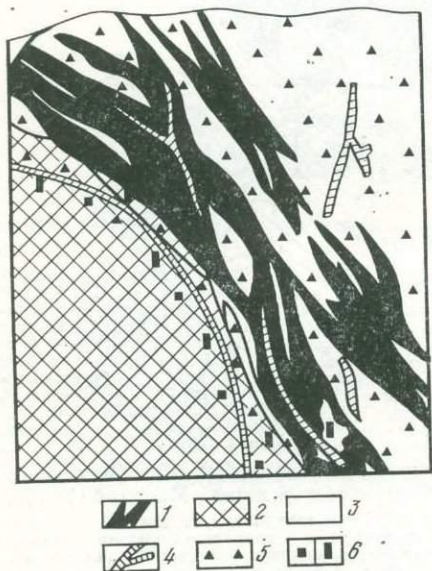


Рис. 12. Форма нахождения аллоклазит-кобальтиновой руды в скарнах. Масштаб 1 : 25.

1 — кобальтин с аллоклазитом, высококобальтистым глаукоцитом, дананитом и выделениями минералов висмута и теллура среди аллоклазита; 2 — магнетитовая руда; 3 — скарны; 4 — прожилки кальцита; 5 — вкрапленности кобальтина и аллоклазита; 6 — вкрапленности пирита и халькопирита

оруденение. Богатых гнездообразных руд почти нет.

Руды Юго-Восточного участка месторождения характеризуются развитием вкрапленности и прожилков аллоклазита и кобальтина в экзо- и эндоконтактных зонах магнетитовой залежи (см. рис. 12). В приконтактных частях магнетит сечется прожилками кальцита и содержит вкрапленность пирита и халькопирита, а также редкие вкрапленники кристалликов кобальтина, аллоклазита и высококобальтистого глаукоцита. Некоторые кальцитовые прожилки переходят во вмещающие гранатовые скарны. Прожилки аллоклазита и кобальтина в эндоконтактной зоне магнетитовой залежи и в рудовмещающих гранатовых скарнах образуют густую сеть. В некотором отдалении от контактной зоны макроскопически наблюдаемое аллоклазит-кобальтиновое оруденение исчезает (см. рис. 11).

Гранатовые скарны вблизи кобальтовородных прожилков несут также вкрапленное и мелкогнездовое оруденение аллоклазита, кобальтина с самородным висмутом, висмутином, теллуридом, парателлуридом, бисмоклитом и теллуrowисмутином в аллоклазите (см. рис. 12).

Граница дайки диабазового порфирида с гранатовыми скарнами, содержащими редкую вкрапленность кобальтина, резкая без заметных

околоконтактных изменений (см. рис. 11). По контакту скарнов с магнетитовой залежью прослеживается зона тектонического нарушения, заполненная перетертой тектонической глиной с кристалликами кобальтина. Аллоклазит-кобальтиновое оруденение в виде вкрапленности и тонких прожилков развито в эндоконтактной зоне магнетитовой залежи, в отличие от вскрытого рассечкой штольни I. Гнездообразные тела, иногда пересеченные кальцитовыми прожилками, наблюдаются также в гранатowych скарнах экзоконтактной зоны. Здесь сравнительно редко наблюдается приуроченность оруденения к мраморам и гранатовым скарнам.

Из всех морфологических типов руд месторождений Дашкесанского рудного района наиболее перспективен жильно-линзовидный тип, развитый по простым и унаследованным структурам с дайками основных

Таблица 3

Минеральный состав руд Южного железо-кобальтового месторождения

Степень распространенности	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы
	рудные	нерудные	
Главные	Магнетит, пирит, халькопирит, кобальтин, аллоклазит, <i>высококобальтистый глаукоdot</i> , арсенопирит, <i>кобальтсодержащий арсенопирит</i> , кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит	Кальцит, кварц, андрадит, гроссуляр, алмадин, пироп, эпидот, хлорит, скаполит, дашкесанит, диопсид	Гидроокислы железа и марганца, эритрин, кальцит, малахит, азурит
Второстепенные	Глаукоdot, <i>данаит</i> , гематит, мушкетовит, галенит, сфалерит, <i>маггемит</i> , молибденит, кубанит, марказит, пирротин, <i>самородный висмут</i> , <i>висмутин</i> , <i>теллуриит</i> , <i>теллуровисмутит</i>	Спессартин, амелист, роговая обманка, авгит, геденбергит, волластонит, тремолит, сфен, ортоклаз, серицит, цеолиты, салит, тальк	Кобальткальцит, <i>скородит</i> , псиломелан, гетерогенит, борнит, <i>дигенит</i> , каолинит, галлуазит, хризоколла, <i>лампадит</i> , гизингерит, стениерит, шульценит, <i>сферокобальтит</i>
Редковстречающиеся	<i>Линнеит</i> , <i>миллерит</i> , <i>сафлорит</i> , <i>валлерит</i> , <i>леллингеит</i> , <i>электрум</i> , золото самородное, <i>серебро</i> , <i>блеклая руда</i> , <i>бисмокит</i> , <i>парателлуриит</i> , <i>бравонт</i>	Альбит, ильвант, десмин, ортит, малахит, апатит, анальцим, алуниит	Ковеллин, <i>халькозин</i> , <i>виоларит</i> , адамин, кобальтадамин, медь самородная, купроадамин, соконит, каламин, пизанит, ярозит, мелантерит, халькантит, пиррофиллит, кальциокопиапит, опал, халцедон, гипс

Минералы	С т а д и и				
	скарновая		гидротермальная		гипергенная
	собственно скарновая	магнетитовая	мышьяково-кобальт-висмутовая	полисульфидная	
1	2	3	4	5	6
Диопсид					
Андрадит					
Волластонит					
Везувнан					
Эпидот					
Кальцит					
Сфен					
Апатит					
Ильменит					
Рутил					
Гроссулярь					
Магнетит					
Гематит					
Пирит					
Кобальтсодержащий пирит					
Кобальтпирит					
Халькопирит					
Дашкесанит					
Ильваит					
Мушкетовит					
Маггемит					
Ортит					
Актинолит					
Альбит					
Кварц					
Хлорит					
Арсенопирит					
Леллингит					
Кобальтин					
Аллоклазит					
Высококобальтистый глаукоdot					
Глаукоdot					
Данаит					
Сафлорит					
Висмут самородный					
Висмутин					
Пирротин					
Теллуриt					
Парателлуриt					
Теллуровисмутит					
Бисмоклиt					
Кубанит					
Серицит					

пород, а также гнездовый и линзовидно-прожилковый тип кобальтового оруденения в лежащем боку магнетитовой залежи среди мраморизованных известняков, скарнов и роговиков.

В составе руд Южного месторождения насчитывается более 100 минералов, в том числе из гипогенных 37 рудных, 32 нерудных (табл. 3).

Последовательность минералообразования на месторождении представлена на рис. 13. Выделяются следующие стадии минерализации:

1) ранняя скарновая, во время которой происходил метасоматоз вмещающих пород с образованием скарнов с диопсидом, андрадитом, волластонитом, везувнаном, сфеном, апатитом, эпидотом, кальцитом I, реже другими минералами контактовых зон туфогенно-карбонатных пород;

2) магнетитовая, выраженная пироксен-гранатовыми скарнами с эпидотом, кальцитом II, магнетитом, гематитом, гроссуляром, ортитом, ильваитом, дашкесанитом, альбитом, актинолитом, пиритом I, халькопиритом I, мушкетовитом, маггемитом, арсенопиритом, данаитом, реже другими минералами. В этой же стадии происходило выделение кобальтсодержащего пирита I в виде мелких прожилков и вкрапленности в ассоциации с мелкозернистым магнетитом;

3) мышьяк-кобальт-висмутовая, характеризующаяся парагенезисом кобальтовых и железо-кобальтовых сульфоарсенидов (кобальтсодержащий арсенопирит, данаит, глаукоdot, высококобальтистый глаукоdot, кобальтин, аллоклазит), реже арсенидов (сафлорит, лел-

1	2	3	4	5	6
Валлериит				■	
Линнеит				■	
Миллерит				■	
Пентландит				■	
Бравоит				■	
Сфалерит				■	
Галенит				■	
Молибденит				■	
Марказит				■	
Электрум				■	
Анальцим				■	
цеолиты				■	
Тальк				■	
Гизингерит					■
борнит					■
Халькозин					■
Ковеллин					■
Малахит					■
Азурит					■
Виоларит					■
Кволицит					■
Скородит					■
Эритрин					■
Смоляниновит					■
Сферокобальтит					■
Гетерогенит					■
Кобальтмальцит					■
Гетит					■
Гидрогетит					■
Халцедон					■
Опал					■
Характерные парагенезисы минералов	Анрадит + эпидот + кальцит	Магнетит + гематит + эпидот + кальцит + пирит	Арсенопирит + кобальтин + аллоклазит + глаукокодот	Пирит + халькопирит + кварц	Эритрин + борнит + гетит
Характерные парагенезисы элементов	Ca, Mg, Al, Fe, Si, OH	Fe, Cu, S, O, Ca	Fe, Cu, Co, As, Si, S, Bi	Fe, Cu, Co, Ni, S, Zn, Pb, Mo, Bi, Te, O, Au, Ag, As, Si, Cl	Fe, Cu, Co, OH, As, O, S, Ni, Si, Na, Al, Mg

■ 1 — 2 — 3

Рис. 13. Схема последовательности выделения минералов на Южном железо-кобальтовом месторождении.

1 — главные минералы стадий; 2 — второстепенные минералы стадий; 3 — редковстречающиеся минералы стадий

лингит), самородного висмута и висмутина, теллурита, парателлурита, теллуровисмутита, бисмоклита, кальцита III, пирита II, халькопирита II, кварца I, а также хлорита;

4) полисульфидная, наложенная на предшествующие стадии непосредственно или после некоторого перерыва. В эту стадию отлагались кальцит IV, пирит III, кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, халькопирит III, кварц II, хлорит, борнит, молибденит, сфалерит, галенит, марказит, электрум, анальцим, цеолиты.

МОЛЛАГАСАНЛИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Моллагасанлинское кобальтсодержащее полиметаллическое месторождение расположено на правом берегу руч. Молла-Гасанлысу. По данным Г. А. Крутова и Г. Х. Эфендиева, это единственное в Дашкесанском рудном районе кобальтоносное полиметаллическое месторождение.

Кобальтоносное жильное тело приурочено к тектонической трещине северо-западного простирания среди гранодиоритов [42]. Жильная масса состоит из кварц-карбонатного материала, перетертого по зальбандам. Мощность зоны дробления как по падению, так и по простиранию изменяется от 10 до 50 см. Местами наблюдается разветвление жилы на несколько прожилков, проникающих в сильно трещиноватые гранодиориты. Рудные минералы в виде вкраплений и прожилков неравномерно рассеяны в кварц-карбонатной массе.

В составе руд установлены пирит, кобальтсодержащий пирит, сфалерит, арсенопирит, кобальтсодержащий арсенопирит, данаит, галенит, халькопирит, марказит, молибденит и др., а из нерудных минералов — кварц, кальцит, хлорит, серицит и др. Содержание кобальта в пирите 0,01—0,9%, сфалерите 0,01—0,1%, арсенопирите 0,01—1,0%, данаите 2,6—4,5%.

КАШКАЧАЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Кашкачайское кобальтсодержащее медноколчеданное месторождение сложено вулканогенной толщей байос-батского возраста, прорванной Дашкесан-Зурнабадским гранитоидным плутоном.

Морфологически здесь выделяются вкрапленный, вкрапленно-прожилковый и жильный типы оруденения. Вкрапленные и вкрапленно-прожилковые халькопирит-пиритовые руды с минералами кобальта приурочены к порфирирам, кварцевым и бескварцевым диоритам и вторичным кварцитам. Жильный тип кварц-халькопирит-пирит-молибденитовых руд с аллоклазитом и кобальтином развит среди тех же пород по гидротермально-измененным зонам северо-восточного (30—80°) простирания с падением на юго-восток под углами 30—50°.

В медно-серноколчеданных рудах автором [25] обнаружены аллоклазит-кобальтиновые прожилки и вкрапленники гессита с тетрадимитом. Кроме того, в них установлены пирит, халькопирит, молибденит, кобальтсодержащий арсенопирит, кобальтпирит, пирротин, марказит, мельниковит-пирит, борнит, сфалерит, галенит, кобальтин, аллоклазит, тетрадимит, гессит, магнетит, гематит, висмутин, ильменит, рутил, блеклые руды (теннантит), куприт; из нерудных минералов — кварц, кальцит, хлорит, серицит и др.; из гипергенных — гетит, гидрогетит, малахит, азурит, халькозин, ковеллин и др. В медноколчеданной руде аллоклазит и кобальтин составляют 4%, тетрадимит и гессит 1%, халькопирит 90%, другие минералы 5%.

Глава 2

ОРДУБАДСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН

Ордубадский рудный район расположен в южной части Малого Кавказа. В его геологическом строении участвуют терригенно-карбонатные отложения мела и вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы палеогена и антропогена. Широко развит интрузивный магматизм. С постмагматическими процессами связано формирование месторождений и проявлений цветных и редких металлов. Из изученных нами сульфидных месторождений района промышленное значение имеют лишь Кетамское кобальтовое и Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое месторождения.

КЕТАМСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Кетамское кобальтовое месторождение расположено вблизи одноименного селения.

В геологическом строении района месторождения участвуют терригенно-карбонатные отложения верхнего мела, смятые в складки северо-

западного простирания и прорванные амаеллитовым интрузивом Мегри-Ордубадского сложного плутона. Месторождение приурочено к осевой полосе и северо-восточной части синклинальной складки и осложнено многочисленными разрывными нарушениями. Рудовмещающие породы представлены скарнами и эпидозитами юго-западного контактового ореола Мегри-Ордубадского плутона.

Основной рудоконтролирующей структурой является разлом северо-западного простирания с падением СВ 70—75°, проходящий по скарнированным породам, вдоль которого последние перемяты и брекчированы. На участках пересечения разлома с более поздними разрывами интенсивность дробления пород резко увеличивается. Вдоль разлома линейно размещены многочисленные прожилки, жилы и гнезда кварца, кальцита и сульфидов, главным образом пирита.

Зона минерализации по разлому имеет протяженность около 2500 м и мощность 20—80 м. Рудная зона в результате пересечения северо-восточными и субмеридиональными нарушениями разделена на три участка, из которых наиболее интересен Центральный. Рудные скопления представлены в виде неравномерно распределенных по всей зоне линз, гнезд, прожилков, вкрапленников. Наиболее распространены линзовидные рудные тела мощностью местами до 2 м. Минеральный состав руд приведен в табл. 4.

Текстура гипогенных руд вкрапленная, массивная, брекчиевидная; структура руд зернистая, встречаются порфирировидные разности. Нередко кристаллы пирита катаклазированы. Широко развиты явления перекристаллизации и замещения.

Детальные геолого-минералогические исследования сульфидных руд Кетамского месторождения позволили наметить общую схему последовательности минералообразования (рис. 14). Выделяются следующие стадии минерализации:

1) скарновая стадия минерализации, во время которой происходило частичное изменение вмещающих пород и процессы метасомато-

Таблица 4

Минеральный состав руд Кетамского кобальтового месторождения

Степень распространности	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы
	рудные	нерудные	
Главные	Пирит, кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, халькопирит, зигенит	Кварц, кальцит, андрадит, гроссуляр, эпидот, хлорит	Лимонит, гетит, гидрогетит
Второстепенные	Галенит, сфалерит, магнетит, гематит, марказит, линнеит, пирротин	Серицит, альбит	Халькозин, борнит, малахит, ковеллин, каолинит
Редковстречающиеся	Валлешиит, рутил	Ортит	Лейкоксен

Минералы	С т а д и и				
	собственно-скарновая	магнетит-гематитовая	кварц-пиритовая	полисульфидная	гипергенная
1	2	3	4	5	6
Диопсид	—				
Ортит	—				
Андрадит	—				
Эпидот	—	—			
Кальцит	—	—	—	—	
Гроссулярь	—	—			
Рутил	—				
Магнетит		—			
Гематит		—			
Мушкетовит		—			
Кварц			—	—	
Пирит		—	—	—	
Кобальтсодержащий пирит			—	—	
Кобальтпирит			—	—	
Халькопирит		—	—	—	
Пирротин				—	
Валлериит				—	
Линнеит				—	
Зигенит				—	
Сфалерит				—	
Галенит				—	
Молибденит				—	
Марказит				—	
Борнит					—
Халькозин					—
Ковеллин					—
Лимонит					—
Гидрогетит					—
Характерные парагенезисы минералов.	Андрадит + эпидот + кальцит + гроссулярь	Эпидот + кальцит + гроссулярь + кварц	Кальцит + кварц + пирит + халькопирит	Пирит + халькопирит + зигенит	
Характерные парагенезисы элементов	Ca, Mg, Al, Fe, Si, OH	Fe, Cu, Ca, S, Ti, O	Si, O, Fe, Cu, S, Co, Ni	Fe, Co, Ni, Cu, Si, S, Zn, Mo, Pb, O	Cu, Fe, OH, O, S

— 1 — 2 — 3

Рис. 14. Схема последовательности выделения минералов на Кетамском кобальтовом месторождении

1 — главные минералы стадий; 2 — второстепенные минералы стадий; 3 — редковстречающиеся минералы стадий

за под воздействием постмагматических растворов. В эту стадию сформировался парагенезис скарновых минералов — диопсид, ортит, андрадит, эпидот, кальцит I, гроссулярь, реже другие минералы;

2) магнетит-гематитовая, выраженная образованием пироксен-гранатовых скарнов с эпидотом, кальцитом II, магнетитом, гематитом, мушкетовитом, сопровождаемых кварцем I, пиритом I и халькопиритом I;

3) кварц-пиритовая, представленная кварцем II, пиритом II и халькопиритом II;

4) полисульфидная, наложенная на предшествующие стадии непосредственно или вслед за тектоническими нарушениями образовавшихся скарнов. В эту стадию происходило выделение кальцита IV, кварца III, пирита III, халькопирита III, пирротина, валлериита, линнеита, зигенита, сфалерита, галенита, молибденита, марказита и др.

Описываемые руды являются комплексными. Наряду с кобальтом, в них присутствуют в промышленных количествах медь и никель. Содержание кобальта и меди в рудах с глубиной увеличивается.

Вопрос повышенного содержания никеля в рудах Кетамского месторождения всегда привлекал внимание геологов. Проведенные аналитические работы показали, что наличие его объясняется, по-видимому, присутствием зигенита. Содержание кобальта в рудах обусловлено кобальтоносностью отдельных сульфидных минералов и наличием кобальтовых минералов.

Геологическое строение, состав и особенности Кетамского месторождения, а также то, что к юго-востоку от него в районе сел. Килит вдоль контактовой полосы кварцевых монцонитов в скарнированных роговиках также отмечаются минерализованные зоны, несущие кобальтовое и медное оруденение, позволяют рассматривать район месторождения как потенциально-перспективный, заслуживающий проведения детальных поисково-разведочных работ.

Медно-кобальт-никелевое оруденение Килит-Кетамского рудного поля относится к контактово-метасоматическому типу. Однако до сих пор не решен вопрос, с какой интрузивной фазой Мегри-Ордубадского плутона связана рудоносность. Можно предположить, что оруденение связано с наиболее ранней адамеллитовой интрузией, с породами которой непосредственно контактируют скарны и скарнированные породы, являющиеся вмещающими для медно-кобальт-никелевых руд. Однако детальное изучение взаимоотношений адамеллитов со скарно-сульфидными образованиями показывает, что интенсивность и площадь развития последних никак не увязываются с этой интрузией. В то же время гранодиоритовые дайки, являющиеся апофизами второго, более молодого комплекса интрузий, подвержены изменениям в скарновой полосе. Кроме того, минерализованная зона северо-западного направления, приуроченная к гранодиоритам, и расположенная северо-восточнее г. Кетам, несет кобальт-никелевое оруденение. Все это позволяет отнести руды Кетамского месторождения к продуктам второго интрузивного комплекса плутона.

КИЛИТСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое месторождение расположено юго-западнее сел. Килит. Сульфидные минералы здесь были известны местным жителям с давних времен, на что указывает местное название месторождения Кызыл-Чангыл, означающее в переводе с азербайджанского «Золотая осыпь».

Месторождение сложено роговиками и скарнами, образовавшимися за счет метаморфизма нижнетуронских карбонатно-терригенных пород, слагающих Кетам-Килитскую антиклиналь северо-западного простирания. Среди ороговикованных пород выделяются хлоритовые, эпидот-хлоритовые, эпидот-воластонитовые, биотитовые, биотит-актинолитовые и другие разности. В разрезе нередко встречаются скарны и скарнированные известняки с гранатовыми, эпидот-гранатовыми и диопсид-эпидотовыми разностями.

Интрузивные породы представлены дайками и пластовыми инъекциями диабазов, диоритовых порфиритов, гранодиорит-порфиритов. В восточной части месторождения среди четвертичных образований фиксируются выходы монцонитов, которые одни исследователи относят к коренным выходам, другие считают наносными. Эти выходы находятся среди валунно-галечниковых образований в пойме р. Килитчай и с ко-

ренными породами не контактируют. Пробуренная к востоку от этих выходов скважина глубиной 250 м монцитов в коренном залегании не вскрыла. Наличие здесь интрузивных выходов не исключается, если учесть, что месторождение находится близко к выходу адамеллитовой интрузии Мегри-Ордубадского плутона и что скв. 2 на глубине 600 м вскрыла гранодиориты.

Месторождение размещено на северо-восточном крыле антиклинали, переходящей в юго-восточном направлении на правый берег р. Аракс на территорию Ирана, где отчетливо фиксируется вся осевая зона складки. В северо-западном направлении происходит погружение складки. Падение северо-восточного крыла, колеблется от 20 до 40°.

Благоприятное структурное положение месторождения для эндогенного минералообразования предопределено общей интенсивной трещиноватостью всего участка, наличием северо-восточных и северо-западных рудоконтролирующих и рудовмещающих разрывов, развитием дайкового комплекса. Месторождение в структурном отношении представляет собой приподнятый блок в осевой зоне складки, ограничивающейся разрывами, со скрытым гранодиоритовым интрузивом в основании.

Рудное тело сложено типичным штокверком. Выделяются две основные системы трещин, определяющих направление прожилков сульфидных руд; наиболее развиты северо-западные трещины, северо-восточные имеют подчиненное значение. Основными морфологическими типами руд являются прожилково-вкрапленный и жильный.

Прожилковые руды широко распространены. Преобладают прожилки северо-западного и северо-восточного направления. Мощность их местами доходит до 2 см. Более богаты северо-западные прожилки,

Таблица 5

Минеральный состав руд Килитского кобальт-никельсодержащего вольфрамового месторождения

Степень распространенности	Гипогенные минералы		Гипергенные минералы
	рудные	нерудные	
Главные	<i>Пирит, кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, никельсодержащий пирит, халькопирит, магнетит, гематит</i>	Кварц, кальцит, гроссуляр, альбит, диопсид, ортоклаз, эпидот	
Второстепенные	<i>Марказит, сфалерит, пирротин, ильменит, рутил</i>	Хлорит, цеолит, ильваит, актинолит, андрадит	Борнит, халькозин, ковеллин, гетит, гидрогетит, малахит, азурит
Редковстречающиеся	<i>Арсенопирит, галенит, молибденит, кубанит, валлершит, полидимит, зигенит, касситерит, шеелит</i>	<i>Иттроанатит, иттросфен, геденбергит, кристобалит, адуляр, везувиян, волластонит, ортит, биссолит, эгирин</i>	

приуроченные главным образом к центральной и западной частям месторождения. Число прожилков зависит от интенсивности трещиноватости отдельных частей месторождения. Наличие околупрожилковой рудной вкрапленности также влияет на содержание полезных компонентов.

Минералы	С т а д и и				
	скарновая	кварц-карбонатная	касситерит-шеелитовая	сульфидная	гипергенная
1	2	3	4	5	6
Диопсид	■	—			
Альбит	■	—			
Ортоклаз	■	—			
Андрадит	—	—			
Гроссуляр	■	■	—		
Волластонит	—	—			
Везувиян	—	—			
Эпидот	■	—	—		
Геденбергит	—	—			
Кварц	■	■	■	■	—
Кристобалит	—	—	■	■	—
Кальцит	■	—	—		
Иттросфен	■	—	—		
Иттропатит	■	■	—		
ильменит	■	■	—		
Рутил	—	—	—		
Касситерит	—	—	■		
Шеелит	—	—	■		
Ортит	—	—			
магнетит	■	■			
Гематит	—	—			
Арсенопирит	—	—	—		
Пирит	—	—		■	
Кобальтсодержащий пирит	—	—		■	
Кобальтпирит	—	—		■	
халькопирит	—	—		■	
Гейландит	—	—		■	
Натролит	—	—		■	
Сколецит	—	—		■	
Ломонит	—	—		■	
Актинолит	■	■			
Ильваит	—	—			
Хлорит	—	—	—		
Биотит	■	—			
Пирротин	—	—		■	
Кубанит	—	—		■	
Валлериит	—	—		■	
Сфалерит	—	—		■	
Галенит	—	—		■	
Молибденит	—	—		■	
Зигенит	—	—		■	
Полидимит	—	—		■	
марказит	—	—		■	
Борнит	—	—		■	■
Халькозин	—	—		■	■
Ковеллин	—	—		■	■
Малахит	—	—		■	■
Азурит	—	—		■	■
Гетит	—	—		■	■
Гидрогетит	—	—		■	■
Халцедон	—	—		■	■
Опал	—	—		■	■
Характерные элементы стадий	Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Si, OH, F, Ti, PM	Si, Ca, CO ₂ , Al, Fe, Mg, PM	Sn, W, Ca, Ti, Fe, Mg, Mn, Al, Si, K, F, OH, PM	Fe, Cu, Co, Ni, Zn, Mo, S, OH, S, Ca, Sr, As, Ke, Te, PM	Cu, Fe, Ca, Mn, OH, S, Na, Al, Mg

■ 1 ■ 2 — 3

Рис. 15. Схема последовательности выделения минералов на Килитском кобальт-никельсодержащем вольфрамовом месторождении

1 — главные минералы стадий; 2 — второстепенные минералы стадий; 3 — редковстречающиеся минералы стадий

Руды жильного типа характерны для восточной части месторождения и отличаются содержанием вольфрама. Установлено более 10 жил мощностью до 0,5 см с северо-восточным простиранием и северо-западным падением. Жилы большей частью ветвящиеся, сложены они в основном кварцем, шеелитом и касситеритом.

Минеральный состав руд приведен в табл. 5.

В общей схеме последовательности минералообразования намечаются два этапа, подразделяющиеся на следующие стадии минерализации (рис. 15):

1) **скарновая**, характеризующаяся образованием скарновой минеральной ассоциации, сформировавшейся в результате контактового метаморфизма нижнетуронских карбонатно-терригенных пород. В эту стадию выделились наиболее ранние минералы — диопсид, геденбергит, альбит, ортоклаз, андрадит, гроссуляр, волластонит, везувиан, эпидот, кварц, кристобалит, иттросфен, иттропатит, ильменит, рутил, биотит, хлорит, цеолиты и ильваит;

2) **кварц-карбонатная**, представленная в основном кварцем, кристобалитом, кальцитом; реже — иттросфеном, иттропатитом, ильменитом, рутилом, ортитом, магнетитом, актинолитом, ильвантом, хлоритом и биотитом. Образовавшаяся в эту стадию кварц-карбонатная минеральная ассоциация слагает прожилки в скарнах и среди ороговикованных пород, замещает амфибол-пироксеновые апоскарны и вмещающие породы около лежащего и висящего бока залежи;

3) **касситерит-шеелитовая**, представленная шеелитом, кварцем, касситеритом, кальцитом, с незначительным количеством ортоклаза, эпидота, геденбергита, иттропатита, иттросфена, арсенопирита, хлорита и др. Образовавшаяся в эту стадию касситерит-шеелитовая минеральная ассоциация слагает тонкие прожилки и вкрапленники в скарнах;

4) **сульфидная**, следующая за межстадийными тектоническими подвижками и накладывающаяся на более ранние стадии. Она характеризуется выделением кварца, кальцита, арсенопирита, кобальтпирита, халькопирита, цеолитов, актинолита, хлорита, пирротина, кубанита, валлериита, сфалерита, галенита, молибденита, зигенита, полидимита и марказита.

Глава 3

КЕЛЬБАДЖАРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН

Данный район входит в Севано-Карабахскую металлогеническую зону. В его геологическом строении участвует сложнофациальный комплекс вулканогенно-осадочных образований от байоса до современных включительно общей мощностью более 9000 м. В районе известен ряд ртутных и хромитовых месторождений и рудопроявлений с кобальтом и никелем, размещение которых контролируется зонами продольных глубинных разломов северо-западного простирания, зародившихся на ранних этапах становления эвгеосинклинали Малого Кавказа. Никелевая и кобальтовая минерализация была детально изучена на Шорбулагском, Агкаинском и Агягаском ртутных и Гейдаринском хромитовом месторождениях. В результате автор пришел к выводу, что кобальт и никель здесь при комплексном использовании руд может представить практический интерес. Кроме того, возможно обнаружение более богатой кобальтовой и никелевой минерализации на глубине.

ШОРБУЛАГСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Шорбулагское никель-кобальтсодержащее месторождение ртути расположено в пределах Севано-Карабахской металлогенической зоны. Оно сложено вулканогенно-осадочными и осадочными образованиями юры и мела мощностью более 600 м, гипербазитами, позднеэоценовыми габброидами и малыми интрузивами кварцевых диоритов.

Основной складчатой структурой района месторождения является Ванкская антиклиналь северо-западного простирания, существенную роль играют также мелкие поперечные складки северо-восточной ориентировки. Широко развиты ранние продольные разрывы северо-западного направления, представленные сбросами, реже взбросами и поздние поперечные сдвиги северо-восточного и субмеридионального простирания. Разрывы сопровождаются зонами трещиноватости протяженностью до 1—2 км и более, заполненными тектонической брекчией, которая подвергнута гидротермальному метасоматозу (карбонатизации, окварцеванию, каолинизации) вплоть до образования лиственитов и лиственитоподобных пород кварц-карбонатного состава.

Ртутное оруденение приурочено к лиственитам, представленным кварцевыми, кварц-карбонатными, карбонатными и тальк-карбонатными разностями. Особенно повышенное оруденение ртути обнаруживается в зонах разрывов. Рудовмещающими являются аргиллиты, алевролиты и порфириты нижнего сенаона и оталькованные и карбонатизированные серпентиниты.

Сложное тектоническое строение месторождения, наличие крупного глубинного разлома и многочисленных разрывных нарушений наложили отпечаток на морфологию и структуру рудных тел и способствовали широкому проявлению метасоматоза. На месторождении выделяются семь ртутоносных зон, представленных лиственитами и гидротермально-измененными породами (рис. 16) протяженностью до 350 м. Главный рудный минерал — киноварь — образует вкрапленники, прожилки, примазки по плоскостям трещин, мелкие линзообразные скопления. Распределение ртутного оруденения внутри рудных тел крайне неравномерно.

В минеральном составе руд кроме киновари и метациннабарита установлены пирит, халькопирит, сфалерит, гематит, никелин, кобальтсодержащий никелин, раммельсбергит, кобальтраммельсбергит, парараммельсбергит и др. Из нерудных минералов присутствуют кварц, доломит, анкерит, кальцит, барит. В связи с детальными исследованиями кобальтовых и кобальтсодержащих руд месторождений азербайджанской части Малого Кавказа большое внимание было уделено вещественному составу руд и пород Шорбулагского месторождения. В результате наряду с указанными главными рудными и нерудными минералами был выделен ряд сопутствующих соединений никеля, мышьяка, теллура и висмута (вышеназванные никелин, кобальтраммельсбергит, парараммельсбергит, а также теллуровисмутит, ваэсит, аннабергит, арсенолит и др.). Все эти минералы представляют собой изоморфные соединения и встреча-

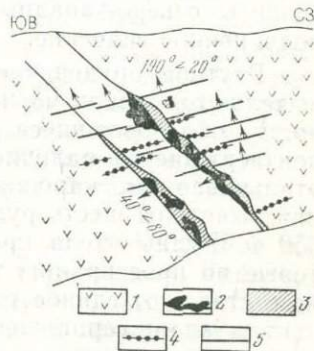


Рис. 16. Морфология никелевого оруденения. Шорбулагское ртутное с кобальтом и никелем месторождение; стенка шторка. Масштаб 1:50.

1 — лиственит; 2 — никелин, раммельсбергит, кобальтраммельсбергит, парараммельсбергит; 3 — вторичные минералы никеля; 4 — прожилки кальцита; 5 — трещины

ются всегда в сростании друг с другом или образуют твердые растворы.

Арсениды никеля и продукты их вторичного изменения (аннабергит, арсенолит) связаны с рудовмещающими лиственитами. Никелевые минералы в лиственитах образуют прожилки мощностью до 0,5 см, приуроченные к трещинам северо-восточного простирания ($10-35^\circ$) с углами падения $40-50^\circ$ на северо-запад. Встречаются нитевидные полоски аннабергита и арсенолита. Последние часто образуют глинистую массу ярко-зеленого цвета в оторочках вкрапленников и вдоль прожилков никелина и раммельсбергита (см. рис. 16).

Наличие арсенидов, теллуридов и сульфидов никеля и кобальта в полосе развития ультраосновных и основных пород свидетельствует о возможной перспективности Севано-Карабахской зоны на эти полезные ископаемые.

АГКАИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Агкаинское ртутное с кобальтом и никелем месторождение расположено в окрестностях одноименного селения. В геологическом строении месторождения участвуют вулканогенно-осадочные образования и известняки нижнего и верхнего сенона. Нижнесенонские отложения представлены серицитовыми сланцами, туфопесчаниками, красноцветными аргиллитами, перекристаллизованными известняками. В северо-западной части месторождения обнажаются известняки верхнего сенона мощностью более 250 м. Интрузивные породы выражены серпентинизированными перидотитами, габброидами, диоритовыми порфиритами и кварцевыми диоритами. Наиболее молодыми магматическими образованиями являются миоплиоценовые субвулканические тела андезитов и андезито-дацитов.

Месторождение приурочено к одному из сложных узлов Севано-Карабахской тектонической зоны — к стыку Джалилли-Сарыдали-Агкаинского глубинного разлома с Карабахским надвигом, где широко развиты северо-западные и субширотные разрывы. Последние имеют подчиненное значение.

Ртутное оруденение локализуется в лиственитах, среди которых выделяются кварц-магнетитовые, кварц-брейнеритовые и другие разновидности, образовавшиеся за счет пород серпентинитового состава, что подтверждается наличием в них гнезд и линз серпентинитов, обычно оталькованных, карбонатизированных, окремненных. На месторождении выявлены шесть рудных зон протяженностью от 100—120 до 300—350 м. Рудные тела представлены линзообразными лиственитами, которые по простиранию то разветвляются, то соединяются, а на глубине составляют единое тело. Отдельные рудные зоны приурочены к контактам кварц-серицитовых сланцев и известняков с серпентинитами и габброидами, а также серпентинитов с габброидами. Содержание ртути 0,02—0,5%.

Киноварь образует прожилки, вкрапленники, налеты и корочки по трещинам, гнездообразные скопления и наиболее часто ассоциирует с кварцем и кальцитом. Из сопутствующих наиболее характерны никель, кобальт, медь, цинк, хром, ванадий, сурьма и мышьяк. Киноварь редко ассоциирует с никелином и кобальтраммельсбергитом.

Установлено распространение оруденения на север от месторождения.

АГЯТАГСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Агятагское ртутное с кобальтом и никелем месторождение приурочено к стыку юго-западного крыла Алмалы-Гейдаринского антиклинория с Кельбаджарской наложенной мульдой. Рудное поле имеет длину более 10 км; в его пределах развиты отложения нижнего и верхнего мела, среднего эоцена и миоплиоцена. Широко представлены ультраосновные породы, прорванные позднеэоцен-олигоценными интрузивами габброидов и малыми интрузивами кварцевых диоритов. Наблюдаются также миоплиоценовые субвулканические дайкообразные и неправильные тела андезитового и андезит-дацитового состава.

Мощность нижнесенонских диабазов, порфиритов, туфов, лавобрекчий, аргиллитов, известняков, песчаников достигает 400 м. Большое распространение имеют красно-бурые аргиллиты, известково-глинисто-кремнистые породы, алевролиты, известняки, яшмовидные породы с прослоями песчаников, туфов и порфиритов мощностью около 200 м, составляющие верхний горизонт нижнего сенона. Ртутные проявления приурочены к породам этого горизонта или же к зоне его контакта с серпентинитами, вдоль которого последние интенсивно раздроблены и превращены в кварц-карбонатные породы.

Кампан-маастрихтские пелитоморфные известняки распространены ограниченно; обнажаются они лишь в северо-западной части рудного поля в районе горы Эйват, а по восточному ее склону срезаются разрывом субмеридионального направления.

В юго-западной части рудного поля на меловые отложения несогласно налегает мощный (более 500 м) комплекс вулканогенных образований среднего эоцена, дислоцированный в пологие складки север-северо-западного простирания; перекрывается он миоплиоценовыми туфолавами дацитов. В среднеэоценовых образованиях коренные ртутные проявления не установлены.

Агятагское месторождение характеризуется сложным ступенчато-блоковым строением. Отдельные блоки разграничиваются общекавказскими разломами глубокого залегания. Рудное поле представляет собой полосу широко развитых разрывов и мелкой трещиноватости северо-западного простирания вдоль основного разлома. Среди разрывных структур выделяются две системы. Более ранние продольные разрывы северо-западного и субширотного простирания с крутыми углами падения $50-80^\circ$ на северо-запад, реже на юго-восток характеризуются большой протяженностью, сложной морфологией, широким развитием интенсивно раздробленных гидротермально-переработанных пород с ртутоносностью.

В пределах месторождения выделяются три участка, на первом выявлено рудное тело с прожилково-вкрапленным оруденением. Киноварь наблюдается в виде сильно раздробленной сыпучей массы с густой вкрапленностью кальцита без признаков пострудной деформации. Вмещающими породами являются тектонические брекчии, серпентиниты, листвениты, дациты и др. Все вмещающие породы на месторождении и вблизи от него имеют повышенное содержание ртути. На втором участке на глубине 110 м установлено скрытое тело прожилково-вкрапленных руд.

ГЕЙДАРИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Гейдаринское никель-кобальтсодержащее хромитовое месторождение расположено в водораздельной части рек Соютлучай и Истибулаг и приурочено к осевой полосе Сарыбабинского синклинория. Оно сло-

жено серпентинизированными гарцбургитами, контактирующими с массивом габбро-амфиболитов и с вулканогенно-осадочными отложениями сантона.

Рудные тела хромитов обладают шпироподобной, линзовидной и гнездообразной формой. Приуроченная к ним никель-кобальтовая минерализация имеет гнездообразный характер. В состав руд входят хромшпинелиды, оливин, серпентин, в качестве второстепенных минералов отмечены хромсодержащие силикаты (хромхлориты, хромдиопсид и хромгранат), пентландит, высококобальтистый пентландит, хизлевудит, миллерит, пирротин, гарниерит, магнетит, самородная медь, карбонаты магния и кальция, тальк и опал. Следует отметить, что высококобальтистый пентландит, хизлевудит, кобальтсодержащий миллерит и пирротин обнаружены в рудах с помощью микрозонда MS-46 «Камека».

Никель-кобальтовая минерализация выявлена также в рудах Зайдаринского, Николаевского, Кязимбининского, Хотованского, Гавриловского и Ипякского месторождений и рудопроявлений. Рудные тела хромитов, приуроченные к линзовидным шпировым обособлениям дунитов, на глубину изучены недостаточно.

Часть II

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ КОБАЛЬТОВЫХ И КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ РУД

Минеральный состав кобальтовых и кобальтсодержащих руд рассматриваемых месторождений Азербайджанской ССР отличается большим своеобразием. Многостадийный процесс минералообразования, протекавший длительное время в различной геолого-структурной и физико-химической обстановке, обусловил появление большого числа минералов, отличных по составу, свойствам и условиям формирования.

В целом в составе руд насчитывается более 125 минералов, в том числе 70 гипогенных и 55 гипергенных. Наибольший интерес с минералогической и практической точек зрения представляют минералы гипогенного происхождения. Они характеризуются большим разнообразием видов, начиная от высокотемпературных силикатов и кончая низкотемпературными образованиями.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Минеральный состав руд исследовался в полевых и лабораторных условиях комплексом современных минералогических методов с привлечением химического (в основном на микроанализаторах MS-46 французской фирмы «Камека» и JXA-50A японской фирмы «Джеол»), микрохимического, спектрального, рентгенофазового (дифрактограмма и дебаеграмма) и других видов анализов.

С появлением микроанализаторов с электронным зондом стало возможным получать достаточно точные данные о химическом составе минералов микронных размеров, изучать неоднородность состава минеральных зерен и монокристаллов, исследовать явление изоморфизма, определять состав сосуществующих микроминералов и микровключений. Методами обычного химического анализа многие из этих задач решить не удавалось, так как состав мельчайших микровключений попадал в общий валовый анализ и искажал его результаты. Большинство микровыделений вообще невозможно было проанализировать, а, как показал опыт, многие ценные для промышленности элементы образуют в рудах собственные микроминералы.

Рентгеноспектральный микроанализ проводится с хорошо отполированной поверхности аншлифа или шлифа размерами не больше 25×40 мм при высоте не более 8 мм. Минимальный размер зерен для количественного анализа 10×10 мкм, для качественного и полуколичественного — около 1 мкм. Микроанализатор оснащен четырьмя кристаллами-анализаторами, с помощью которых можно проводить анализ на все элементы от натрия до урана:

Кристалл LiF: по K-серии от 26 Fe до 40 Y,
по L-серии от 64 Cd до 92 U.
Кристалл SiO₂ с плоскостью отражения (10 $\bar{1}$ 1):
по K-серии от 20 Ca до 32 Ge,
по L-серии от 51 Sb до 80 Hg.
Кристалл PET: по K-серии от 15 P до 27 Co,

по L-серии от 38 Sr до 68 Er.
по M-серии от 74 W до 92 U.
Кристалл КАР: по K-серии от 11 Na до 16 S,
по L-серии от 25 Mn до 41 Nb,
по M-серии от 58 Ge до 81 Tl.

В наших исследованиях количественный анализ самородных золота и серебра и их соединений, минералов висмута, сульфидов железа, никеля, кобальта, минералов теллура и различных арсенидов проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе 20 нА. Диаметр зонда около 1 мкм. В качестве эталонов применялись чистые металлы Au, Ag, Bi, Fe, Co, Ni, Cu, Te, Sn, Sb, а также никелин NiAs, пирит FeS₂, халькопирит CuFeS₂, арсенопирит FeAsS, висмутин Bi₂S₃, галенит PbS, клаусталит PbSe, сплавы Au и Ag различных составов.

Анализ проводился по рентгеновскому характеристическому излучению различных серий. Так, по K-серии анализировались элементы Fe, Ni, Co, Cu, Se, As, S. Поскольку K_α-излучение мышьяка почти полностью совпадает с L_α-излучением свинца, качественный анализ на эти элементы проводился по AsK_β- и PbL_β-линиям или по M_α-линии свинца. При совместном присутствии этих элементов количественный анализ осуществлялся по β-линиям. Элементы Ag, Au, Bi, Te анализировались по L_α-излучению. В некоторых случаях анализ на Au и Bi осуществлялся по M_α-линиям.

Данные измерений обработаны на ЭВМ по специальной программе. Для поправочного коэффициента на поглощение использована формула Филибера, модифицированная Хейнрихом, для поправочного коэффициента на атомный номер — формула Данкамба и Шилдс, для расчета влияния характеристической флуоресценции — формула Рида. В качестве значений массовых коэффициентов поглощения использовались данные Хейнриха.

Анализ кислородсодержащих минералов проводился в шлифах или аншлифах, на поверхность которых напылялась тонкая пленка углерода, так как эти минералы, как правило, не электропроводны. В качестве эталонов использовались природные и синтетические магнетит на Fe, рутил на Ti, касситерит на Sn, вольфрамит на W, молибденит на Mo, апатит и кальцит на Ca и P, колумбит на Ta и Nb, марганцевый гранат на Mn, хромит на Cr, Re и V, синтезированный иттрий-алюминиевый гранат на Y, а на другие редкоземельные элементы — монацит.

Анализ проводился при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе 30 нА. В качестве аналитических линий использовались линии K_α-серии для всех элементов, кроме Sn, W, Ta, Nb, Re и редкоземельных, которые анализировались по L_α-серии. Состав мелких включений или тонких каемок около минералов определялся вначале качественно, а затем количественно. Расчет истинных концентраций проведен на ЭВМ.

Химический анализ рассматриваемых минералов выполнен в ИГЕМ при консультации И. П. Лапутиной.

Измерения коэффициентов спектров отражения в диапазоне длин волн от 440 до 740 нм произведены в ИГЕМ на приборе ПИОР при консультации Л. Н. Вяльсова, а в диапазоне от 740 до 1100 нм — в ЦНИГРИ на установке ФМЭ при консультации Л. И. Бочек. Все измерения проведены в одних и тех же условиях. Направление колебаний поляризатора перпендикулярно к плоскости падения света, т. е. исследовалась R_s-компонента. Спектральная частота излучения соответствовала 3 нм. Диаметр освещаемого участка 30 мкм, фотометрируемого — 10 мкм. Опорные эталоны — карборунд, кремний и пирит.

Инфракрасно-спектрометрические исследования (ИКС) минералов выполнены в Институте геологии АН АзССР на приборе ИКС-ИР-20 Х. И. Махмудовым.

Микротвердость минералов определена в основном в ИМГРЭ при консультации С. И. Лебедевой. Для этого был применен микротвердомер ПМТ-3 с использованием четырехгранной алмазной пирамиды с углом 136° . Для исследуемых минералов нагрузка колебалась от 0,1 до 2Н. Величина микротвердости H вычислялась по формуле

$$H = \frac{1,82 P}{d^2} \cdot 10^7 \text{ Па,}$$

где P — нагрузка, Н; d — длина диагонали отпечатка пирамиды, мкм.

При исследовании минералов со средневыраженной анизотропией твердости $K_H = 1,12—1,20$ среднюю твердость $H_{\text{ср}}$ вычисляют по 9—15 замерам на различных зернах. Коэффициент анизотропии твердости K_H в минералах равен отношению максимального и минимального значений твердости, полученных для одного минерала.

Для диагностики рудных минералов применялось *структурное травление*, позволяющее выявить внутреннее строение зерен (двойники, зональность роста, фигуры деформации), спайность и границы зерен, а также внутреннее строение агрегатов. Для травления применялись следующие стандартные реактивы: HNO_3 и HCl (концентрированные), KCN и FeCl_3 (20%-ный раствор), KOH (40%-ный раствор), HgCl_2 (5%-ный раствор) и царская водка.

Качественный микрохимический анализ проводился методами: кристаллооптическим, капельным, отпечатков и окрашивания. Работа выполнена на кафедре минералогии МГУ при консультации С. С. Борншанской.

Плотность d минералов определена в ИМГРЭ В. Ф. Недобой методом непосредственного измерения объема и массы данного минерала из микронавески от 5 до 20 мг.

Рентгеновские исследования редковстречающихся минералов, которые микроскопически наблюдались в очень малых количествах (зигенит, линнеит, карролит, миллерит, саффорит, хизлеудит и др.), проведены на приборе VPC-55PKD ($D = 57,3$ мм; Fe-излучение; ток 14 мА; экспозиция 15, 35 и 70 ч). Материал для исследования был получен с помощью ПМТ-3; порошок каждого из исследуемых минералов извлекался алмазной пирамидой из аншлифа под микроскопом и закатывался в шарик из резинового клея, который затем и подвергался съемке.

Съемка дифрактограммы аллоклазита, кобальтина, высококобальтистого глаукодота, глаукодота, данаита, арсенопирита и ряда других минералов выполнена в Механобре И. А. Будько на рентгеновском дифрактометре DRON-1 на Fe-излучении с Мп-фильтром; скорость — одна съемка в минуту. В качестве эталона для введения поправок использовался металлический алюминий. Параметры элементарной ячейки исследуемых минералов рассчитаны при консультации И. А. Будько и Б. В. Мустафазаде.

В результате всех проведенных исследований была детально изучена минералогия почти всех известных в настоящее время кобальт- и никельсодержащих руд колчеданных, полиметаллических, сульфоарсенидных, железо-кобальтовых и скарновых месторождений азербайджанской части Малого Кавказа.

Впервые было установлено около 50 новых для данного региона минералов, 30 из которых являются собственно кобальтовыми и ко-

бальтсодержащими, а остальные парагенетически связаны с кобальтовыми рудами.

К вновь обнаруженным кобальтовым и кобальтсодержащим минералам относятся сульфоарсениды кобальта — аллоклазит, высококобальтистый глаукокодот, данаит; моноарсенид кобальта — моддерит (обнаружены только в рудах Северного кобальтового месторождения Дашкесана); диарсенид кобальта — саффлорит и др.; моноарсениды и диарсениды никеля (с кобальтом) — никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит; сульфиды кобальта — линнеит, карролит, зигенит; сульфиды никеля (с кобальтом) — виоларит, миллерит, полидимит, хизлевудит, кобальтпентландит, высококобальтистый пентландит и др. Установлен изоморфный ряд минералов кобальта между аллоклазитом (Co, Fe) AsS и кобальтсодержащим арсенопиритом (Fe, Co) AsS. Отметим, что аллоклазит, моддерит, карролит и данаит установлены впервые не только для месторождений Азербайджана, но и для СССР.

Интерес представляет открытие при детальном исследовании в кобальтовых и кобальтсодержащих рудах висмутовых, теллурических и сербротеллурических минералов (самородный висмут, висмутин, теллури-висмутит, тетрадимит, теллури-пирит, парателлури-пирит, гессит, бисмоклит). Выявлены высококобальтистые и никелистые разновидности зонального пирита — кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, никельпирит, высококобальтистый пирит и бравоит. Также впервые для месторождений АзССР в кобальтоносных сульфидных рудах были обнаружены касситерит, шеелит, иттропатит, иттроросфен.

Ниже приведено описание изученных минералов. Даны условия нахождения каждого минерала, парагенезис, морфологические особенности, структура, физические свойства (цвет в отраженном свете, отражательная способность, твердость, плотность и др.), результаты рентгенометрических исследований, спектральных и химических анализов. Минералы описаны в порядке принятой современной минералогической классификации.

Глава 4

ГИПОГЕННЫЕ РУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Самородные элементы

В составе кобальтовых и кобальтсодержащих руд рассматриваемых месторождений были обнаружены самородное серебро, золото, электрум и висмутин.

Золото и серебро. В кобальтоносных сульфидных и сульфоарсенидных рудах золото имеет тонкодисперсный характер и при микроскопических исследованиях обнаруживается только при больших увеличениях.

Условия нахождения. На Северном кобальтовом и Южном железо-кобальтовом месторождениях; образуют тонкорассеянные включения в арсенопирите, кобальтине, кобальтпирите и халькопирите, кварце, иногда в пирите, галените и сфалерите, а в других кобальтоносных сульфидных рудах присутствуют как в самородном виде, в виде электрума, так и в виде теллуридов.

Самородное золото и серебро встречаются либо в тесном сростании с главными рудообразующими минералами в сплошных, реже во вкрап-

ленных рудах, либо в более поздних секущих кварцевых жилах. Мощность этих жилок изменяется от долей миллиметра до 10—15 см, реже 15—25 см. В сплошных кобальтин-аллоклазитовых, арсенопирит-данаитовых, пирит-кобальтпиритовых, пирит-халькопиритовых и прожилково-вкрапленных халькопирит-пиритовых рудах самородное золото и серебро находятся в тесных парагенетических ассоциациях с самородным висмутом, висмутином, гесситом, тетрадимитом, халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, кобальтином, аллоклазитом, глаукодомом, арсенопиритом, саффоритом, данаитом, теллуrowисмутином, борнитом, теннантитом, сфалеритом, галенитом, магнетитом, кварцем, гранатом, кальцитом и хлоритом. Мельчайшие зерна электрума были обнаружены также в саффорите среди халькопирита при просмотре полированных шлифов с большим увеличением.

Четкой пространственной закономерности распространения золота в рудных телах не отмечается.

Морфология. В халькопирите, пирите, кобальтпирите, арсенопирите, кобальтине, теннантите и в кварце выделения самородного золота наблюдаются в виде зерен разнообразных очертаний: комковатые, лапчатые, изометрические, изогнутые проволочные выделения, пленки, чешуйки, жилки, сростки кристаллов, дендриты и неправильные пластинчатые выделения. В халькопирите, пирите и кварце наблюдаются мельчайшие вкрапления золота. В арсенопирите, кобальтине и халькопирите самородное золото наблюдается в виде тончайших волосовидных прожилков до слабоудлиненных и изометрических выделений и причудливых сростков размером от 0,01 до 0,2 мм. Размер отдельных золотинок колеблется от едва видимых (при максимальных увеличениях микроскопа около 1 мкм) до $0,2 \times 0,8$ мм.

Таким образом, самородное золото с серебром в халькопирите, реже в кобальтине и арсенопирите находятся в сростках с одним или одновременно с несколькими минералами, образуя тесные парагенетические ассоциации со всеми главными рудообразующими минералами. В пирите и кобальтпирите единичные зерна золота неправильных угловатых очертаний были встречены в парагенезисе с электрумом и халькопиритом. Тесная взаимосвязь Cu и Au—Ag показывает, что Au—Ag в виде примеси находится главным образом в пиритовых, кварц-пиритовых и пирит-халькопиритовых рудах.

Золото и серебро в кобальтовых рудах тяготеют в основном к участкам, обогащенным халькопиритом. Устанавливается, что содержание их увеличивается от пирита к халькопириту и от кобальтина к арсенопириту. На некоторых участках Южного и Северо-Восточного месторождений в кварцевых прожилках наблюдается самородное серебро в сростании с электрумом и самородное золото в коллоидно-дисперсном состоянии, иногда дендритными сростками, проволочками размером от 0,01 до 0,2 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет самородного золота на фоне халькопирита ярко-желтый, а на фоне арсенопирита, кобальтина, пирита и кварца, а также на контакте халькопирита с кварцем — светло-желтый.

Самородное серебро на фоне халькопирита, пирита, арсенопирита, кобальтина и кварца белое. Электрум на фоне кобальтина, арсенопирита и халькопирита бледно-желтый, а на фоне пирита и кобальтпирита — светло-желтый со слабым кремевым оттенком; на фоне кварца — серебряно-белый. Золото, серебро и электрум изотропны. Отражательные способности этих минералов высокие, намного выше, чем у халько-

Таблица 6

Спектры отражения самородного золота, электрума, серебра и висмута, %

Длина волны, нм	Золото	Электрум	Серебро	Висмут
	обр. 585	обр. 121	обр. 210	
440	36,0	63,6	90,2	63,9
460	38,6	65,7	92,8	64,1
480	44,0	68,7	93,4	65,6
500	52,6	73,3	94,0	66,8
520	62,8	78,8	94,8	68,1
540	72,4	84,5	95,7	70,0
560	75,8	86,0	96,2	72,1
580	78,2	87,5	96,8	73,7
600	79,6	88,3	97,0	74,6
620	81,4	89,4	97,4	75,4
640	82,8	90,1	97,8	76,6
660	84,2	91,8	98,0	77,8
680	85,8	92,0	98,2	78,0
700	86,4	92,8	98,6	78,2
720	86,8	93,6	98,8	78,6
740	88,2	94,8	98,4	78,7

Примечание. Обр. 585 — из Северного кобальтового, обр. 121, 210 — из Южного железо-кобальтового месторождений.

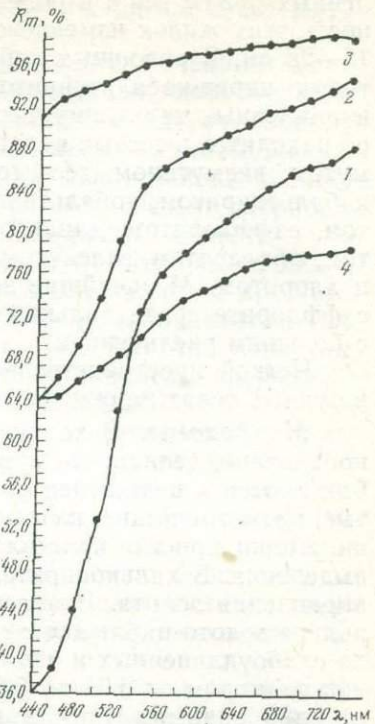


Рис. 17. Спектры отражения (R_m) самородного золота (1), электрума (2), серебра (3) и висмута (4) из Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 121 и 210)

пирита. Результаты измерения спектров отражения самородного золота, серебра и электрума приведены в табл. 6 и на рис. 17.

Твердость H самородного золота, серебра и электрума при нагрузке $P=0,2Н$ по данным десяти замеров следующая (в ГПа):

$$\begin{aligned}
 H &= 0,51-0,59, \quad H_{ср} = 0,53 \quad \text{для золота;} \\
 H &= 0,43-0,57, \quad H_{ср} = 0,51 \quad \text{для серебра;} \\
 H &= 0,47-0,56, \quad H_{ср} = 0,52 \quad \text{для электрума.}
 \end{aligned}$$

Травление. Ряд исследователей в качестве травителей золота до сих пор использовали лишь давно известные реагенты: царскую водку, растворы хромового ангидрида в соляной кислоте (1:1) и цианистого калия. Н. В. Петровская (1973 г.) в качестве травителей золота применяла растворы цианистого калия (5—20%-ный раствор с примесью 1% NaOH). Автором в результате такого же травления получены тонкие детали структуры зерен и агрегатов самородного золота, серебра и электрума.

Химический состав. Исследованные аншлифы изготавливались при использовании наборов алмазных паст; тщательно подготовленные их поверхности покрывались углеродной пленкой (вакуумное напыление). Исследования проводились на электронно-зондовом микроанализаторе MS-46 «Камека» при максимално сжатом электронном луче (1,5—2,0 мкм), ускоряющем напряжении 10—30 кВ и токе 10—20 мА, проходящем через образец. Лишь в отдельных участках аншлифов были выявлены повышенные концентрации, особенно серебра в виде включений

в золоте собственных минералов. Количественные определения, а также другие виды анализов проводились только для золота и серебра.

Распределение золота и серебра исследовалось тремя способами: сканированием золотин по профилю с записью интенсивности аналитической линии золота и серебра вдоль выбранного золота (Au), электгрума ($Au-Ag$) и серебра (Ag) по площади с получением растровых изображений в характеристическом рентгеновском излучении — AuL_{α} , AgL_{α} точечными количественными анализами. Записи концентрационных кривых по выбранным профилям производились не только для золота, но и для серебра, что позволяло контролировать полученные данные. Скорость перемещения аншлифа под зондом разная: от 70 до 200×200 мкм и т. д.

Для установления степени типичности распределения золота и серебра в кобальтовых и кобальтсодержащих минералах анализировались несколько золотин из Северного кобальтового и Южного железо-кобальтового месторождений.

Растровые изображения золотин в рентгеновском излучении золота и серебра были достаточно четкими лишь при различии содержаний этих элементов в смежных участках, вариации их содержаний указаны в табл. 7 и на рис. 18, 19 и 20. Количественному анализу подвергались центральные и краевые части выделений золота, неоднородность которых предварительно исследовалась при помощи методов минераграфии и электронной микроскопии. Используемая методика позволяла определять содержание серебра (в золоте) и золота (в серебре) от 0,1% и выше; однако при малых содержаниях погрешность определений существенно возрастала.

Во всех исследованных выделениях золота, электгрума и серебра (см. табл. 7) установлено неравномерное распределение серебра. Изменчивость его содержания в различных частях золотин из разных участков рассматриваемых месторождений неодинакова.

В кобальтоносных сульфидных и сульфоарсенидных рудах и в отдельных минералах концентрация серебра в краевых зонах отличается от среднего содержания в ядре каждой золотины. Зоны, обогащенные

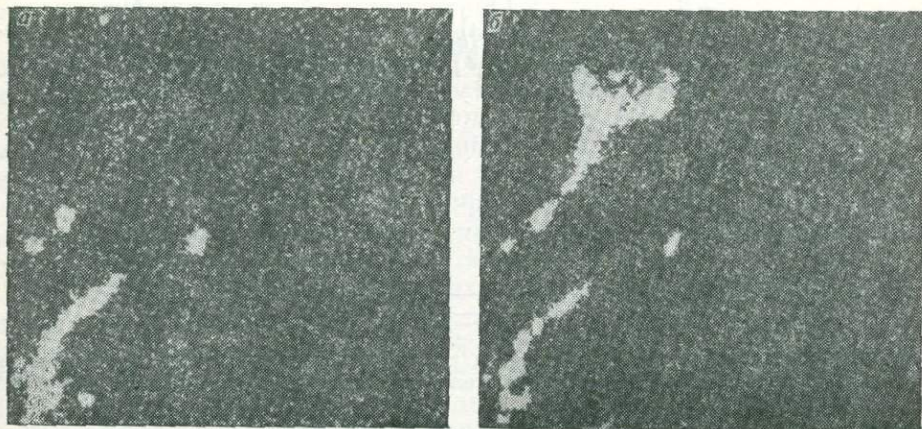


Рис. 18. Участок сканирования размером 200×200 мкм в характеристическом рентгеновском излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121): а — самородного золота — AuL_{α} (белое), б — самородного серебра — AgL_{α} (белое)

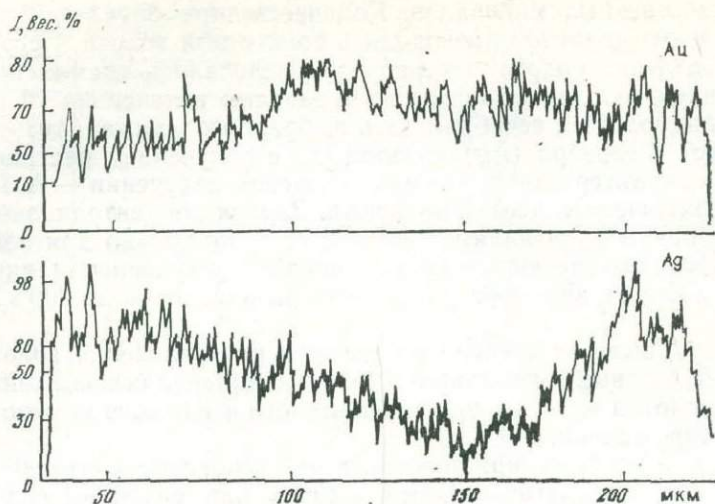


Рис. 19. Кривые распределения золота и серебра по профилю, проходящему через электрум. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121)

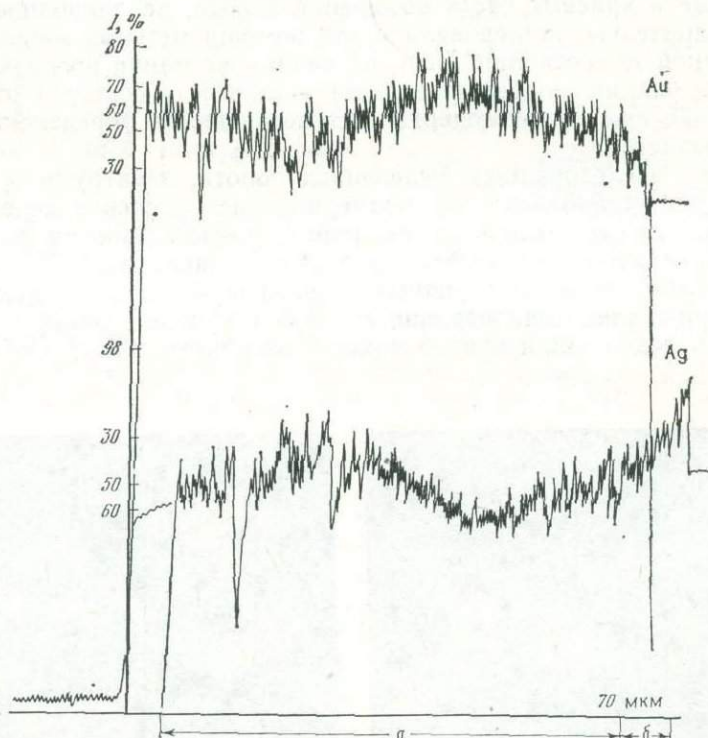


Рис. 20. Распределение золота и серебра по профилю, проходящему через электрум (а) и самородное серебро (б). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121)

золотом и серебром, отчетливо заметны на растровых изображениях (см. рис. 18).

Применение электронного микронзонда позволяет исследовать неоднородное распределение серебра в частицах самородного золота: растровые изображения в рентгеновских лучах (см. рис. 18), а также кон-

Химический анализ самородного золота, серебра и электрума

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %			Коэффициент в формуле	
			Au	Ag	Сумма	Au	Ag
Северное кобальтовое	585	1	82,15	17,19	100,00	1,43	0,57
		2	79,3	29,9	100,00	1,18	0,82
		3	82,1	18,2	100,00	1,42	0,58
		4	80,4	19,7	100,00	1,38	1,62
		5	78,8	22,1	100,90	1,32	1,68
Южное железо-кобальтовое	121	6	75,7	24,1	99,80	1,27	0,73
		7	82,2	18,1	100,30	1,43	0,57
		8	79,8	21,1	100,90	1,35	0,65
		9	82,2	18,2	100,40	1,42	0,58
		10	75,6	25,1	100,70	1,25	0,75
		11	80,4	19,7	100,30	1,42	0,58
		12	80,4	19,7	100,00	1,12	0,88

центрационные кривые (см. рис. 19 и 20). Результаты микронзондовых анализов подтверждают неоднородность распределения серебра в эндогенных выделениях самородного золота из рассматриваемых месторождений; различие содержания в одной золотине достигает 15—20% и выше.

Распространенность золотин с резко неравномерным распределением серебра, с четкими границами участков этого элемента, со структурами, близкими к структурам распада твердых растворов, не согласуется с широко известными представлениями о полной изоморфной смеси золота и серебра в природных условиях. По-видимому, существуют пределы соотношений указанных элементов в самородном золоте, о чем свидетельствует также относительное постоянство максимумов концентрации серебра в большинстве исследованных образцов рассматриваемых месторождений.

Самородный висмут был обнаружен автором в аллоклазит-кобальтиновых рудах Южного месторождения [21], а затем в медно-молибденовых рудах Агюртского месторождения [14].

Условия нахождения. На Южном и Северо-Западном месторождениях самородный висмут в сростании с висмутином приурочен к аллоклазиту и кобальтиту (рис. 21). Он нередко встречается в ассоциации с глаукодомом, данаитом, арсенопиритом, электрумом, теллуrowисмутитом, теллуридом, тетрадимнитом, пирротинном, кобальтпиритом, пиритом, халькопиритом, кварцем, кальцитом и гранатами.

В сульфидных рудах ассоциирует с висмутином, теллуrowисмутитом, электрумом, самородным золотом, серебром и халькопиритом.

Морфология. Формы выделений грушевидные, каплевидные, червеобразные, линзовидные. Размер выделений 0,02—0,03 мм (см. рис. 21). Иногда по кварцевой жиле (в середине интрузии) встречаются дендритообразные формы выделения самородного висмута в сростании с висмутином и ассоциирующие с самородным золотом, электрумом, серебром, халькопиритом, теллуrowисмутитом, пиритом, пирротинном, сфалеритом и магнетитом. Размер выделений самородного висмута здесь достигает 0,05 мм.



Рис. 21. Самородный висмут (1) в сростании с висмутином (2) в аллоклазите (3). Кальцит (черное). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210)

Полированный шлиф, ув. 27



Рис. 22. Включения самородного висмута (белое) в аллоклазите (черное). Сканирование под электронным зондом в характеристическом излучении — BiL_{α} (белое). Участок сканирования размером 80×80 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210а и 210б)

Физические свойства. Характеризуется следующими диагностическими признаками (обр. 210): розовато-желтым цветом, очень высокой отражательной способностью, что исключает его ошибочное определение, отчетливой анизотропностью, сходством с серебром, но в отличие от него розоватым оттенком и положительным эффектом анизотропии. Результаты измерения спектров отражения самородного висмута приведены в табл. 6 (см. рис. 17). От HNO_3 вскипает, от HCl буреет, от

Таблица 8

Химический состав самородного висмута

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле		
			Bi	Co	As	Сумма	Bi	Co	As
Южное железо-кобальтовое	210	1	95,6	0,9	3,5	100,0	0,99	0,01	0,03
		2	99,2	0,8	—	100,0	0,99	0,01	—
		3	99,8	0,2	—	100,0	1,00	—	—
		4	100,0	—	—	100,0	1,00	—	—
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	5	99,1	0,6	0,3	100,0	0,99	0,01	0,001
		6	99,0	0,8	0,2	100,0	0,99	0,01	0,001
		7	99,4	0,5	0,1	100,0	0,99	0,01	0,001
		8	100,0	—	—	100,0	1,00	—	—
		9	99,9	—	0,1	100,0	1,00	—	—
10	98,8	0,9	0,3	100,0	0,98	0,02	0,001		
Агюртское медно-молибденовое	2401	11	100,0	—	—	100,0	1,00	—	—
	2412	12	100,0	—	—	100,0	1,00	—	—

FeCl_3 бурет и выявляется структура, от HgCl_2 медленно бурет, KCN и KOH не действуют. Дает отчетливую капельную реакцию на висмут после травления HCl . От хинина с добавлением KI появляется оранжевое пятно, от тиомочевины — желтое пятно.

Твердость самородного Bi $H = 0,137 - 0,274$ ГПа, $H_{\text{ср}} = 0,196$ ГПа; нагрузка $P = 0,1$ Н.

Химический состав самородного висмута приводится в табл. 8. Кроме того, получены фотографии участка сканирования (рис. 22), кривые распределения Bi , S , As и Co по профилю, проходящему через самородный висмут и аллоклазит (рис. 23).

Сульфиды

Пирит и кобальтсодержащий пирит. Пирит встречается без кобальта иногда с примесями мышьяка и никеля, а кобальтсодержащий пирит содержит кобальт от 0,05 до 1%. Эти минералы из различных кобальтовых и кобальтсодержащих месторождений АзССР были охарактеризованы М. А. Кашкаем [11], Л. П. Кочуровым [15], Г. А. Крутовым и др. [16], К. А. Марковым [18], А. И. Махмудовым [21, 29, 31], Н. Н. Шишкиным [40], Г. Х. Эфендиевым [42] и др.

Условия нахождения. Пирит и кобальтсодержащий пирит исследованы автором в основном из Кетамского и Килитского месторождений. В этих месторождениях среди скарнов различного состава, в магнетитовых, пирит-халькопиритовых, аллоклазит-кобальтиновых, арсенопирит-данаит-глаукоdotовых рудах и в зернах сильно раздробленных диабазов и скарнов пирит и кобальтсодержащий пирит встречены в ассоциации с халькопиритом, кобальтпиритом, кобальтином, магнетитом, аллоклазитом, глаукоdotом, высококобальтистым глаукоdotом, арсенопиритом, данаитом, моддеритом, саффоритом, карролитом, сфалеритом; с редко встречающимися минералами — леллингитом, миллеритом, зигенитом, самородным висмутом, висмутином, теллуровисмутитом, бисмоклитом, валлериитом, кубанитом, пирротинном, кобальтпентландитом, молибденитом, галенитом, электрумом; из нерудных минералов главным образом с кварцем, кальцитом, эпидотом, андрадитом, гроссуляром и хлоритом. Эта парагенетическая ассоциация линнеита характерна для месторождений Дашкесанского рудного района.

Б. П. Нанян выделяет три генерации пирита, две из которых он относит к кобальт-мышьяковой стадии оруденения и третью — к полиметаллической. При этом он указывает, что третья генерация пирита является кобальтсодержащей.

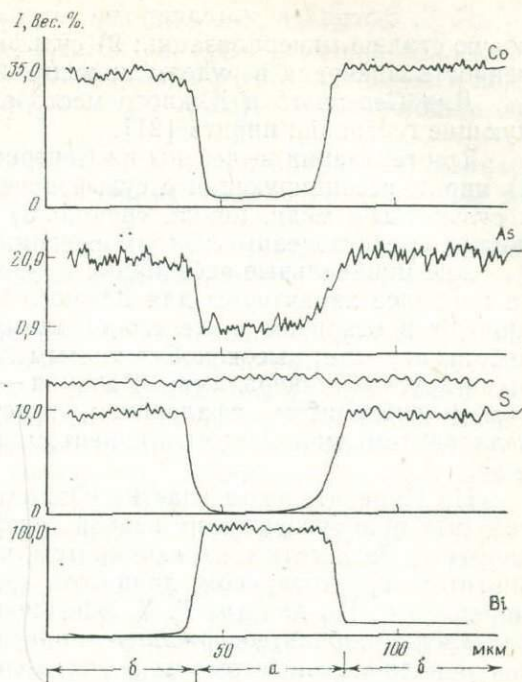


Рис. 23. Кривые распределения Bi , S , As и Co по профилю, проходящему через самородный висмут (а) и аллоклазит (б). Южное железкобальтовое месторождение (обр. 121)

Г. Х. Эфендиев выделяет три генерации пирита: 1) кобальт-мышьяковую стадию минерализации; 2) сульфидную стадию; 3) тонкую вкрапленность минерала в рудовмещающих жильных и боковых породах.

Для Северного и Южного месторождений автором выделены следующие генерации пирита [21].

Три генерации выделены на Северном кобальтовом месторождении: 1) пирит, ассоциирующий с сульфоарсенидами; 2) пирит в ассоциации с сульфидами меди, цинка, свинца; 3) пирит-цеолит-кальцитовые прожилки, представленные колломорфными образованиями.

Две минеральные ассоциации и соответственно две генерации пирита наиболее характерны для Южного месторождения: 1) первая ассоциирует в основном с железо-кобальтовыми минералами, а именно с кобальтпиритом, высококобальтистым глаукодотом, данаитом и некоторыми другими минералами; 2) вторая — с кобальтпиритом, халькопиритом, молибденитом, сфалеритом, галенитом, марказитом, кубанитом, валлериитом, миллеритом, линнеитом, висмутином, теллурувисмутитом и др.

На Пирсултанском участке Южного месторождения под микроскопом был обнаружен пирит первой генерации (пирит I), который ассоциирует с магнетитом, халькопиритом, кобальтином, аллоклазитом, леллингитом, арсенопиритом, данаитом, кальцитом, гранатом, сфалеритом, марказитом. По данным Г. Х. Эфендиева [42], на остальных участках проявления кобальтсодержащего пирита (Ахмедлы, Моллагасанлы, Чанакчи и др.) незначительны в связи со слабой интенсивностью гидротермальной минерализации. Кобальтоносность составляет характерную особенность пирита I.

На Северо-Восточном и Северо-Западном железо-кобальтовых месторождениях в магнетитовых залежах пирит и кобальтсодержащий пирит образуют мелкие вкрапления в массивных магнетитовых рудах и крупнокристаллические скопления в скарнах. Здесь пирит и кобальтсодержащий пирит ассоциируют с магнетитом, гематитом, халькопиритом, кобальтпиритом, кобальтином, аллоклазитом, глаукодотом, арсенопиритом, данаитом, карролитом, сфалеритом, галенитом, пирротинном, кобальтпентландитом; из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом, гранатами, хлоритом, дашкесанитом, актинолитом и другими рудными и нерудными минералами.

На Кетамском кобальтовом месторождении автором установлены три минеральные ассоциации пиритов [29]: 1) кобальтсодержащий пирит, кобальтпирит, зигенит, линнеит, магнетит; 2) кобальтсодержащий пирит, зигенит, халькопирит, марказит, ковеллин, гематит; 3) кобальтпирит, кобальтсодержащий халькопирит, зигенит, линнеит, магнетит, гематит, марказит, ковеллин.

На Килитском кобальт-никельсодержащем вольфрамовом месторождении наиболее распространенным рудным минералом является пирит и кобальтсодержащий пирит. Взаимоотношение с другими минералами указывает на три генерации пирита. Пирит и кобальтсодержащий пирит на этом месторождении распространены в различных скарных породах.

Морфология. Распространены в скарнах различного состава, в магнетитовых и сульфидных рудах, кварц-карбонатных породах, дашкесанитах, роговиках, а также в габброидах и их жильных дериватах. Пирит часто встречается в форме небольших кучных скоплений, вкрапленный, реже прожилков, иногда образует мелкие вкрапления и крупнокристаллические скопления. В нерудной массе образует извилистые неправильные полоски или оторочки. Часто встречаются кристаллы пирита

та неправильной огранки и довольно крупные кристаллы размером от $0,5 \times 0,5$ до 2×3 см и даже более. Иногда расщепленные кристаллы пирита характеризуются изометричными формами и устанавливаются комбинации нескольких простых форм — куб {100}, пентагондодекаэдр {210} или октаэдр {111} {11}.

На Южном месторождении часто встречается крупнокристаллический пирит, имеющий неправильную форму выделения размером от 5 мм до 1 см.

В различных породах и сульфидных рудах Кетамского и Килитского месторождений пирит встречается довольно часто; содержание его в руде до 70—75%.

Пирит I развит преимущественно во вмещающих породах, где наблюдаются все три его разновидности: 1) рассеянная вкрапленность в основной массе кварц-карбонатных пород как правильной, так и неправильной формы с размером вкрапленников до 1×2 мм и менее. Иногда наблюдаются рассеянные ксеноморфные выделения пирита с редкими реликтами прозрачных минералов, с включениями округлой и овальной формы пирротина размером до 0,05 мм, мельчайшие выделения халькопирита и пирротина размером до 0,02 мм; 2) среднезернистые выделения в горизонтально-измененных хлоритизированных кварц-карбонатных породах. Как правило, пирит в этих породах, а иногда и в карбонатных прожилках играет подчиненную роль. Размеры зерен пирита до 1, реже до 2 мм в сечении. В этих породах пирит слагается ксеноморфными зернами с обильными реликтами прозрачных минералов размером от 0,1—0,2 до 1,5—3,0 мм. В нем изредка встречаются мельчайшие выделения пирротина округлой и овальной формы размером до 0,5 мм, иногда в сростании с халькопиритом; 3) крупнозернистые выделения в кварц-кальцитовых прожилках, в массивных, гнездообразных и прожилковых пирит-халькопиритовых рудах среди вмещающих пород. Пирит в этих прожилках и рудах также играет подчиненную роль, образуя довольно крупную вкрапленность (октаэдр, реже куб) или сростки из нескольких зерен. Пирит I иногда сечется различно ориентированными прожилками халькопирита I и прозрачных минералов. Размеры пирита варьируют от 0,1 до 2—3 мм, очень редко до 4 мм. Очень часто крупные зерна пирита раздроблены и цементируются нерудными минералами и халькопиритом.

Пирит I ассоциирует с халькопиритом I, пиритом II, пирротином I, зигенитом, линнеитом, полидимитом, блеклой рудой, борнитом, рутилом, из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом, хлоритом; из гипергенных минералов — с халькопиритом, малахитом, азуритом, церусситом, англезитом, ковеллином, гетитом, гидрогетитом и др.

Пирит II образуется в процессе пиритизации руд, развиваясь по всем главным сульфидам, но преимущественно по халькопириту. Пиритизация чаще всего наблюдается в сплошных брекчиевидных рудах, значительно реже в оруденелых экзоконтактовых породах. Пирит II в виде мелкой и крупной рассеянной вкрапленности развит в породах различного состава и в кварц-кальцитовых прожилках. Под микроскопом видно, что основную массу аншлифа слагает пирит в виде ксеноморфных зерен с обильными реликтами прозрачных минералов и марказита размером до 1,5—3,0 мм. Размер зерен пирита колеблется от 0,1 до 0,2 мм в сечении. Характерны следующие формы выделения пирита II: 1) крупные линзо- и нитевидные выделения пирита, пересеченные различно ориентированными прожилочками кварца. Иногда наблюдаются петельчатые прожилки, пересекающие несколько зерен первичных сульфидов длиной 4—8 мм; 2) игольчатые, гнездообразные агрегаты с мельчайши-

ми включениями прозрачных минералов размером до 1—2 мм. Здесь изредка встречаются мельчайшие выделения пирротина округлой и овальной формы размером до 0,5 мм; 3) мелкая вкрапленность (до 0,05—0,1 мм), цепочки изометричных зерен и каемок из них, приуроченные к контактам сульфидов, — преимущественно халькопирита с магнетитом, гематитом, галенитом и реже блеклой рудой и нерудными минералами; 4) среднезернистый агрегат пирита, разбитый многочисленными трещинами. В интерстициях между зернами пирита и в трещинах отлагаются халькопирит и прозрачные минералы; 5) крупнозернистые выделения кристаллов пирита II генерации в кварц-кальцитовых прожилках среди вмещающих пород. Крупнозернистые выделения пирита имеют формы пентагондодекаэдра, октаэдра и куба размером до 3 мм, иногда до 5 мм.

В основной кварцевой массе наблюдается крупнозернистый агрегат пирита, изрезанный в различных направлениях сетью прожилков халькопирита, иногда совместно с прозрачными минералами. Они образуют характерную нитеобразную и петельчатую структуру замещения. Размеры зерен пирита II 0,02—5 мм. Сечение зерен пирита II обычно неправильное, реже квадратное.

Пирит III генерации наблюдается в кварц-кальцитовых прожилках, халькопирит-молибденитовых, а также халькопирит-сфалерит-галенитовых рудах в виде единичных мелких зерен (кубов) в кварце или в виде неправильных зерен, слагающих прожилки.

Продукты окисления пирита выражены гетитом, гидрогетитом и колломорфным лимонитом. Заметному преобразованию подвергся пирит и в прожилках, до глубины 4—8 м. Вкрапленный пирит подвержен незначительному окислению в близповерхностных участках до глубины 1,5—5,0 м.

Физические свойства. В отраженном свете цвет пирита и кобальтсодержащего пирита светло-желтый до слабо-розоватого. При скрещенных николях они изотропны.

Таблица 9

Спектры отражения пирита (I), кобальтсодержащего пирита (II), кобальтпирита (III) и пирротина (IV), %

Длина волны, нм	Пирит (I)				Кобальтсодержащий пирит (II)				
	I (обр. 2011)	II (обр. 2012)	III (обр. 100)	IV (обр. 96)	Длина волны, нм	I (обр. 2011)	II (обр. 2012)	III (обр. 100)	IV (обр. 96)
440	38,0	41,4	42,0	37,2		700	57,0	57,7	57,7
460	42,6	45,0	45,0	37,6	720	57,0	57,0	57,0	44,0
480	47,0	49,3	49,2	37,8	740	56,0	56,0	56,2	44,8
500	49,6	51,3	51,4	38,2	760	55,2	55,3	55,3	45,4
520	51,6	52,3	52,5	38,4	780	54,7	55,0	55,0	46,0
540	53,2	54,1	54,0	38,4	800	53,7	52,6	53,0	46,6
560	54,0	55,0	55,0	38,6	850	52,0	52,0	53,0	47,0
580	54,8	56,0	55,8	39,0	900	51,6	52,0	52,0	47,8
600	55,4	56,5	56,4	39,4	950	51,6	52,0	51,6	48,6
620	55,7	56,8	56,6	40,5	1000	51,5	52,0	51,8	49,5
640	56,0	56,8	56,8	40,8	1050	51,6	52,3	51,8	50,6
660	56,6	57,5	57,5	41,8	1100	51,8	52,8	51,8	51,4
680	57,0	57,7	57,8	42,6					

Примечание. Обр. 2011 и 2012 из Кетамского кобальтового и обр. 96 и 100 из Южного железо-кобальтового месторождений.

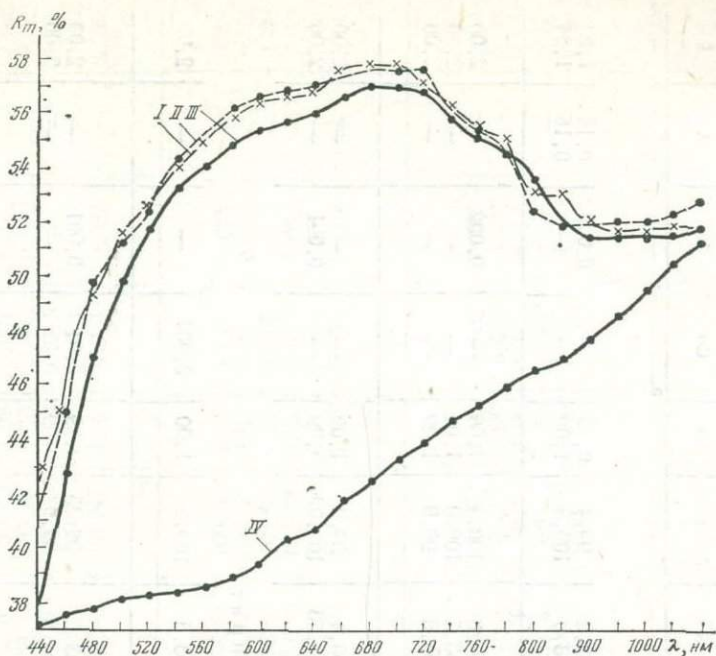


Рис. 24. Спектры отражения пирита (I), кобальтсодержащего пирита (II), кобальтпирита (III) и пирротина (IV)

Окраска иногда изменяется от светло-желтой до желтовато-бурой. Спектры отражения пирита, кобальтсодержащего пирита и кобальтпирита близки (табл. 9, рис. 24). Отметим, что при спектрах отражения пирита и кобальтсодержащего пирита от 440 до 680 нм величина R_m увеличивается, а при спектрах отражения кобальтпирита от 440 до 1100 нм величина R_m также увеличивается. Однако начиная от 680 нм величина R_m пирита и кобальтсодержащего пирита уменьшается по сравнению с R_m кобальтпирита.

Таблица 10

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки пиритов из Кетамского кобальтового месторождения

Пирит (обр. 2005)			Кобальтсодержащий пирит				Кобальтпирит (обр. 2012)	
I	d/n	hkl	обр. 2006		обр. 2011		I	d/n
			I	d/n	I	d/n		
—	—	200	3	0,2976	3	0,2998	—	—
10	0,2690	200	10	0,2701	10	0,2710	10	0,2714
8	0,2417	210	4	0,2420	2	0,2423	3	0,2414
4	0,2199	211	5	0,2200	3	0,2201	1	0,2192
7	0,1902	220	7	0,1914	1	0,1916	—	—
—	—	221, 300, 311	2	0,1804	1	0,1804	1	0,1808
9	0,1625	311	6	0,1629	4	0,1631	5	0,1628
$a_0=0,5359$ нм			$a_0=0,5406$ нм		$a_0=0,5412$ нм		$a_0=0,5428$ нм	

Химический состав пирита и кобальтсодержащего пирита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Fe	Co	Ni	As	S	Сумма	Fe	Co	Ni	As	S
Пирит													
Северо-Восточное железо-кобальтовое	607	1	46,2	—	0,05	0,7	53,2	99,4	0,99	—	0,009	0,14	1,86
		2	46,0	—	—	1,6	53,0	100,8	1,00	—	—	0,16	1,84
Южное железо-кобальтовое	96	3	46,5	—	0,1	—	53,8	100,4	1,00	—	0,002	—	2,00
	100	4	46,5	—	—	—	53,5	100,0	1,00	—	—	—	2,00
	541	5	46,4	—	—	—	53,5	99,9	1,00	—	—	—	2,00
Кетамское кобальтовое	2005	6	46,5	—	—	—	53,4	99,9	1,00	—	—	—	2,00
		7	46,5	—	0,04	—	53,23	100,00	0,99	—	0,001	—	2,00
Кобальтсодержащий пирит													
Северное кобальтовое	585	8	46,5	0,05	—	—	53,5	100,3	1,00	0,001	—	—	2,00
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606	9	45,8	0,5	0,05	—	53,0	99,35	0,99	0,01	0,001	—	2,00
		10	45,9	0,5	—	—	53,5	99,9	0,99	0,01	—	—	2,00
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	11	45,89	0,42	0,03	0,08	52,23	98,64	0,99	0,01	—	0,001	2,00
Кетамское кобальтовое	96	12	43,6	0,9	1,8	—	53,2	99,5	0,95	0,02	0,03	—	2,00
		13	46,3	0,16	0,05	—	53,5	100,0	0,99	0,01	0,001	—	2,00
	176	14	46,3	0,4	—	—	53,5	103,2	0,99	0,01	—	—	2,00
		15	46,2	0,2	0,1	—	53,3	99,8	0,99	0,01	0,001	—	2,00
	288	16	45,1	0,3	1,1	—	53,3	99,8	0,97	0,01	0,02	—	2,00
		17	46,0	0,06	0,5	—	53,4	99,96	0,99	0,001	0,01	—	2,00
	2009	18	46,4	0,06	0,1	—	53,5	100,06	1,00	0,001	0,002	—	2,00
	2011	19	46,4	0,08	—	—	53,5	99,98	0,99	0,001	—	—	2,00
		20	46,4	0,03	0,07	—	53,5	100,0	0,99	0,001	0,001	—	2,00
	2005	21	46,2	0,7	0,07	—	53,5	100,47	0,99	0,014	0,001	—	2,00
	Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	2016	22	45,99	0,03	—	—	53,61	100,03	1,01	1,01	0,001	—
23			46,35	0,54	0,02	—	53,00	100,01	0,99	0,01	0,001	—	2,00
24			46,71	0,08	—	—	53,23	100,01	0,99	0,001	—	—	2,00
25			46,09	0,21	0,09	—	53,63	100,03	0,99	0,01	0,001	—	2,00
26			45,75	0,01	0,52	—	53,72	100,0	0,99	0,001	0,01	—	2,00
27			46,74	0,03	0,19	—	53,04	100,0	1,00	0,001	0,001	—	2,00
Гейдагское кобальтоносное сульфидное	1	28	46,3	0,04	0,03	—	53,3	99,67	1,00	0,002	0,001	—	2,00
		29	46,3	0,04	0,03	—	53,3	99,67	1,00	0,001	0,001	—	2,00
		30	46,2	0,06	0,04	—	53,4	99,70	0,99	0,002	0,001	—	2,00
		31	46,1	0,04	0,06	—	53,4	99,67	0,99	0,001	0,001	—	2,00
		32	46,4	0,04	0,03	—	53,3	99,77	1,00	0,001	0,001	—	2,00
Пьязбашинское кобальтоносное сульфидное	2006	33	46,4	0,2	—	—	53,5	100,1	0,99	0,01	—	—	2,00
		34	46,4	0,1	—	—	53,5	100,0	0,99	0,01	—	—	2,00

Твердость пирита из Кетамского месторождения: $H=9,42-13,54$ ГПа, $H_{cp}=11,09\pm 0,35$ ГПа при $P=0,98$ Н; кобальтсодержащий пирит: $H=9,28-11,22$ ГПа, $H_{cp}=10,46\pm 0,68$ ГПа при $P=0,49-0,69$ Н; кобальтпирит (Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение, обр. 606): $H=7,92-8,17$ ГПа, $H_{cp}=7,94\pm 0,04$ ГПа, $P=0,19-0,49$ Н, что соответствует по шкале Мооса ~ 6 . Для пирита этого же месторождения $d_{cp}=5,1\pm 0,05$ г/см³, а для кобальтсодержащего пирита $d_{cp}=5,07\pm 0,07$ г/см³.

При травлении кристаллов различного облика пирита и кобальтсодержащего пирита HNO_3 (конц.) + CaF_2 в течение 5 мин или HCl вместе с цинковой пылью выявляется зональная структура. Иногда после травления в трещинах агрегатов пирита развивается кобальтпирит.

По данным спектрального анализа, для пирита и кобальтсодержащего пирита постоянными примесями являются (в вес. %): медь 0,001—0,1; кобальт 0,001—0,5; никель 0,001—0,2; цинк 0,001—0,1; мышьяк 0,1—0,3. Присутствуют следующие элементы (в вес. %): молибден от следов до 0,01, свинец 0,002—0,05, а также золото, серебро, галлий, индий и другие от следов до 0,01, что, возможно, обусловлено механическими примесями.

Результаты спектрального анализа показывают, что в пирите и кобальтсодержащем пирите постоянно присутствует медь; для кобальтсодержащего пирита характерно наличие кобальта, никеля, золота, серебра и мышьяка, а для кобальтпирита — высокое содержание кобальта, никеля и меди; во многих образцах пиритов присутствуют кобальт, никель, свинец, цинк и мышьяк. Au, Ag, Ga, In и Mo дают спектры в единичных образцах всех генераций пирита.

Рентгеновские исследования пирита из Кетамского месторождения приводятся в табл. 10.

Химический состав пирита и кобальтсодержащего пирита из различных кобальтовых и кобальтсодержащих руд месторождений АзССР приведен в табл. 11. С помощью микрозонда получены кривые распределения Fe, Co и S в зернах кобальтсодержащего пирита (рис. 25). Отно-

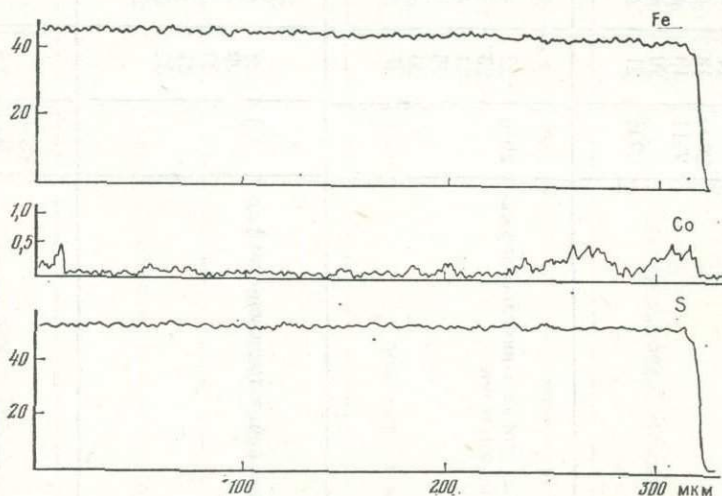


Рис. 25. Кривые распределения Fe, Co и S в зерне кобальтсодержащего пирита. Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное месторождение (обр. 755)

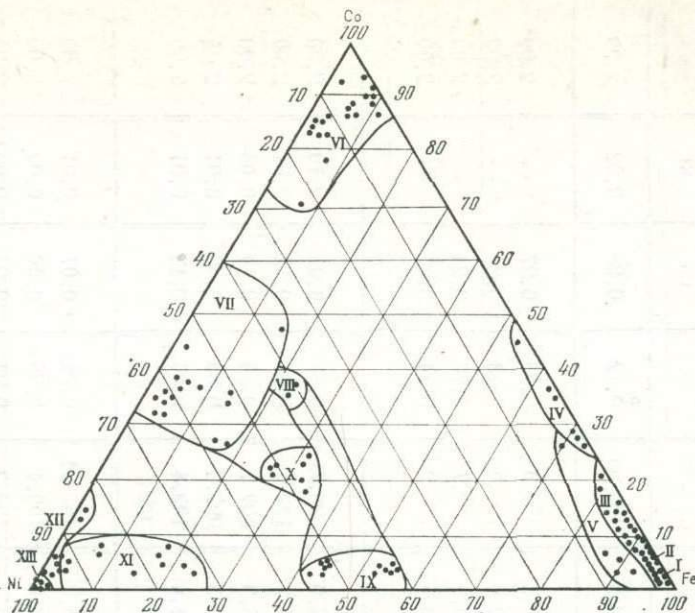


Рис. 26 Соотношение Fe:Co:Ni в пирите (I), кобальтсодержащем пирите (II), кобальтпирите (III), высококобальтистом пирите (IV), бравоите (V), линненте (VI), зигените (VII), высококобальтистом пентландите (VIII), кобальтпентландите (IX), виоларите (X), полидимите (XI), миллерите (XII) и хизлевудите (XIII) из месторождений АзССР

шение Fe:Co:Ni в пирите, кобальтсодержащем пирите приведено в диаграмме (рис. 26).

В результате химических и рентгеновских анализов пирита, кобальтсодержащего пирита и кобальтпирита из Кетамского месторождения устанавливается, что с повышением содержания Co и Ni в пирите увеличиваются параметры элементарной ячейки этого минерала (см. табл. 13). Зависимость изменения параметра a_0 элементарной ячейки в минералах изоморфного ряда пирит — кобальтсодержащий пирит — кобальтпирит приведена в табл. 13 (см. описание кобальтпирита) и изображена на рис. 29.

КОБАЛЬТПИРИТ

Условия нахождения. В кварцевых и кальцитовых жилах, кварцевых порфирах и порфиритах, интрузивных, эффузивных породах, скарнах Килитского, Кетамского, Южного и других месторождений; магнетитовых, сульфидных и сульфоарсенидных рудах Южного, Северо-Восточного и других месторождений. Ассоциирует с пиритовыми, пирит-халькопиритовыми, халькопиритовыми, арсенопирит-данаитовыми, аллоклазит-кобальтовыми рудами, а также заполняет трещинки кварц-карбонатных и гранат-эпидотовых скарнов; находится в парагенезисе с пиритом, кобальтсодержащим пиритом, бравоитом, халькопиритом, магнетитом, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, пирротинном, зигенитом, линнентом, полидимитом, аллоклазитом, кобальтином, глаукодотом, арсенопиритом, данаитом, моддеритом, саффоритом, кобальтпентландитом, карролитом, теллурувисмутитом, гесситом, теллу-

Химический состав кобальтпирита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
			Fe	Co	Ni	S	Сумма	Fe	Co	Ni	S
Северное кобальтовое	585	1	34,0	13,0	1,0	52,0	100,00	0,72	0,26	0,02	2,00
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606	2	33,8	13,9	—	52,6	100,3	0,73	0,27	—	2,00
		3	34,0	13,9	—	52,6	100,5	0,73	0,27	—	2,00
		4	35,1	11,6	—	53,0	99,7	0,76	0,24	—	2,00
		5	33,9	12,9	—	53,5	100,2	0,74	0,26	—	2,00
Южное железо-кобальтовое	96	6	42,1	0,8	3,8	53,0	99,7	0,89	0,01	0,10	2,00
	100	7	40,4	5,9	0,5	53,3	100,1	0,87	0,12	0,01	2,00
		8	41,0	4,8	1,0	53,3	100,1	0,85	0,10	0,05	2,00
	176	9	43,4	3,0	0,1	53,3	99,8	0,93	0,06	0,01	2,00
	288	10	40,2	6,7	0,1	53,4	100,4	0,86	0,13	0,01	2,00
Кетамское кобальтовое	2010	11	43,2	3,8	0,04	53,2	100,24	0,93	0,07	0,01	2,00
		12	44,9	1,2	1,00	53,3	100,4	0,96	0,02	0,02	2,00
	2011	13	43,2	3,6	0,1	53,3	100,2	0,93	0,07	0,002	2,00
	2012	14	41,2	5,1	0,2	53,4	99,9	0,89	0,10	0,005	2,00
		15	44,2	2,2	0,08	53,5	99,98	0,95	0,05	0,031	2,00
	2016 ₁	16	43,2	3,8	0,04	53,2	100,24	0,93	0,07	—	2,00
		17	44,80	2,45	—	52,75	100,00	0,98	0,06	—	1,96
		18	45,67	3,23	—	51,96	100,86	0,98	0,07	—	1,95
Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	2016 ₂	19	45,67	1,07	—	53,27	100,01	0,98	0,02	—	2,00
		20	45,50	1,33	—	53,24	100,01	0,97	0,03	—	2,00
		21	46,19	1,76	—	52,05	100,00	0,98	0,05	—	1,97
		22	45,00	2,21	—	52,79	100,00	0,97	0,06	—	1,97
		23	44,88	2,06	—	53,06	100,00	0,96	0,06	—	1,98
		24	44,09	3,13	—	52,78	100,00	0,95	0,07	—	1,98
		25	45,43	2,06	—	52,61	100,00	0,97	0,06	—	1,97
		26	45,69	1,80	—	52,51	100,00	0,98	0,06	—	1,96
Северное кобальтовое	X ₁	27	45,24	1,93	0,02	51,52	98,71	0,96	0,04	0,001	2,00
Гладхаммар (Швеция)	X ₂	28	45,20	1,25	—	53,30	99,78	0,96	0,04	—	2,00
Франклин (США)	X ₃	29	33,32	13,90	0,19	52,45	99,86	0,72	0,27	0,01	2,00
	X ₄	30	24,7	20,9	0,3	54,1	100,00	0,53	0,46	0,01	2,00

Примечание. 1. Анализы № 1—26 — микрозондовые химические, № 27—30 — обычные химические. 2. В анализах № 1, 6, 8, 12 установлен никельпирит (бравонт) с содержанием Ni 1% и больше.

ритом, бисмоклитом, миллеритом, линнеитом (Южное месторождение); из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом, андрадитом, гроссуляром, хлоритом, эпидотом и другими минералами.

Морфология. Развивается по трещинам пирита, кобальтсодержащего пирита, халькопирита, арсенопирита, магнетита, кобальтина, глаукодота и гранатов, образуя нитеобразные, зернистые, прожилкообразные, вкрапленные формы выделений размером 0,1—1,0 см. Встречаются октаэдрические и ромбоэдрические кристаллы размером до 0,1—0,5 см.

Физические свойства. В отраженном свете имеет слабо-розовый, розовато-белый, розовато-желтый, розоватый и розовато-голубой цвет. При скрещенных николях слабо анизотропен. Отражательная способность близка к кобальтсодержащему пириту и пириту. Спектры отражения кобальтпирита, кобальтсодержащего пирита и пирита приведены в табл. 9 и на рис. 24.

Твердость кобальтпирита $H=14,05-14,28$ ГПа, при $P=0,49-$

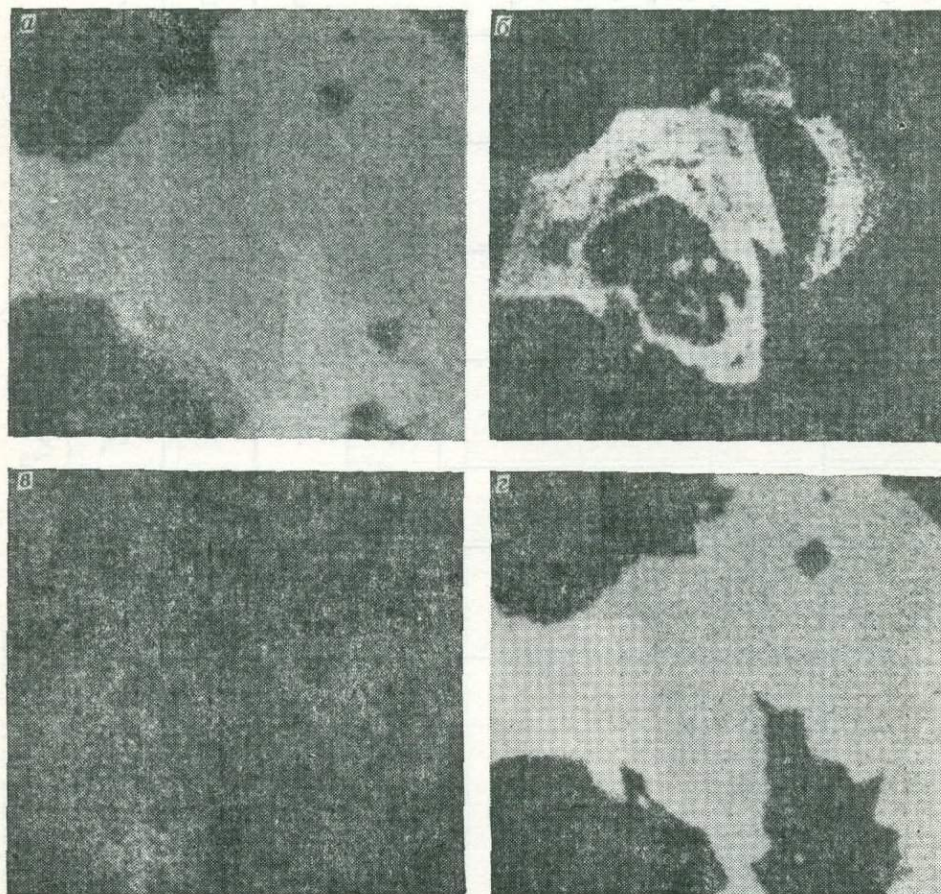
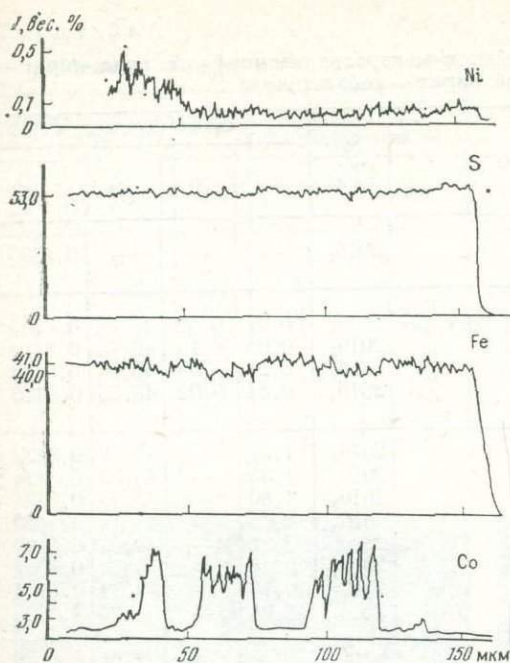


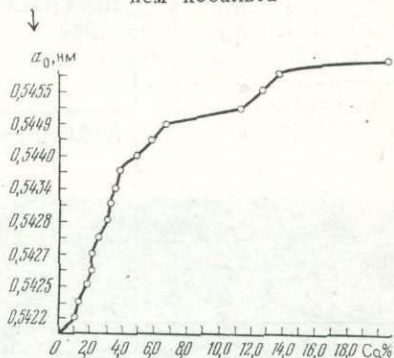
Рис. 27. Участок сканирования кобальтпирита в характеристическом рентгеновском излучении размером 150×150 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 288):

а — FeK_{α} (белое); б — CoK_{α} (белое); в — NiK_{α} (белое); г — SK_{α} (белое)



←Рис. 28. Кривые распределения Co, Fe, S и Ni по профилю, проходящему через кобальтпирит. Южное железокобальтовое месторождение (обр. 288)

Рис. 29. График зависимости изменения параметра элементарной ячейки (a_0) кобальтпирита от содержания в нем кобальта



0,98 Н, $H_{cp} = 14,18 \pm 0,02$ ГПа, что соответствует по шкале Мооса $\sim 7,5$ —8. $d_{cp} = 5,0 \pm 0,04$ г/см³ (материал получен с помощью ПМТ-3).

При травлении кристаллов кобальтпирита аммиаком под электрическим током выявляется зональная структура.

Химический состав кобальтпиритов дан в табл. 12, где для их сопоставления приведены данные по литературным источникам (анализы 27—30). С помощью микросондового химического анализа кобальтпирита и никельпирита получены фотографии участков сканирования размером 150×150 мкм (обр. 288, рис. 27) и приведены записи кривых распределения Fe, Co, Ni и S в кобальтпирите (рис. 28).

Микрохимическая реакция на Co и Ni. Отпечаток с α -нитрозол- β -нафтол + NH_4OH — красновато-розового цвета. Отпечаток на Ni с диметилглиоксимом — розовато-красного цвета. Постоянными изоморфными примесями кобальтпиритов являются (в %): Ni (0,01—1,0) и As (0,1—1,0), а механическими — Cu (0,01—0,1), Pb и Zn (0,005—0,05), Pb, Mo, In, Ga (от следов до 0,01).

Отношение Co : Ni : Fe в кобальтпирите и бравоните отражено на тройной диаграмме (см. рис. 26).

Проведенные химические и рентгенометрические исследования кобальтпиритов показали прямую зависимость параметра элементарной ячейки минерала от содержания в нем кобальта (табл. 13, рис. 29). При рассмотрении всего изоморфного ряда минералов пирит—кобальтсодержащий пирит—кобальтпирит видно, что содержание кобальта и никеля закономерно увеличивается от пирита к кобальтпириту (см. рис. 29). С увеличением содержания кобальта в минералах возрастает и параметр элементарной ячейки (см. табл. 13). От пирита a_0 (0,5406 нм) к кобальтпириту a_0 (0,5428 нм) уменьшаются плотность (от $d_{cp} = 5,09 \pm 0,05$ до $d_{cp} = 5,00 \pm 0,05$ г/см³ и твердость; в незначительном количестве изменяется цвет минералов в отраженном свете: светло-желтый у пирита, с розоватым оттенком у кобальтпирита.

Изменение параметра элементарной ячейки в минералах изоморфного ряда пирит — кобальтсодержащий пирит — кобальтпирит

Месторождение	Минерал	№ образца	Содержание, вес. %			
			Co	Ni	Fe	a_0 , нм
Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	Пирит	2016 ₁	—	—	—	0,5395
	Кобальтсодержащий пирит	2016 ₂	0,01	0,52	45,75	0,5406
		2016 ₃	0,03	0,19	46,74	0,5410
		2016 ₄	0,21	0,09	46,09	0,5412
		2016 ₅	0,54	0,02	46,35	0,5420
	Кобальтпирит	2016 ₆	1,07	—	45,67	0,5422
		2016 ₇	1,33	—	45,50	0,5424
		2016 ₈	1,80	—	45,69	0,5425
		2016 ₉	2,06	—	45,43	0,5426
		2016 ₁₀	2,21	—	45,00	0,5427
		2016 ₁₁	2,45	—	44,80	0,5427
		2016 ₁₂	3,13	—	44,09	0,5428
		2016 ₁₃	3,23	—	44,07	0,5432
Кетамское кобальтовое	Кобальтпирит	2011	3,60	0,1	43,2	0,5434
		2010	3,80	0,04	43,2	0,5435
Южное железо-кобальтовое	Кобальтпирит	100	4,80	1,0	41,0	0,5440
			5,90	0,5	40,4	0,5455
		288	6,70	0,1	40,2	0,5449
Северо-Восточное железо-кобальтовое	Высококобальтистый пирит	606	11,6	—	35,1	0,5450
			12,9	—	33,9	0,5455
			13,9	—	33,8	0,5461
Франклин (штат Нью-Джерси, США)	Высококобальтистый пирит	X ₄	20,9	0,3	24,7	0,5475

БРАВОИТ (ВЫСОКОНИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИЙ ПИРИТ)

Условия нахождения. В кобальтовых и кобальтсодержащих рудах Южного железо-кобальтового месторождения бравойт был обнаружен и описан М. А. Кашкаем [11] и А. И. Махмудовым [21].

Морфология. В описанных рудах бравойт имеет тонкие прожилкообразные и изометрические формы.

В отраженном свете минерал буровато-розовый, местами желтовато-кремовый со светло-коричневым оттенком. Иногда наблюдается по периферическим частям зерен аллоклазита, кобальтпирита и линнеита фиолетовой окраски.

Твердость бравойта $H=6,50-8,31$ ГПа, $H_{ср}=7,39$ ГПа при $P=0,49$ Н. При травлении HNO_3 темнеет, иногда выявляется зональная структура.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки бравойта из Южного железо-кобальтового месторождения приводятся в табл. 14. В этой же таблице для сравне-

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки бравонита

Южное месторождение (обр. 96)			Дербишское месторождение, Великобритания [43]		Южное месторождение (обр. 96)			Дербишское месторождение, Великобритания [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
3	0,323	111	2	0,321	3	0,1554	320	2	0,1553
2	0,280	200	1	0,280	2	0,1498	321	2	0,1497
10	0,278	200	10	0,279	1	0,1285	331	1	0,1283
2	0,251	210	2	0,250	1	0,1252	420	0,5	0,1253
4	0,228	211	4	0,228	1	0,1222	421	0,5	0,1223
4	0,198	220	4	0,198	2	0,1143	420	2	0,1143
2	0,187	221	0,5	0,186	$a_0=0,558$ нм $\beta \sim 90^\circ$			$a_0=0,560$ нм $z=4^\circ$	
6	0,1688	311	6	0,1687					
2	0,1617	222	1	0,1617					

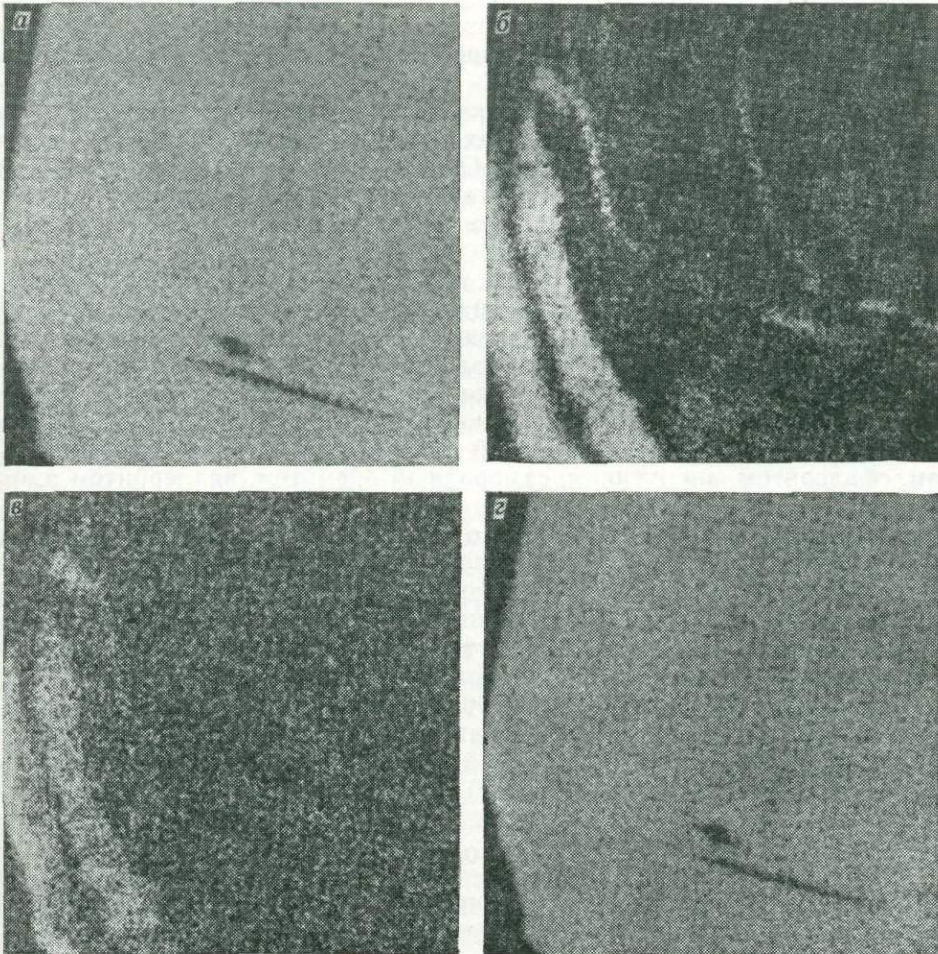


Рис. 30. Участок сканирования бравонита размером 100×100 мкм в характеристическом рентгеновском излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 96)
 а — FeK $_{\alpha}$ (белое); б — NiK $_{\alpha}$ (белое); в — CoK $_{\alpha}$ (белое); г — SK $_{\alpha}$ (белое)

ния приведены данные бравоита по Берри и Томпсону [77]. Характерные линии для бравоита 0,280 (10), 0,1688 (6) и 0,1078 (5).

Химический состав бравоита приводится в табл. 12. С помощью микрозонда получены фотографии участков сканирования бравоита размером 100×100 мкм (рис. 30). В бравоите содержание никеля колеблется от 1,0 до 4,0%, а кобальта — от 0,8 до 1,2, иногда до 2,0% (см. табл. 12, анализы 1, 6, 8 и 12).

Установлено, что бравоит в кобальтпирите, кобальтсодержащем пирите, а также в кобальтовой руде находится в тесном парагенезисе с линненитом, зигенитом, миллеритом, саффоритом, пирротинном, пентландитом, халькопиритом, аллоклазитом, глаукодотом, сфалеритом и минералами висмута, теллура, золота и серебра.

МАРКАЗИТ

Условия нахождения. Марказит в незначительных количествах и в тесном парагенезисе с пиритом, кобальтпиритом, кобальтином, реже молибденитом заполняет трещинки скарнов, магнетитовых, аллоклазит-кобальтиновых, пирит-халькопиритовых руд и реже с пирротинном, кубанитом, халькопиритом и кобальтпиритом развивается по зальбандам даек диабазовых порфириров.

Нормальные соотношения марказита с пиритом, халькопиритом и развитие его на глубоких горизонтах свидетельствуют о том, что он образовался в гипогенных условиях. Отложение марказита по трещинам и пустотам в кальцитовых прожилках с пиритом и образование псевдоморфоз по пирротину указывает на его появление в одну из поздних стадий гидротермального процесса.

Морфология. Обладает тонкой полосчатой структурой. Между отдельными полосами иногда размещается пирит. Возможно, выделения марказита такой формы представляют собой реликты от замещения его пиритом. Под микроскопом при большом увеличении в образованиях марказита видны реликты пирротина в виде мелких оторочек. В рудах, минералах и породах образует тонкозернистые агрегаты из мелких (0,01—0,02 мм) зерен неправильной формы. В сростании с молибденитом, сфалеритом, висмутином, самородным висмутом, валлеритом в пирите и халькопирите марказит образует серию параллельно расположенных прожилков мощностью до 0,1 мм, мелкие зерна размером 0,5 мм, неправильные формы выделений размером до 0,5 мм, волокнистые агрегаты или отдельные «волокна» размером до 1,0—1,5 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет марказита на фоне пирита белый с розовато-бурым оттенком, а на фоне халькопирита — кремово-белый. Анизотропен; двуотражение отчетливое.

$H_{cp} = 9,81$ ГПа при $P = 0,69 - 1,96$ Н. При действии HNO_3 (1:1) марказит слабо травится, остальные реагенты не действуют.

Химический состав марказита был определен электронным микронзондом MS=46 «Камека» (в вес. %): Fe 47,98 и S 52,02.

ХАЛЬКОПИРИТ

Условия нахождения. Халькопирит — широко распространенный рудный минерал сульфидов и сульфоарсенидов кобальтовых и кобальтсодержащих руд [11, 21, 27, 31] и после пирита и кобальтсодержащего пирита составляет основную массу кобальтоносных сульфидов. Он приурочен в основном к пирит-кобальтсодержащим пиритовым, пирит-кобальтпиритовым, аллоклазит-кобальтиновым, арсенипирит-дананитовым,

магнетитовым рудам, кварцевым, кварц-карбонатным жилам и ко вмещающим скарновым и скарнированными породам.

Халькопирит в рудах месторождений Дашкесанского рудного района ассоциирует с пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом, аллоклазитом, кобальтином, высококобальтистым глаукоцитом, глаукоцитом, арсенопиритом, кобальтсодержащим арсенопиритом, данаитом, моддеритом, саффоритом, леллингитом, кобальтсодержащим леллингитом, магнетитом, гематитом, марказитом, кубанитом, валлеритом, миллеритом, линнеитом, пирротином, кобальтсодержащим пирротином, пентландитом, кобальтпентландитом, карролитом, виоларитом, борнитом, молибденитом, сфалеритом, галенитом, самородным висмутом, висмутином, теллуровисмутином, тетрадимитом, парателлурином, бисмоклитом, гесситом, кварцем, кальцитом и гранатами, а в рудах месторождений Кельбаджарского рудного района кроме пиритов с никелем, раммельсбергитом, кобальтраммельсбергитом, парараммельсбергитом, киноварью, аннабергитом, хизлевудитом, миллеритом, полидимитом, зигенитом, пентландитом, высококобальтистым пентландитом, вазситом, хромитом, гарниеритом и рядом нерудных и гипергенных минералов.

Морфология. В рудах ряда рассматриваемых месторождений составляет от 10 до 40% от общего количества сульфидов, отлагаясь с кварцем и пиритом. Образует прожилки, секущие вкрапленные руды. Реже в свободных полостях встречаются хорошо оформленные кристаллы, скопления зерен и агрегатов размером до 4—6 см в поперечнике.

Под микроскопом выявлены три генерации халькопирита: 1) халькопирит I наблюдается в виде очень мелких ксеноморфных выделений, иногда неправильных зерен размером до 0,1 мм. Иногда халькопирит I присутствует в пирите в виде прожилкообразных выделений, пронизанных сетью тончайших прожилков борнита и ковеллина. В этом случае размер выделений халькопирита I от $0,1 \times 0,03$ до $0,2 \times 0,2$ мм. Халькопирит I встречается чрезвычайно редко в пирите I и II генераций в виде округлой формы выделений размером не более 0,01—0,03 мм и в породе в виде ксеноморфных выделений размером 0,05 мм. Халькопирит I, кроме того, в породе встречается в сростании с блеклой рудой размером до $0,2 \times 0,3$ мм. Отмечены халькопирит I в сростании со сфалеритом, дендритовый рост индивидов, пластинчатые скопления примесей халькопирита I генерации. Для халькопирита I генерации характерны пластинчатые двойники роста, развитые очень неравномерно даже в соседних индивидах одного агрегата. Толщина двойниковых пластинок не превышает 0,01—0,05 мм.

Для халькопирита II генерации характерны: 1) неправильной формы выделения с неровными контурами в кварц-карбонатных прожилках и вмещающих породах. Халькопирит II замещает поздние нерудные минералы, развиваясь по стыкам их зерен; образует крутые выделения, а также тонкие прожилки, секущие зерна пирита и арсенопирита. В халькопирите II генерации в результате распада твердого раствора рассеяна тонкая вкрапленность сфалерита в виде крестообразных звездочек размером 0,05 мм; 2) тонкие нитевидные прожилкообразные (до 0,1—0,2 мм) и пятнистые формы, наложенные на первичные и вторичные карбонаты, силикаты, метасоматиты, а также сульфиды; 3) крупнозернистые (размером до 2 см) и неправильные скопления в массивных рудах. Форма индивидов пластинчатая, линзовидная, изометрическая. В этом халькопирите можно выделить крестообразные зерна сфалерита и мелкие ксеноморфные его выделения, пронизанные тончайшей эмульсионной халькопиритовой вкрапленностью (структура распада твердого

раствора). С периферии халькопирит замещается карбонатом, Среди крупных выделений халькопирита II отлагался пирротин (до 0,02 мм). Кроме того, в халькопирите II встречаются мелкие выделения сфалерита, иногда в сростании с магнетитом. По периферии выделений халькопирита II развиваются теннантит, галенит и борнит, размер выделений разнообразный, очертания извилистые; 4) приуроченность его, как правило, к центру кварцевых жил, может образовывать вкрапленность, гнезда и прожилки в рудовмещающих породах.

Халькопирит II генерации обычно сильно смят и раздроблен. Повсеместно наблюдается перекристаллизация его в мелкозернистый агрегат. Халькопирит II генерации встречается среди прозрачных минералов, особенно в кварце и кальците, реже (в виде небольших ксеноморфных выделений) в пирите I генерации. В кварцевых жилах отмечаются крупные размером до 1,5—2,0 см изометрические и неправильные скопления халькопирита II в виде зерен, кристаллов и неправильных выделений размером от 0,001 до 0,2 мм электрума, самородного золота и висмута, висмутина, теллуrowисмутита, арсенопирита, теннантита, молибденита, пирротина, галенита, сфалерита, валлерита, кварца, серицита, кальцита и рутила. Висмутовые минералы метасоматически образовались по халькопириту. В халькопирите II генерации распространены двойники роста и превращений, иногда встречаются двойники давления. Толщина двойниковых пластинок достигает 0,1—0,2 мм. Двойники давления встречаются преимущественно в брекчиевидных рудах и в оруденелых экзоконтактовых породах.

Халькопирит III генерации встречается в гидротермально-измененных породах, в кварцевых и кварц-карбонатных жилах и прожилках в виде разнообразных по форме и размерам выделений с неправильными извилистыми очертаниями. Размер выделений колеблется от $0,01 \times 0,01$ до $0,1 \times 0,2$ мм. Крупно- и среднезернистые индивиды в виде пятен неправильной формы распространены в кварцевых жилах. Размеры зерен от 0,01 до 1,0 мм, а иногда до 0,5 см. Халькопирит III содержит мелкие включения пирита (0,001—0,1 мм), молибденита (0,001—0,01 мм), арсенопирита (0,001—0,01 мм), кубанита (0,001—0,01 мм), пирротина (0,01—0,1 мм), сфалерита и галенита (0,001—0,01 мм). Для внутреннего строения халькопирита III характерны две особенности: двойникование и наличие вростков других минералов. В массе халькопирита III иногда видны тельца распада сфалерита звездчатых, неправильных, изометричных и удлиненных форм. Кроме сфалерита в халькопирит III включены мелкие кристаллики кварца, магнетита, гематита, арсенопирита, мушкетовита, пирротина, кубанита и чешуйки молибденита. Халькопирит III корродирует зерна пирротина и сфалерита и в свою очередь замещается борнитом и ковеллином. Иногда борнит развивается только в халькопирите в виде сети тончайших прожилков. Часто наблюдается, что халькопирит интенсивно замещается только ковеллином. Местами халькопирит представлен эмульсионными выделениями, которые равномерно разбросаны в полях сфалерита и по двойниковым швам.

Физические свойства. В отраженном свете — желтый, не резкий; в воздухе — светлый, серо-желтый. Слабо анизотропен. Двухотражение в воздухе и иммерсии очень слабое; в двухотражении видно двойниковое строение и границы зерен большей частью незаметны. Эффекты анизотропии в скрещенных николях всегда слабые, при средних увеличениях различимы. Дисперсия отражательной способности халькопиритов всех генераций одинакова: величина R_m резко возрастает при переходе из

коротковолновой в средневолновую часть спектра, а затем немного снижается в области длинных волн. При исследовании отражения халькопирита в области спектра 440—740 нм была сделана попытка оценить анизотропию по величине угла вращения плоскости поляризации. Полученные данные показали, что различия отражения халькопирита улавливаются в области спектра 520—620 нм. Наибольшая величина отражения (49,8—50,0 для $\lambda=600\text{—}620$ нм) характеризует халькопирит I, II и III генераций.

Халькопирит (мелкозернистый) зон окисления можно отнести к IV генерации, обладающей промежуточной величиной отражения. Различия исчезают в длинноволновой части спектра. Измерения величины угла вращения плоскости поляризации (Ag) по методике Ю. Камерона показали, что у халькопирита всех генераций колебания величины угла вращения не выходят за пределы точности измерения ($2\text{—}3^\circ$). Сопоставление полученных данных с особенностями состава халькопирита позволяет предполагать наличие зависимости величины отражения от стехиометрии. Нарушение стехиометрии, отмечаемое для халькопирита II, определяет, по-видимому, наиболее низкую величину его отражения, тогда как халькопирит, состав которого близок к теоретическому, обладает обычной для этого минерала величиной отражения. В целом отражение халькопирита в видимой области спектра изменяется незначительно.

Микротвердость халькопиритов $H=1,81\text{—}1,85$ ГПа, $H_{cp}=1,83 \pm \pm 0,02$ ГПа при $P=0,39\text{—}0,49$ Н (по данным трех замеров), коэффициент анизотропии микротвердости около 2,0. Анизотропия микротвердости в халькопирите возникла в связи с пластической деформацией зерен. Для проверки этого образцы грубополосчатой руды были подвергнуты одностороннему сжатию нормально к направлению полосчатости. Оказалось, что в направлении действия давления произошло упрочение зерен халькопирита с возникновением анизотропии микротвердости. Таким образом, эффект упрочения и связанная с ним анизотропия микротвердости могут рассматриваться как существенные признаки пластической деформации минерала. $d_{cp}=4,29 \pm 0,02$ г/см³.

После травления парами царской водки у халькопирита выявляется неравномернозернистая или аллотриоморфнозернистая структура.

Спектральными анализами в халькопирите обнаружены небольшие примеси (в %): Zn, Co, Ni (до 0,01), As (0,01—0,1), Bi (0,1—1,0), Mo (0,01—0,1), Ag (0,01—0,1), иногда Mn, Ti до 0,004, Mg до 0,01 и в отдельных случаях Sn (0,001). Присутствие в образце большей части этих примесей объясняется, по-видимому, изоморфным замещением железа и меди. Наиболее устойчивыми элементами-примесями халькопиритов всех генераций являются Bi, Mo, Ag, Mn, Co, Ni и Ti. Халькопирит зоны окисления содержит Mn, Ti и Ni. Таким образом, наблюдается некоторая зависимость микроэлементного состава халькопиритов от физико-химической среды формирования различных генераций этого минерала.

Рентгенометрические исследования халькопирита приводятся в табл. 15. Параметры элементарной ячейки халькопирита изменяются в сравнительно узких пределах: $a_0=0,527$ нм и $c_0=1,032$ нм.

Химический состав. Приведен в табл. 16; из нее видно, что анализы 4 и 10 представляют кобальтсодержащий халькопирит, а 8 и 9 — высококобальтистый халькопирит, так как кобальт присутствует как изоморфная примесь и входит в кристаллохимическую формулу халькопирита. С помощью микрозонда получены кривые распределения Cu, Fe, Co, As и S в зерне халькопирита (рис. 31).

Межплоскостные расстояния халькопирита

Южное месторождение (обр. 114)		По В. И. Михееву [59]		Южное месторождение (обр. 114)		По В. И. Михееву [59]		Южное месторождение (обр. 114)		По В. И. Михееву [59]	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
8	0,3360	—	—	2	0,2417	—	—	7	0,1852	10	0,1855
10	0,3030	10	0,3030	3	0,2050	—	—	2	0,1758	—	—
4	0,2637	6	0,2610	4	0,1985	—	—	6	0,1588	10	0,1586

СФАЛЕРИТ (КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИЙ)

Условия нахождения. В кобальтовых и кобальтсодержащих рудах является второстепенным рудным минералом. По распространенности уступает пириту, кобальтпириту, халькопириту, арсенипириту, пирротину, но встречается чаще многих других сульфидов и сульфоарсенидов и отмечен на всех рассматриваемых месторождениях. В незначительном количестве обнаружен в сульфидных прожилках среди скарнов, магнетитовых, полиметаллических и медно-молибденовых руд. Ассоциирует с галенитом, пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, кобальтсодержащим халькопиритом, пирротинном, кобальтсодержащим пирротинном, кобальтином, аллоклазитом, арсенипиритом, данаитом, молибденитом, борнитом, кварцем и гранатами.

Морфология. Имеет различные формы выделений. Установлены две генерации сфалерита. Сфалерит I находится в тесной связи с халькопи-

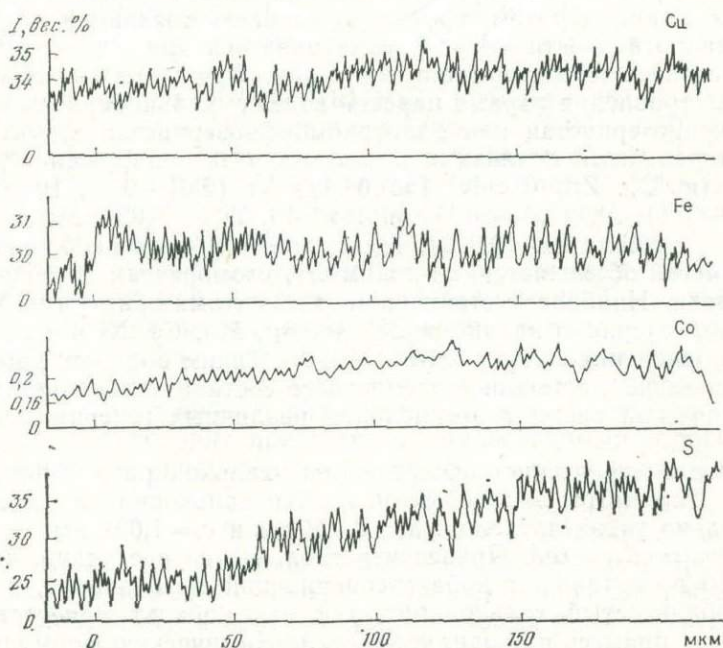


Рис. 31. Кривые распределения Cu, Fe, Co и S в зерне халькопирита

Химический состав халькопирита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Cu	Fe	Co	As	S	Сумма	Cu	Fe	Co	As	S
Северное кобальтовое	605	1	34,51	30,51	—	0,03	34,95	100,00	1,00	1,00	—	0,001	2,00
		2	33,95	31,97	—	0,03	34,09	100,00	1,00	1,00	—	0,031	2,00
		3	33,77	31,11	—	0,05	35,07	100,00	1,00	1,00	—	0,001	2,00
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606 ₁	4	28,81	31,87	2,02	1,99	35,35	100,00	0,94	1,01	0,05	0,05	1,95
		5	28,35	31,03	3,50	2,07	34,05	100,00	0,89	1,01	0,11	0,07	1,93
		6	34,04	31,67	0,08	0,14	34,07	100,00	1,00	1,00	0,003	0,003	2,00
		7	34,00	31,63	—	—	35,41	100,04	1,00	1,00	—	—	2,00
Южное железо-кобальтовое	114	8	34,40	30,70	—	—	34,90	100,00	1,00	1,00	—	—	2,00
		9	34,46	30,48	—	0,26	34,80	100,00	1,00	1,00	—	0,01	1,99
		10	34,98	30,50	—	0,25	34,91	100,64	1,01	0,99	—	0,01	1,99
	120	11	34,46	30,48	0,35	—	34,71	100,00	1,00	0,99	0,01	—	2,00
Кетамское кобальтовое	2012	12	34,5	30,3	0,01	—	34,8	99,61	1,00	1,00	—	—	2,00

ритом и кобальтином, причем в нем часто можно видеть мельчайшую эмульсионную вкрапленность халькопирита и, наоборот, в халькопирите — мелкие крестообразные выделения сфалерита. И в том, и в другом случае эти явления можно трактовать как результат распада твердого раствора. Сфалерит корродирует глаукоdot, кальцит и магнетит. В пирите сфалерит I наблюдается в виде мельчайших ксеноморфных выделений размером $0,1 \times 0,5$ мм, которые замещаются ковеллином. Ковеллин замещает также халькопирит I, II и сфалерит II, развиваясь по периферии выделений; иногда, замещая их нацело, он образует тонкопластинчатые агрегаты. По-видимому, сфалерит образовался после пирита.

Сфалерит II чаще включен в крупнозернистый халькопирит II и редко в халькопирит III. В халькопирите сфалерит II наблюдается в виде неправильной формы выделений размерами от 0,01 до 0,15 мм. В молибденоносных кварцевых жилах сфалерит II обычно обособляется в виде пятен величиной до 3 мм. Халькопирит II, сфалерит и галенит образуют мелкие изометрические и неправильные включения, нередко располагающиеся на контакте с магнетитом, пиротином или нерудными минералами.

Физические свойства. В отраженном свете цвет обычного сфалерита на фоне халькопирита серый с голубоватым оттенком, железосодержащего (с содержанием Fe до 2—3%) — со слабо-красноватым оттенком, а кобальтсодержащего сфалерита (с содержанием Co до 1,0, реже 2,0%) — со слабо розоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у галенита. Изотропен. Реже обнаруживаются зеленоватые и красноватые внутренние рефлексy.

Твердость сфалерита $H=1,52-2,70$ ГПа, $H_{cp}=1,81 \pm 0,01$ ГПа, $P=0,49$ Н.

При действии $KMnO_4 + H_2SO_4$ или паров царской водки выявляется зональная структура.

Химический состав приведен в табл. 17. Распределение Zn, Fe, Co, Cd и S в зерне сфалерита получено с помощью микрозонда (рис. 32).

ГАЛЕНИТ

В кобальтоносных сульфидных и сульфоарсенидных рудах галенит второстепенный минерал и встречается в ассоциации со сфалеритом, халькопиритом, пиритом, кобальтином, аллоклазитом, арсенопиритом, реже молибденитом. Под микроскопом видно, что галенит выполняет промежутки между зернами пирита. Зерна галенита неправильной формы с размером от $0,02 \times 0,02$ до $0,4 \times 0,2$ мм. В отраженном свете белый. Изотропен.

Твердость галенита $H=0,67-1,04$ ГПа, $H_{cp}=0,74$ ГПа, $P=0,19$ Н. Травится HCl (1 : 1), при этом выявляется слабая зональная структура.

Результаты химического анализа приведены в табл. 18.

После пересчета анализов для галенита получены следующие кристаллохимические формулы:

1. $Pb_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 595.
2. $(Pb_{0,998}Co_{0,001}Ag_{0,001})_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 605₁.
3. $(Pb_{0,988}Zn_{0,01}Co_{0,001}Ag_{0,001})_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 120.
4. $(Pb_{0,988}Zn_{0,01}Co_{0,001}Ag_{0,001})_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 450.
5. $(Pb_{0,998}Zn_{0,001}Co_{0,001})_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 615.
6. $(Pb_{0,997}Zn_{0,001}Co_{0,001}Ag_{0,001})_{1,00}S_{1,00}$ — обр. 68.

Химический состав сфалерита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %							Коэффициент в формуле					
			Zn	Mn	Fe	Co	Cd	S	Сумма	Zn	Mn	Fe	Co	Cd	S
Северное кобальтовое	605	1	67,5	—	—	0,11	0,15	32,24	100,0	0,98	—	—	0,01	0,01	1,00
		2	67,0	0,05	—	—	0,21	32,74	100,0	0,98	0,001	—	—	0,02	1,00
		3	67,05	—	—	—	0,16	32,79	100,0	0,98	—	—	—	0,02	1,00
		4	66,8	—	0,3	—	0,1	32,8	100,0	0,98	—	0,01	—	0,01	1,00
		5	66,8	0,02	—	0,14	0,18	32,86	100,0	0,98	0,001	—	0,01	0,01	1,00
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606 ₁	6	65,4	—	0,8	0,2	—	33,6	100,0	0,98	—	0,01	0,01	—	1,00
		7	65,1	0,03	1,8	0,4	0,2	32,47	100,0	0,96	0,001	0,03	0,01	—	1,00
Южное железо-кобальтовое	615	8	65,6	—	0,8	0,4	—	33,2	100,0	0,97	—	0,01	0,02	—	1,00
		9	65,8	—	0,8	0,2	—	33,2	100,0	0,98	—	0,01	0,01	—	1,00
		10	65,8	—	0,7	0,5	—	33,2	100,0	0,98	—	0,01	0,01	—	1,00

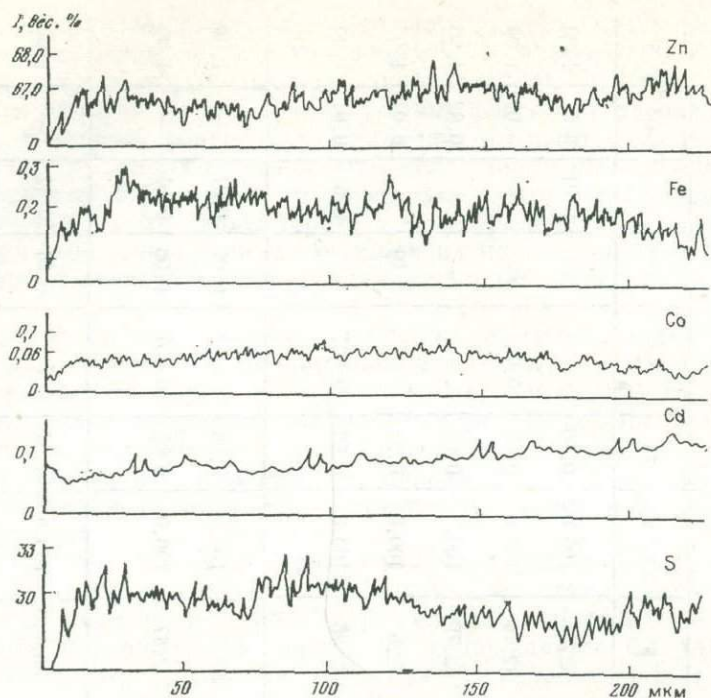


Рис. 32. Распределение Zn, Fe, Co, Cd и S в зерне сфалерита из Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 615)

Таблица 18

Химический состав галенита

Элементы	Северное месторождение		Южное месторождение			Моллагасан- ляское месторожде- ние (обр. 68)
	обр. 595	обр. 605,	обр. 120	обр. 450	обр. 615	
Pb	86,65	86,05	85,65	85,40	86,60	85,85
Zn	—	—	0,45	0,50	0,04	0,03
Co	—	0,04	0,01	0,05	0,06	0,02
Ag	—	0,05	0,04	0,05	—	0,05
Sb	—	—	0,07	—	—	—
S	13,35	13,86	13,88	14,00	13,30	14,05
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

ПИРРОТИН И КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИЙ ПИРРОТИН

Условия нахождения. Пирротин в сульфидных и сульфоарсенидных рудах описан рядом исследователей [11, 21, 42]. Автором был установлен в аллоклазит-кобальтиновых, пирит-кобальтпиритовых, пирит-халькопиритовых, магнетитовых рудах, в эндоконтактах основных интрузивов, в дайках, в скарноворудной залежи, в роговиках и ороговикованных породах.

Пирротин и кобальтсодержащий пирротин встречаются в ассоциации со следующими различными минералами:

— с пентландитом, кобальтпиритом, никельпиритом, аллоклазитом (с никелем), никельсодержащим кобальтином, высококобальтистым глаукодом, моддеритом, саффоритом, данаитом, сфалеритом и др. на Северном кобальтовом месторождении;

— с миллеритом, линнеитом, леллингитом, пиритом, халькопиритом, виоларитом, валлеритом, кубанитом и др. на Южном железо-кобальтовом месторождении;

— с кобальтпиритом, никельпиритом, пентландитом, карролитом, кобальтсодержащим магнетитом, сфалеритом, халькопиритом и галени- том на Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении;

— с зигенитом, линнеитом, кобальтсодержащим пиритом, халькопи- ритом, кобальтпиритом и гранатами на Кетамском кобальтовом место- рождении;

— с полидимитом, зигенитом, кобальтпиритом, халькопиритом, пи- ритом, шеелитом, касситеритом, иттропатитом, итросфеном, магнети- том, ильменитом и гранатами на Килитском кобальт-никельсодержащем вольфрамовом месторождении;

— с высококобальтистым пентландитом, пентландитом, пиритом, халькопиритом, хромитом, магнетитом, полидимитом, хизлеудитом, зи- генитом и гарниеритом на Гейдаринском никель-кобальтсодержащем хромитовом месторождении.

В других сульфидных рудах месторождений пирротин и кобальтсо- держащий пирротин встречаются в ассоциации с другими минералами. Например, на Агюртском медно-молибденовом месторождении (Ордура- бадский район) пирротин образует сростки с валлеритом, гесситом, висмутином, электрумом, молибденитом и теннантитом.

Морфология В сульфидных и кобальтовых рудах, а также во вме- щающих породах месторождений Дашкесанского рудного района пирро- тин образует вкрапления (до 1 мм) и изредка очень тонкие короткие прожилки. Под микроскопом видны его мелкие неправильной формы включения размером 0,03—0,05 мм в халькопирите. На Юго-Восточном участке Южного месторождения пирротин в виде мелких включений изредка встречается в аллоклазите, кобальтине, глаукоде и арсено- пирите в парагенезисе с пентландитом и кубанитом. На Кашкачайском месторождении микроскопический пирротин в сростании с валлеритом, сфалеритом, гесситом и висмутином в массе пирита и халькопирита имеет мелкие округлые, овальные и идиоморфные, червеобразные и ксеноморфные зерна размерами от 0,1 до 0,3 мм.

Физические свойства. В отраженном свете пирротин на фоне пирита желтоватый, халькопирита — желтовато-коричневый, а вмещающих пород — от коричневатого-розового до светло-желтого. Сильно анизотропен.

Спектры отражения пирротина приведены в табл. 9 и на рис. 24 (см. описание пирита). Двухотражение пирротина в воздухе по границам зерен отчетливое, в иммерсии значительно увеличивается.

Твердость пирротина $H = 2,25-3,63$ ГПа, $H_{cp} = 3,14 \pm 0,01$ ГПа, $P = 0,58-0,98$, что соответствует 4,5 по шкале Мооса (Килитское место- рождение).

При действии HNO_3 (1 : 1) и HCl на пирротин он с трудом разла- гается. Травится KOH и $FeCl_3$. В пирротине при травлении в скрещен- ных николях наблюдается своеобразное пластинчатое строение.

Химический состав пирротина приведен в табл. 19. Обнаруженные элементы Fe, Co, Ni и S в кобальтсодержащем пирротине распределены равномерно. С помощью микрозонда получены фотографии участка ска- нирования пирротина в сростании с аллоклазитом (рис. 33).

Химический состав пирротина

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле				
			Fe	Co	Ni	S	Сумма	Fe	Co	Ni	S
			%								
Северное кобальтовое	605	1	60,3	—	—	39,7	100,0	10,00	—	—	11,00
		2	60,9	—	0,01	39,1	100,0	10,00	—	0,002	11,00
Южное железо-кобальтовое	450	3	61,9	—	—	39,1	100,0	10,00	—	—	11,00
		4	61,8	—	0,03	38,17	100,0	10,00	—	0,002	11,00
Северное кобальтовое	605	5	61,4	0,30	0,20	38,1	100,0	9,95	0,03	0,02	11,00
Южное железо-кобальтовое	96	6	61,0	0,12	0,31	38,57	100,0	9,95	0,02	0,03	11,00
		7	61,0	0,4	0,03	38,6	100,00	9,95	0,05	0,001	11,00
		8	60,9	0,4	0,03	38,5	99,83	9,95	0,05	0,001	11,00
Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	2500	9	60,9	0,4	0,03	38,5	99,83	9,94	0,05	0,001	11,00
		10	62,0	0,4	—	37,5	99,5	9,94	0,06	—	11,00

МИЛЛЕРИТ

Условия нахождения. В кобальтовых рудах Южного железо-кобальтового месторождения (из штольни) впервые обнаружен автором [21] среди скарнов различного состава, отобранных в разных интервалах в парагенетической ассоциации с линнеитом, халькопиритом, магнетитом, кобальтпиритом, аллоклазитом, глаукодомом, высококобальтистым глаукодомом, арсенопиритом, данаитом, сфалеритом; из редко встречающихся минералов — с пентландитом, валлериитом, кубанитом, висмутином, теллуровисмутитом, бисмоклитом, электрумом, молибденитом, галенитом; из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом, эпидотом, андрадитом, гроссуляром и хлоритом.

Зерна миллерита в хромитовых месторождениях Кельбаджарского района включены в пентландит, хромит и магнетит, очень редко в гарниерит. Основную массу руд составляют (в %): хромит 20; гарниерит 20, магнетит 4, кобальтпентландит 1, миллерит 0,5, зигенит 0,2, хизлевудит 0,1, полидимит 0,1 и прозрачные минералы 54.

Морфология. В виде тонких различно ориентированных пламенивидных и червеобразных зерен с хорошо заметной спайностью размером до 0,1 мм, в аллоклазит-кобальтиновых рудах, иногда в сростании с линнеитом в халькопирите (Южное месторождение). Иголочки миллерита прорастают чечевицеобразные кристаллы кальцита на стенках межжилльных полостей. Кристаллы кальцита в свою очередь нарастают на иглы миллерита, образуя «булавы» или розетковидные агрегаты. Образуется спутанноволокни-

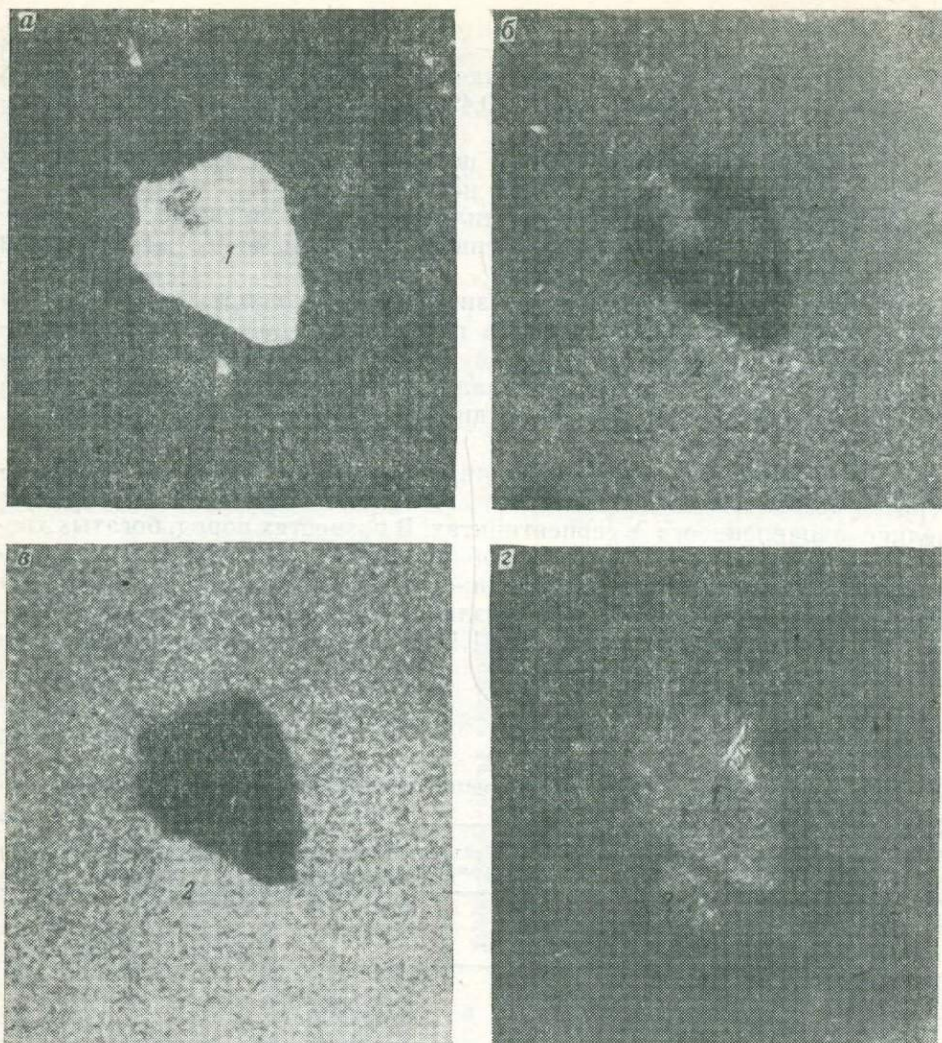


Рис. 33. Растровые изображения кристаллов пирротина (1) и аллоклазита (2) в характеристических рентгеновских лучах на участке размером 100×100 мкм (обр. 605)

$a - FeK_{\alpha}$; $б - CoK_{\alpha}$; $в - AsK_{\alpha}$; $г - SK_{\alpha}$

стые сноповидные агрегаты или единичные волокнистые кристаллики размером от 0,01 до 1,0 мм по трещинкам хромитовых руд, покрытых коркой ромбоэдрических кристаллов кальцита. Длина иголок миллерита до 0,7 мм. Выделения миллерита в хромите образуют ксеноморфные зерна с причудливыми извилистыми очертаниями и пластинки размером от 0,1 до 0,3 мм. Формирует с халькопиритом пламеневидную и графическую, а с линнеитом — реликтовую структуру замещения.

Физические свойства. Цвет светло-желтый на зеленовато-желтом фоне халькопирита. Двухотражение в воздухе слабое, по границам зерен заметное, в иммерсии значительно усиливается. Анизотропный. Эффект анизотропии в скрещенных николях сильный, особенно в иммерсии. Обладает высокой отражательной способностью. Спектр отражения миллерита по всем длинам волн (440—740 нм) выше, чем у полидимита, но меньше, чем у хизлевудита (см. табл. 31, рис. 48).

Твердость миллерита $H=2,22-2,43$ ГПа, $H_{ср}=2,32\pm 0,01$ ГПа при $P=0,19-0,49$ Н (Южное месторождение, обр. 96); $H=2,11-2,32$ ГПа, $H_{ср}=2,21\pm 0,01$ ГПа при $P=0,19-0,49$ Н; $d_{ср}=5,41$ г/см³ (Кельбаджарский рудный район).

От концентрированной HNO_3 поверхность миллерита становится иризирующей. Остальные реактивы не действуют.

Рентгеновские исследования миллерита, выполненные микрометодом, приводятся в табл. 20. Полученные данные хорошо сопоставляются с эталонными (см. табл. 20).

Миллерит образовался приблизительно одновременно с линнеитом за счет кобальтина и кобальтового пентландита под действием гидротермальных растворов при высокой летучести S в последнюю стадию минерализации. По генезису он аналогичен миллериту медно-сульфидных руд месторождения Ниппо рудника Камаиси (префектура Иватэ, Япония).

На Гейдаринском месторождении интерметаллического типа миллерит в ассоциации с пентландитом, зигенитом, хизлевудитом образует мелкие вкрапленности в серпентинитах. В разностях пород, богатых хромитом, магнетитом, пентландитом, обнаружены высококобальтистые разновидности (в вес. %): пентландита — Co 25,0; Ni 27,2 и Fe 15,0; зигенита — Co 27,1; Ni 21,4; Fe 9,16; хизлевудита — Co 0,02—0,03; Ni 73,3—73,5; Fe 0,1—0,2; миллерита — Ni 61,1—64,5; Co 0,03—3,5; Fe 0,02—0,7; полидимита — Ni 58,2; Co 0,2.

Таблица 20

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки миллерита

Южное месторождение (обр. 96)			Гейдаринское месторождение (обр. А-79)		Пенсильвания, США [43]	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
7	0,479	110	6	0,480	8	0,477
4	0,293	100	3	0,295	3	0,294
10	0,277	211	10	0,276	10	0,275
7	0,250	111	6	0,251	6	0,250
5	0,2389	220	4	0,2388	1	0,239
6	0,2224	210	6	0,2223	6	0,222
10	0,1858	221	10	0,186	10	0,1859
8	0,1734	311	8	0,1736	5	0,1728
6	0,1599	330	6	0,1598	4	0,595
5	0,1544	110	5	0,543	3	0,1542
3	0,1404	313	3	0,1402	0,5	0,1408
2	0,1382	422	2	0,1384	1	0,1384
4	0,1348	431	4	0,1350	0,5	0,1352
5	0,1298	310	5	0,1300	2	0,1298
4	0,1257	222, 340	4	0,1258	3	0,1254
3	0,1204	440	3	0,1202	1	0,1201
6	0,1178	423	5	0,1177	1	0,1176
2	0,1142	114	2	0,1141	1	0,1143
10	0,1112	441	10	0,1113	4	0,1112
6	0,1105	530	7	0,1104	1	0,1102
$a_0=0,962\pm 0,0004$ нм $c_0=0,315\pm 0,0002$ нм			$Qrh=0,563$ нм $\gamma=11\ 640$			

Миллерит хромитовых месторождений образовался приблизительно одновременно с хизлеудитом, зигенитом, полидимитом за счет высококобальтистого пентландита из эпитермальных растворов, наложенного на серпентинизированные перидотиты. Присутствие этих минералов в обычной для других серпентинитов ассоциации объясняется мобилизационной геохимической специализацией, приведшей к обогащению перидотитов Ni и Co.

По И. П. Илупину (1962), миллерит в кимберлитах при достаточной пористости образовался в условиях незначительного привноса серы, когда большая часть железа в породе находится в виде окисла, а не в виде сульфида, и никель с более высоким, чем у железа, сродством к сере (Бетехтин, 1950 и Ферсман, 1959) выделяется в виде самостоятельного сульфида. В случаях же более обильного поступления серы, когда магнетит исчезает, а железо образует сульфид (пирит), никель входит в его кристаллическую решетку в виде изоморфной примеси.

Кристаллики миллерита отлагаются главным образом в псевдоморфозах серпентинита по оливину, поскольку серпентин этих псевдоморфоз относительно обогащен никелем и легко выщелачивается под действием гидротермальных растворов.

Источником серы являются, по мнению И. П. Илупина, битуминозные карбонатные породы нижнего палеозоя, прорываемые кимберлитовыми телами.

Химический состав дан в табл. 21. Полный химический анализ выявил в составе миллерита никель, кобальт, железо и серу, которые распределяются относительно равномерно

Таблица 21

Месторождение	№ образца	№ анализа	Химический состав миллерита						Коэффициент в формуле					
			Содержание, вес. %						Сумма					
			Ni	Co	Fe	Cu	S	Сумма	Ni	Co	Fe	Cu	S	
Южное железо-кобальтовое	96	1	59,6	2,5	1,3	0,6	36,2	99,5	0,93	0,04	0,02	0,01	1,00	
		2	54,0	8,8	1,1	0,4	35,1	99,4	0,84	0,14	0,01	0,01	1,00	
		3	61,0	3,5	1,0	—	35,4	100,7	0,92	0,06	0,02	—	1,00	
	Гейдаринское никель-кобальтсодержащее хромитовое	A-78	4	61,1	3,5	0,7	—	35,4	100,7	0,94	0,05	0,01	—	1,00
			5	64,0	0,6	0,6	—	35,3	100,5	0,98	0,01	0,01	—	1,00
			6	64,5	0,05	0,02	—	35,3	99,77	1,00	0,001	0,001	—	1,00
		A-79	7	63,2	1,6	0,2	—	35,6	100,6	0,97	0,03	0,003	—	1,00
			8	64,1	0,6	—	—	35,4	100,1	0,99	0,01	—	—	1,00
			9	64,9	0,02	—	—	35,4	100,3	1,00	0,0004	—	—	1,00
Зиген (ФРГ)	Э-68	10	65,7	0,29	0,06	—	34,2	100,25	1,00	0,005	0,001	—	1,00	
		11	65,0	0,59	0,09	—	34,7	100,39	1,00	0,01	0,002	—	1,00	
		12	64,7	0,38	0,14	—	34,8	100,02	0,99	0,01	0,006	—	1,00	

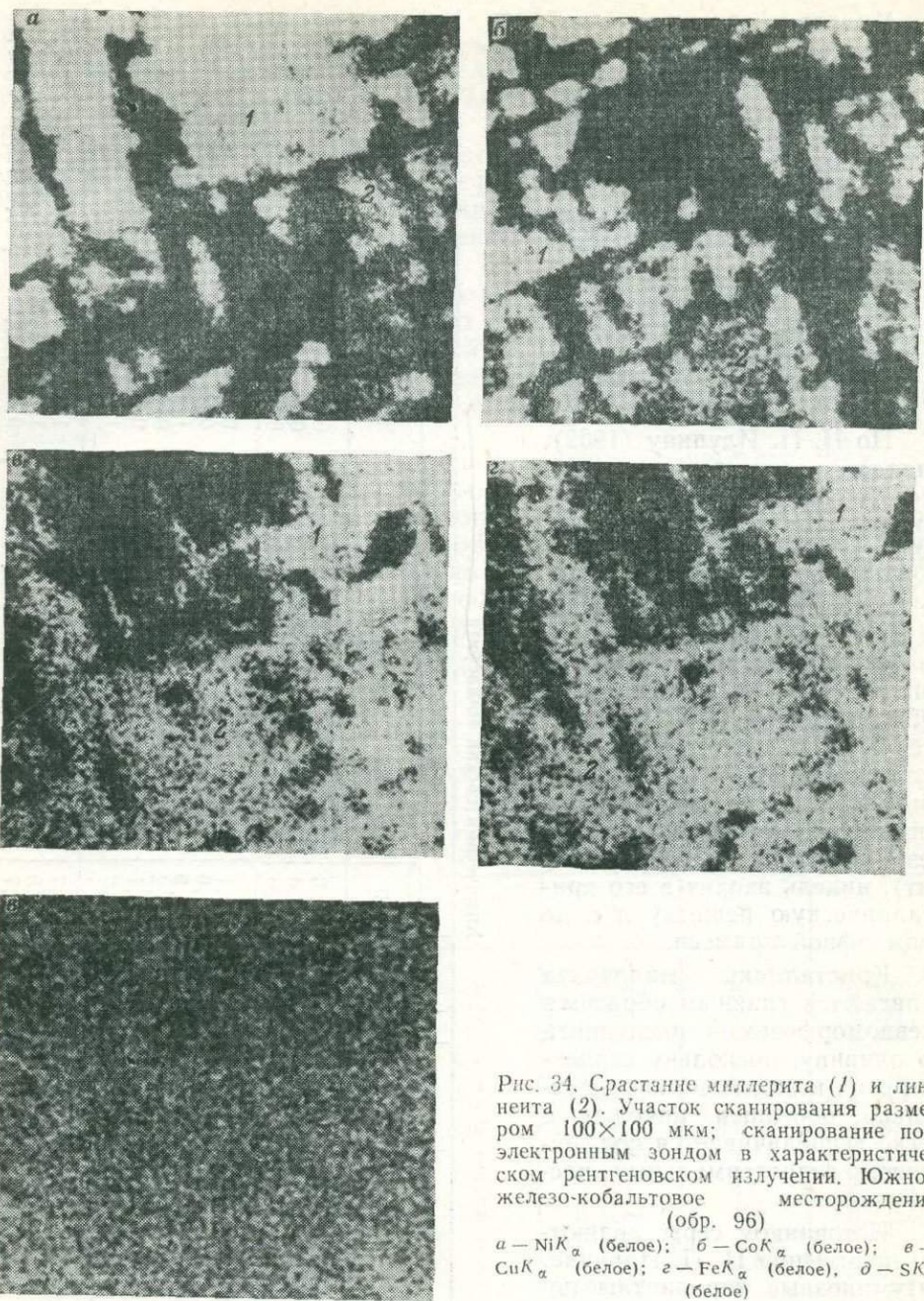


Рис. 34. Срастание миллерита (1) и линнеита (2). Участок сканирования размером 100×100 мкм; сканирование под электронным зондом в характеристическом рентгеновском излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 96)

a — NiK_{α} (белое); *б* — CoK_{α} (белое); *в* — CuK_{α} (белое); *г* — FeK_{α} (белое), *д* — SK_{α} (белое)

но, что установлено при площадном и линейном сканировании минерала (рис. 34). Концентрация никеля и серы наиболее постоянна (см. табл. 21), железо и кобальт встречаются лишь как примесь в некоторых образцах (см. рис. 34, 35). Количество металлов в миллерите (обр. 96) следующее (в вес. %): Ni 65,7—54,0; Co 0,02—8,8; Fe 0,02—1,3, что соответствует теоретическому. Отношение суммы металлов к сере по атомным количествам приближается к 1:1, т. е. к формуле NiS. Промежуточное положение минерала определяется соотношениями никеля, ко-

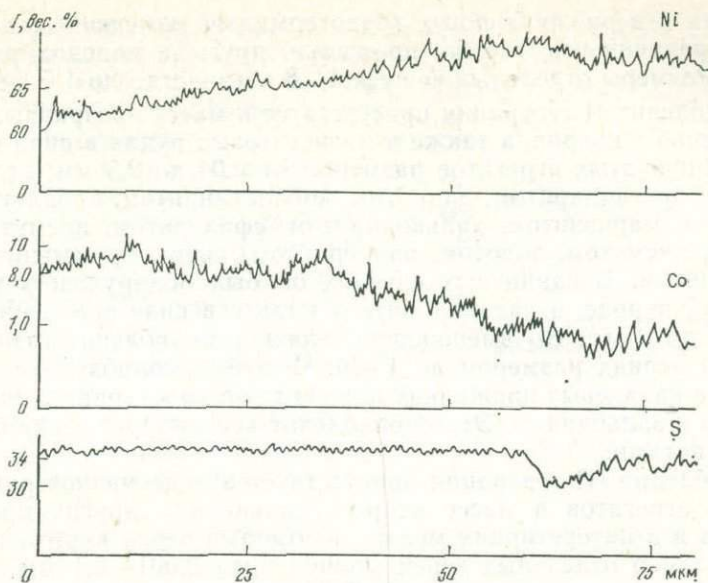


Рис. 35. Кривые распределения Ni, Co и S по профилю, проходящему через миллерит. Гейдаринское никель-кобальтсодержащее хромитовое месторождение (обр. А-78)

бальта и железа, приближающимися к 1 : 1, т. е. к теоретической формуле NiS (см. табл. 21, рис. 26).

Микрохимическая реакция на Ni диметилглиоксимом положительна (розовая окраска).

МОЛИБДЕНИТ

Условия нахождения. В кобальтоносных скарново-рудных залежах, пирит-кобальтпиритовых, пирит-халькопиритовых аллоклазит-кобальтиновых, арсенопирит-данаитовых, магнетитовых, галенит-сфалеритовых рудах, а также в жильных кварц-карбонатных породах молибденит встречается в ассоциации с галенитом, халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, кобальтином, аллоклазитом, глаукодотом, марказитом, борнитом, теннантитом и другими минералами сульфидов и сульфоарсенидов.

Морфология. Отмечен почти во всех морфологических разновидностях руд, образовался позже пирита и раньше халькопирита. В рудных зонах тяготеет к зальбандам жил и нередко представлен «сажистой» разновидностью. В зонах, где молибденит является основным рудным минералом, образует различно ориентированные прожилки и вкрапленники как в измененных породах, так и в кварцевых жилах, в которых прожилки молибденита секутся халцедоновидными кварцем и кальцитом. Образует гнездообразные скопления, ветвящиеся просечки, струйчатые выделения и рассеянную вкрапленность, тяготеющую к участкам окварцованных пород и к зальбандам кварцевых прожилков; часто встречается в виде растертых примазок по плоскостям трещин. Наиболее распространенная структура молибденита — чешуйчатая. В аншлифах выделяются три его генерации.

Молибденит I генерации — крупночешуйчатый, образует мономинеральные агрегаты в кварцевых, кварц-карбонатных, кварц-пиритовых

прожилках и в раздробленных гидротермально-измененных породах, а также вкрапленность, гнезда, прожилки, друзы в породах различного состава. Размеры отдельных чешуек 1—8 мм, иногда до 1,5 см.

Молибденит II генерации присутствует в массе прозрачных минералов, особенно в кварце, а также в магнетитовых рудах в виде мелкозернистых чешуйчатых агрегатов размером от 0,04 до 2,5 мм; ассоциирует с пиритом, арсенопиритом, данаитом, кобальтпиритом, кобальтином, аллокладитом, марказитом, халькопиритом, сфалеритом, висмутином, самородным висмутом, золотом, валлеритом, кварцем, кальцитом и полевым шпатом. В единичных случаях он был обнаружен в кварце, в измененной породе, в халькопирите и пирите в виде скопления чешуек размером до 2 мм. Во вмещающих породах молибденит отмечается в единичных зернах размером до 1 мм. Чешуйки молибденита II располагаются в кварцевых прожилках параллельно простиранию или перпендикулярно к зальбандам. Этот молибденит ассоциирует с пиритом и полевыми шпатами.

Молибденит III генерации присутствует в виде мелкозернистых чешуйчатых агрегатов в массе кварца, кальцита и других прозрачных минералов и в интерстициях между обломками зерен пирита и халькопирита. Размер отдельных зерен молибденита 0,001—0,1 мм, иногда в кварце наблюдается очень мелкий (0,05 мм) агрегат тонкочешуйчатого молибденита, ассоциирующего с халькопиритом, сфалеритом, гематитом, кварцем, кальцитом и др. Тонкочешуйчатый молибденит III рассеян также во вмещающих породах в виде мелких зерен до 0,2 мм; ассоциирует с пиритом, халькопиритом, теннантитом, борнитом, галенитом, сфалеритом, халькозином, ковеллином, кварцем, кальцитом и полевыми шпатами. В единичных случаях он был обнаружен в кварц-карбонатной массе и в пирите I генерации в виде единичных чешуек и радиально-лучистых сростков.

Физические свойства. В отраженном свете белый и серовато-белый. Имеет высокую отражательную способность. Двухотражение очень сильное, анизотропен. Эффекты анизотропии при скрещенных николях при интенсивном освещении, особенно в иммерсии, выражены отчетливо. Дисперсия отражательной способности молибденитов всех генераций одинакова: величина R_m резко возрастает при переходе из коротко-

Таблица 22

Химический состав молибденита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле	
			Mo	Re	S	Сумма	(MoRe)	S
Северо-Восточное железо-кобальтовое	607	1	59,9	0,10	40,00	100,00	$(0,999 \times 0,001)_{1,00}$	1,99
		2	59,4	0,13	40,47	100,00	$(0,999 \times 0,001)_{1,00}$	1,99
Южное железо-кобальтовое	120	1	59,5	0,12	40,15	100,08	$(0,999 \times 0,001)_{1,00}$	2,00
		2	60,0	0,08	40,00	100,08	$(0,999 \times 0,001)_{1,00}$	1,99
		3	59,9	0,11	40,00	100,01	$(1,00 \times 0,001)_{1,00}$	1,99
		4	59,8	0,09	40,11	100,00	$(1,00 \times 0,001)_{1,00}$	2,00
		5	59,3	0,04	40,40	99,74	$(0,998 \times 0,001)_{0,99}$	2,01
		6	60,1	0,07	39,5	99,67	$(0,99 \times 0,001)_{1,00}$	2,00

средневолновую часть спектра, а затем немного снижается в области длинных волн. Были исследованы дисперсии отражения молибденита в области спектра 440—1100 нм и дана оценка анизотропии по величине угла вращения поляризации. Полученные данные показали, что различия отражения молибденита улавливаются в области спектра 620—700 нм. Наибольшая величина отражения (57,2—47,6% для $\lambda=440-540$ нм и 46,4—57,8% для $\lambda=620-700$ нм) характеризует молибденит I и II генераций (табл. 22, рис. 36). Структура спектров отражения молибденита очень сложна. Имеется несколько сильных максимумов, местоположение которых может быть любым. Полученные нами спектры отражений молибденита являются характерной диагностикой для этого минерала.

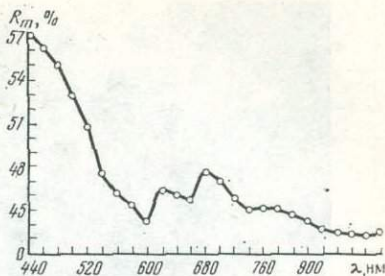


Рис. 36. Спектры отражения (R_m) молибденита (обр. 120)

Спектры отражения молибденита Южного месторождения (обр. 120) следующие:

λ , нм	R_m , %	λ , нм	R_m , %	λ , нм	R_m , %
440	57,2	620	46,2	780	45,0
460	56,4	640	46,2	800	44,6
480	55,1	660	45,8	850	44,2
500	53,0	680	47,6	900	43,8
520	47,6	700	46,6	950	43,4
540	47,6	720	46,0	1000	43,4
560	46,2	740	45,0	1050	43,2
580	45,4	760	45,2	1100	44,4
600	44,2				

Твердость молибденита $H=0,31-0,91$ ГПа; $H_{cp}=0,59\pm 0,15$ ГПа; $K_H=15$. $d_{cp}=4,83\pm 0,003$ г/см³.

Травится слабо HNO_3 . Растворяется в горячей царской водке.

Рентгеновскими исследованиями для молибденита Южного месторождения получены следующие характерные линии: 0,2046 (10); 0,158 (10); 0,1477 (7) и 0,1192 (5), а также параметры элементарной ячейки: $a_0=0,315$ нм, $c_0=1,225$ нм.

Химический состав молибденита и рассчитанные по нему кристаллохимические формулы, соответствующие теоретическим, приведены в табл. 22. Кроме главных компонентов Мо и S изоморфно присутствует Re. Определение Мо и Re выполнялось по излучению L_{α} , а S по K_{α} . В зернах молибденита Мо и Re распределены равномерно (рис. 37).

Спектральный анализ молибденитов обнаруживает в небольшом количестве примеси следующих элементов (в %): Fe (0,01—1); Cu (0,05—0,1); Mn (0—1,0); Bi (0,001—0,1); Ti (0,002—0,05); Mg (0,001—0,07); Ba (0,001—0,02). В единичных пробах определены Co, Ni, Pb, Ag, Sn, V, Ga, Re, Tl.

ХИЗЛЕВУДИТ

Хизлевудит впервые был установлен в 1896 г. В. Ф. Петерфордом в серпентинитах о-ва Тасмания. М. А. Пикок в 1947 г. доказал, что хизлевудит представляет самостоятельный минеральный вид — сульфид никеля состава Ni_3S_2 . На территории Советского Союза был обнаружен в ряде месторождений.

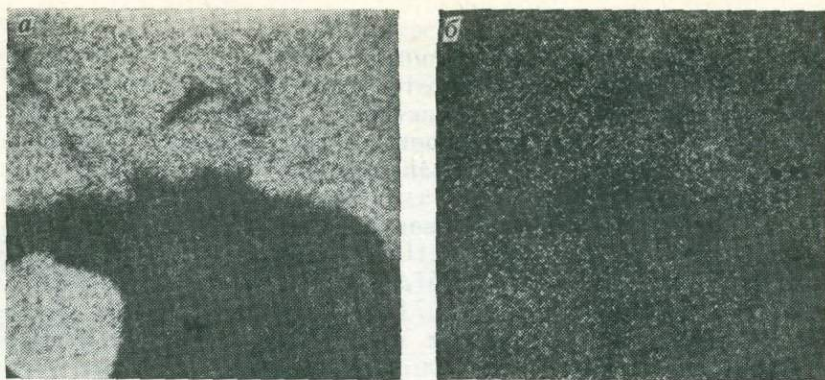


Рис. 37. Участок сканирования молибденита в характеристических рентгеновских лучах размером 200×200 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 120)
 а — MoL_α (белое); б — ReL_α (белое)

Условия нахождения. В сульфидных рудах Гейдаринского месторождения встречен в тесном парагенезисе с миллеритом, зигенитом, кобальтпентландитом, высококобальтистым пентландитом, полидимитом, хромитом, пиритом, кобальтсодержащим пиритом, халькопиритом, кварцем, кальцитом и гарниеритом.

В пирит-халькопиритовых, а также хромитовых жилах хизлевудит относительно редкий минерал, развивающийся по миллериту, кобальтпентландиту, иногда зигениту. Представлен выделениями удлинённой формы размером в десятые и сотые доли миллиметра.

Морфология. В пирит-халькопиритовых прожилках среди хромитовых руд хизлевудит очень редко образует самостоятельные выделения размером соответственно от единиц до десятков микрон и от 0,1 до 2—3 мм. Микровключения хизлевудита обычно точечной, угловатой и пластинчатой формы. В одном из выделений кобальтпентландита наблюдается изометричное зерно хизлевудита размером $0,1 \times 0,1$ мм. Иногда хизлевудит образует корнеобразные агрегаты в кобальтпентландите, по видимому, замещая его; хизлевудит в свою очередь также замещается миллеритом.

Физические свойства. В отраженном свете на фоне пирит-халькопиритовых прожилков — светло-желтый, а на фоне хромит-магнетитовых прожилков — желтовато-кремовый. Двухотражение слабое в желтоватых тонах, анизотропия ясная с цветным эффектом от бурого до синевато-серого. Отражательная способность хизлевудита выше, чем полидимита, пентландита, миллерита и зигенита. Спектры отражения хизлевудита приводятся в табл. 31 и на рис. 48 (см. описание зигенита).

Твердость хизлевудита $H=2,2-2,7$ ГПа, $H_{cp}=2,47 \pm 0,02$ ГПа при $P=0,19$ Н. $K_n=2$ (Гейдаринское месторождение).

Хизлевудит травится HNO_3 (1 : 1) в выявленном зональной структуры.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки хизлевудита приводятся в табл. 23. Данные таблицы указывают, что исследованный автором хизлевудит — самостоятельный минеральный вид — сульфид никеля состава $(\text{Ni}, \text{Co}, \text{Fe})_3\text{S}_2$.

Химический состав хизлевудита из Гейдаринского месторождения выполнен микрозондом MS-46 «Камека». В хизлевудите варьируют сле-

Таблица 23

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки хизлевудита

Гейдаринское месторождение (обр. А-79)			Трайел-Харборское месторождение, Австралия [43]		Гейдаринское месторождение (обр. А-79)			Трайел-Харборское месторождение, Австралия [43]	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
5	0,411	001	5	0,411	1	0,1124	203	1	0,1125
10	0,287	101	9	0,288	3	0,1004	123	2	0,1000
4	0,239	111	4	0,239	1	0,1094	123	0,5	0,1090
2	0,235	111	2	0,236	4	0,1086	213	3	0,1085
5	0,204	002	5	0,204	2	0,1017	004	2	0,1018
9	0,1823	012	10	0,1823	1	0,0960	114	1	0,0958
	0,1814	102		0,1817	1	0,0938	133	0,5	0,0937
2	0,1674	112	1	0,1675	1	0,0918	024	1	0,0916
7	0,1660	112	8	0,1661	1	0,0908	204	1	0,0909
2	0,1301	003	1	0,1358	1	0,0898	124	1	0,0897
3	0,1294	013	2	0,1295	$a_0=0,5742$ нм $c_0=0,7138 \pm 0,001$ нм $\beta \sim 90^\circ$			$a_0=0,5741$ нм $c_0=0,7139$ нм $z=1$	
4	0,1225	113	2	0,1224					
1	0,1189	222	0,5	0,1189					
1	0,1174	222	0,5	0,1173					

Таблица 24

Химический состав хизлевудита из Гейдаринского никель-кобальтсодержащего хромитового месторождения

№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
		Ni	Fe	Co	S	Сумма	Ni	Fe	Co	S
А-78	1	73,5	0,10	0,03	26,70	100,33	3,00	0,004	0,001	2,00
	2	73,6	0,09	0,04	26,27	100,00	3,00	0,003	0,001	2,00
	3	73,3	—	—	26,70	100,00	3,00	—	—	2,00
А-79	4	73,5	—	0,02	26,70	100,22	3,00	—	0,001	2,00
	5	73,3	—	—	26,80	100,10	3,00	—	—	2,00
	6	73,6	0,08	0,05	26,27	100,00	3,00	—	—	2,00

дующие элементы (в вес. %): Ni от 73,3 до 73,6, Fe от 0,08 до 0,1, Co от 0,02 до 0,05, а S от 26,27 до 26,8. Кобальт, по-видимому, присутствует как изоморфная примесь и входит в кристаллохимическую формулу хизлевудита (табл. 24). Результаты анализов рассчитываются по формуле, соответствующей теоретической (см. табл. 23). В зернах хизлевудита из Гейдаринского месторождения (см. табл. 23, анализы 1—6) Ni и S распределены равномерно, а Fe и Co неравномерно (рис. 38) и сняты кривые распределения по профилю, проходящему через хизлевудит и миллерит (рис. 39). Результаты анализов хизлевудита нанесены на треугольную диаграмму (см рис. 26 в описании пирита) и находятся на линии Ni.

ВИСМУТИН

В кобальтовых и кобальтсодержащих рудах Дашкесанского рудного района висмутин был впервые обнаружен А. И. Махмудовым [21].

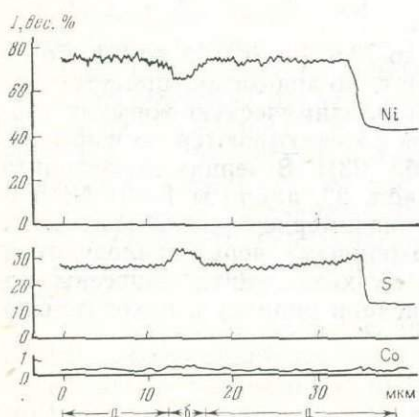
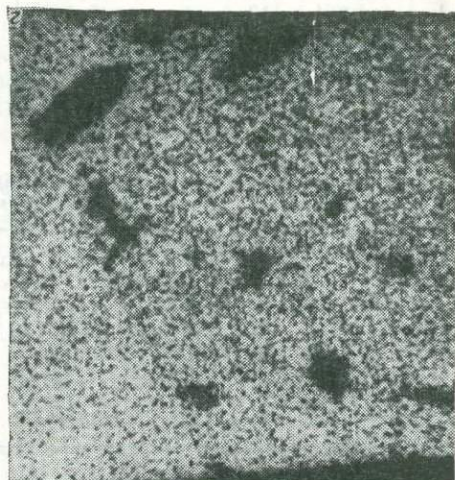
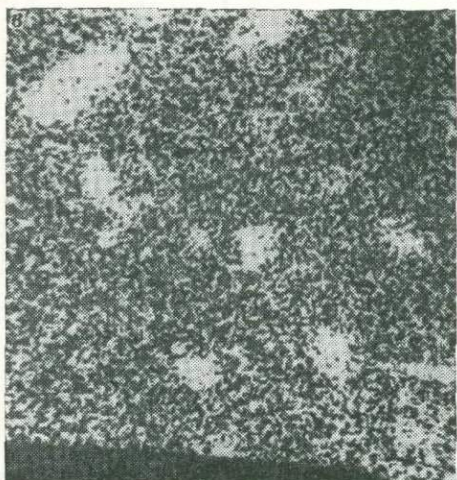
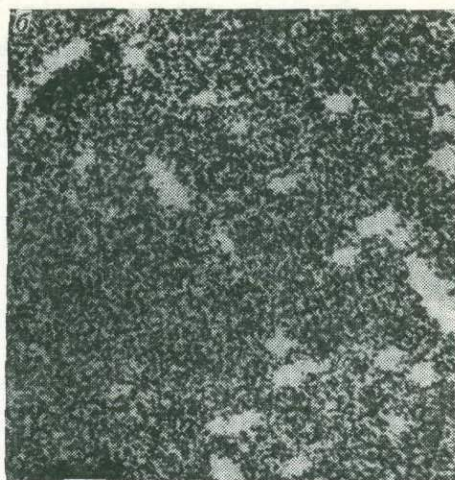
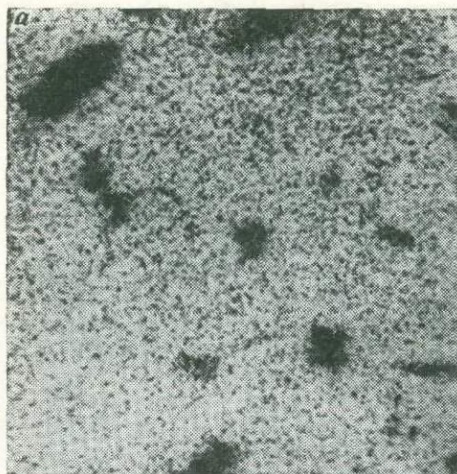


Рис. 38. Участок сканирования хизлевудита в характеристическом рентгеновском излучении размером 100×100 мкм (обр. А-78):
 а — NiK_{α} (белое); б — CoK_{α} (белое); в — FeK_{α} (белое); г — SK_{α} (белое)

Рис. 39. Кривые распределения Ni, S и Co по профилю, проходящему через хизлевудит (а) и миллерит (б). Гейдаринское никель-кобальт-содержащее хромитовое месторождение (обр. А-79)

Условия нахождения. Висмутин в сравнении с самородным висмутом, теллуrowисмутитом, теллуридом, парателлуридом, бисмоклитом, реже электрумом входит в парагенезис с аллоклазитом, кобальтином, халькопиритом, реже кобальтпиритом и пиритом.

Морфология. Образует неправильной формы выделения с извилистыми очертаниями в массе аллоклазита, кобальтпирита и пирита, округлой или овальной, иногда ксеноморфной — в халькопирите, размер зерен достигает 0,1 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет висмутин от голубого до голубовато-серого и коричневатого.

Висмутин был определен по высокой отражательной способности и отчетливой анизотропии; от самородного висмутин отличается голубоватым цветом. Измерения спектров отражения висмутин приведены на рис. 40. Спектры отражения висмутин (обр. 2401) следующие:

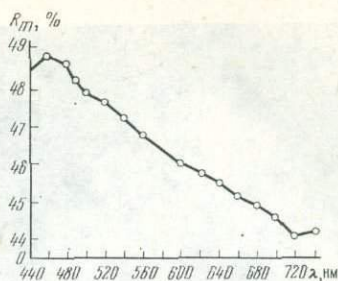


Рис. 40. Спектры отражения (R_m) висмутин. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210)

λ, нм	R _m , %	λ, нм	R _m , %	λ, нм	R _m , %
440	48,4	560	46,8	660	45,1
460	48,8	580	46,4	680	44,9
480	48,6	600	46,0	700	44,6
500	47,8	620	45,7	720	44,1
520	47,6	640	45,5	740	44,2
540	47,2				

Твердость висмутин $H=0,76-1,72$ ГПа, $H_{ср}=1,23\pm 0,02$ ГПа, $P=0,19$ Н.

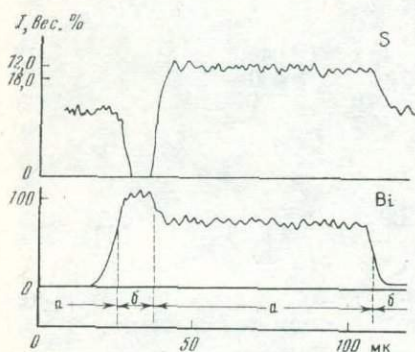
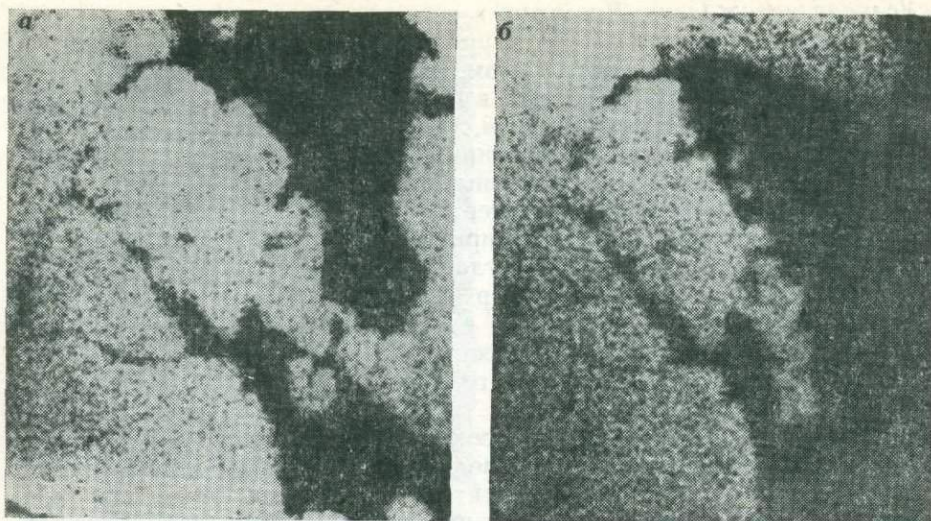
Травится азотной кислотой, от действия которой вскипает и чернеет, дает капельную реакцию с KI, с хинином — оранжевое пятно.

Результаты химических исследований показывают, что висмутин, обнаруженный на рассматриваемых месторождениях, однороден и по формуле соответствует теоретическому (табл. 25).

Таблица 25

Химический состав висмутин

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание				Сумма	Коэффициент в формуле	
			Bi		S			Bi	S
			вес. %	ат. кол-во	вес. %	ат. кол-во			
Южное железо-кобальтовое	210	1 2	81,5	0,389	18,5	0,579	100,00	2,00	3,00
			81,7	0,389	18,3	0,578	100,00	2,00	3,00
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	3 4	81,2	0,388	18,3	0,578	99,5	2,00	3,00
			81,4	0,389	18,5	0,579	99,9	2,00	3,00
Агюртское медно-молибденовое	2412	5	81,7	0,389	18,3	0,578	100,00	2,00	3,00



↑
Рис. 41. Включения висмутита (белое) в аллоклазите (черное) на участке сканирования размером 80×80 мкм; сканирование под электронным зондом в характеристическом излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210):

a — BiM_{α} (белое); b — SK_{α} (белое)

←
Рис. 42. Кривые распределения Bi и S по профилю, проходящему через висмутин (а) и самородный висмут (б). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210)

Получены фотографии сканированного поля размером 80×80 мкм (рис. 41) и кривые распределения Bi и S по профилю, проходящему через висмутин и самородный висмут (рис. 42).

ПЕНТЛАНДИТ

Пентландит в рудах Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения в парагенезисе с пиритом и халькопиритом (в зернах) впервые под микроскопом был обнаружен Е. Г. Багратуни (1932). До исследований автора в сульфоарсенидной и сульфидной ассоциациях пентландит не найден. Г. Х. Эфендиев [42] объясняет ничтожную роль никеля в геохимических процессах Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения.

Условия нахождения. Распространен пентландит в аллоклазит-кобальтиновых, пирит-кобальтпиритовых рудах Северного кобальтового, Южного и Северо-Восточного железо-кобальтовых, а также Гейдаринского никель-кобальтсодержащего хромитового месторождений. Приурочен в основном к пирротину, аллоклазиту, кобальтину, халькопириту, хромиту и гарниериту и чаще всего встречается в ассоциации с пирротин, аллоклазитом, кобальтином, высококобальтистым глаукодотом, глаукодотом, моддеритом, сафлоритом, данаитом из Северного ко-

бальтового месторождения; с кобальтпиритом, никельпиритом, кобальтсодержащим пиритом, арсенопиритом, леллингитом, магнетитом, валле-ринитом, миллеритом, виоларитом, линнеитом из Южного месторожде-ния; с бравоитом, карролитом, кобальтсодержащим сфалеритом, халь-копиритом, эритрином из Северо-Восточного месторождения; с хизлеву-дитом, зигенитом, высококобальтистым пентландитом, хромитом, гар-ниеритом из Гейдаринского месторождения и рядом нерудных и гипер-генных минералов.

Морфология. Мелкие зерна пентландита прямоугольной формы раз-мером 0,001—0,03 мм, иногда до 0,2 мм в поперечнике (Северное ко-бальтовое месторождение) включены в пирротин. В рудах и породах (Южное железо-кобальтовое месторождение) образует ксеноморфные выделения с причудливыми очертаниями размером от 0,01 до 0,4 мм.

Физические свойства. В отраженном свете на фоне пирротина от светло-желтого до светло-кремового цвета. Отражательная способность пентландита выше, чем миллерита, и ниже, чем зигенита. Спектры отра-жения пентландита и высококобальтистого пентландита приводятся в табл. 33, рис. 48 (см. описание зигенита).

Минерал изотропен, внутренние рефлексы не наблюдаются.

Твердость пентландита $H=1,91-2,35$ ГПа, $H_{ср}=2,25$ ГПа при $P=$
 $=0,49$ Н.

Травится HNO_3 ; слегка тускнеет. Остальные реагенты, обычно при-меняемые в минераграфии, на минерал не действуют.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и пара-метры элементарной ячейки пентландита приводятся в табл. 26.

Химический состав приводится в табл. 27. С помощью микрозонда получена фотография участка сканирования пентландита (рис. 43) и приведена запись кривых распределения Ni, Fe, Co, S (рис. 44). Про-межуточное положение пентландита определяется соотношениями нике-ля, железа и кобальта. Это отчетливо видно на тройной диаграмме (см. рис. 26 в описании пирита), где точки 12 анализов пентландита соответ-ствуют указанной кристаллохимической формуле.

Таблица 26

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки пентландита

Южное месторождение (обр. 96)			Седбери, Канада [43]		Южное месторождение (обр. 96)			Седбери, Канада [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,583	111	2	0,584	2	0,141	771, 551	0,5	0,141
1	0,506	200	0,5	0,505	4	0,131	731, 553	3	0,131
3	0,359	220	1	0,358	3	0,126	800	3	0,126
8	0,303	311	6	0,304	2	0,123	733	0,5	0,123
3	0,292	222	2	0,292	2	0,164	751, 555	3	0,116
1	0,252	400	1	0,252	1	0,115	662	0,5	0,115
4	0,231	331	3	0,231	2	0,105	931	2	0,105
10	0,178	440	10	0,178	5	0,103	844	5	0,103
1	0,170	531	0,5	0,170					
2	0,154	535	1	0,154					
1	0,152	622	1	0,152					
1	0,145	644	0,5	0,145					
					$a_0=1,017$ нм			$a_0=1,017$ нм	
					$\beta \sim 90^\circ$			$z=4$	

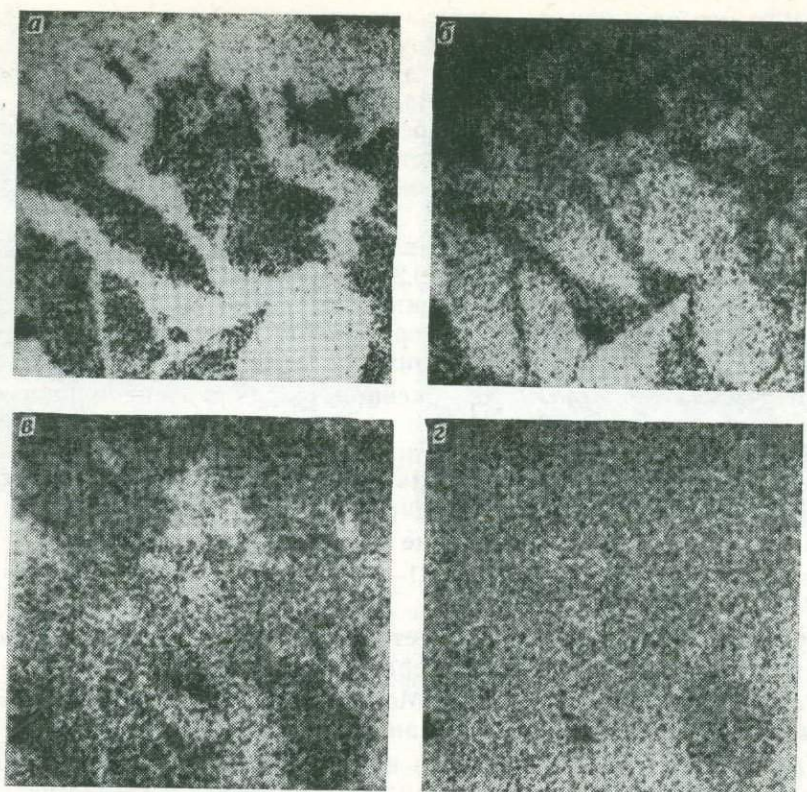


Рис. 43. Участок сканирования кобальтпентландита размером 100×100 мкм; сканирование под электронным зондом в характеристическом рентгеновском излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 96):

a — NiK_{α} (белое); *б* — CoK_{α} (белое); *в* — FeK_{α} (белое); *г* — SK_{α} (белое)

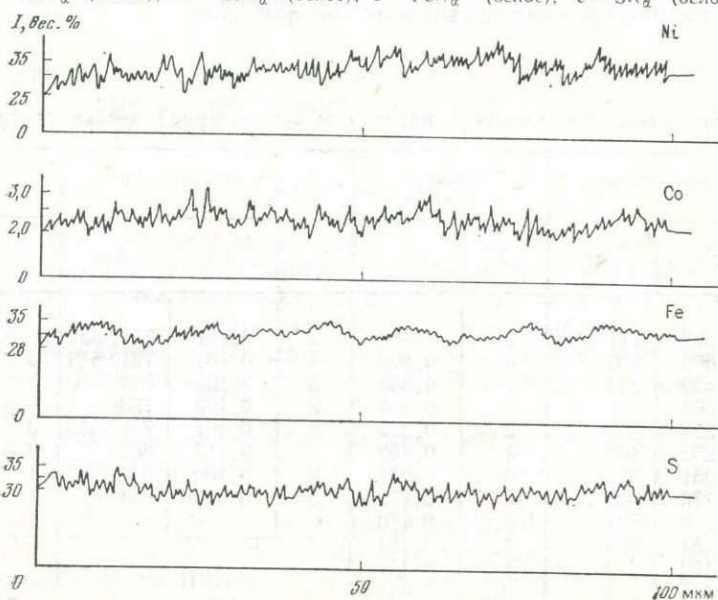


Рис. 44. Кривые распределения Ni, Co, Fe и S по профилю, проходящему через кобальтпентландит. Северное кобальтовое месторождение (обр. 605)

Химический состав пентландита

Месторожде- ние	№ об- разца	№ ана- лиза	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
			Ni	Co	Fe	S	Сумма	Ni	Co	Fe	S
Северное кобаль- товое	605	1	34,9	2,5	29,5	33,2	100,1	4,6	0,3	4,1	8,0
		2	34,8	2,6	29,4	33,2	100,0	4,6	0,3	4,1	8,0
		3	34,9	2,5	29,4	33,2	100,0	4,6	0,3	4,1	8,0
	605 ₁	4	30,0	1,9	35,0	33,1	100,0	3,9	0,2	4,9	8,0
		5	28,9	2,3	35,6	33,2	100,0	3,8	0,3	4,9	8,0
		6	27,5	2,5	36,7	33,3	100,0	3,6	0,3	5,1	8,0
Южное железо- кобальто- вое	96	7	30,0	1,9	35,0	33,2	100,1	3,9	0,2	4,9	8,0
		8	34,4	2,4	30,4	33,3	100,5	4,5	0,3	4,2	8,0
		9	29,9	1,8	35,2	33,6	100,5	4,0	0,2	4,8	8,0
		10	28,9	2,3	35,8	33,4	100,4	3,8	0,3	4,9	8,0
		11	27,8	2,2	36,9	33,5	100,3	3,6	0,3	5,1	8,0
		12	27,5	2,5	36,9	33,4	100,3	3,6	0,3	5,1	8,0
Гейдарин- ское никель- кобальт- содержа- щее хро- митовое	A-78	13	27,2	25,0	15,0	33,0	100,2	3,6	3,3	2,1	8,0
	A-79	14	27,1	25,1	15,0	33,1	100,3	3,6	3,3	2,1	8,0

ВЫСОКОКОБАЛЬТИСТЫЙ ПЕНТЛАНДИТ

Состав пентландита изменяется в зависимости от присутствия в нем изоморфной примеси Co, содержание которого в обычном пентландите до 1—2%, а в кобальтпентландите — 3—10%.

На некоторых месторождениях Финляндии—Варислахти и Оутокумпу обнаружен кобальтпентландит с содержанием Co до 40% [34]. В рудах Гейдаринского месторождения автором обнаружен аналогичный высококобальтистый пентландит с содержанием Co 25,1%.

Условия нахождения. Встречается в пирит-халькопиритовых и халькопирит-пирротиновых прожилках в хромитовых рудах и в серпентинитах. Иногда отмечается в трещинах пирротина и гарниерита, где ассоциирует с пентландитом, кобальтпентландитом (содержание Co 2—3%), пирротинном, кобальтсодержащим пиритом, халькопиритом, хромитом, хизлеудитом, полидимитом, зигенитом, магнетитом, гарниеритом и рядом нерудных и гипергенных минералов.

Морфология. В пентландите, хромите, гарниерите и серпентините образует ксеноморфные выделения с извилистыми очертаниями размером 0,01—0,5 мм. Изредка порошкообразные выделения отлагаются в хромите, замеща его. В пентландите и хромите видны пламенивидные выделения размером 0,1×0,4 мм.

Физические свойства. В отраженном свете по сравнению с пентландитом и кобальтпентландитом цвет высококобальтистого пентландита светло-желтый с розоватым оттенком. При скрещенных николях изотропный. Отражательная способность выше, чем пентландита и кобальтпентландита (табл. 33, рис. 48, см. описание зигенита).

Твердость высококобальтистого пентландита $H=1,96—2,27$ ГПа, $H_{ср}=2,2$ ГПа, $P=0,69$ Н.

Таблица 28

Межплоскостные расстояния
и параметры
элементарной ячейки
высококобальтистого пентландита

Гейдаринское месторождение (обр. А-79)			Оутокумпу, Финляндия [43]	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
5	0,576	111	6	0,575
4	0,499	200	6	0,497
3	0,353	200	2	0,352
10	0,301	311	10	0,3008
8	0,289	222	6	0,2878
2	0,295	400	0,5	0,2946
5	0,229	331	5	0,2288
1	0,224	420	0,5	0,2237
8	0,192	511, 333	8	0,1918
10	0,1762	440	10	0,1763
2	0,1688	531	2	0,1686
4	0,1521	533	4	0,1522
4	0,1503	622	4	0,1505
5	0,1298	553, 731	5	0,1298
4	0,1248	800	5	0,1246
4	0,1152	751, 555	4	0,1151

$a_0 = 0,9974$ нм
 $\beta \sim 90^\circ$

$a_0 = 0,9973$ нм
 $z = 4$

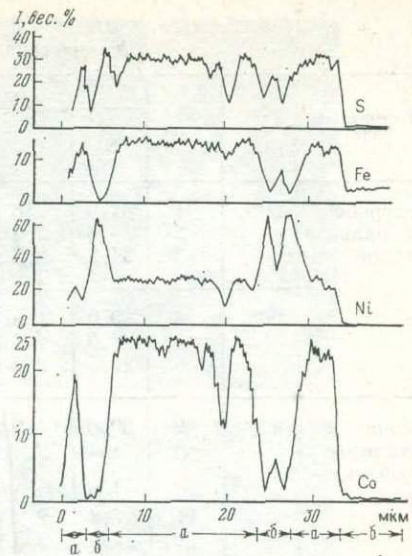


Рис. 45. Кривые распределения S, Fe, Ni и Co по профилю, проходящему через высококобальтистый пентландит (а) и пентландит (б). Гейдаринское месторождение (обр. А-78)

Травится HNO_3 (1:1) с выявлением слабой зональной структуры.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки высококобальтистого пентландита приведены в табл. 28 [16], где сопоставляются с данными по Берри и Томпсона [43].

Химический состав. В качестве эталонов для определения никеля и железа использованы чистые металлы, для определения кобальта — кобальтин и чистый металлический кобальт, для определения серы — халькопирит. Основные отличия состава высококобальтистого пентландита от состава пентландита (см. табл. 27) заключается в значительно большем содержании кобальта, в меньшем содержании никеля и железа. Все элементы распределены равномерно (см. рис. 43). Получены записи кривых распределения Ni, Co, Fe и S по профилю, проходящему через минерал (рис. 45).

Отношение Ni:Co:Fe нанесено на треугольную диаграмму. Два анализа минерала попадают почти в центр диаграммы, что объясняется равными содержаниями главных компонентов (см. рис. 26).

ЛИННЕИТ

Линнеит — природный твердый раствор шпинели $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$. Описан А. Г. Бетехтиным (1940 г.), Ю. В. Казизиным (1959 г.) и А. И. Махмудовым [21].

Условия нахождения. Исследован линнеит преимущественно Южного и Северо-Восточного железо-кобальтовых и Кетамского кобальтового месторождений [27, 29]. В первых двух линнеитсодержащие руды зале-

гают в скарнах, магнетитовых, пирит-кобальтпиритовых, аллоклазит-кобальтиновых, арсенопирит-данаит-глаукодовых агрегатах и дайках диабазовых порфириров. Минерал создает парагенетические ассоциации с миллеритом, халькопиритом, кобальтпиритом, пиритом, кобальтином, магнетитом, аллоклазитом, глаукодом, высококобальтистым глаукодом, арсенопиритом, данаитом, сфалеритом; с редко встречающимися минералами — леллингитом, самородным висмутом, висмутином, теллуросмугитом, бисмоклитом, валлериитом, кубанитом, пирротином, пентландитом, молибденитом, галенитом, электроумом; с кварцем, кальцитом, эпидотом, андрадитом, гроссуляром и хлоритом из числа нерудных минералов. На Кетамском месторождении линнеит ассоциирует с зигенитом, халькопиритом, кобальтсодержащим пиритом, марказитом и редко встречающимися минералами — магнетитом, гематитом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, валлериитом, пирротином и мушкетовитом; с кварцем, кальцитом, гроссуляром, диопсидом, ортоклазом и хлоритом из числа нерудных минералов.

Морфология. Образует неправильные формы выделений размером от 0,01 до 0,3 мм, реже эвгедральные мельчайшие (не более 0,01 мм) и ромбической формы зерна в халькопирите.

На Южном железо-кобальтовом месторождении линнеит наблюдается в сростании с игольчатым миллеритом, а на Кетамском — с зигенитом. Зерна линнеита содержат мельчайшие округлые включения и мелкие «бухточки» халькопирита по краям зерен линнеита и зигенита. При замещении линнеита миллеритом образуется решетчатая, раскрошенная и графическая структуры.

Физические свойства. Цвет розовато-белый, в зависимости от изоморфных примесей варьирует от красноватого до кремового. Отражательная способность очень близка к халькопириту, карролиту, зигениту и виолариту, но ниже, чем у миллерита.

Полученные нами спектры отражения линнеита приведены в табл. 33 и на рис. 48 (см. описание зигенита).

Из указанных месторождений твердость линнеита $H = 5,00 - 5,50$ ГПа, $H_{cp} = 5,20 \pm 0,14$ ГПа (обр. 96); $H = 5,00 - 5,40$ ГПа, $H_{cp} = 5,20 \pm 0,16$ ГПа (обр. 606); $H = 5,02 - 5,37$ ГПа, $H_{cp} = 5,15 \pm 0,20$ ГПа (обр. 2012) при $P = 0,19 - 0,49$ Н. $d_{cp} = 4,81 \pm 0,004$ г/см³ (Южное месторождение).

Линнеит травится HNO_3 (1 : 1), при этом выявляется его зональная структура.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки линнеита приведены в табл. 29. Характерные линии линнеита — 0,284 (10), 0,182 (7), 0,168 (6). Для линнеита из Южного месторождения получена хорошая сходимость результатов значений межплоскостных расстояний с литературными данными [43].

Химический состав приведен в табл. 30. Характер распределения Co, Ni, Fe, Cu и S в зерне линнеита приведен на рис. 46 и 47.

В составе линнеита содержание Co изменяется в небольших пределах, а Ni, Fe и Cu в значительной степени. Установлена никелистая разновидность линнеита. Отношение Co : Ni : Fe в линнеите приведено на рис. 26 (см. описание пирита), где точки характеризуют его разновидности.

ЗИГЕНИТ

Условия нахождения. В рудах месторождений азербайджанской части Малого Кавказа впервые обнаружен автором [27, 29] при исследовании руд Кетамского месторождения среди сульфидизированных каль-

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки линнеита

Южное месторождение (обр. 96)			Северо-Восточное месторождение (обр. 606)		Кетамское месторождение (обр. 2011)		Зиген, ФРГ [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,545	111	3	0,546	5	0,548	2	0,547
2	0,341	220	2	0,338	3	0,345	0,5	0,344
3	0,333	220	1	0,334	2	0,335	5	0,334
10	0,284	311	10	0,284	10	0,283	2	0,284
8	0,237	400	7	0,235	6	0,238	7	0,236
4	0,1928	422	4	0,1925	4	0,1924	3	0,1926
7	0,1821	511, 333	6	0,1818	7	0,1822	6	0,1815
5	0,1683	400	5	0,1681	5	0,1681	8	0,1670
4	0,1444	533	4	0,1442	4	0,1444	0,5	0,1442
2	0,1371	444	3	0,1367	2	0,1368	2	0,1362
3	0,1264	642	2	0,1262	3	0,1265	2	0,1260
5	0,1228	553, 731	5	0,1226	4	0,1228	3	0,1227
4	0,1180	800	3	0,1178	4	0,1180	3	0,1179
2	0,1110	882, 600	2	0,1111	2	0,1110	2	0,1111
4	0,1091	555, 751	4	0,1093	4	0,1091	4	0,1090
5	0,1056	840	4	0,1054	5	0,1054	4	0,1055
2	0,1038	753, 911	2	0,1035	2	0,1037	0,5	0,1036
1	0,1008	564	1	0,1007	1	0,1008	0,5	0,1005
4	0,0986	931	3	0,0988	4	0,0986	5	0,0988
$a=0,9444 \pm 0,0004$ нм			$a=0,9438 \pm 0,0006$ нм		$a=0,9436 \pm 0,0008$ нм		$a_0=0,943$ нм	

цит-гранатовых, эпидот-гранатовых, кварц-кальцит-гранатовых скарнов. Зерна зигенита в сростании с линнеитом располагаются в массе халькопиритовых и халькопирит-пиритовых руд в ассоциации с линнеитом, халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, магнетитом, гематитом, марказитом; с редко встречающимися минералами — пирротинном, валлернитом, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, мушкетовитом, рутилом и с нерудными минералами — кальцитом, кварцем, эпидотом, андрадитом, гроссуляром и диопсидом.

Зигенит в эпидот-гранатовых скарнах и пирит-халькопиритовых рудах Килитского месторождения был обнаружен в парагенезисе с полидимитом, пиритом, халькопиритом, шеелитом, касситеритом, иттрийсодержащим сфеном, стронцийсодержащим апатитом, рутилом, турмалином, ильменитом, амфиболом, кальцитом, кварцем и другими нерудными минералами.

В хромшпинелидах Гейдаринского рудного поля зигенит был встречен совместно с миллеритом, хизлевудитом, полидимитом, пентландитом, хромитом, магнетитом, пиритом, халькопиритом, кварцем и кальцитом.

Морфология. Прирастает к выделениям халькопирита и кобальтпирита, образуя неправильной формы, а также ромбические эвгедральные зерна размером 0,1—0,3 мм. Зерна зигенита корродируются халькопиритом. Рудные скопления с зигенитом представлены в виде линз, прожилков, гнезд и вкрапленников.

Зигенит в некоторых случаях интенсивно замещает мелкие зерна пирита и образует раскрошенную структуру замещения. Иногда возникает структура распада с линнеитом и халькопиритом. Под микроскопом в основной массе халькопирита выявляется графическая структура

Химический состав линнента

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Co	Ni	Fe	Cu	S	Сумма	Co	Ni	Fe	Cu	S
Южное железо-кобальтовое	96	1	46,5	6,5	2,40	4,2	41,40	100,00	2,40	0,34	0,13	0,20	3,93
		2	47,6	5,8	1,71	3,8	41,10	100,01	2,48	0,30	0,13	0,18	3,91
		3	46,9	6,4	2,50	2,9	41,30	100,00	2,44	0,33	0,14	0,14	3,95
	120	4	45,8	0,8	4,5	7,11	41,8	100,01	2,38	0,04	0,25	0,34	3,99
		5	46,8	1,2	4,0	6,01	42,0	100,01	2,43	0,06	0,21	0,30	4,00
		6	46,0	1,0	4,2	6,8	42,0	100,00	2,39	0,05	0,23	0,33	4,00
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606	7	46,0	7,0	1,42	4,1	41,5	100,02	2,39	0,37	0,08	0,19	3,97
		8	46,4	6,4	1,40	4,4	41,4	100,00	2,42	0,33	0,08	0,21	3,96
		9	46,0	7,2	1,34	4,0	41,5	100,04	2,39	0,38	0,07	0,19	3,97
Кетамское кобальтовое	2011	10	47,1	3,5	4,12	3,8	41,5	100,02	2,45	0,18	0,23	0,18	3,96
		11	48,3	3,0	3,31	4,0	41,4	100,01	2,51	0,16	0,18	0,19	3,96
		12	47,0	3,6	4,00	3,9	41,5	100,00	2,44	0,19	0,22	0,19	3,96
Сайковил (США)	1	13	48,63	—	3,55	4,43	43,56	100,17	2,50	—	0,19	0,21	4,00
Бастиес (Швеция)	2	14	44,92	0,19	4,19	8,22	41,83	99,35	2,35	0,01	0,23	0,11	3,97
Каррол (США)	3	15	48,70	4,75	2,36	2,40	41,70	99,91	2,52	0,27	0,13	0,11	3,97
Гладхаммар (Швеция)	4	16	39,33	12,33	4,29	2,28	42,19	100,42	2,03	0,64	0,23	0,10	4,00
		17	40,71	7,35	1,30	8,79	41,43	99,58	2,13	0,32	0,07	0,42	3,99
Покровское (ССР)	5	18	47,63	3,13	0,72	9,13	39,39	100,00	2,52	0,16	0,04	0,45	3,83
Дальнегорское (СССР)	6	19	42,0	8,2	3,5	4,4	41,5	99,6	2,45	0,28	0,12	0,14	4,00

Примечание. Анализы № 1—12 выполнены микрозондом MS-46 «Камека»; № 13—18 — обычные химические; № 19 — микрозондом JXA-50A «Джеол».

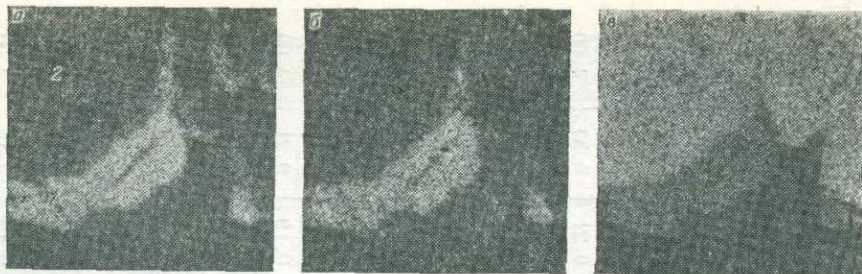


Рис. 46. Срастание линнеита (1) и халькопирита (2). Участок сканирования размером 200×200 мкм в характеристических рентгеновских лучах. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606):

а — CoK_{α} (белое); б — NiK_{α} (белое); в — SK_{α} (белое)

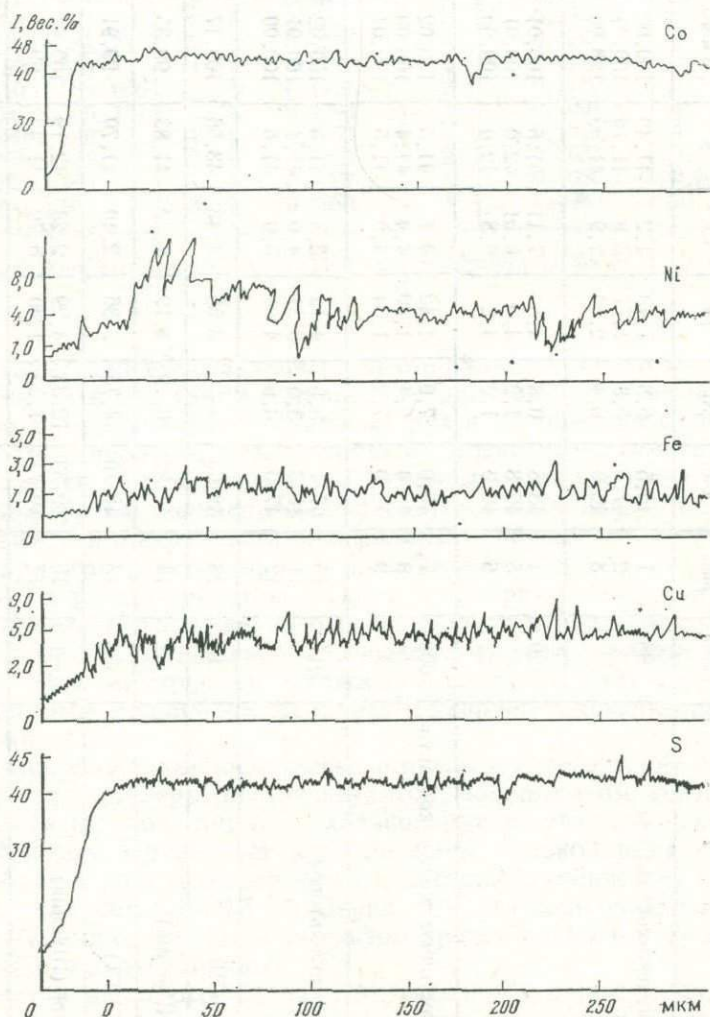


Рис. 47. Кривые распределения элементов Co, Ni, Fe, Cu и S по профилю, проходящему через линнеит. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606)

замещения. Двухотражение не наблюдается. Изотропен, внутренних рефлексов нет. Рельеф зигенита выше, чем у халькопирита.

Физические свойства. В отраженном свете по сравнению с линнеитом и кобальтпиритом белый и кремово-белый со слабым розоватым оттенком. При скрещенных николях изотропный. Отражательная способность близка к линнеиту.

Спектры отражения зигенита приведены в табл. 31 и на рис. 48.

Твердость зигенита $H=4,19-4,76$ ГПа, $H_{cp}=4,54 \pm 0,13$ ГПа при $P=0,49-0,69$ Н, что соответствует по шкале Мооса $\sim 4,5-5,0$. $d_{cp} = 4,86 \pm 0,004$ г/см³ (Кетамское месторождение, материал получен с помощью ПМТ-3). HCl, HgCl₂, KOH, FeCl₂ на зигенит не действуют. Травится HNO₃ (1 : 1) с выявлением зональной структуры.

Микрохимическая реакция на Ni с диметилглиоксимом положительна (малиновая и розовая окраски).

Рентгеновские исследования зигенита из Кетамского месторождения приводятся в табл. 32. Здесь для сравнения даны сведения о зигените из месторождения Зиген, ФРГ [43]. Характерные линии зигенита: 0,286 (10); 0,1816 (7); 0,1225 (5).

Зигенит образует мелкие (200×100 мкм) зерна в халькопирите, ассоциирует в основном с линнеитом, полидимитом, миллеритом, кобальтпиритом, халькопиритом и другими рудными и нерудными минералами. Все эти признаки свидетельствуют о метасоматическом происхождении зигенита, зерна которого присутствуют в халькопирите в виде метакристаллов.

Таблица 31

Спектры отражения зигенита (I), линнеита (II), карролита (III), полидимита (IV), миллерита (V), хизлеудита (VI) и кобальтпентландита (VII), %

Длина волны, нм	I (обр. 2010)	II (обр. 96)	III (обр. 606)	IV (обр. 2500)	V (обр. 96)	VI (обр. А-79)	VII (обр. 96)
440	43,5	46,7	45,7	33,6	36,6	41,2	41,8
460	43,6	46,0	45,4	33,9	41,5	45,8	43,4
480	44,4	46,7	45,1	34,4	45,0	49,5	46,4
500	45,1	47,0	46,1	34,8	47,5	52,4	48,6
520	46,0	47,5	46,8	35,5	49,3	54,2	51,0
540	47,0	48,3	48,0	36,0	50,9	55,6	52,0
560	48,0	49,4	48,7	36,6	52,5	56,0	53,4
580	49,6	50,4	49,9	37,2	52,8	56,8	54,8
600	50,2	51,4	50,4	38,0	53,4	57,0	55,2
620	51,8	52,5	51,5	39,7	54,3	58,2	56,0
640	53,0	53,0	51,8	40,8	55,2	58,8	56,4
660	54,3	53,8	52,3	41,5	55,5	59,2	57,0
680	55,4	53,9	53,4	42,8	55,6	59,8	57,8
700	56,6	53,8	53,1	43,7	56,0	61,2	58,0
720	57,9	55,2	53,8	44,8	56,3	61,4	58,6
740	58,9	55,2	54,0	45,2	56,6	62,0	59,0
760	59,6	55,4	54,8	46,0	57,0	62,4	60,0
780	60,2	56,2	55,2	46,9	57,4	62,8	60,8
800	60,6	57,5	56,4	47,2	57,8	63,2	61,4
850	61,7	58,8	57,6	48,4	58,2	63,6	62,0
900	62,2	59,6	58,8	49,3	58,6	64,2	62,8
950	62,9	61,0	59,2	50,2	59,0	64,8	63,6
1000	63,6	62,4	60,8	51,8	59,4	65,0	64,2
1050	64,6	63,6	61,6	52,4	61,2	65,6	64,8
1100	65,0	64,6	63,0	53,4	62,0	66,4	65,6

Примечание. Обр. 2010 из Кетамского, обр. 96 из Южного, обр. 606 из Северо-Восточного, обр. 2500 из Килитского и обр. А-79 из Гейдаринского месторождений.

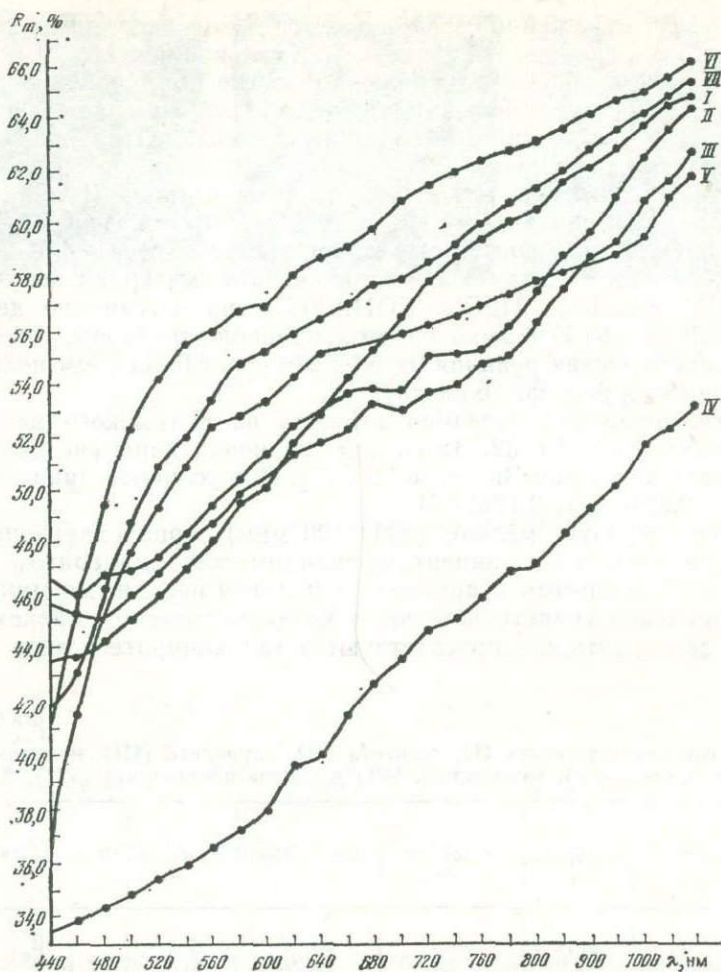


Рис. 48. Спектры отражения зигенита (I), линнента (II), карролита (III), полидимита (IV), миллерита (V), хизлеводита (VI) и кобальтпентландита (VII)

Таблица 32

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки зигенита

Кетамское месторождение (обр. 2011)			Литфельд, ФРГ [43]		Кетамское месторождение (обр. 2011)			Литфельд, ФРГ [43]	
I	d/n	hkl	I	d/n	I	d/n	hkl	I	d/n
5	0,335	220	4	0,334	1	0,1323	711, 551	0,5	0,1320
—	—	—	2	0,286	3	0,1264	642	2	0,1261
10	0,286	311	10	0,286	5	0,1225	731, 553	4	0,1228
6	0,237	400	1	0,236	4	0,1178	800	4	0,1179
5	0,1931	422	2	0,1928	2	0,1114	882, 600	1	0,1112
7	0,1816	511, 333	6	0,1815	3	0,1090	751, 555	3	0,1089
9	0,1666	440	8	0,1670	5	0,1055	840	4	0,1054
2	0,1440	533	0,5	0,1443	$a_0 = 0,9434 \pm 0,0004$ нм			$a_0 = 0,943$ нм	
4	0,1364	444	2	0,1362					

Химический состав зигенита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Ni	Co	Fe	Cu	S	Сумма	Ni	Co	Fe	Cu	S
Кетамское кобальтовое	2010	1	35,1	20,5	2,6	0,1	42,3	100,6	1,80	1,05	0,14	0,01	4,00
		2	34,4	21,0	1,6	0,4	42,2	100,6	1,83	1,09	0,08	0,01	4,00
	2011	3	33,8	21,3	2,6	0,5	42,5	100,7	1,74	1,09	0,14	0,02	4,01
		4	36,4	20,2	1,5	—	42,3	100,4	1,88	1,04	0,08	—	4,00
		5	35,2	21,5	1,3	0,2	42,0	100,2	1,88	1,10	0,07	0,01	4,00
Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	2500	6	28,7	20,66	7,40	—	42,97	99,73	1,48	1,06	0,40	—	4,06
		7	32,73	15,51	8,84	—	43,64	100,72	1,67	0,79	0,47	—	4,07
		8	32,66	14,22	10,6	—	42,52	100,00	1,68	0,73	0,57	—	4,02
		9	33,8	21,3	2,6	—	42,5	100,2	1,75	1,10	0,15	—	4,00
Гейдаринское никель-кобальтсодержащее хромитовое	A-79	10	21,4	27,1	9,1	—	42,5	100,1	1,12	1,39	0,49	—	4,00
Зиген, Вестфалия (ФРГ)	Э-68	11	35,1	22,65	1,27	0,17	40,96	100,6	1,83	1,17	0,07	0,01	3,92
		12	36,1	19,7	1,82	0,12	42,0	99,74	1,88	1,02	0,09	0,01	4,00
		13	36,3	18,38	2,3	0,08	42,8	99,87	1,88	0,95	0,13	0,004	4,04
	Б-2 Б-3	14	28,97	19,46	7,13	2,57	41,90	100,03	1,50	1,00	0,38	0,12	4,00
		15	31,24	20,35	3,22	3,16	42,43	100,41	1,65	1,05	1,08	0,15	4,00
Литфельд (ФРГ)	Б-1	16	31,18	26,08	0,62	—	42,63	100,61	1,61	1,34	0,03	—	4,02

Примечание. Анализы № 11—13 выполнены А. И. Махмудовым микрозондом MS-46 «Камска»; № 10, 11 — из Зигена (ФРГ), а № 14—16 — обычные химические [34].

Химический состав зигенита приведен в табл. 33, где для сопоставления приведены данные по литературным источникам [43].

Микронзондовым анализом зигенита получена фотография участка сканирования (обр. 2010) размером 150×150 мкм (рис. 49) и приведена запись распределения Ni, Co, Fe и S в зигените (рис. 50). Промежуточное положение зигенита определяется соотношением кобальта и никеля, равным 1:2, т. е. к теоретической формуле того же типа шпинели CoNi_2S_4 . Это отчетливо видно на диаграмме (см. рис. 26 в описании пирита), где точки десяти анализов зигенита соответствуют указанной формуле при частичном замещении никеля железом и кобальтом.

Зигенит из месторождения Ниппо (рудник Камаиси, префектура Иватэ, Япония) образует мелкие (20×200 мкм) зерна в медных рудах, ассоциируя с кобальтпентландитом, пирротинном, кубанитом, и халькопиритом. Микронзондированием установлено его небольшое отличие по сравнению с содержанием Co и Ni в зигените и кобальтпентландите и более высокое содержание Fe в последнем. Средний химический состав зигенита по тем же данным (в вес. %): Co — 36,1; Cu — 0,2; Fe — 2,8; Ni — 19,9; S — 42,0. Сумма 101,0%. При S=4 состав отвечает формуле $(\text{Co}_{1,86} \text{Ni}_{1,03} \text{Fe}_{0,15})_{3,04} \text{S}_{4,00}$. По химическому составу зигенит расположен примерно посередине между кобальт- и никельсодержащими минералами серии линнеита. Реликты кобальтпентландита свидетельствуют о том, что зигенит может быть образованием одновременным с кобальтпентландитом, хотя и возможно появление зигенита в результате воздей-

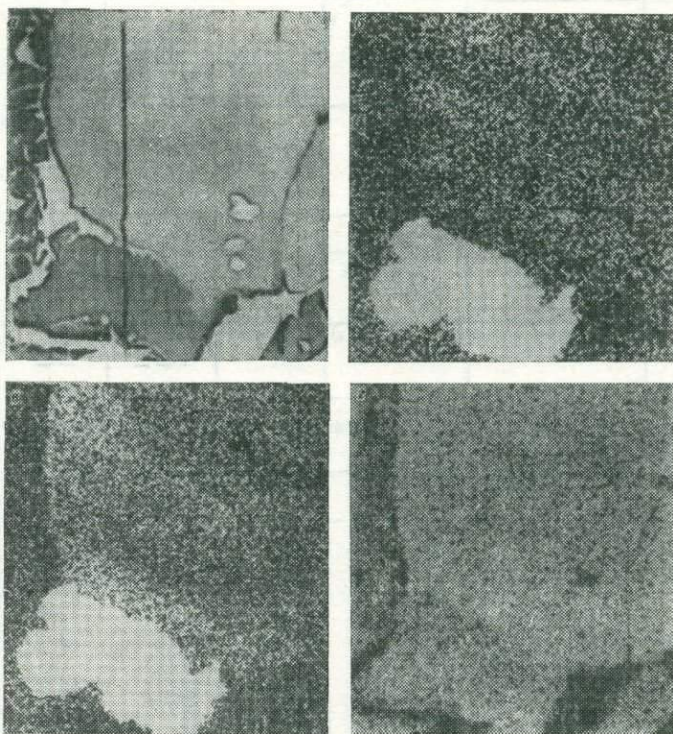


Рис. 49. Участок сканирования зигенита размером 150×150 мкм. Кетамское кобальтовое месторождение (обр. 2010):

а — в поглощенных электронах; в — характеристическом рентгеновском излучении; б — никель (белое), в — кобальт (белое), г — сера (серовато-белое поле)

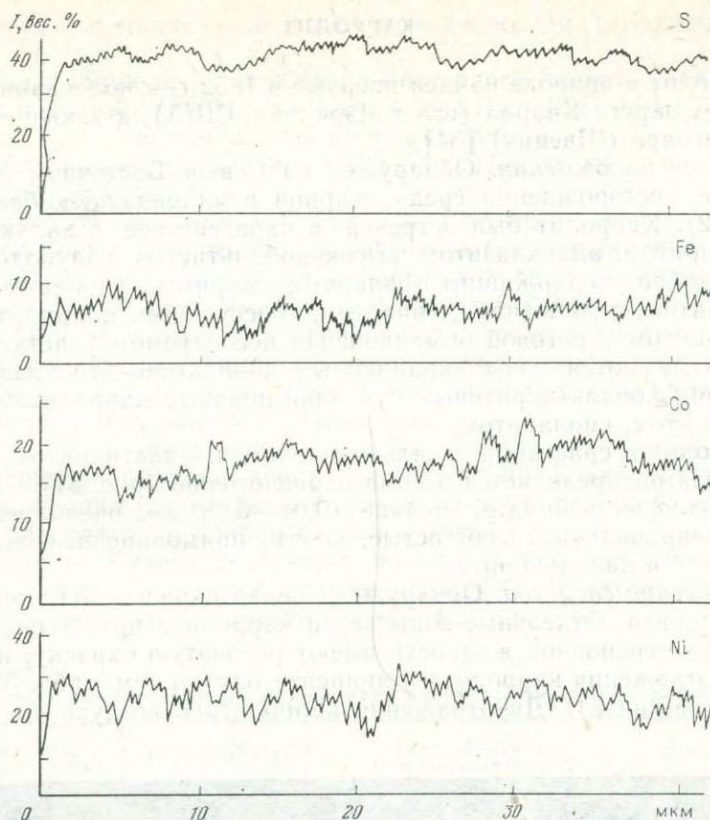


Рис. 50. Кривые распределения Ni, Co, Fe и S по профилю, проходящему через зиннит. Кетамское кобальтовое месторождение (обр. 2010)

ствия на кобальтпентландит более поздних серосодержащих растворов. Зиннит обнаружен также и на месторождении Синияма этого же района.

Сопоставлены атомные числа Co, Ni, Cu и S в составе зиннитов по опубликованным в литературе разными авторами данным количественных анализов. Разграничены две группы зиннитов по химизму соответственно с формулами CoNi_2S_4 и NiCo_2S_4 . К первой группе относятся по степени распространения зинниты из месторождений Рейпарс, Финтарк (Норвегия); Фредериктаун, Миссури (США); Елиците (НРБ); Донецкого бассейна и Ховуаксинского месторождения (СССР). Типичным представителем второй группы является зиннит месторождения Ниппо (Япония). До настоящего времени известны в общем три представителя этой группы. Выведены следующие кристаллохимические формулы: для первого содержания $\text{Ni}^{3+}[\text{Ni}^{2+}\text{Co}^{3+}]\text{S}_4$ и для второго $\text{Co}^{2+}[\text{Co}^{3+}\text{Ni}^{3+}]\text{S}_4$. Первая из них сопоставима с формулой полидимита и виоларта (инверсные тиошпинели), а вторая — с формулой линнеита и карролита (нормальные тиошпинели). Характерным элементом-примесью для первого должно быть Fe, а для второго — Cu. Предлагается рассматривать как зиннит только минерал состава CoNi_2S_4 , а как никеллиннит — состава NiCo_2S_4 . Теоретически зиннит — минерал промежуточный между линнеитом и полидимитом, содержит Co 11—26%, Ni 42—26% и небольшие количества Cu (до 3%) и Fe (до 4%).

КАРРОЛИТ

Карролит в природе найден впервые в 1852 г. в колчеданных месторождениях округа Каррол (штат Мэриленд, США), а также встречался в Гладхаммаре (Швеция) [34].

Условия нахождения. Обнаружен на Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении среди скарнов в аллоклазит-кобальтиновых рудах [32]. Карролит был встречен в парагенезисе с халькопиритом, кобальтпиритом, аллоклазитом, высококобальтистым глаукодомом, магнетитом, кобальтсодержащим сфалеритом, пиритом, линнеитом, бравоитом, данаитом, леллингитом, эпидотом, гроссуляром, андрадитом, кварцем, кальцитом и роговой обманкой. На исследуемом участке месторождения отмечаются зоны вкрапленных кобальтино-аллоклазитовых и халькопирит-кобальтпиритовых руд, обогащенные карролитом, линнеитом, бравоитом, виоларитом.

Карролит в сростании с халькопиритом, кобальтпиритом, сфалеритом в рудах распределяется весьма неравномерно (рис. 51).

Морфология. Образует мелкие (0,01—0,08 мм, очень редко 0,1 и 0,2 мм) неправильные, извилистые, иногда прямолинейные зерна в кобальтпирите и халькопирите.

Физические свойства. Обнаружена белая окраска под микроскопом на фоне пирита. Отдельные зоны зерен карролита при больших увеличениях в иммерсионной жидкости имеют розоватую окраску; изотропен. Спектры отражения карролита и линнеита близки (см. табл. 31, рис. 48, описание зигенита). Двухотражения карролита в воздухе не наблюда-

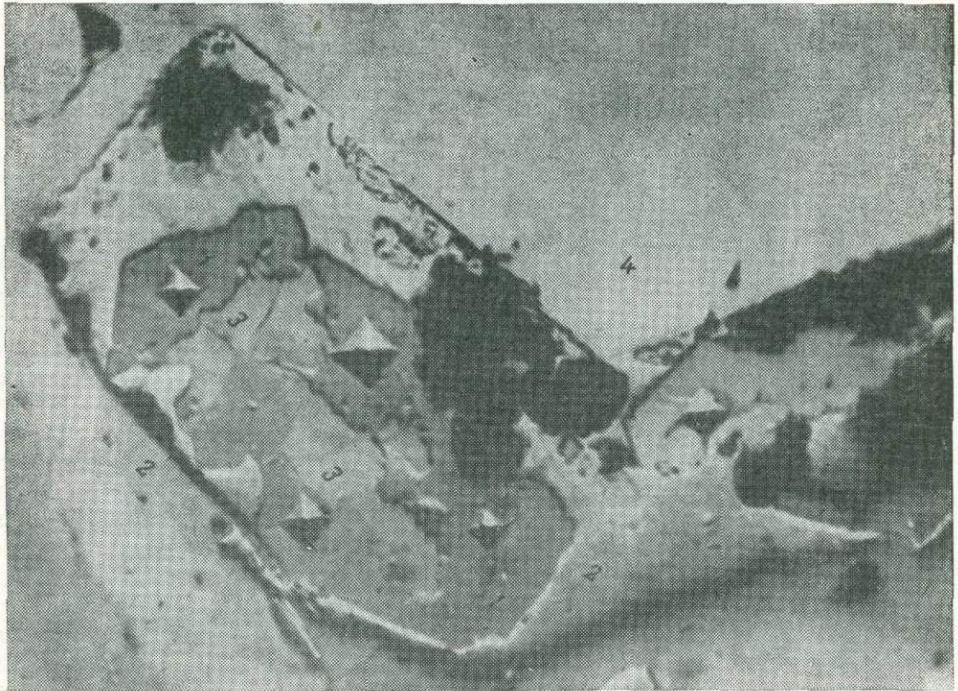


Рис. 51. Карролит (1), халькопирит (2), кобальтпирит (3) в массе пирита (4) в иммерсии. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606).

Полированный шлиф, ув. 1300

ется. Карролит и линнеит по характеру дисперсии отражения идентичны.

Твердость карролита из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения (обр. 606): $H=3,68-4,38$ ГПа, $H_{cp}=4,01 \pm 0,28$ ГПа, $P=0,1-0,14$ Н, что составляет 4,5 по шкале Мооса.

Карролит и линнеит травятся HNO_3 (1 : 1), при этом у них выявляется зональная структура.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния карролита из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения приводятся в табл. 34, где для сравнения приведены данные по литературным источникам [43]. Характерные линии карролита: 0,2864 (10), 0,2368 (6), 0,1184 (5). При этом значения величин межплоскостных расстояний и параметр карролита из Дашкесана очень близки к эталонным. Полученный параметр карролита из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения очень близок к эталонному.

Химический состав приведен в табл. 35. В зернах карролита Со, Си и S распределены равномерно (рис. 52 и 53). В карролите железо встречается в виде изоморфной примеси во всех зернах исследуемого образца и распределено приблизительно равномерно.

Карролит из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения нанесен на треугольную диаграмму (рис. 54). Шесть анализов карролита находятся почти на линии Си—Со (см. рис. 76).

Таблица 34

Межплоскостные расстояния и параметр элементарной ячейки карролита

Северо-Восточное месторождение (обр. 606)			Катанга, Заир [43]		Северо-Восточное месторождение (обр. 606)			Катанга, Заир [43]	
I	d/n	hkl	I	d/n	I	d/n	hkl	I	d/n
2	0,3355	220	0,5	0,336	3	0,1233	731, 553	3	0,1234
3	0,3348	220	4	0,335	5	0,1184	800	3	0,1185
10	0,2864	311	10	0,286	6	0,1117	922, 660	1	0,1118
6	0,2368	400	5	0,237	7	0,1094	555, 751	3	0,1095
4	0,1941	422	2	0,1934	—	—	—	0,5	0,1041
8	0,1824	511	6	0,1825	1	0,0011	664	0,5	0,1011
7	0,1675	440	8	0,1674	4	0,0995	931	5	0,0994
3	0,1446	533	2	0,1446					
3	0,1368	444	2	0,1369					
					$a_0=0,9479 \pm 0,0005$ нм				

Таблица 35

Химический состав карролита из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения

№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
		Со	Си	Fe	S	Сумма	Со	Си	Fe	S
606	1	38,0	20,0	0,8	41,5	100,3	2,00	0,95	0,06	4,00
	2	38,2	19,5	0,9	41,7	100,3	2,00	0,95	0,06	4,00
	3	37,9	19,7	0,7	41,5	99,8	2,00	0,96	0,04	4,00
	4	38,3	19,7	0,7	41,3	100,0	2,01	0,96	0,04	4,00
	5	39,9	19,5	0,9	41,5	99,8	2,03	0,94	0,06	4,00
	6	37,3	20,2	1,2	41,5	100,2	1,96	0,98	0,06	4,00

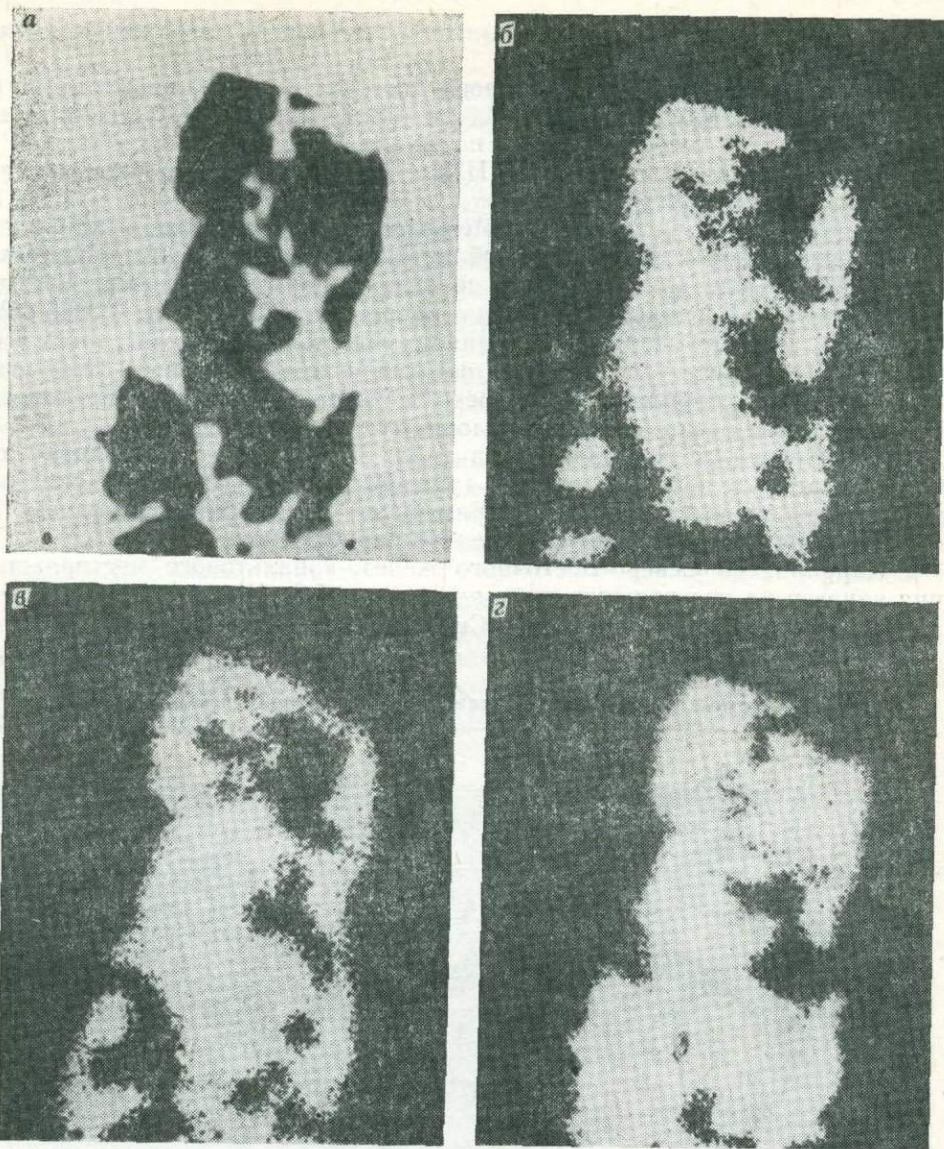


Рис. 52. Включения карролита (белое) в скарне (черное). Участок сканирования размером 100×100 мкм. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606): а — сканирование под электронным зондом в поглощенных электронах; б — характеристическом рентгеновском излучении: б — CaK_α (белое); в — CuK_α (белое); г — SK_α (белое)

Карролит Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения по химическому составу и физическим признакам от карролитов других месторождений мира почти не отличается.

ПОЛИДИМИТ

Условия нахождения. Обнаружен на Килитском месторождении среди скарнов (скв. 5, обр. 2500) в парагенезисе с халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, зигенитом, шеелитом, касситеритом; с арсенопиритом,

сфалеритом, молибденитом, пирротином, валлеинитом, кубанитом, марказитом, борнитом, магнетитом, гематитом, ильменитом, рутилом; с кварцем, кальцитом, эпидотом, альбитом, диопсидом, гроссуляром, иттропатитом, итросфеном, актинолитом, хлоритом и биотитом.

На Гейдаринском месторождении полидимит с другими сульфидами, наложенными на хромитовые рудные тела, приурочен к серпентинизированным дунитам, перидотитам и габбро-амфиболитам. Кроме хромита и магнетита минерал сопровождают миллерит, хизлеудит, зигенит, пентландит, высококобальтистый пентландит, гарниерит, хромшпинелиды, оливин, серпентин, хромхлорит, хромдиопсид и хромгранат.

На Ново-Айдырлыском (Оренбургская область) месторождении полидимит встречается в выветрелых брекчиях и в третичных лигнитонесных глинах в парагенезисе с миллеритом, bravoитом, марказитом и в виде псевдоморфоз по миллериту. В гидротермальных сульфидных месторождениях Грюнау в Зигерланде (ФРГ) полидимит отмечен в сидерите с миллеритом, а также в смеси с ульманитом и герсдорфитом.

Морфология. Образует мельчайшие зернистые агрегаты неравномерной формы размером от 0,01 до 0,1 мм. Наблюдаются двойники. Образует раскрошенную и графиче-

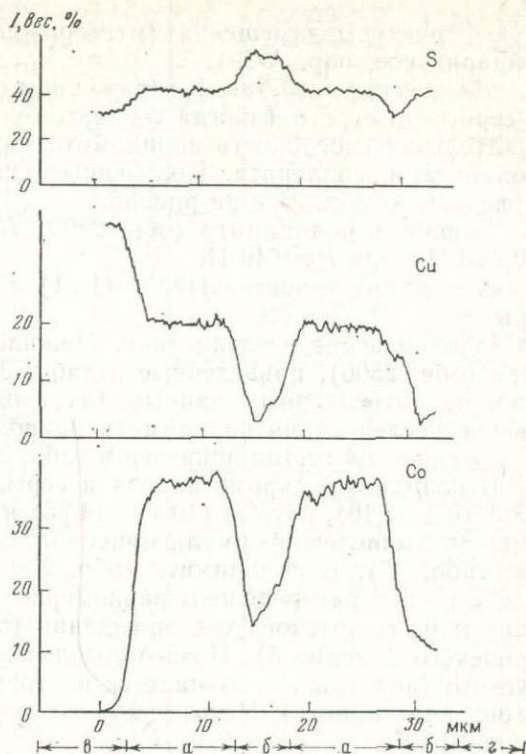


Рис. 53. Кривые распределения Co, Cu и S по профилю, проходящему через карролит (а), кобальтпирит (б), халькопирит (в) и пирит (г). Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606)

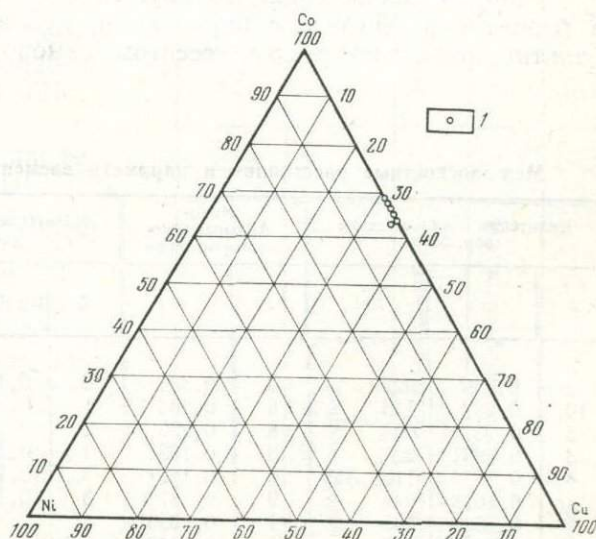


Рис. 54. Соотношение Co : Cu : Ni в карролите. 1 — карролит (табл. 36, № 1—6) из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения

скую структуры замещения (месторождения Килитское, обр. 2500 и Гейдаринское, обр. А-79).

Физические свойства. В отраженном свете цвет полидимита от светло-серого до серого (иногда серовато-бурого) с желтым оттенком. Отражательная способность полидимита ниже, чем у линнеита, зигенита, виоларита и миллерита. Полученные спектры отражения полидимита приведены в табл. 31 и на рис. 48.

Твердость полидимита (обр. 2500) $H=3,66-3,58$ ГПа, $H_{cp}=4,09 \pm \pm 0,21$ ГПа, при $P=0,49$ Н.

Полидимит травится HNO_3 (1:1) с выявлением зональной структуры.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния полидимита (обр. 2500), приведенные в табл. 36, при сравнении с аналогичными по литературным данным [34] хорошо сопоставляются. Рентгеновские исследования полидимита приводятся также в табл. 36.

Химический состав приведен в табл. 37.

В полидимите, кроме никеля и серы, обнаружены (в вес. %): кобальт (0,5—3,16), железо (10,41—14,25) и медь (0,9) в виде изоморфной примеси. Вычислена формула минерала, соответствующая теоретической (см. табл. 37). В полидимите (обр. 2500) Килитского месторождения Ni, Co, Fe и S распределены равномерно (рис. 55 и 56). Изученный полидимит из Килитского месторождения (обр. 2500, анализы 1—4), Гейдаринского (анализ 5), Ново-Айдырлынского (анализы 6 и 7) и Грюнауского (анализы 8 и 9) нанесен на треугольную диаграмму (см. рис. 26, описание пирита). Четыре анализа полидимита находятся почти на линии Ni—Fe.

Исследованный нами полидимит из месторождений Азербайджана по химическому составу мало отличается от полидимита Ново-Айдырлынского и Грюнау в Зигерланде, ФРГ (см. табл. 36).

ВАЛЛЕРИИТ

Условия нахождения. Обнаружен в пирит-халькопиритовых рудах в тесном парагенезисе с пирротинном, кубанитом, халькопиритом, кобальтпиритом, электрумом, гесситом, самородным висмутом, кобальти-

Таблица 36

Межплоскостные расстояния и параметр элементарной ячейки полидимита

Килитское месторождение (обр. 2500)			Ново-Айдырлыское месторождение		Килитское месторождение (обр. 2500)			Ново-Айдырлыское месторождение	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
2	0,336	022	3	0,335	2	0,1386	444	—	—
10	0,287	113	8	0,285	1	0,1328	117, 155	—	0,1365
5	0,237	004	8	0,236	2	0,1267	246	2	0,1264
3	0,1931	224	3	0,1931	4	0,1235	137, 355	4	0,1232
4	0,1824	115, 333	5	0,1821	3	0,1186	008	3	0,1183
8	0,1678	044	9	0,1673	3	0,1096	157, 555	3	0,1092
1	0,1600	135	1	0,1599					
2	0,1449	026	1	0,1443					
					$a_0=0,948$ нм				

ном, аллоклазитом, глаукодом, висмутином, борнитом, гематитом, арсенопиритом, теннантитом, кварцем и кальцитом, гранатом.

Морфология. Имеет тонкие ветвящиеся прожилки и мелкие чешуйки в халькопирите размером до $0,1 \times 0,3$ мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет валлериита от коричневатого-желтого до темно-серого. Отражательная способность валлериита ниже, чем пирита, халькопирита, теннантита, самородного серебра, золота, электрума, висмута, висмутина, теллуридов висмута, гессита и пирротина. Результаты измерения спектров отражения приведены в табл. 38 и на рис. 57. Для кривых дисперсий R_m (см. рис. 57) показателен довольно энергичный подъем на отрезке 440—480 нм и 480—560 нм и очень пологий на остальной части спектра с небольшим минимумом в области 600 нм. Кривые дисперсии R_m для валлериита (обр. 114 и 243) располагаются почти параллельно горизонтальной оси с плавными перегибами на отдельных участках спектра. Двухотражение и анизотропия валлериита сильные.

При $P=0,19$ Н твердость валлериита (обр. 114) $H=0,96$ — $1,45$ ГПа, $H_{cp}=0,17 \pm 0,013$ ГПа; $K_H=1,35$.

На полированном шлифе валлериит растворяется в HCl.

Определен химический состав минерала, обр. 114 (в %): Cu 23,65; Fe 22,8; S 22,8; Mg 11,15 и Al 0,88. После пересчета анализа получена кристаллохимическая формула валлериита: $(Cu_{1,05}Fe_{0,95}S_{2,00})_{1,5}[Mg_{0,89} \times Fe_{0,15}(OH)_2]$.

Вышеприведенные физические и химические свойства минерала являются настолько характерными, что правильность определения не вызывает сомнений.

Таблица 37

Химический состав полидимита

Месторождение	№ образца	№ п/п	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле					
				Ni	Fe	Co	Cu	S	Сумма	Ni	Fe	Co	Cu	S
Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое	2500	1	1	43,54	10,41	2,57	0,90	42,2	99,62	2,26	0,57	0,13	0,04	4,00
		2	2	40,54	14,25	1,24	0,90	42,92	99,85	2,09	0,77	0,06	0,04	4,04
		3	3	48,6	9,2	0,6	—	41,4	99,8	2,52	0,50	0,03	—	3,95
		4	4	42,35	10,57	3,16	—	43,16	99,24	2,19	0,57	0,16	—	4,08
		5	5	58,2	0,2	—	—	42,5	100,9	2,99	0,01	—	—	4,00
Гейларинское никель-кобальтсодержащее хромитовое	А-79	6	6	54,99	0,81	1,92	—	42,28	100,0	2,87	0,02	0,10	—	4,00
		7	7	54,56	1,49	3,40	—	41,55	100,0	2,70	0,10	0,20	—	4,00
Ново-Айдырлыское (Оренбургская обл.)	X ₁ X ₂	8	8	53,30	0,63	3,98	—	41,09	100,0	2,80 ²	0,17	0,03	—	4,00
		9	9	49,72	4,81	3,99	—	41,48	100,0	2,70 ²	0,10	0,20	—	4,00
Грюнау (ФРГ)	X ₃ X ₄													

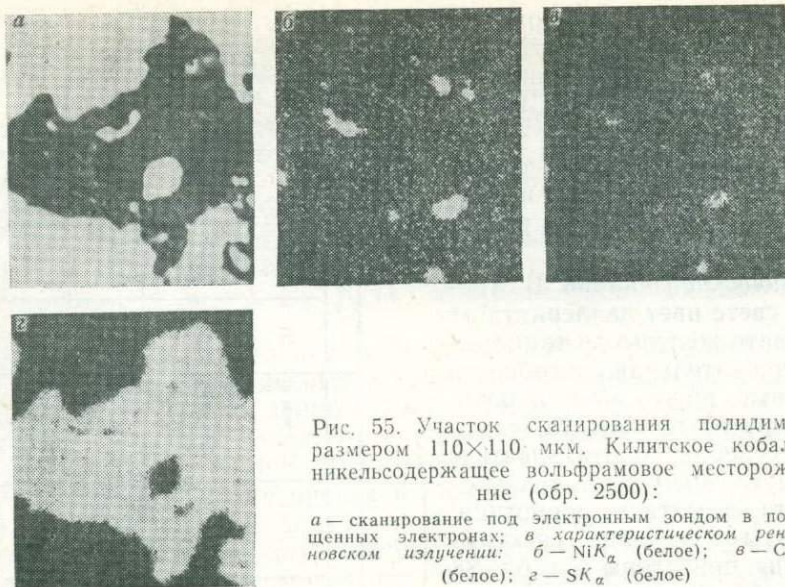


Рис. 55. Участок сканирования полидимита размером 110×110 мкм. Килитское кобальт-никельсодержащее вольфрамовое месторождение (обр. 2500):

a — сканирование под электронным зондом в поглощенных электронах; *в* — характеристическом рентгеновском излучении: *б* — NiK_{α} (белое); *в* — CoK_{α} (белое); *г* — SK_{α} (белое)

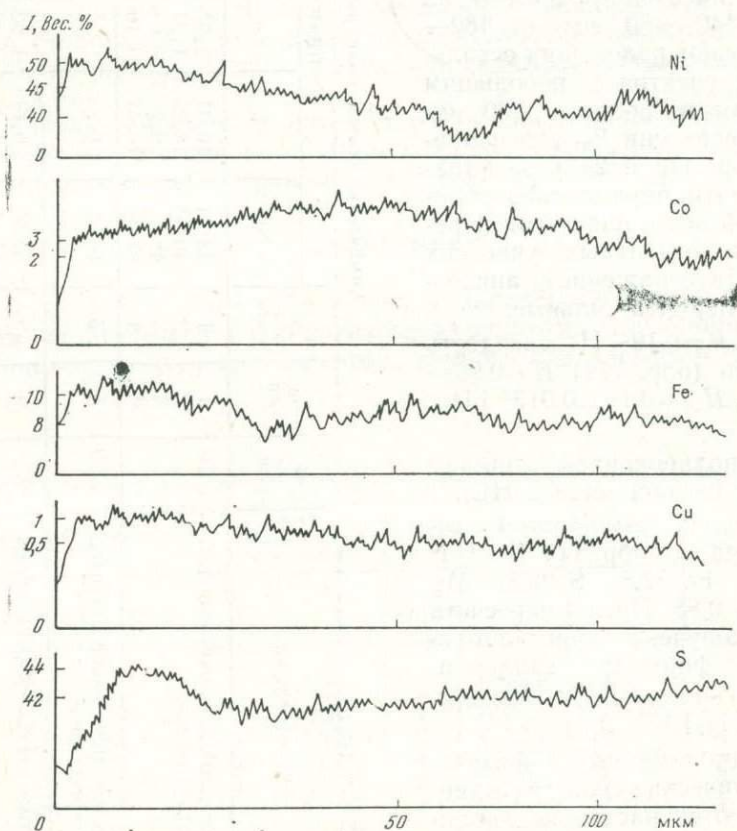


Рис. 56. Распределение Ni, Co, Fe, Cu и S по профилю, проходящему через полидимит. Килитское месторождение (обр. 2500)

Таблица 38

Спектры отражения валлерита, %

Длина волны, нм	Южное месторождение (обр. 114)	Агюртское месторождение (обр. 243)	Длина волны, нм	Южное месторождение (обр. 114)	Агюртское месторождение (обр. 243)
440	13,1	13,5	600	18,6	22,5
460	14,0	14,5	620	18,9	23,5
480	15,5	16,0	640	19,2	24,0
500	15,7	17,0	660	20,0	25,2
520	16,2	18,0	700	20,5	25,6
540	17,3	19,1	720	21,2	25,8
560	17,9	20,0	740	22,5	26,5
580	18,2	21,5			

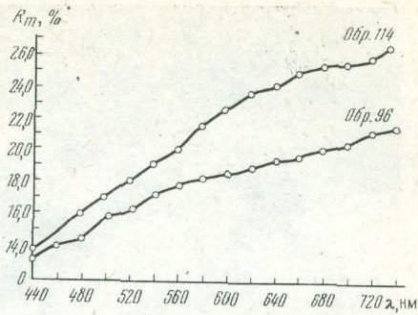


Рис. 57. Спектры отражения валлерита. Южное железно-кобальтовое месторождение (обр. 96 и 114)

КУБАНИТ

Кубанит (чалмерзит) отмечался Г. А. Крутовым (1937 г.) микроскопически в халькопирите Северного кобальтового месторождения. На Южном железно-кобальтовом месторождении был обнаружен автором в халькопирите в сростании с пиритом и валлеритом [43], а на Килитском и Агюртском месторождениях — в пирите и халькопирите. В этих минералах он встречается в виде мелких каплевидных и овальной формы выделений в сростании с пирротинном (длина зерен от 0,01 до 0,1 мм). На Юго-Восточном участке Южного месторождения был встречен в виде мелких выделений неправильной формы, установлен в глаукодоте размером 0,05 мм, а также в пирите (совместно с пирротинном). Кроме того, в виде мелких пластинчатых зерен в ассоциации с пирротинном он был обнаружен в кобальтине, арсенопирите и халькопирите; ассоциирует с пирротинном и халькопиритом в пирите, а с валлеритом — в халькопирите. В пирите, халькопирите и в нерудных минералах кубанит находится в парагенезисе с кобальтпиритом, молибденитом, сфалеритом, магнетитом, ильменитом, касситеритом и шеелитом. Закономерно ориентированные пластинчатые выделения кубанита в халькопирите обусловлены распадом твердого раствора.

В отраженном свете кубанит бронзового цвета, промежуточного между цветом халькопирита и пирротина. От пирротина отличается более бледной окраской. Для кубанита характерен яркий цветной эффект анизотропии от розовато-коричневого до серовато-синего.

АРСЕНИДЫ

МОДДЕРИТ

Моддерит (CoAs) — моноарсенид кобальта в природе очень редок. Впервые установлен Р. Н. Купером в 1923 г. [34] только по химическим анализам в концентратах рудника Моддерфонтейн (ЮАР). Затем П. Рамдор [37] пытался найти моддерит в богатом золотом концентрате Геверса из Йоханнесбурга. В СССР он был обнаружен впервые А. И. Махмудовым и И. П. Лапутиной [28].

Условия нахождения. Моддерит найден в Главной рудной зоне Северного кобальтового месторождения в аллоклазит-кобальтиновых рудах (рис. 58). Рудная зона (средняя мощность 2 м, протяженность до 300 м) развивается по висячему зальбанду дайки диабазового порфири-

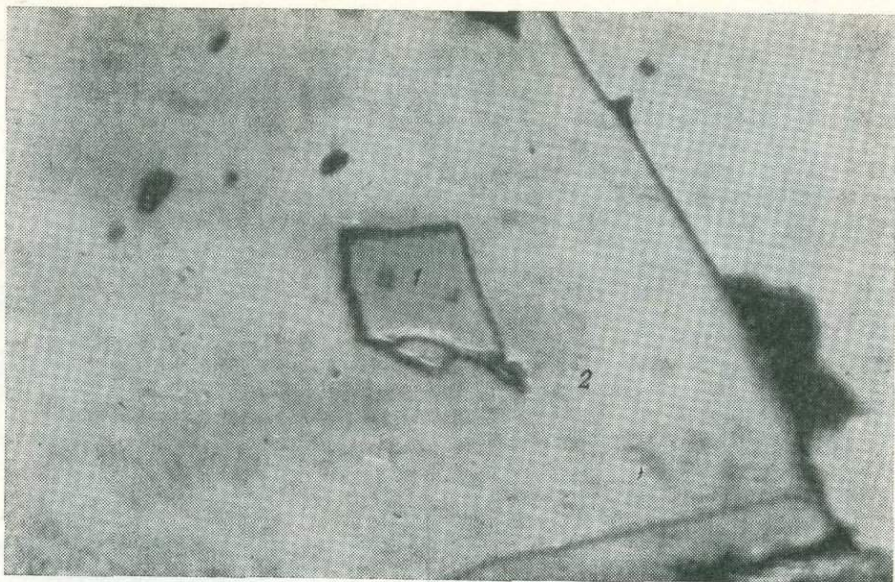


Рис. 58. Ромбовидной формы выделения моддерита (1) среди аллоклазит-кобальтиновой массы (2). Нерудная масса (черное). Северное кобальтовое месторождение (обр. 605)

Полированный шлиф, ув. 850

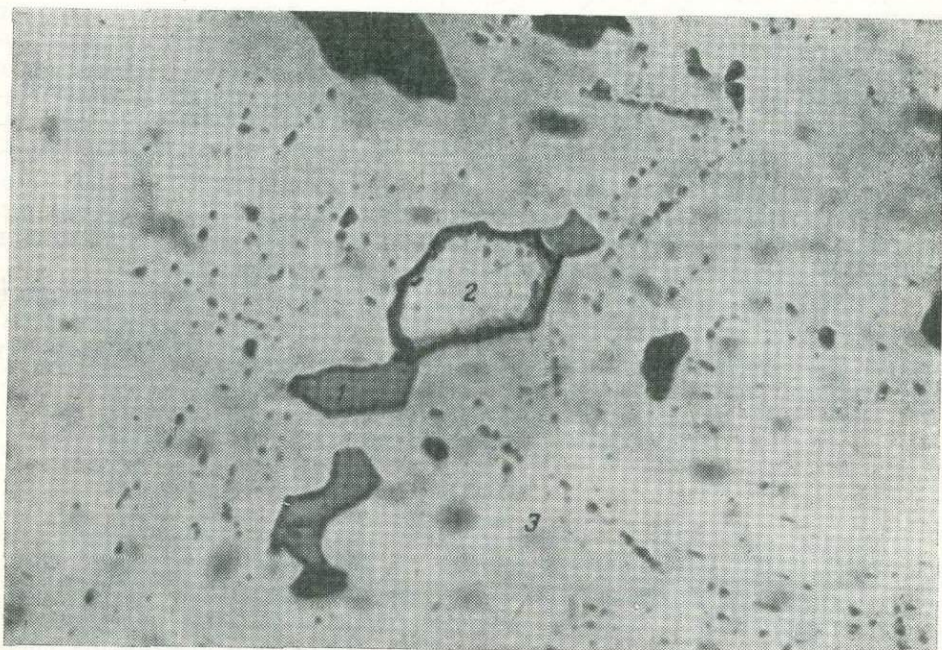


Рис. 59. Моддерит (1) в сростании с сафлоритом (2) в массе аллоклазит-кобальтиновой руды (3). Нерудная масса (черное). Северное кобальтовое месторождение (обр. 605)

Полированный шлиф, ув. 900

та, местами сильно хлоритизированного и брекчированного. Контакт вмещающих пород с зоной резкий, иногда с хорошо выраженными зеркалами скольжения. Аллоклазит-кобальтиновая руда распределяется весьма неравномерно, образуя вытянутые обогащенные участки мелких прожилков, линз, гнезд и густой вкрапленности среди вмещающих пород, в основном в центральной части зоны. Моддерит встречается в парагенезисе с саффоритом, аллоклазитом, кобальтином, высококобальтистым глаукодотом, пирротинном, кобальтсодержащим сфалеритом, данитом, арсенопиритом, пентландитом, пиритом, халькопиритом, кобальтпиритом; из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом и хлоритом.

Морфология. Моддерит в рудах макроскопически неотличим от аллоклазита, кобальтина и других кобальтовых минералов. Мелкие (от 0,01 до 0,05 мм) ромбовидные (см. рис. 58), изометричные и неправильной формы зерна моддерита, а также саффорита (рис. 59), глаукодота, пентландита, пирротина и халькопирита включены в массу аллоклазит-кобальтиновой руды.

Физические свойства. В отраженном свете моддерит по сравнению с аллоклазитом и кобальтином имеет зеленоватый оттенок. При скрещенных николях отчетливо анизотропный: изменяет окраску от лилово-бурого до голубовато-серого. Отражательная способность моддерита ниже, чем у аллоклазита, кобальтина и саффорита (табл. 39, рис. 60). Двуотражение у моддерита в воздухе не наблюдается. Моддерит и саффорит по характеру дисперсии идентичны.

Твердость моддерита при $P=0,98$ Н по данным трех замеров: $H=1,68-2,47$ ГПа, $H_{cp}=2,07\pm 0,40$ ГПа, что соответствует 4 по шкале Мооса.

Таблица 39

Спектры отражения моддерита (I), никелина (II), леллингита (III), саффорита (IV), раммельсбергита (V) и парараммельсбергита (VI), %

Длина волны, нм	I (обр. 605)	II (обр. 3000)	III (обр. 29)	IV (обр. 605)	V (обр. 3001)	VI (обр. 3002)
440	37,1	39,3	53,1	49,6	54,8	58,4
460	38,0	40,2	54,8	48,5	55,2	58,2
480	38,3	40,8	55,0	49,4	56,4	59,8
500	39,1	42,4	55,8	50,2	56,6	60,1
520	39,2	44,2	57,2	50,2	57,0	60,8
540	39,8	46,1	57,6	50,5	56,0	61,6
560	39,7	47,9	58,2	50,6	56,4	62,0
580	39,6	50,0	58,4	50,9	56,1	62,2
600	39,2	52,2	58,0	50,6	55,8	62,6
620	39,0	54,6	58,2	50,5	55,4	61,8
640	38,2	56,0	57,8	52,2	55,2	61,6
660	37,4	57,8	57,0	50,2	55,0	61,4
680	37,1	58,6	56,8	50,2	55,2	61,6
700	35,5	59,6	56,2	49,7	55,4	61,8
720	34,5	60,4	55,8	48,7	55,0	62,0
740	34,3	62,0	56,0	49,0	55,0	62,6

Примечание. Обр. 605 из Северного, обр. 29 из Южного, обр. 3000—3002 из Шорбулагского месторождений.

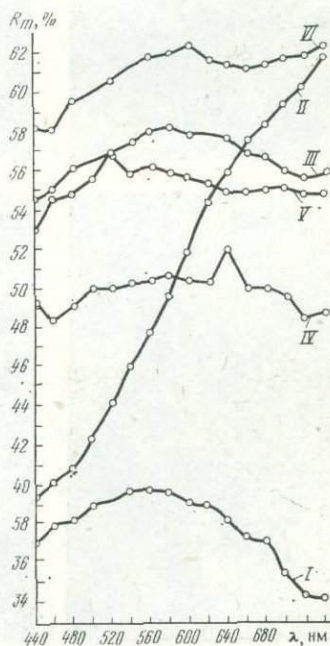
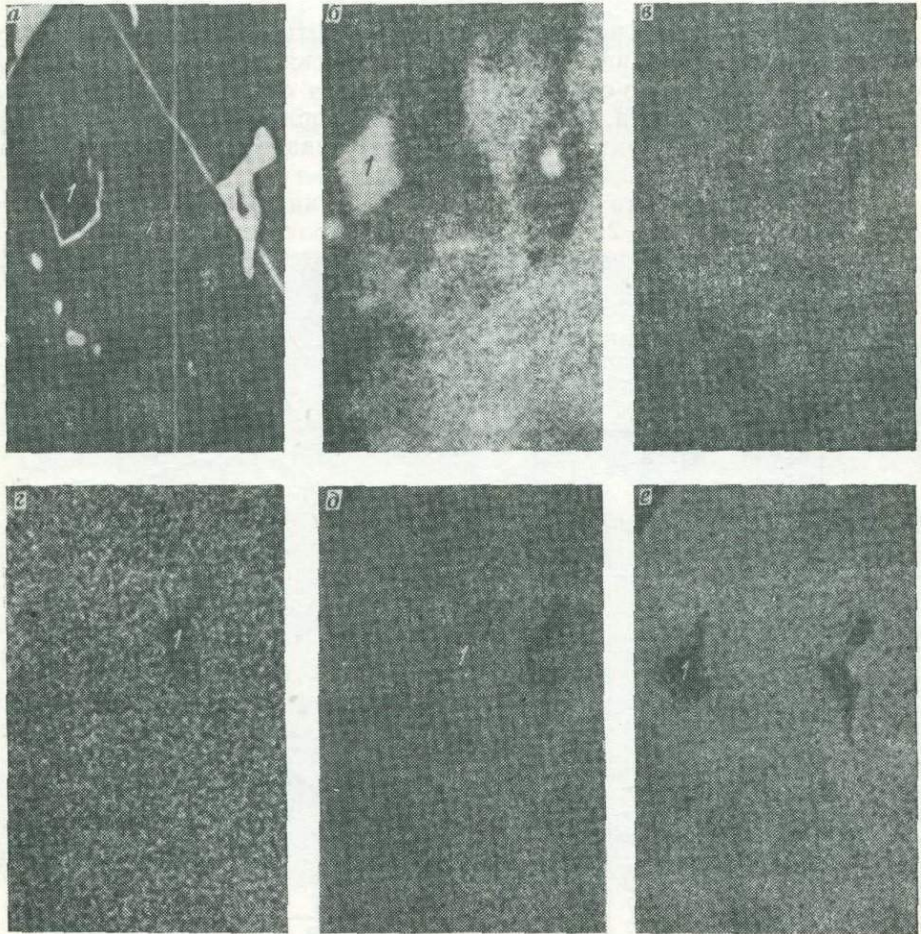


Рис. 60. Спектры отражения моддерита (I), никелина (II), леллингита (III), саффорита (IV), раммельсбергита (V) и парараммельсбергита (VI)

Химический состав моддерита из Северного кобальтового месторождения (обр. 605)

№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле				Ат., %		
	Co	Fe	Ni	As	Сум- ма	Co	Fe	Ni	As	Co : Fe	ΣMe	ΣMe : As
1	38,8	5,80	0,4	57,5	102,1	0,86	0,13	0,01	1,00	66,0 : 10,4	76,4	76,4 : 77,0
2	40,6	4,0	—	56,2	100,8	0,91	0,09	—	1,00	68,9 : 7,2	76,1	76,1 : 75,0
3	41,3	3,1	—	55,9	100,3	0,94	0,07	—	1,00	70,1 : 7,6	77,7	77,7 : 74,6
4	39,3	5,2	—	46,3	100,8	0,88	0,12	—	1,00	66,7 : 9,3	76,0	76,0 : 75,2
5	35,3	9,1	—	56,5	100,9	0,79	0,21	—	1,00	59,9 : 16,3	76,2	76,2 : 75,4
6	40,1	4,3	—	56,5	100,9	0,90	0,10	—	1,00	68,0 : 7,7	75,7	75,7 : 75,4
7	38,7	5,5	—	56,4	100,6	0,87	0,13	—	1,00	65,7 : 9,9	75,6	75,6 : 75,3
8	40,1	4,8	—	56,2	101,1	0,90	0,11	—	1,00	68,0 : 8,6	76,6	76,6 : 75,0
9	40,0	3,6	—	56,2	99,8	0,91	0,09	—	1,00	67,9 : 6,4	74,3	74,3 : 75,0
10	40,3	4,1	—	56,5	100,4	0,91	0,09	—	1,00	68,4 : 7,3	75,7	75,7 : 75,4
11	38,8	5,2	—	56,6	100,6	0,87	0,12	—	1,00	65,8 : 9,3	75,1	75,1 : 75,5

Рис. 61. Срастание моддерита и аллоклазита. Участок сканирования 120×180 мкм. Северное кобальтовое месторождение (обр. 605).

a — сканирование под электронным зондом в поглощенных электронах; в характеристическом рентгеновском излучении: *b* — CoK_{α} , *в* — FeK_{α} , *г* — NiK_{α} , *д* — AsK_{α} , *е* — SK_{α} ; 1 — кобальт

Травление стандартными реактивами (HgCl_2 , FeCl_2 , HCl , KOH , KCN и HNO_3) дает отрицательный эффект.

Химический состав моддерита приводится в табл. 40. В зернах моддерита Co , As , Fe и Ni распределены равномерно (рис. 61, 62).

Отношение $\text{Co}:\text{Fe}:\text{Ni}$ на треугольной диаграмме (рис. 63) образует обширное поле по линии Co и Fe , ограниченное содержанием железа от 3,1 до 9,1 вес. % и от 6,4 до 16,3 атом. %. Преобладает моддерит, максимально обогащенный кобальтом. К сожалению, из-за малых размеров выделений моддерита не было возможности провести рентгеновский анализ. Синтетический моддерит имеет ромбическую сингонию с параметрами $a_0=0,351$, $b_0=0,596$, $c_0=0,515$, $z=4$, D_{2h}^{16} .

Можно предполагать, что моддерит CoAs образовался одновременно с сафлоритом CoAs_2 , поскольку он тесно сростается с сафлоритом в прожилкообразных выделениях в аллоклазите (см. описание сафлорита, рис. 69).

НИКЕЛИН

Никелин в тесном парагенезисе с раммельсберgitом из Шорбулагского месторождения ртути был описан М. А. Кашкем и др. (1975 г.). А. И. Махмудовым и др. [36] был отмечен в парагенезисе с раммельсберgitом и парараммельсберgitом. В литературе называется купферникелем, красным никелевым колчеданом.

Условия нахождения. В рудах Шорбулагского месторождения в штольне на глубине 30 и 35 м никелин в парагенетической ассоциации с раммельсберgitом и парараммельсберgitом встречается в киновароносных листовниках в виде тонких прожилков (1—2 мм), гнездообразных скоплений (4×6 см), вкрапленников (1×3 мм, иногда 2×4 мм) в зонах разрывных нарушений. Иногда образует четковидные прожилковые скопления с раммельсберgitом мощностью до 5 мм.

Морфология. Выделяются зонально-концентрические сростания никелина с раммельсберgitом и парараммельсберgitом. Никелин наблюдается в виде ельчатых дендритообразных форм, а также сплошных зернистых, столбчатых и радиально-лучистых агрегатов размером до 3—14 см.

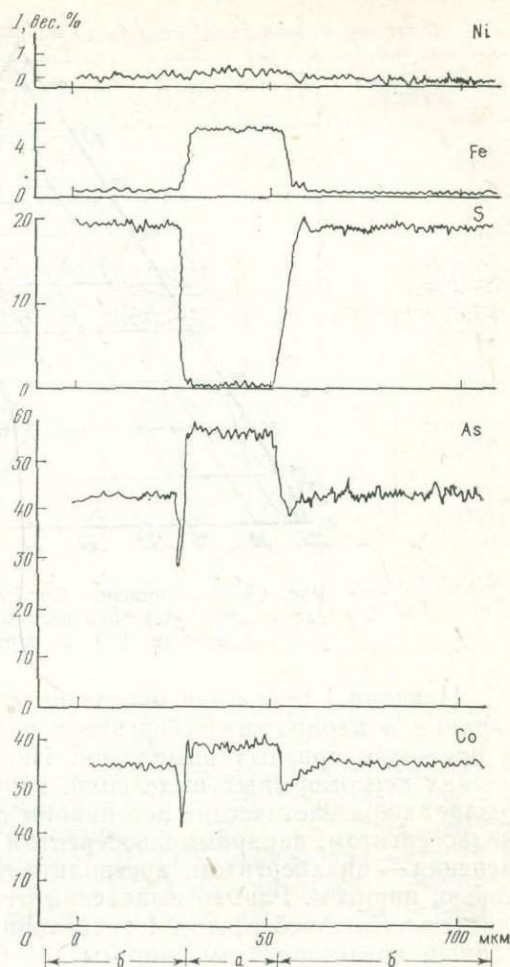


Рис. 62. Распределение Co , As , S , Fe и Ni по профилю, проходящему через моддерит (а) и аллоклазит (б). Северное кобальтовое месторождение (обр. 605)

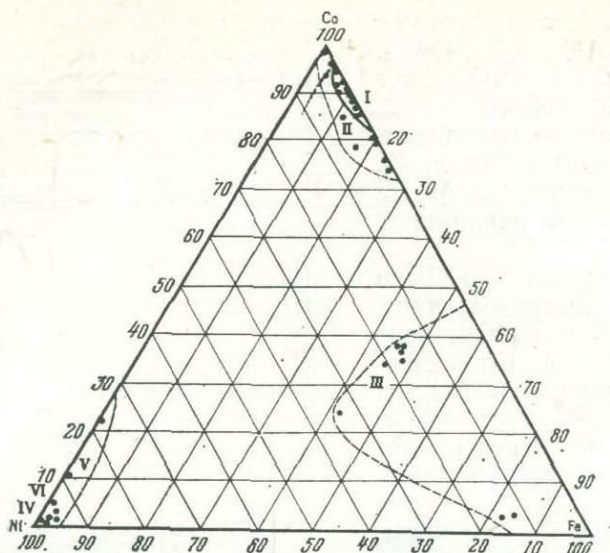


Рис. 63. Соотношение Co:Fe:Ni в моддерите (I), сафлорите (II), леллингите (III), никелине (IV), раммельсбергите (V) и парараммельсбергите (VI)

Никелин I генерации иногда присутствует в раммельсбергите I генерации и парараммельсбергите в виде червеобразных четкообразных и прожилкообразных выделений. Никелин I генерации в виде очень мелких ксеноморфных выделений, вкрапленников, неправильных зерен создает парагенетические ассоциации с раммельсбергитом, кобальтраммельсбергитом, парараммельсбергитом и продуктами их вторичного изменения — аннабергитом, арсенолитом, хромшпинелидами, редко киноварью, пиритом. Размер выделений от 0,1 до 0,5 мм, интенсивно замещается раммельсбергитом I генерации и принадлежит к главным природным представителям системы Ni—Co—As. Эти минералы легко переходят друг в друга при колебаниях концентрации растворов. Привнос или вынос мышьяка часто устанавливается микроскопически по взаимным замещениям [37]. По отношению к раммельсбергиту никелин является поздним минералом, он отчетливо сечет, корродирует и окаймляет зерна раммельсбергита и парараммельсбергита.

Физические свойства. В отраженном свете розовый со слабым кремовым оттенком. Наблюдается двуотражение. Сильно анизотропен: изменяет окраску от розовато-желтого до зеленоватого. При скрещенных николях обнаруживается прямое погасание. Отражательная способность ниже, чем раммельсбергита и парараммельсбергита. Спектры отражения никелина из Шорбулагского месторождения приведены в табл. 39 и на рис. 60.

Твердость никелина $H = 4,01 - 4,82$ ГПа при $P = 0,98$ Н, $H_{\text{ср}} = 4,35 \pm 0,015$ ГПа; $K_H \sim 1,6$. $d_{\text{ср}} = 7,55 \pm 0,03$ г/см³.

Травится HNO_3 и FeCl_3 . В результате травления выявляется зональная структура.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки никелина из Шорбулагского месторождения приводятся в табл. 41. В этой же таблице для сравнения приведены данные никелина из месторождения Мансфельда [34]. Межплоскостные расстояния никелина из Шорбулагского месторождения хорошо

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки никелина

Шорбулагское месторождение (обр. 3000)			Мансфельд, ГДР [34]		Шорбулагское месторождение (обр. 3000)			Мансфельд, ГДР [34]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
10	0,265	101	10	0,266	1	0,1134		1	0,1135
2	0,248		1	0,249	7	0,1074	122	6	0,1070
8	0,1958	102	1	0,1967	2	0,1056		1	0,1055
7	0,1801	110	8	0,1788	6	0,1044	300	6	0,1043
8	0,1641		1	0,1633	8	0,1033	114	7	0,1032
1	0,1619		1	0,1618	3	0,0963	302	1	0,1964
6	0,1489	201	5	0,1481	3	0,0959	105	—	0,0956
5	0,1471	103	1	0,1465	4	0,0905	303	2	0,0904
1	0,1455		1	0,1455	3	0,0856	130	3	0,0856
1	0,1390		—	—	2	0,0848	205	1	0,0847
6	0,1331	202	7	0,1320	2	0,0823		3	0,820
3	0,1264		1	0,1261	1	0,0810		2	0,0810
2	0,1253	004	3	0,1250	5	0,0804	106	1	0,0804
3	0,1178	120	2	0,1177					
2	0,1162	104	1	0,1162					
5	0,1150		5	0,1150					
3	0,1143	203	1	0,1142					
					$a_0=0,362$ нм $c_0=0,5012$ нм			$a_0=0,3609$ нм $c_0=0,5019$ нм	

сопоставляются с литературными данными (см. табл. 41). Характерные линии никелина 0,165 (10), 0,1968 (8) и 0,133 (6).

Результаты микрохимической реакции на Ni следующие. Отпечаток на Ni с диметилглиоксимом розово-красного цвета, с рубановой кислотой — фиолетового цвета. Растворитель: $\text{HNO}_{3\text{конц}}$. Экспозиция 1 мин. Проявители: диметилглиоксим и NH_4OH , рубановая кислота и NH_4OH . Реакция на As. Минерал плюс $\text{HNO}_{3\text{конц}}$ на шлифе. Экспозиция 2 мин. Прибавляя $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, получают порошок в избытке. Осадок лимонно-желтого цвета.

Химический состав никелина приведен в табл. 42.

Сканированием по спектрам установлено, что главными элементами в никелине являются никель и мышьяк, в качестве примесей установлены кобальт, железо, медь и сера. Мышьяк, никель и элементы-примеси в минерале распределены относительно равномерно (рис. 64); сняты кривые распределения Ni, Co, Fe, Cu, As и S (рис. 65).

Отношение Ni:Co изменяется от 428,9 до 2172, а отношение Ni:Fe — от 4289 до 2232,5. Медь и сера встречаются в виде примеси и распределены неравномерно. Полученные химические составы никелина из Шорбулагского месторождения нанесены на тройную диаграмму (см. рис. 63, описание модерита).

ЛЕЛЛИНГИТ

В зависимости от химического состава в литературе имеются различные синонимы леллингита: чистый леллингит FeAs_2 (теоретический состав — Fe 27,19%, As 72,82%); гейерит (S 6,79% при Fe 31,20%, As 61,40%); кобальтистый леллингит (Fe 27,50%, Co 1,32%, Ni 0,02%, S 0,97%, As 69,60%, Fe 0,03%); глаукопирит (Fe 20,77, Co 5,97, Ni 0,67, S 2,43, As 67,56, Bi 0,7, Te 0,13, Au 0,22%) [34].

Химический состав никелина, раммельсбергита и параммельсбергита из Шорбулатского ртутного месторождения

Минерал	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле						
			Ni	Co	Fe	Cu	As	S	Сумма	Ni	Co	Fe	Cu	As	S
Никелин	3000	1	44,65	0,09	0,02	0,02	54,63	0,17	99,54	1,01	0,002	0,001	0,001	0,99	0,01
		2	42,89	0,10	0,01	0,01	56,39	0,40	99,60	0,99	0,003	0,001	0,001	0,99	0,01
		3	43,44	0,03	—	0,13	55,76	0,42	99,78	1,00	0,001	—	0,01	0,99	0,01
Раммельсбергит	3001	1	28,14	0,77	0,05	0,01	69,22	2,20	100,38	0,97	0,03	0,002	0,001	1,87	0,13
		2	24,84	2,75	0,02	0,02	70,68	0,95	99,26	0,90	0,10	0,001	0,001	1,96	0,04
		3	23,01	6,42	0,05	0,02	70,10	1,21	100,8	0,78	0,22	0,002	0,001	1,90	0,08
Параммельсбергит	3002	1	28,28	0,95	—	—	69,21	1,99	100,43	0,97	0,03	—	—	1,87	0,13
		2	27,45	0,15	0,02	0,01	70,86	0,07	98,56	0,99	0,01	0,001	0,001	2,00	0,005
		3	28,43	0,16	0,01	0,01	71,26	0,05	99,92	1,00	0,01	0,001	0,001	1,99	0,003

Леллингит — минерал диарсенидов железа — из различных месторождений был охарактеризован Г. А. Крутовым, Н. С. Рудашевским, П. А. Иоффе, Д. П. Григорьевым, Н. Н. Шишкиным и др. Микроскопическое описание леллингита из Южного месторождения выполнено А. И. Махмудовым [21].

Условия нахождения. На Южном железо-кобальтовом месторождении в одном из образцов (скв. 1088) под микроскопом был обнаружен леллингит в сростании с саффлоритом, высококобальтистым глаукодотом, данаитом и арсенипитом. Кроме вышеуказанных минералов, леллингит ассоциирует с магнетитом, гематитом, мушкетовитом, кобальтином, марказитом, кобальтпиритом, пиритом, халькопиритом, кварцем, кальцитом, эпидотом, гранатом, хлоритом и серицитом.

Морфология. Микроскопически наблюдаются зернистые массы, тесные сростания с данаитом и арсенипитом в радиально-лучистых зонально-концентрических агрегатах размером 0,1—0,5 мм (рис. 66). Имеются двойники по {011}. Местами небольшие ромбические и ромбодипирамидальные зерна леллингита включены в арсенипит.

Физические свойства. В отраженном свете блестящий, чисто белый. Имеет очень большое сходство с арсенипитом. Отражательная способность и цвет колеблются в зависимости от значительных содержания в нем примесей кобальта и никеля. По сравнению с арсенипитом леллингит светлее, в непосредственном контакте синевато-белый, тогда как арсенипит приобретает желтый оттенок. Эффект анизотропии леллингита в скрещенных ни-

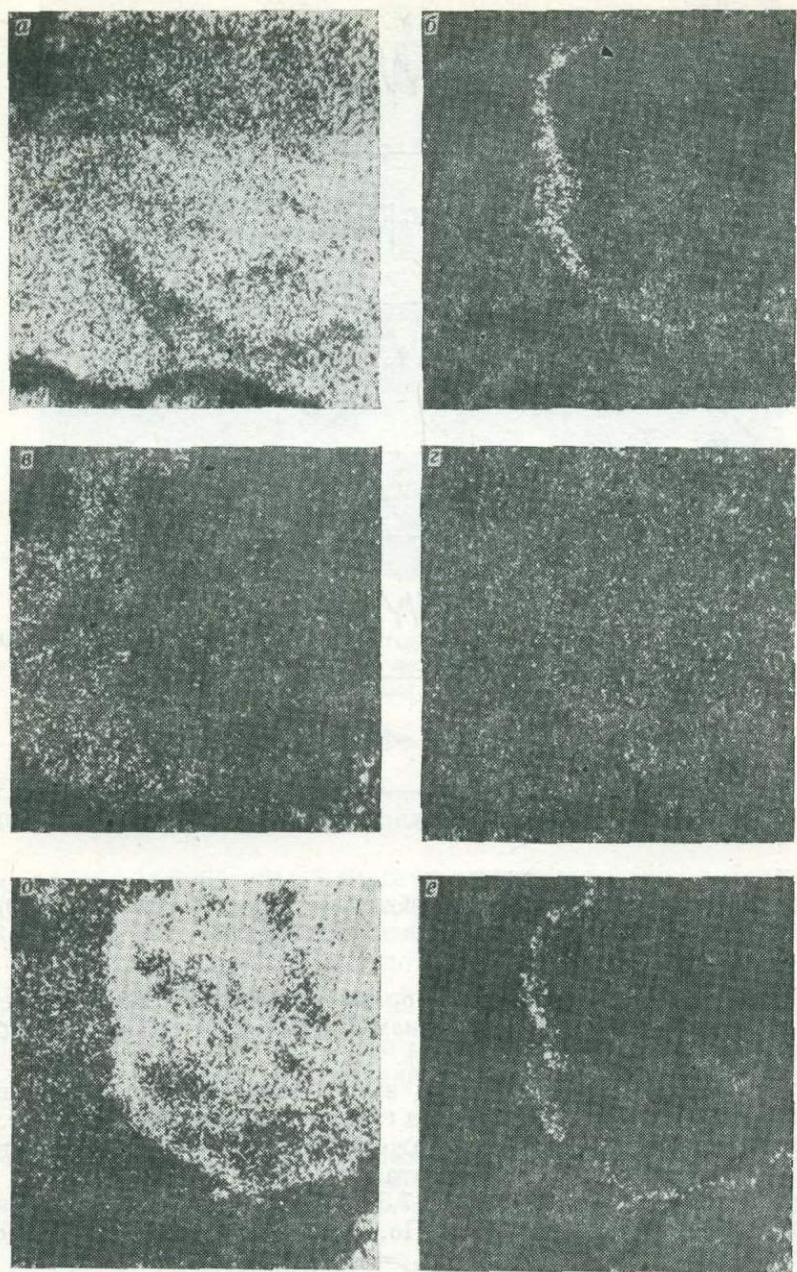


Рис. 64. Участок сканирования размером 150×150 мкм по кристаллу минерала ряда никелин — раммельсберgit — парараммельсберgit в характеристических рентгеновских лучах. Шорбулагское ртутное месторождение с кобальтом и никелем (обр. 3000):
 а — NiK_{α} (белое), б — CoK_{α} (белое), в — FeK_{α} (белое), г — CuK_{α} (белое), д — AsK_{α} (белое),
 е — SK_{α} (белое)

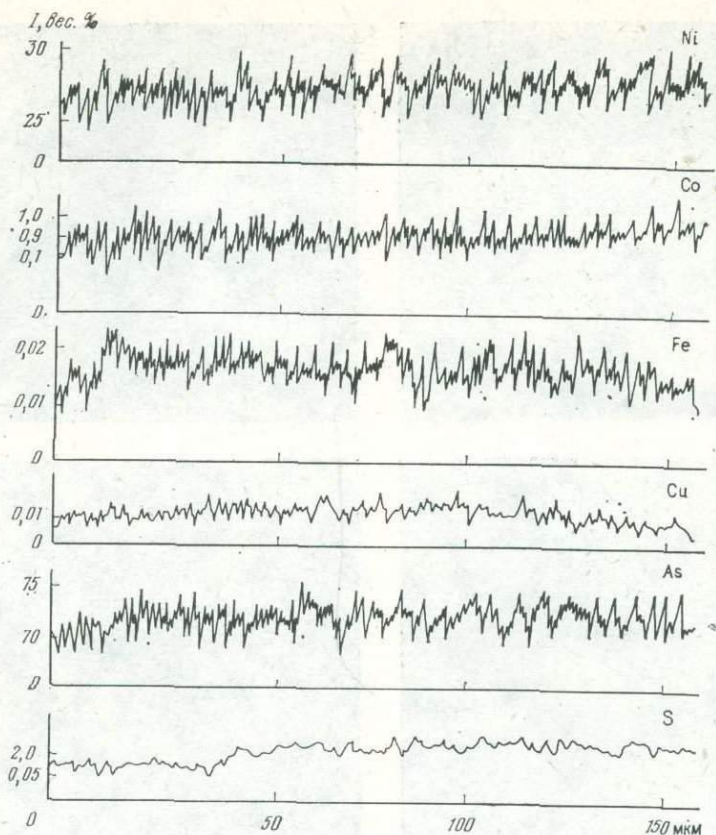


Рис. 65. Кривые распределения Ni, Co, Fe, Cu, As и S в зернах никелина, раммельсбергита и парараммельсбергита. Шорбулагское месторождение (обр. 3000)

колях более сильный, чем у арсенопирита, причем в воздухе заметен отчетливее, чем в иммерсии. Плеохроизм слабый с адсорбцией, наиболее сильной по {101}, {120}, {011} и {300}.

Спектры отражений леллингита выше, чем сафлорита, арсенопирита, данайта и высококобальтистого глаукодота (см. табл. 39, рис. 60). Как видно из табл. 39, спектры отражения леллингита выше, чем высококобальтисто-никелистого леллингита.

Твердость леллингита $H = 6,09 - 7,38$ ГПа при $P = 0,98$ Н (по данным трех замеров), $H_{\text{ср}} = 6,70 \pm 0,31$ ГПа, высококобальтисто-никелистого леллингита — $H = 5,72 - 8,15$ ГПа, $H_{\text{ср}} = 6,78 \pm 0,33$ ГПа.

Пары HNO_3 окрашивают его в бледно-коричневый цвет; FeCl_3 дает коричневатый налет (на арсенопирит не действует); HNO_3 конц травит леллингит значительно скорее и лучше, чем арсенопирит. В результате травления выявляется зональная структура леллингита.

Химический состав леллингита и высококобальтисто-никелистого леллингита приведен в табл. 43. В зернах леллингита Fe, Co, Ni и S распределены зонально (рис. 67 и 68). Результаты анализов рассчитываются по формуле, соответствующей теоретической (см. табл. 43). Соотношение Fe : Co : Ni отражено на треугольной диаграмме (см. рис. 63, описание моддерита).

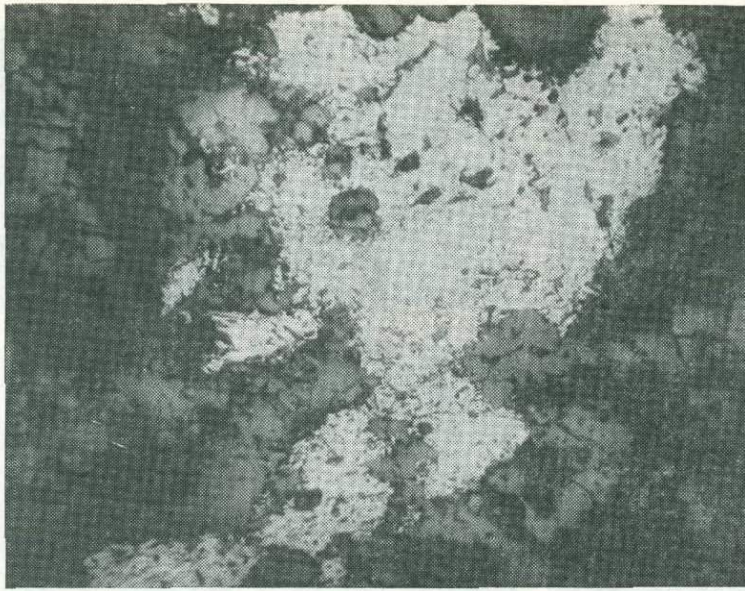


Рис. 66. Высококобальтистый — никелистый леллингит (белое) в магнетит-эпидот-гранатовом скарне (темно-серое). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 29).
Полированный шлиф, ув. 450

САФФЛОРИТ

Саффорит в рудах месторождений Дашкесанского рудного района упоминается в работах ряда исследователей [11, 15, 16, 19, 21, 23, 28, 30].

Условия нахождения. Обнаружен микроскопически на Северном кобальтовом месторождении в массе аллоклазит-кобальтиновой руды в тесном сростании с моддеритом в ассоциации с аллоклазитом, кобальтином, высококобальтистым глаукодотом, глаукодотом, дананитом, арсенопиритом, кобальтсодержащим пирротинном, кобальтпентландитом, пиритом и халькопиритом.

На Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении обнаружен под микроскопом в сростании с аллоклазитом и кобальтином в

Таблица 43

Химический состав леллингита из Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 29)

№ анализа	Содержание, вес. %				Сумма	Коэффициент в формуле			
	Fe	Co	Ni	As		Fe	Co	Ni	As
1	11,70	8,90	4,45	74,10	99,15	0,44	0,32	0,16	2,08
2	11,80	8,90	4,50	74,40	99,90	0,45	0,32	0,16	2,07
3	12,00	8,80	4,60	74,60	100,00	0,48	0,32	0,28	2,02
4	11,68	7,29	9,48	72,31	100,75	0,43	0,25	0,33	1,99
5	11,80	8,80	5,00	74,40	100,00	0,45	0,32	0,20	2,03
6	12,10	8,80	4,80	74,30	100,00	0,48	0,32	0,19	2,01
7	22,62	0,61	4,22	71,27	98,72	0,85	0,02	0,15	1,98
8	23,00	0,70	4,00	72,31	100,00	0,86	0,03	0,11	2,00

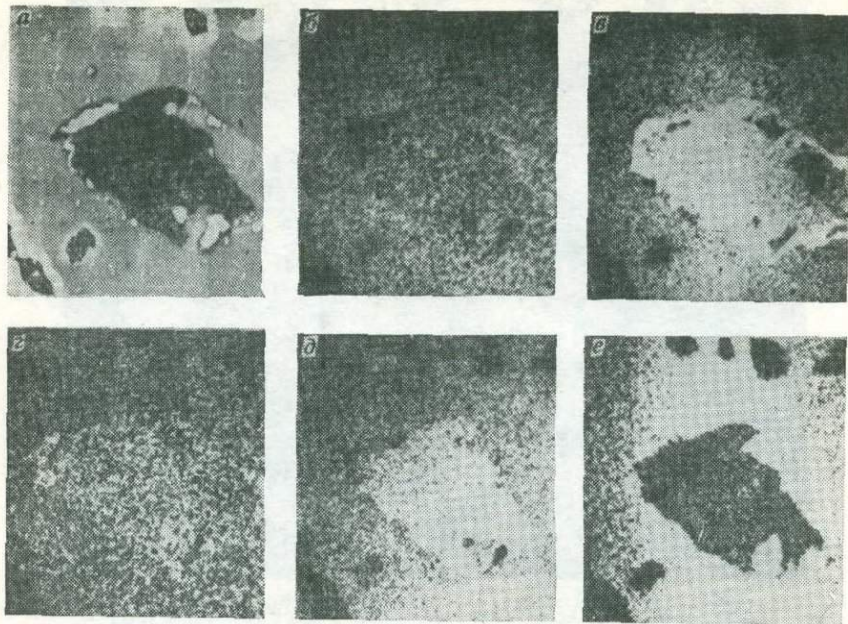


Рис. 67. Срастание высококобальтистого — никелистого леллингита. Участок сканирования размером 200×200 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 29): а — сканирование под электронным зондом в поглощенных электронах; в характеристическом рентгеновском излучении: б — FeK_{α} (белое), в — CoK_{α} (белое), г — NiK_{α} (белое), д — AsK_{α} (белое), е — SK_{α} (белое)

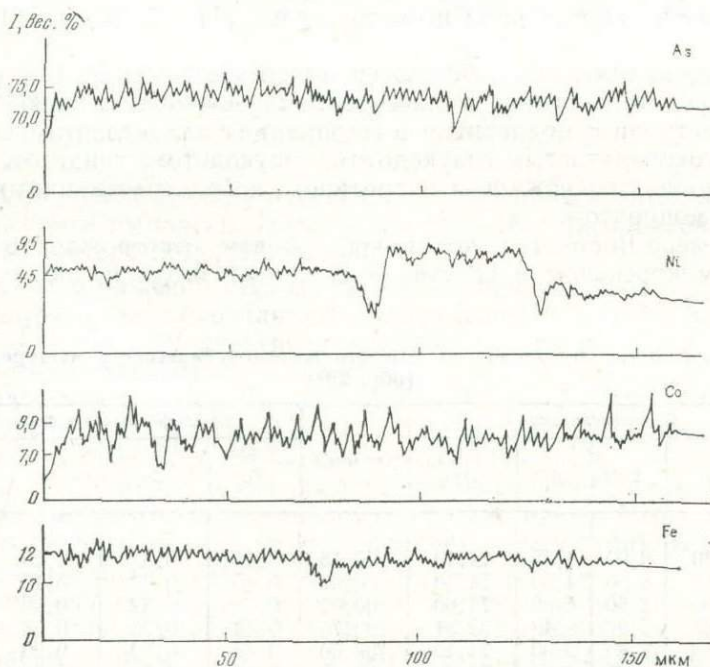


Рис. 68. Кривые распределения Fe, Co, Ni и As по профилю, проходящему через высококобальтистый — никелистый леллингит. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 29)

массе магнетит-гранат-эпидотовых скарнов и дашкесанит-роговиковых пород и по зальбандам дайки диабазовых порфиритов. Ассоциирует с кобальтином, аллоклазитом, магнетитом, гематитом, карролитом, пиритом, халькопиритом, кобальтпиритом, никельпиритом, линнеитом, виоларитом, бравоитом, леллингитом, данаитом, арсенопиритом, марказитом, сфалеритом, электроумом, самородным висмутом, висмутином, эритрином, кобальткальцитом, кварцем, эпидотом и гранатом.

На Северо-Западном кобальтсодержащем железорудном и Южном железо-кобальтовом месторождениях саффлорит микроскопически был обнаружен в аллоклазит-кобальтиновой руде, где он ассоциирует с аллоклазитом, кобальтином, кобальтпиритом, гематитом, пиритом, халькопиритом и гранатами.

Саффлорит окаймляется кобальтином, включая халькопирит и магнетит; ассоциирует с гематитом, высококобальтистым глаукоцитом, данаитом, арсенопиритом, пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, самородным висмутом, висмутином, теллуrowисмутитом, теллуридом, бисмоклитом, парателлуридом, линнеитом, миллеритом, валлеритом, кубанитом, пентландитом, пирротинном, сфалеритом, галенитом, марказитом, молибденитом, эритрином, кобальткальцитом, гранатом, эпидотом и хлоритом. В массе аллоклазит-кобальтиновых руд саффлорит составляет около 1%.

Морфология. Встречается в виде очень мелких ромбовидной формы зерен в аллоклазите (рис. 69) и халькопирите в ассоциации с пиритом. Размер зерен саффлорита колеблется от 0,05 до 0,1 мм, местами от 0,1 до 0,8 мм. На некоторых участках Южного месторождения среди

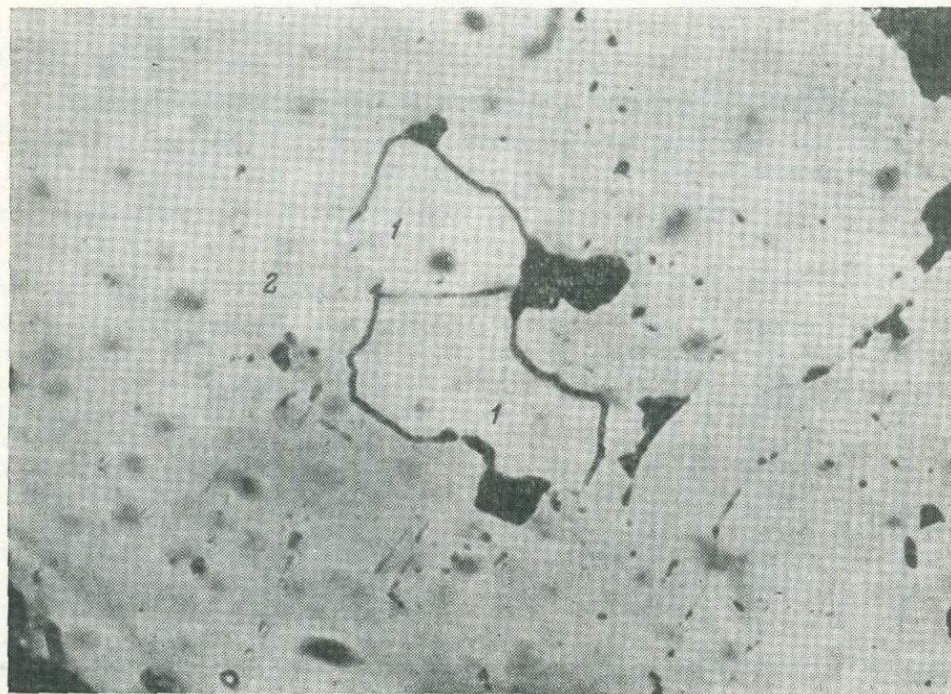


Рис. 69. Саффлорит (1) в массе аллоклазита (2). Нерудная масса (черное). Северное-кобальтовое месторождение (обр. 605).

Полированный шлиф, ув. 850

пирита встречаются неправильной и удлиненной формы зерна сафлорита в сростании с кобальтином. Размер таких зерен от 0,05 мм до 0,2 мм.

Физические свойства. В полированных шлифах в отраженном свете кремово-белый с голубоватым оттенком (на фоне аллоклазита), местами, особенно на фоне халькопирита, желтовато-белый и голубоватый, на фоне пирита — зеленовато-голубой, на фоне моддерита и аллоклазита приобретает зеленовато-голубоватый оттенок. При скрещенных николях сильно анизотропный, с цветным эффектом, изменяющимся от голубовато-зеленого до желтовато-зеленого цвета. Обладает высокой отражательной способностью со слабо заметным двуотражением. Отражательная способность сафлорита выше, чем моддерита. Спектры отражения сафлорита приведены в табл. 39 и на рис. 60 (см. описание моддерита).

Твердость сафлорита $H=5,68-7,94$ ГПа при $P=0,98$ Н (по данным пяти замеров), $H_{cp}=6,72 \pm 0,20$ ГПа, что соответствует 5,0—5,5 по шкале Мооса.

При травлении сафлорита азотной кислотой у него выявляется двойниковая и зональная структура, от хлористого железа ($FeCl_3$) бурет.

Рентгеновские исследования и параметры элементарной ячейки сафлорита из Северного кобальтового месторождения по сравнению с данными Берри и Томпсона [43] приводятся в табл. 44. По результатам рентгеновских исследований сафлорит из месторождений Дашкесанского рудного района имеет большое сходство (обр. 605) с сафлоритом, описанным Берри и Томпсоном [43] под названием сафлорит III, а соответственно обр. 755 — с сафлоритом V [43].

Таблица 44

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки сафлорита

Северное месторождение (обр. 605)			Северо-Западное месторождение (обр. 755)		Говганда, Канада [43]	
<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>	<i>l</i>	<i>d/n</i>
2	0,391	110	1,5	0,384	0,5	0,391
1	0,295	020	2	0,293	0,5	0,296
2	0,260	101	1,5	0,278	2	0,259
10	0,258	200, 120	5	0,257	10	0,257
1	0,196	220	2	0,197	0,5	0,195
3	0,1863	211	5	0,1861	1	0,1862
4	0,1845	130	1	0,1815	2	0,1846
7	0,1660	310, 131	5	0,1652	7	0,1654
5	0,1641	221	5	0,1635	5	0,1638
4	0,1577	131, 230	2	0,1621	4	0,1575
2	0,1498	301, 320	1	0,1596	2	0,1496
1	0,1336	321	2	0,1577	1	0,1334
3	0,1304	330	7	0,1487	2	0,1300
2	0,1287	141	2	0,1341	1	0,1286
$a_0=0,5181$ нм $b_0=0,5961$ нм $c_0=0,3017$ нм $\beta \sim 90^\circ$			$a_0=0,5071$ нм $b_0=0,5864$ нм $c_0=0,3173$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,5175$ нм $b_0=0,5950$ нм $c_0=0,3015$ нм $z=2$	

Химический состав саффорита приведен в табл. 45. В зернах саффорита определены (в вес. %): Fe, Co и As, а в двух зернах — никель, содержание которого колеблется от 0,8 до 1,1; в четырех зернах сера 0,2—0,3, а также получена фотография участка сканирования в поглощенных электронах и распределение Co, Fe, Ni, As и S в зернах саффорита (рис. 70 и 71). Соотношение Co:Fe:Ni отражено на треугольной диаграмме (см. рис. 63, описание модеррита).

РАММЕЛЬСБЕРГИТ

Природный диарсенид никеля с кобальтом — раммельсбергит встречается сравнительно редко.

В СССР раммельсбергит обнаружен в рудах месторождения Хову-Аксы Тувинской АССР [34] и Шорбулагского месторождения Кельбаджарского рудного района АзССР [36].

Условия нахождения. Раммельсбергит с парараммельсбергитом и киноварью образует прожилково-вкрапленные выделения в лиственитах, где присутствуют также никелин, халькопирит и сфалерит.

Морфология. Обычно никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит и их вторичные образования заполняют мелкие трещинки в лиственитах и серпентинитах (см. описание парараммельсбергита). Никелевые минералы представлены в сплошных массивных агрегатах с гипергенными нитевидными полосками вторичных аннабергита и арсенолита. Последние в виде оторочек ярко-зеленого цвета окаймляют вкрапленники и прожилки никелина, раммельсбергита и парараммельсбергита. Отмечаются гипидiomорфнозернистые и радиально-лучистые агрегаты и двойники.

Таблица 45

Химический состав саффорита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Сумма	Коэффициент в формуле					
			Co	Fe	Ni	As	S		Fe	Co	Ni	As	S	
			Северное кобальтовое (обр. 605)	605	1	28,3	0,8		—	71,8	—	100,9	0,98	0,03
		2	28,1	0,5	—	72,3	—	100,9	0,98	0,02	—	2,00	—	—
		3	27,3	1,0	—	72,2	—	100,5	0,96	0,04	—	2,00	—	—
		4	25,9	2,7	—	72,2	—	100,8	0,90	0,10	—	2,00	—	—
		5	26,5	1,8	—	71,9	0,3	100,5	0,93	0,07	—	1,98	—	0,02
		6	22,3	5,2	—	72,5	0,2	100,2	0,80	0,20	—	1,99	—	0,01
		7	21,7	6,5	—	72,2	—	100,4	0,76	0,24	—	2,00	—	—
		8	20,4	7,5	—	72,7	—	100,6	0,72	0,28	—	2,00	—	—
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	9	23,8	3,2	0,8	72,1	0,3	100,2	0,85	0,12	0,03	1,98	—	0,02
		10	22,1	5,1	1,1	71,9	0,3	100,5	0,77	0,18	0,05	1,98	—	0,02

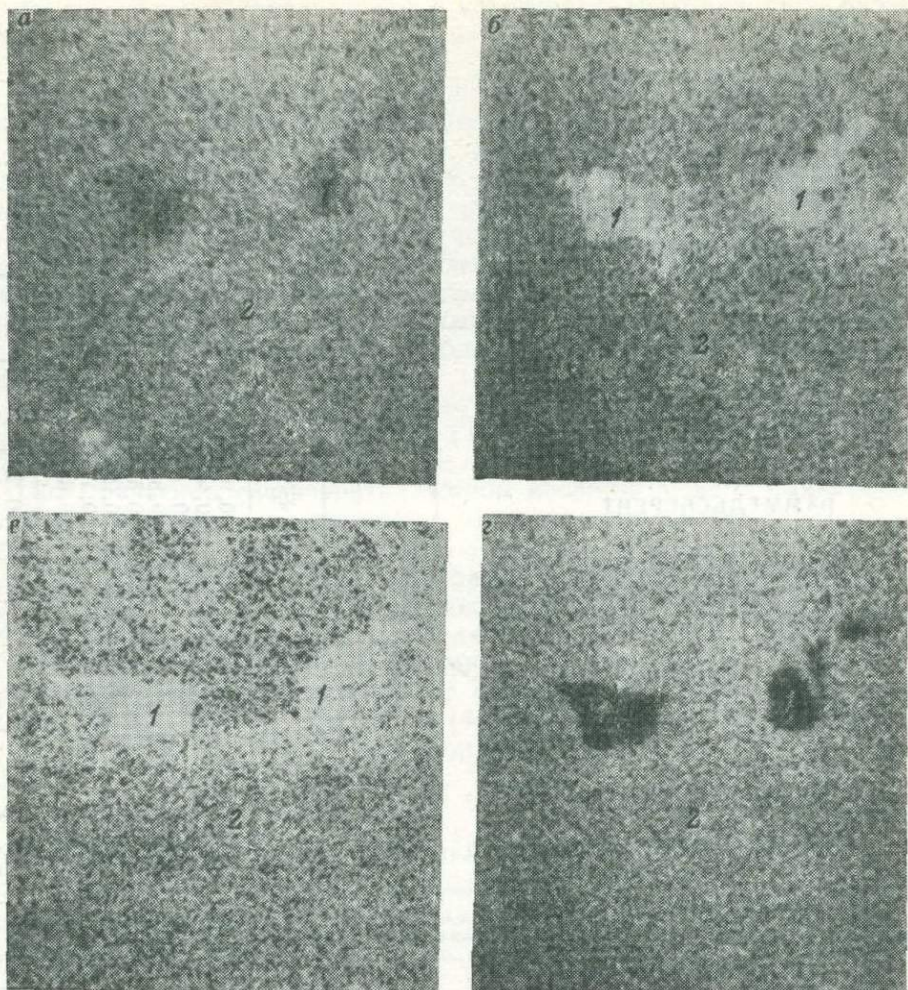


Рис. 70. Растровые изображения кристаллов сафлорита (1) и кобальтина (2) в характеристических рентгеновских лучах. Участок размером 100×100 мкм. Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное месторождение (обр. 755).

а — FeK_{α} (белое), б — CoK_{α} (белое), в — AsK_{α} (белое), г — SK_{α} (белое)

Физические свойства. В отраженном свете раммельсбергит и парараммельсбергит белый, сильно анизотропный. Раммельсбергит изменяет окраску от бледно-желтого до синего. Отражательная способность раммельсбергита ниже, чем у парараммельсбергита. Спектры отражения раммельсбергита и парараммельсбергита приведены в табл. 39 и на рис. 60. Двухотражение у раммельсбергита в воздухе слабое, в иммерсии по границам зерен отчетливое. Наблюдается срастание с парараммельсбергитом и никелином.

Твердость раммельсбергита $H = 5,56 - 7,68$ ГПа при $P = 0,98$ Н (по данным четырех замеров), $H_{ср} = 6,40 \pm 0,08$ ГПа; $K_H \sim 8$. $d_{ср} = 7,22 \pm \pm 0,02$ г/см³. Этот раммельсбергит выделен из сплошных раммельсбергит-никелиновых руд (вернее Co—Ni—As руд) Шорбулагского месторождения. Анизотропия микротвердости в раммельсбергите возникла так же, как у парараммельсбергита (см. парараммельсбергит).

Травится от FeCl_3 и дает темно-коричневый налет; при этом выявляется зональная структура. Раммельсбергит имеет структуру типа марказита [34].

Рентгеновские исследования и параметры элементарной ячейки раммельсбергита даны в табл. 46.

Химический состав приведен в табл. 42 (см. описание никелина). Результаты анализов рассчитываются на формулу, соответствующую теоретической (см. табл. 42). В зернах раммельсбергита и парараммельсбергита Fe, Co, Ni, Cu, As и S распределены равномерно (см. рис. 64 и 65, описание никелина). Отношение N:Co:Fe в раммельсбергите приведено на рис. 63 (см. описание моддерита). Описываемый раммельсбергит относительно низкотемпературный по сравнению с никелином.

ПАРАРАММЕЛЬСБЕРГИТ

Диарсенид никеля — парараммельсбергит редкий минерал. Установлен впервые в рудах гидротермальных месторождений серебряно-никеле-кобальтовой формации Онтарио (М. А. Пикок и С. Е. Майчнер, 1939 г.; М. А. Пикок и

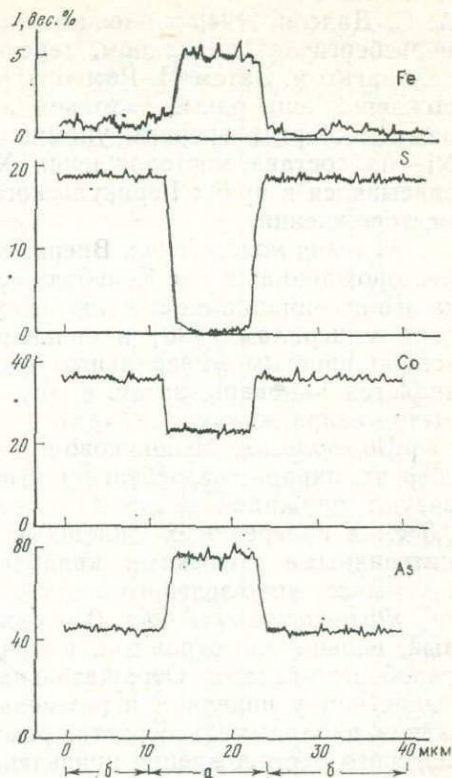


Рис. 71. Кривые распределения Fe, S, Co и As по профилю, проходящему через сафлорит (а) и кобальтин (б). Северо-Западное кобальтосодержащее железорудное месторождение (обр. 755)

Таблица 46

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки раммельсбергита

Шорбулагское месторождение [36]			Шнеебергское месторождение, ГДР [43]		Шорбулагское месторождение [36]			Шнеебергское месторождение, ГДР [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,369	011	1	0,369	3	0,1540	202	1	0,1540
5	0,3014	101	0,5	0,302	1	0,1510	023	0,5	0,1510
2	0,2911	002	—	—	2	0,1444	004	2	0,1443
7	0,2841	110	5	0,284			212		
10	0,2564	111	10	0,256	2	0,1414	220	0,5	0,1415
8	0,2484	020	8	0,249	6	0,1379	014	0,5	0,1379
2	0,2034	120	1	0,204	4	0,1295	203	0,5	0,1299
7	0,1873	121	7	0,1877	5	0,1278	213	0,5	0,1280
1	0,1804	103	0,5	0,1804					
3	0,1764	200	1,5	0,1765					
4	0,1696	201	3	0,1698					
2	0,1636	210	1	0,1639					
2	0,1595	030	2	0,1597					
					$a_0 = 0,478 \pm 0,003$ нм $b_0 = 0,5805 \pm 0,001$ нм $c_0 = 0,3528 \pm 0,002$ нм			$a_0 = 0,475$ нм $b_0 = 0,5797$ нм $c_0 = 0,3539$ нм	

А. С. Дадсон, 1940 г.) в ассоциации со смальтин-хлоантитом, раммельсбергитом, никелином, герсдорфитом, самородным серебром и леллингитом. Затем П. Рамдору [37] удалось дополнить список месторождений еще одной находкой парараммельсбергита. В СССР парараммельсбергит впервые упоминался при характеристике руд Co-Ni-As состава месторождения Хову-Аксы [40]. Более детально он описывался в рудах Бериккульского (Кузнецкий Алатау) золоторудного месторождения.

Условия нахождения. Впервые обнаружен автором в Шорбулагском месторождении ртути Кельбаджарского рудного района (Малый Кавказ) в ассоциации с раммельсбергитом, никелином, аннабергитом и другими минералами [36] в киновароносных лиственитовых телах с довольно простым минеральным составом. Главным рудным минералом является киноварь, затем пирит, халькопирит, сфалерит, а из нерудных — кварц, кальцит и барит.

Морфология. Мышьяково-никелевые минералы (никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит) и продукты их вторичных изменений образуют прожилки и жилы в трещинках лиственитов мощностью до 0,5 см в поперечнике. Сплошные массивные агрегаты с гипергенными нитевидными полосками аннабергита и арсенолита образуют глинистую массу ярко-зеленого цвета.

Физические свойства. В отраженном свете парараммельсбергит белый, сильно анизотропный, изменяет окраску от желтовато-белого до голубовато-белого. Отражательная способность парараммельсбергита выше, чем у никелина и раммельсбергита. Полученные спектры отражения парараммельсбергита, раммельсбергита и никелина из Шорбулагского месторождения приведены в табл. 39 и на рис. 60.

Двуотражение у парараммельсбергита в воздухе слабое, в иммерсии по границам зерен отчетливое. Наблюдается срастание с раммельсбергитом и никелином. Парараммельсбергит отличается от раммельсбергита отсутствием двойникования, слабыми эффектами анизотропии.

Твердость парараммельсбергита $H = 7,56-7,93$ ГПа при $P = 0,98$ Н (по данным четырех замеров), $H_{cp} = 7,75 \pm 0,18$ ГПа, $K_H \sim 19$. $d_{cp} = 7,24 \pm \pm 0,002$ г/см³ по литературным данным.

Анизотропия микротвердости в парараммельсбергите возникла в связи с пластической деформацией зерен. Для проверки этого образцы грубополосчатой руды были подвергнуты в лабораторных условиях одностороннему сжатию по направлению полосчатости. Оказалось, что в направлении действия давления произошло упрочнение зерен парараммельсбергита с возникновением анизотропии микротвердости. Таким образом, эффект упрочнения и связанная с ним анизотропия микротвердости могут рассматриваться как существенный признак пластической деформации парараммельсбергита. Эти свойства также характерны для никелина и раммельсбергита.

Травится стандартными реактивами (HgCl_2 , HNO_3 , HCl , KOH , KCN), дает отрицательный эффект. Только при травлении выявляется структура. В структурном отношении парараммельсбергит близок к раммельсбергиту и поэтому первоначально он описан как раммельсбергит (М. А. Пикок и С. Е. Майченер, 1939 г.).

Рентгенометрические исследования парараммельсбергита из Шорбулагского месторождения даны в табл. 47.

Параметры элементарной ячейки парараммельсбергита по П. Рамдору следующие: $a_0 = 0,574$; $b_0 = 0,581$; $c_0 = 0,114$ нм, соотношение их очень близко к 1 : 1 : 2; $z = 8$. Ромбический, пирамидальный. Параметры элементарной ячейки псевдоромбического парараммельсбергита по Пи-

Межплоскостные расстояния парараммельсбергита

Шорбулагское месторождение [36]				Берикульское месторождение (по данным Р. А. Виноградовой и др.)		Онтарио, Канада [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,385	3,85	111	—	—	1/2	0,387
5	0,285	2,85	004	—	—	3	0,285
3	0,2831	2,831	021	3	0,2836	1	0,280
2	0,2609	2,60	022	1	0,2603	1	0,259
8	0,2550	2,563	014	8	0,2553	8	0,254
10	0,2511	2,52	211	10	0,2513	10	0,251
6	0,2361	2,362	122	5	0,2534	6	0,236
3	0,2151	2,14	123	2	0,2148	1	0,215
3	0,1994	1,995	115	3	0,1989	4	0,1994
7	0,1820	1,82	302, 310	7	0,1810	5	0,1817
5	0,1734	1,73	0, 33, 116	2	0,1730	6	0,1731
3	0,1640	1,63	007	2	0,1636	3	0,1639
4	0,1591	1,592	304, 206, 026	2	0,1589	4	0,1590
5	0,1545	1,55	134	1	0,1542	2	0,1544
5	0,1538	1,53	126	—	—	2	0,1533
2	0,1480	1,475	035	2	0,1475	2	0,1480
2	0,1381	1,385	127	1	0,1375	2	0,1382
3	0,1322	1,32	136	3	0,1327	2	0,1321
1	0,1258	1,25	128	2	0,1257	1	0,1258
2	0,1227	1,23	0,45	1	0,1230	1	0,1228
1	0,1223	1,22	405	1	0,1220	2	0,1220
2	0,1136	1,135	150, 308, 052	1	0,1135	2	0,1139
2	0,1111	1,111	408, 0110	2	0,1109	2	0,1110
1	0,1100	1,102	129	2	0,1099	1	0,1100
1	0,1085	1,085	045	1	0,1084	1	0,1085
4	0,1068	1,065	504	3	0,1068	5	0,1069
2	0,1047	1,047	12, 10	1	0,1046	2	0,1047

коку (1940 г.) следующие: $a_0 : b_0 : c_0 = 0,988 : 1 : 1,963$; $z=8$ (М. А. Пикок, А. С. Дадсон, 1940 г.). Параметры элементарной ячейки исследуемого минерала, рассчитанные М. И. Чираговым, следующие: $a_0=0,576$ нм, $b_0=0,585$ нм, $c_0=0,1141$ нм.

Разновидности раммельсбергита: парараммельсбергит ромбический или псевдоромбический.

Химический состав парараммельсбергита приведен в табл. 42. В зернах парараммельсбергита Fe, Co, Ni, Cu, As и S распределены равномерно (см. рис. 64, 65, описание никелина). Химический состав и рассчитанные по ним кристаллохимические формулы, соответствующие теоретической, приводятся в табл. 42. В химическом составе парараммельсбергита, кроме главных рудных компонентов, присутствуют элементы примеси. Отношение Ni : Co : Fe в парараммельсбергите приведено на рис. 63 (см. описание модерита).

Парараммельсбергит возникает при более низкой температуре, чем никелин и раммельсбергит, путем замещения последних и является более устойчивой модификацией диасенидов никеля, чем раммельсбергит (М. А. Пикок и А. С. Дадсон, 1940 г.). Микроскопические исследования руд Шорбулагского месторождения показывают, что парараммельсбергит развивается по никелину, иногда по раммельсбергиту. Замещение происходит от краев внутрь их агрегатов и зерен, но замещения парараммельсбергита другими минералами не наблюдается. По отно-

шению к никелину и раммельсбергиту парараммельсбергит идиопластичен. Иногда встречаются скелетообразные формы парараммельсбергита среди никелина и раммельсбергита. В экзоконтактных зонах и вмещающих породах (зона окисления) рассматриваемого месторождения очень редко за счет парараммельсбергита возникает аннабергит.

Сульфоарсениды

КОБАЛЬТИН

Кобальтин в рудах месторождений АзССР, особенно в Дашкесанском рудном районе давно известен и описан многими авторами [11, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 40, 42].

Многолетние исследования автора позволяют охарактеризовать кобальтин в свете новых данных, на базе значительного фактического материала.

Условия нахождения. Кобальтин является главным рудным минералом собственно сульфоарсенидного комплекса и основным кобальтовым минералом месторождений Дашкесанского рудного района. На некоторых участках, особенно Северного кобальтового, Северо-Восточного железо-кобальтового, Северо-Западного кобальтсодержащего железорудного, Южного железо-кобальтового, Кашкачайского кобальтсодержащего медноколчеданного месторождений кобальтин уступает аллоклазиту и глаукодоту, иногда дананиту, саффлориту и моддериту.

Макроскопическими и микроскопическими исследованиями кобальтин отмечен в гидротермально-измененных дайках, в породах тектонических зон, в эндо- и экзоскарнах.

1. Кобальтин на Северном кобальтовом месторождении как главный рудный минерал встречен в ряде участков. В апофизе Главной рудной зоны он составляет 60—70%, иногда 70—80% всей ее рудной массы. Здесь в кобальтине наблюдаются крупные выделения саффлорита; такие же выделения отмечены и по другим зонам той же апофизы.

Кобальтин в тесном парагенезисе с аллоклазитом, глаукодотом, высококобальтистым глаукодотом, арсенопиритом, дананитом, моддеритом, саффлоритом, пиритом, кобальтпиритом и другими сульфидами и сульфоарсенидами размещается по зальбандам гидротермально-измененной дайки диабазовых порфириров и в многочисленных тектонических разломах северо-западного простирания. Кроме того, кобальтин совместно с названными минералами также локализован вдоль зоны контакта песчаников и туфолесчаников среднеюрского возраста.

Во вмещающих породах кобальтин находится в виде вкрапленников. На некоторых участках месторождения тонкие прожилки кобальтина пересекают халькопирит, а в самом халькопирите кобальтин образует скелетные формы. Кобальтин на Северо-Восточном месторождении с аллоклазитом, глаукодотом и дананитом приурочен к трещинам и межзерновым пустотам и порам магнетитовых руд, гранатов, роговиков и дашкесанитов и зальбандам диабазовых даек.

2. На Северо-Западном кобальтсодержащем железорудном месторождении кобальтин в сростании с аллоклазитом и с мелкими включениями саффлорита и самородного висмута располагается по трещинкам магнетитовых руд и кварц-карбонатных жил. Совместно с аллоклазитом распространен в гидротермально-измененных породах по тектоническим трещинам и зонам.

3. На Южном месторождении кобальтин встречается в скарнах различного состава, где он относится к числу широко распространенных

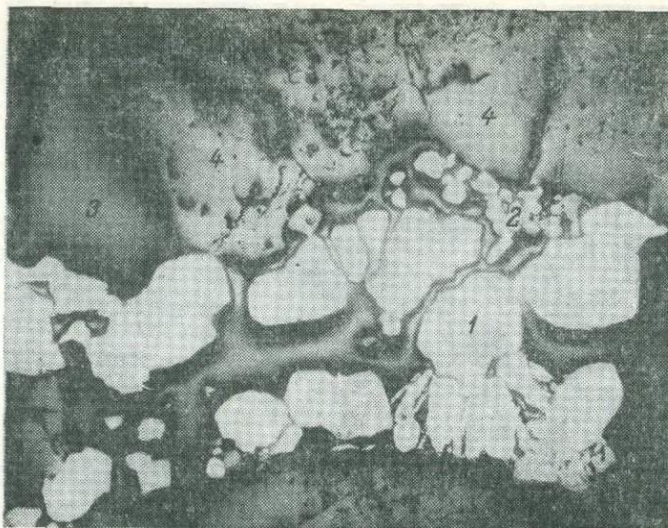


Рис. 72. Кобальтин (1), местами раздробленный в кальцитовом прожилке (2) среди скарнов (3) и магнетита (4). Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения.

Полированный шлиф, ув. 7

минералов. Здесь кобальтин чистый, без включений других минералов, местами раздробленный (рис. 72). Очень редко в кобальтине присутствуют мелкие зернышки магнетита. По штольне 1 (с интервала 153—171 м) между обнажениями мраморизованных толщ в гранатовых скарнах микроскопически и макроскопически наблюдались прожилковая и вкрапленная формы выделения кобальтина.

В интервале 159,1—160,1 м (как показали микроскопические исследования) кобальтин ассоциирует с данаитом и пиритом и редко с арсенопиритом. Местами он имеет крупные кристаллические формы выделения. В скарнах иногда образует рассеянную вкрапленность и очень тонкие разнообразной формы и размеров прожилки. По этой же штольне в интервале 133,5—200 м в удалении от контакта мраморизованных известняков кобальтин почти не встречается. По данным химических анализов, содержание кобальта здесь значительно понижается. В кальцит-эпидот-магнетитовых скарнах на расстоянии 185,5 м от устья штольни зерна кобальтина имеют скелетную структуру (рис. 73). Они располагаются по периферии зерен магнетита и пирита. В других местах штольни реликты кобальтина с аллоклазитом корродируются в незначительной степени халькопиритом.

Кобальтин (из штольни) изучался под микроскопом и также был подвергнут химическому, рентгеновскому и спектральному анализам. Под микроскопом видно, что кобальтин окаймляет зерна аллоклазита. Редко кобальтин ассоциирует с глаукодом, сафлоритом, данаитом и арсенопиритом. Совместно с аллоклазитом дает гнездообразные скопления и прожилки. При детальном минераграфическом исследовании руды из скарнов, кроме кобальтина, аллоклазита, пирита, магнетита, мушкетовита, гематита и халькопирита, были обнаружены в незначительном количестве сафлорит, арсенопирит, данаит, глаукодот, миллерит, линнеит, леллингит, пирротин, висмутин и самородный висмут. Кобальтин в кальците широко распространен; имеет разные формы вы-



Рис. 73. Скелетная структура отложения кобальтина (1) в сростании с халькопиритом (2) в скарне (3). Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 124). Полированный шлиф, ув. 17

деления; почти всегда наблюдается в тесном сростании с халькопиритом, магнетитом, аллоклазитом (в аллоклазите мелкие включения самородного висмута совместно с висмутином); замещается кальцитом, изредка с образованием реликтовой микротекстуры.

При микроскопических исследованиях кобальтин иногда совместно с аллоклазитом включен в магнетит или в порах и между зернами кристаллов магнетита. Иногда располагается по периферии крупных кристаллов магнетита и корродируется гематитом и пиритом. Кобальтин в магнетите ассоциирует с пиритом, халькопиритом, аллоклазитом, глаукоцитом, сафлоритом, гематитом, в незначительном количестве с миллеритом, линнеитом, марказитом и кубанитом.

Кобальтин в халькопирите I генерации встречается довольно часто; совместно с аллоклазитом имеет скелетную структуру. Эта структура особенно четко выявляется в халькопирите после травления параами царской водки. Иногда кобальтин и аллоклазит в халькопирите встречается в сростании с мелкими включениями миллерита. Такой формы выделения кобальтина и аллоклазита в халькопирите характерны только для Юго-Восточного участка Южного месторождения. На Пирсултанском участке месторождения кобальтин микроскопически обнаружен среди сульфидов. Он сечется прожилками халькопирита, пирита и магнетита. На Юго-Западном участке кобальтин наблюдается также микроскопически в сростании с халькопиритом, пиритом, гематитом и магнетитом (скв. 1096, на глубине 137,4 м).

В халькопирите кобальтин ассоциирует с аллоклазитом, сафлоритом, мушкетовитом, пиритом, гематитом и миллеритом. Отдельные зерна кобальтина при микроскопическом изучении были встречены в пирите. На Юго-Восточном участке кобальтин в пирите встречается в виде мелких включений размером до 0,01 мм, причем он приурочен только к I генерации пирита. На первый взгляд отличить его очень трудно, так как пирит, очевидно, вследствие значительного содержания кобальта имеет розоватый оттенок. Среди этого пирита наблюдаются

отдельные зоны отчетливо розоватого цвета (кобальтпирит). На Пирсултанском участке кобальтин отдельно в пиритах не обнаружен. Он только встречен в сростании с пиритом, халькопиритом и магнетитом. Кобальтин в пирите ассоциирует с кобальтпиритом, глаукодомом, редко с магнетитом и саффоритом.

Кобальтин в мушкетовите был встречен на Юго-Восточном участке Южного месторождения. Под микроскопом он наблюдался среди радиально-лучистых скоплений мушкетовита в виде прожилковидных выделений и отдельных кристаллов иногда скелетной формы. В некоторых случаях кобальтин совместно с аллоклазитом и кальцитом выполняет интерстиции между пластинчатыми зернами мушкетовита. В мушкетовите кобальтин ассоциирует, кроме аллоклазита, с глаукодомом, гематитом, магнетитом, марказитом и кальцитом.

После травления пирита азотной кислотой в нем наряду с кобальтпиритом выявляется кобальтин.

Изучался вопрос связи кобальтового оруденения с дайками. Было собрано большое количество образцов среди мраморизованных известняков из всех даек диабазового состава (из штольни 1). Из всех отобранных образцов с сульфидной минерализацией были изготовлены полированные шлифы. Несмотря на тщательное исследование этих шлифов под микроскопом, кобальтовые минералы обнаружены не были.

Полуколичественным спектральным анализом в 50 пробах было установлено содержание кобальта, колеблющееся от 0,0003 до 0,3%, а по результатам химических анализов проб из дайковых пород оно редко достигает 0,004%. Таким образом, учитывая вышеизложенное, можно прийти к выводу, что дайковые породы Южного железо-кобальтового месторождения содержат кобальт в незначительном количестве.

На Южном месторождении на контакте мраморизованных известняков и порфиритов в прожилках и гнездах среди скарнов, магнетитов, мушкетовитов и сульфидов, а также в кальците кобальтину сопутствуют в переменных количествах гранат (андрадит и гроссуляр), диопсид, волластонит, ильменит, эпидот, роговая обманка, магнетит, гематит, ильваит, дашкесанит, пирит, халькопирит, мушкетовит, арсенопирит, данаит, аллоклазит, леллингит, глаукодом, самородный висмут, висмутин, теллуриит, парателлуриит, бисмоклит, саффорит, кварц, хлорит, пирротин, кубанит, сфалерит, галенит, марказит, актинолит, электрум, гессит, тетрадимит, халькозин, виоларит, эритрин, гетит, гидротетит.

Тщательно отобранная проба кобальтина с аллоклазитом (разделить эти минералы невозможно из-за тонкого их сростания, была подвергнута всестороннему исследованию. Чистота отобранного материала была проверена в прессованных шлифах. При этом было установлено, что кроме кобальтина в пробе присутствуют 50% аллоклазита, редкие включения самородного висмута с висмутином, теллуриитом, теллуровисмутитом и др.

Морфология. В различных породах, рудах и минералах кобальтин представлен неравномерно рассеянной вкрапленностью размером от 0,01 мм до 0,5 см (Северное кобальтовое месторождение). На Северо-Восточном, Северо-Западном, а также Южном месторождениях часто наблюдаются неравномерно рассеянные вкрапленники кобальтина в сопровождении с пиритом, халькопиритом, пирротинном, пентландитом и другими сульфидами. Почти во всех указанных месторождениях кобальтин нередко встречается в виде хорошо образованных, обычно мелких кубического облика кристаллов и их сростков. Отдельные шестигран-

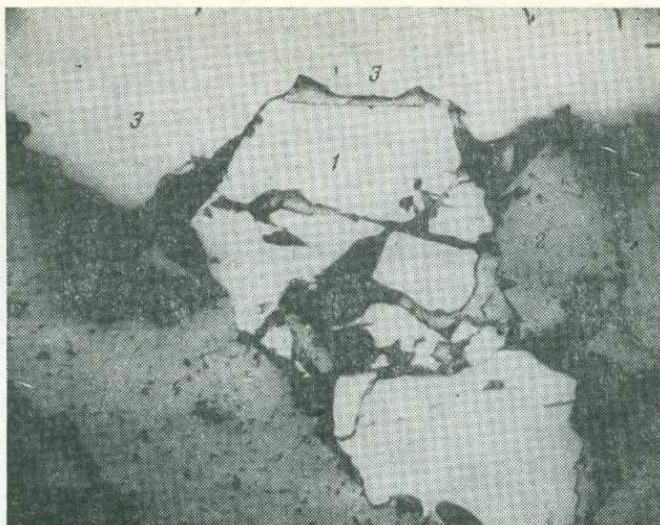


Рис. 74. Шестигранные кристаллы кобальтина (1) размером $0,5 \times 1$ см и корродированные прожилки халькопирита (2) среди пирита (3) и магнетита (4). Пирсултанский участок (обр. 100).

Полированный шиф, ув. 17

ные кристаллы кобальтина часто встречаются в пирите, магнетите (рис. 74) и кальците (рис. 74). Форма отдельных вкрапленников представляет собой куб в комбинации с пентагон-додокаэдром или октаэдром. Размер вкраплений варьирует от нескольких миллиметров до микроскопических (0,1—0,2 мм).

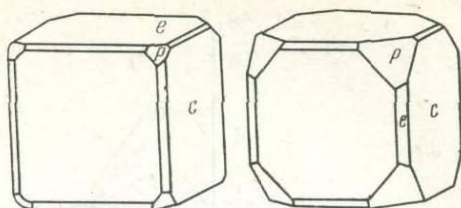
Морфология кристаллов кобальтина была изучена на Северном кобальтовом [42], Северо-Восточном и Южном железо-кобальтовых месторождениях [11, 21], где на кристаллах установлены в убывающем развитии куб $\{100\}$, пентагон-додокаэдр $\{210\}$ и октаэдр $\{111\}$. Чаше встречаются кристаллы с формами $\{100\}$ и $\{210\}$, реже со всеми указанными выше формами, но, как правило, грани $\{111\}$ в очень слабом развитии. Редко попадаются кристаллы с почти одинаковым развитием $\{100\}$ и $\{111\}$. Такие кристаллы приобретают октаэдрический облик. Грани $\{210\}$ имеют зеркально гладкую поверхность, грани $\{100\}$ заштрихованы параллельно ребрам куба, а на гранях $\{111\}$ отмечаются формы роста (рис. 75).

Облик кристаллов определяется в основном преобладающим развитием пентагон-додокаэдра $\{210\}$ и куба $\{100\}$, реже наблюдаются кристаллы октаэдрического облика. В результате гониометрических измерений указанных восемнадцати кристаллов и просмотра под лупой более пятидесяти кристаллов и обломков установлено наличие семи типов кристаллов кобальтина [11].

На кристаллах обнаружены следующие шесть простых форм: $e \{210\}$; $o \{111\}$; $o' \{1\bar{1}\bar{1}\}$; $a \{100\}$; $h \{410\}$; $s \{321\}$.

На Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении кобальтин всегда образует вкрапления мелких эвгедральных зерен. Местами были встречены крупные кристаллы кобальтина размером от 5×5 мм до 1×1 см; на Северном кобальтовом месторождении размеры кристаллов кобальтина колеблются от микроскопических до 8 мм в поперечнике. На Северном кобальтовом месторождении кобальтин в форме тонкой прожилки мощностью 0,1 мм пересекает халькопирит, а на неко-

Рис. 75. Кристаллы кобальтина из Северного кобальтового месторождения. p , e , c — кристаллографические оси кристаллов



торых участках образует прожилки (см. рис. 72) и скелетные формы (см. рис. 73).

Физические свойства. Макроскопически кобальтин неотличим от аллоклазита, глаукодота, а также данаита. В свежем изломе цвет кобальтина от оловянно-белого до стально-серого, иногда с синеватым оттенком. Блеск металлический. Хрупкий. Отмечена спайность по $\{101\}$ до отчетливой. Излом неровный. Черта серовато-черная, иногда со слабо фиолетовым оттенком. В отраженном свете кобальтин характеризуется следующими диагностическими признаками: цвет белый с отчетливо розовым оттенком, хорошо заметным рядом с арсенопиритом; по сравнению с аллоклазитом, глаукодотом, высококобальтистым глаукодотом и данаитом — розовато-белый со слабым желтоватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у арсенопирита, глаукодота и пирита, но выше, чем у аллоклазита. В иммерсии отражательная способность понижается.

Спектры отражения кобальтина из различных месторождений приведены в табл. 48 и на рис. 76.

Таблица 48

Спектры отражения кобальтина, %

Длина волны, нм	Северное месторождение (обр. 605)	Северо-Восточное месторождение		Северо-Западное месторождение (обр. 755)	Южное месторождение			
		обр. 607	обр. 612		обр. 121	обр. 205	обр. 540	обр. 620
440	49,0	49,3	49,5	49,8	48,8	50,4	49,6	50,0
460	49,4	49,6	49,8	49,9	49,2	50,7	49,5	50,0
480	50,2	50,5	50,7	50,8	50,9	51,4	50,0	50,3
500	50,8	51,3	51,4	51,6	51,8	51,5	52,0	51,6
520	51,2	51,6	51,8	52,0	52,4	52,2	52,6	51,5
540	51,8	52,0	52,4	52,6	52,8	52,9	53,1	52,2
560	62,6	52,8	53,0	53,4	53,6	53,8	53,9	53,2
580	54,0	54,2	54,4	54,6	54,8	54,5	54,9	53,9
600	55,3	55,5	55,7	55,9	56,0	55,4	55,8	54,8
620	56,1	56,3	56,6	56,8	57,0	56,5	57,4	55,9
640	56,8	57,0	57,2	57,4	57,6	57,8	58,0	56,0
660	57,2	57,4	57,6	57,8	58,0	58,2	58,6	55,9
680	57,6	57,8	58,0	59,0	59,2	59,4	58,7	55,8
700	57,6	57,9	58,2	59,2	59,4	59,8	58,8	55,7
720	57,7	58,0	58,4	58,8	59,0	59,6	58,7	55,8
740	57,4	57,8	58,2	58,6	58,8	59,2	58,3	55,4
760	57,0	57,4	58,0	58,4	58,5	58,8	58,6	55,2
780	56,5	56,8	57,6	57,9	58,0	58,2	57,8	55,0
800	56,0	56,2	56,8	57,2	57,6	57,8	57,5	55,0
850	55,7	55,9	56,2	56,8	57,0	57,2	57,4	55,6
900	55,4	55,6	55,8	56,2	56,4	56,8	57,0	56,0
950	55,4	55,7	55,8	56,0	56,4	56,9	57,0	56,6
1000	55,3	56,0	56,2	56,4	56,8	57,0	57,2	56,8
1050	56,0	56,4	56,8	57,0	57,4	57,0	57,4	57,6
1100	56,6	56,8	57,2	57,4	57,8	57,6	58,3	58,5

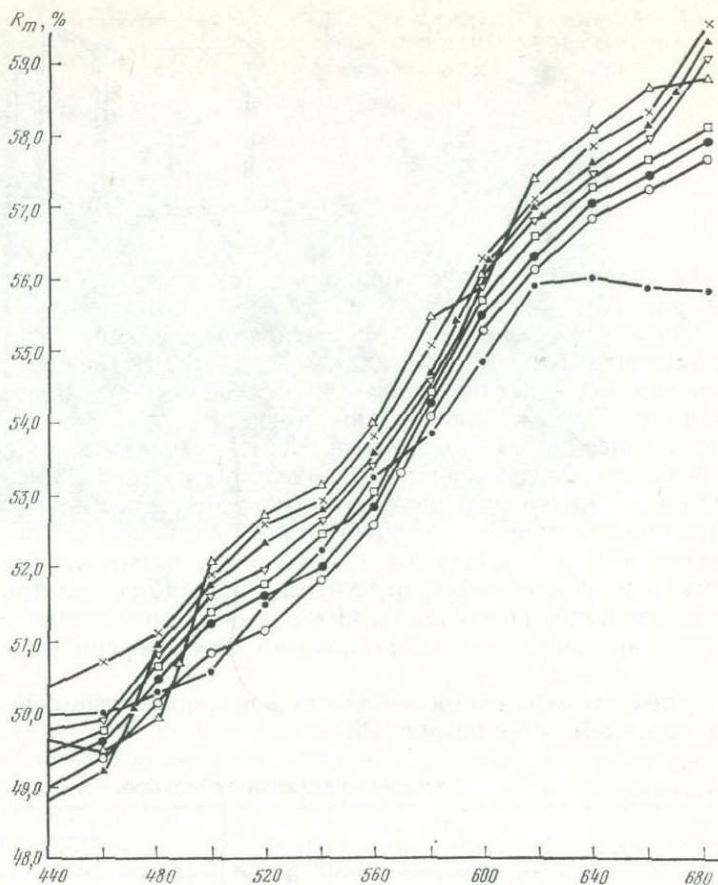


Рис. 76. Спектры отра
обр. 605 из Северного кобальтового месторождения; обр. 607 и 612 —
падного кобальтсодержащего железорудного; обр. 121, 205, 540 и 620 —

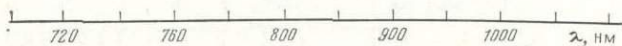
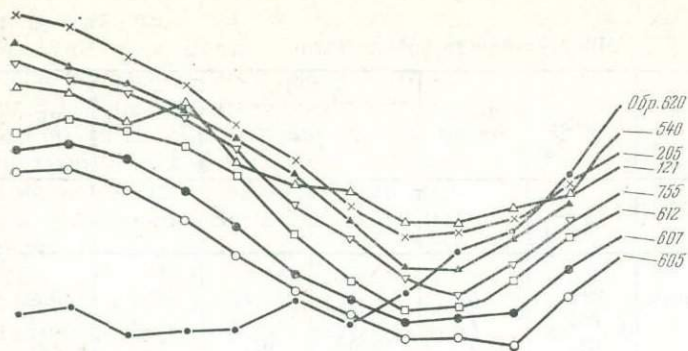
Твердость кобальтина приведена в табл. 49.

Плотность кобальтина определяется методом непосредственного измерения объема и веса данного минерала из микронавески от 5 до 15 мг. Результаты определения плотности кобальтина из различных месторождений АзССР приведены в табл. 50.

Травится кобальтин только концентрированной HNO_3 , в результате чего выявляется зональная структура.

Характеристика инфракрасных спектров (ИКС) кобальтина приводится ниже и иллюстрируется рис. 77, где обр. 620 — кобальтин. Его ИКС характеризуется слабой широкой маловыразительной полосой, лежащей в области $1200-80 \text{ см}^{-1}$. На полосе проявляется ряд максимумов: 1150 см^{-1} , 1085 см^{-1} (основной максимум), 960 см^{-1} . Два совсем слабых максимума: $850-790 \text{ см}^{-1}$ и в области $700-400 \text{ см}^{-1}$ — слабый максимум около 460 см^{-1} .

Результаты мономинеральных спектральных анализов кобальтина показали, что постоянными для всех образцов примесями кроме железа, кобальта и мышьяка являются (в %): никель 0,1, медь 0,3 и в незначительном количестве титан 0,01, свинец 0,3, висмут 0,006, цинк 0,01,



жения кобальтина:

из Северо-Восточного железо-кобальтового; обр. 755 — из Северо-За-
из Южного железо-кобальтового месторождения

олово 0,02 и скандий 0,003. Из этих элементов никель, медь и висмут, по-видимому, являются изоморфными примесями в кобальте.

Рентгеновские исследования кобальтина из различных месторождений приводятся в табл. 51. В этой же таблице для сравнения приведены данные кобальтина из Хаканебе, Швеция [43]. Межплоскостные расстояния кобальтина изученных нами образцов хорошо сопоставляются с литературными данными (см. табл. 50). Характерными линиями кобальтина являются 0,249 (10), 0,227 (9 и 7), 0,185 (5) и 0,17 (10 и 7). Параметры кобальтина рассчитаны и приведены в табл. 50.

Значения величин межплоскостных расстояний и параметры кобальтина из месторождений АзССР очень близки к данным Берри и Томпсона [43].

Химический состав кобальтина приведен в табл. 52. Были проанализированы образцы кобальтина, отобранные на Северном кобальтовом (анализы 1—4), Северо-Восточном железо-кобальтовом (анализы 5—10), Северо-Западном кобальтсодержащем железорудном (анализ 11), Южном железо-кобальтовом (анализы 12—18) и Кашкачайском кобальтсодержащем медноколчеданном (анализ 19) месторождениях. Как

Микротвердость кобальтина

Месторождение	№ образца	Число замеров	H, ГПа		H _{ср} , ГПа	Нагрузка P, Н
			от	до		
Северное кобальтовое	605	7	8,4	9,77	9,15	0,68
Северо-Восточное железокобальтовое	606	5	8,42	10,87	9,4	0,98
	607	7	10,78	12,11	11,42	1,47
	612	9	8,50	10,18	9,6	1,47
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	10	10,02	12,08	10,85	0,98
Южное железокобальтовое	121	7	9,15	10,47	9,88	0,49
	205	5	9,32	10,97	9,8	0,68
	210	10	9,31	10,33	9,8	0,68
	522	7	9,38	10,58	9,97	0,68
	540	7	10,02	11,15	10,45	0,98
	612	10	9,48	12,54	9,8	0,98
Кашкачайское кобальтсодержащее медноколчеданное	701	5	9,26	10,48	9,65	0,98

Плотность кобальтина

Месторождение	№ образца	Определение			d _{ср} , г/см ³
		1	2	3	
Северное кобальтовое	605	5,39	5,34	5,37	5,36±0,05 6,40±0,06
		6,42	6,38	6,40	
Северо-Восточное железокобальтовое	606	6,31	6,33	5,35	6,33±0,05 6,40±0,02 6,37±0,05
	607	6,38	6,38	6,42	
	612	6,38	6,36	6,37	
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	6,32	6,34	6,33	6,33±0,05
Южное железокобальтовое	121	6,32	6,37	6,35	6,35±0,03 6,19±0,05 6,40±0,02 6,43±0,03 6,42±0,02 6,37±0,03
	205	5,98	6,25	6,33	
	210	6,38	6,39	6,43	
	522	6,42	6,42	6,45	
	540	6,41	6,43	6,42	
	620	6,36	6,37	6,39	

видно из табл. 51, в составе кобальтина постоянно присутствуют изоморфные примеси железа от 2,2 до 6,1 и никеля от 0,04 до 3,8 вес. %, но медь обнаружена лишь в трех образцах и, вероятно, связана с механическими включениями медных минералов. Заметен зональный дефицит мышьяка и серы (см. табл. 51). При исследовании химического состава кобальтина на микрозонде получены фотографии участков сканирования размером от 160×150 до 300×300 мкм (рис. 78) и запись кривых распределения Co, Fe, Ni, Cu, As и S (в вес. %) по профилю, проходящему через кобальтин (рис. 79).

Отношение Co:Fe изменяется от 16,5 до 4,55, а отношение Co:Ni — от 8,25 до 7,4. Концентрация серы и мышьяка также не яв-

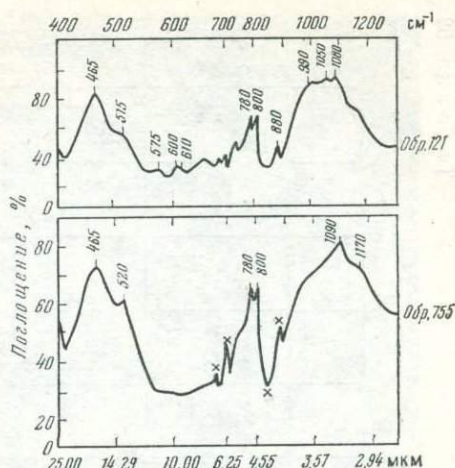


Рис. 77. Инфракрасный спектр (ИКС) кобальтина:

обр. 121 из Южного железо-кобальтового и обр. 755 из Северо-Западного кобальтсодержащего железорудного месторождений. Отмеченное крестиком (X) относится к вазелиновому маслу

Таблица 51

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки кобальтина

Северное месторождение (обр. 605)			Северо-Восточное месторождение (обр. 612)		Северо-Западное месторождение (обр. 755)		Южное месторождение (обр. 121)		Хаканебе, Швеция [43]		
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>
3	0,554	100	4	0,556	3	0,554	4	0,557	1	0,558	100
2	0,397	110	1	0,394	1	0,393	2	0,397	0,5	0,391	110
2	0,321	111	2	0,322	1	0,321	2	0,322	0,5	0,322	111
5	0,278	200	5	0,278	5	0,278	5	0,281	5	0,278	200
10	0,2489	210	10	0,2492	10	0,2486	10	0,2506	10	0,248	210
9	0,227	211	7	0,2275	8	0,227	9	0,2279	7	0,227	211
7	0,1964	220	5	0,1969	5	0,1964	5	0,1969	3	0,1967	220
5	0,1850	221	4	0,1851	5	0,1850	1	0,1859	2	0,1851	221
10	0,1676	311	7	0,1678	7	0,1675	10	0,1701	9	0,1676	311
3	0,1638	222	2	0,1642	1	0,1638	1	0,1604	1	0,1610	222
5	0,1552	320	4	0,1544	4	0,1541	6	0,1555	3	0,1546	320
8	0,1486	321	5	0,1488	5	0,1485	9	0,1499	5	0,1488	321
1	0,1395	400	3	0,1393	3	0,1389	2	0,1391	0,5	0,1389	400
1	0,1352	410	2	0,1358	1	0,1352	1	0,1353	0,5	0,1349	410
1	0,1276	331	2	0,1274	2	0,1275	1	0,1268	0,5	0,1276	331
4	0,1246	420	5	0,1247	1	0,1245	3	0,1245	2	0,1245	420
2	0,1216	421	3	0,1218	2	0,1219	6	0,1225	3	0,1216	421
2	0,1188	332	2	0,1187	1	0,1186	—	—	2	0,1187	332
1	0,1139	422	2	0,1138	—	—	—	—	2	0,1137	422
10	0,1074	511	9	0,1072	20	0,1073	8	0,1077	7	0,1072	511
7	0,1036	520	7	0,1039	1	0,1034	7	0,1041	4	0,1036	520
5	0,1019	521	4	0,1019	4	0,1019	5	0,1018	3	0,1019	521

$a_0 = 5,56 \pm 0,002$ нм

$a_0 = 5,59 \pm 0,007$ нм

$a_0 = 5,56 \pm 0,02$ нм

$a_0 = 5,59 \pm 0,007$ нм

$a_0 = 5,57$ нм
 $z = 4$

Химический состав кобальтина

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %							Коэффициент в формуле					
			Co	Fe	Ni	Cu	As	S	Сумма	Co	Fe	Ni	Cu	As	S
Северное кобальтовое	605	1	32,6	2,9	0,3	—	45,0	19,3	100,1	0,92	0,07	0,01	—	1,00	1,00
		2	31,5	3,5	—	—	43,9	21,1	100,0	0,90	0,10	—	—	0,94	1,06
	11	3	31,93	2,11	1,18	0,08	46,38	18,22	99,90	0,92	0,07	0,01	0,002	1,04	0,96
		4	32,08	3,01	0,26	—	46,98	17,55	100,28	0,92	0,07	0,01	—	1,06	0,94
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606	5	33,0	3,0	—	—	43,9	20,2	100,1	0,93	0,07	—	—	1,00	1,00
		6	31,4	3,4	—	—	44,0	21,2	100,0	0,93	0,07	—	—	1,00	1,00
	607	7	29,0	5,2	2,4	—	41,1	22,5	100,2	0,78	0,15	0,07	—	0,88	1,12
		8	30,8	3,8	0,3	1,5	40,5	23,6	100,5	0,84	0,11	0,04	0,01	0,85	1,15
	612	9	32,4	2,2	2,1	—	44,8	18,8	100,3	0,92	0,05	0,05	1,02	1,06	0,94
		10	28,7	2,8	3,8	—	46,8	17,9	100,0	0,83	0,10	0,07	—	1,08	0,92
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	11	31,40	2,20	0,20	0,6	45,90	20,40	100,0	0,93	0,05	0,001	0,02	1,00	1,00
Южное железо-кобальтовое	111	12	30,98	4,48	1,33	—	43,93	19,58	100,3	0,88	0,08	0,04	—	1,00	1,00
	121	13	31,6	2,4	1,0	—	46,2	18,8	100,0	0,91	0,06	0,03	—	1,05	0,95
	205	14	28,0	5,0	1,2	—	46,0	19,8	100,0	0,80	0,15	0,05	—	1,00	1,00
	210	15	30,0	5,0	—	—	46,0	19,0	100,0	0,85	0,15	—	—	1,00	1,00
	522	16	33,0	2,0	0,2	—	45,0	19,8	100,0	0,94	0,05	0,01	—	1,00	1,00
	549	17	32,3	2,5	0,5	—	45,2	19,5	100,0	0,92	0,05	0,03	—	1,00	1,00
	620	18	31,0	4,1	—	—	45,0	19,9	100,0	0,90	0,10	—	—	1,00	1,00
Кашкачайское кобальтсодержащее медно-колчеданное	701	19	31,1	6,1	0,04	—	39,0	23,4	100,0	0,84	0,16	0,001	—	0,83	1,17

Примечание. Анализы № 1, 2, 5—11, 13—19 выполнены А. И. Махмудовым микроспектральным методом MS-46 «Камека»; № 3 — по данным Г. Х. Эфендиева [42]. № 4 — по данным М. А. Кашкая [11] и № 12 — по данным Г. А. Крутова [16], обычные химические.

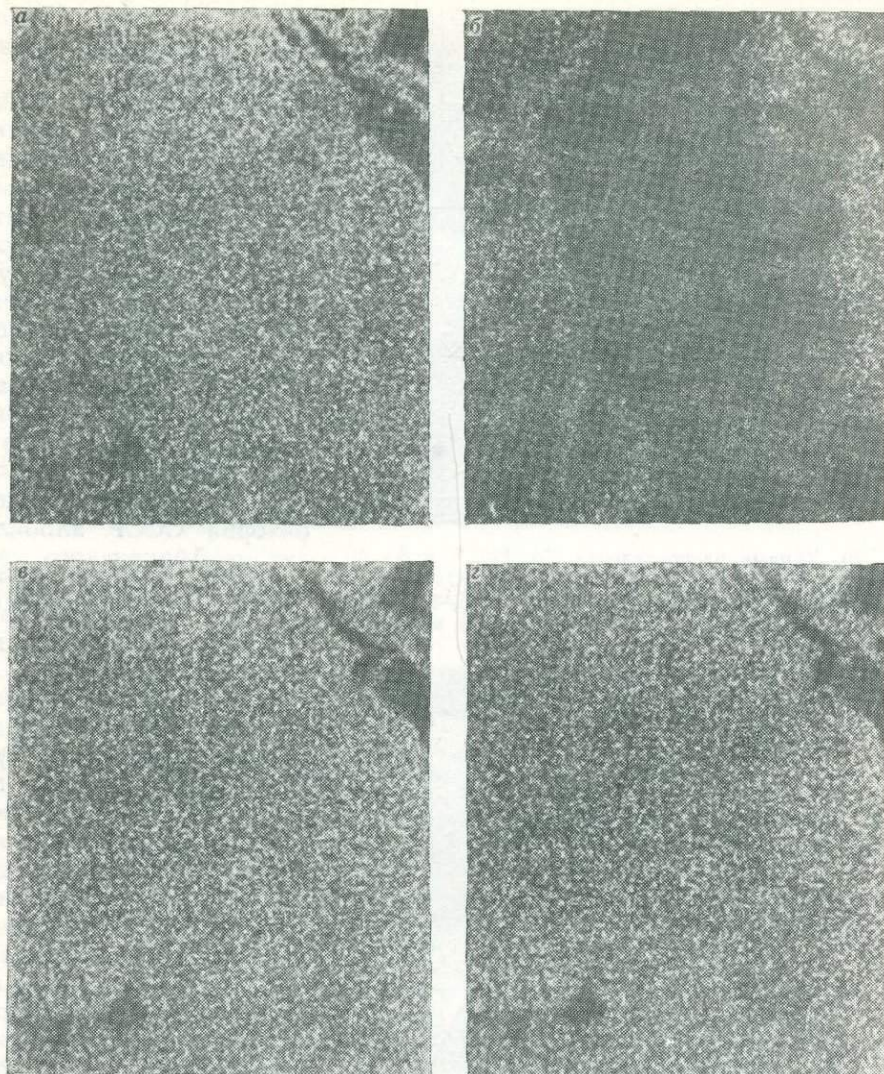


Рис. 78. Участок сканирования кобальтина размером 100×100 мкм в характеристическом рентгеновском излучении. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210).

a — CoK_{α} , *б* — FeK_{α} , *в* — AsK_{α} , *г* — SK_x

ляется постоянной. Отношение концентрации As : S изменяется от 2,67 до 1,65. Исследованные химические составы кобальтина нанесены на диаграмму (рис. 80).

АЛЛОКЛАЗИТ

Аллоклазит был обнаружен автором в железо-кобальтовых рудах Южного [4, 21], Северо-Западного [23], Северо-Восточного [24], медно-колчеданных рудах Кашкачайского [25] и в арсенопирит-данаитовых, глаукодот-кобальтиновых рудах Северного [28, 30] месторождений.

Г. Чермак (1866 г.) в химических анализах глаукодота из Оравицы (Банат, Румыния) отметил повышенное содержание висмута. Впослед-

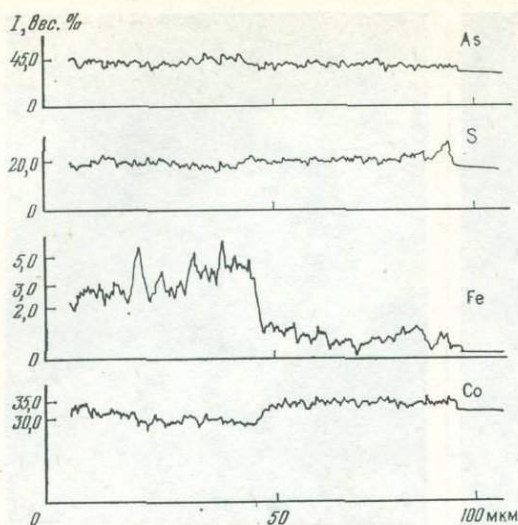


Рис. 79. Кривые распределения Co, Fe, S и As по профилю, проходящему через кобальтин. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210)

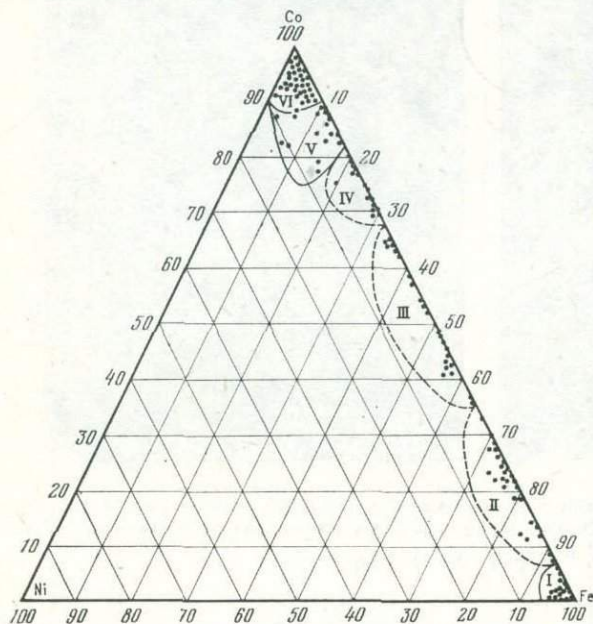


Рис. 80. Соотношение Co : Fe : Ni в аллоклазите (VI), кобальтине (V), высококобальтистом глаукодоте (IV), глаукодоте (III), дантите (II) и арсенипирите (I)

висмутитина (рис. 81 и 82) к промежуткам между крупными идиоморфными зернами кобальтина. Довольно часто видны тесные срастания обоих минералов, в которых аллоклазит располагается по периферии зерен кобальтина, реже проникает в них. При этом внешние контуры аллоклазита, находящегося в срастании с кобальтином, сильно корродированы поздним эпидотом и особенно кальцитом, тогда как кобальтин всюду сохраняет правильные очертания зерен. Создается впечат-

ствии название «аллоклаз» или «аллоклазит» Дж. Д. Дэна (1944 г., 1954 г.) присвоил висмутосодержащему глаукодоту из рудника Элизабет у Оравицы, который оказался смесью богатого кобальтом глаукодота с минералами висмута [21, 34]. В последнее время в литературе появились сведения о никелистой разновидности аллоклазита [5], его кристаллической структуре и о превращении аллоклазита — кобальтин. На территории СССР аллоклазит из Абаканского железорудного месторождения был охарактеризован Н. С. Рудашевским и др. (1975 г.).

Условия нахождения. На Южном месторождении встречен в ряде пунктов среди гранат-эпидотовых скарнов лежачего бока магнетитовой залежи, залегающей между туфогенно - карбонатными породами нижнего кимериджа и подстилающими мраморизованными известняками оксфордского яруса. Макроскопически минерал неотличим от кобальтина; под микроскопом в эпидоткальцитовых прожилках, секущих скарн, наблюдается характерная приуроченность мелких неправильной формы зерен аллоклазита, иногда с мельчайшими включениями самородного висмута и

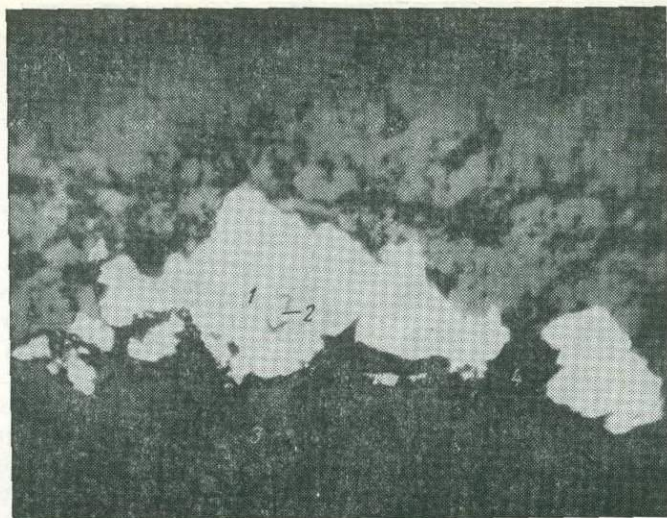


Рис. 81. Прожилка аллоклазита (1) с самородным висмутом и висмутином (2) в скарне (3); кальцит (4). Юго-Восточный участок Южного месторождения (обр. 121).
Полированный шлиф, ув. 17

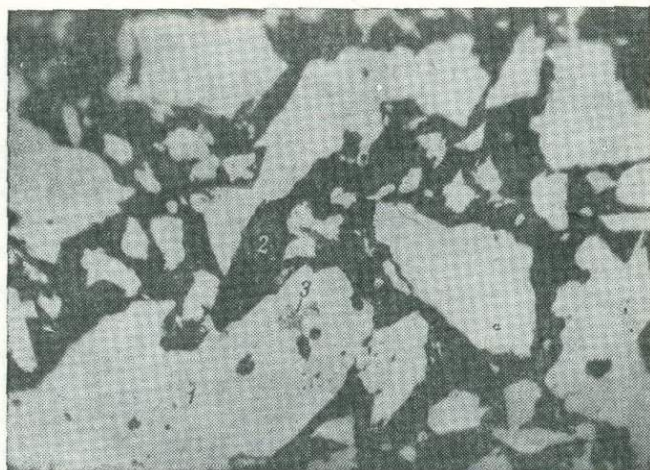


Рис. 82. Реликтовая микротекстура замещения аллоклазита (1) с кальцитом (2). Самородный висмут с висмутином (3). Юго-Восточный участок Южного месторождения (обр. 210).
Полированный шлиф, ув. 32

ление, что аллоклазит, выделившийся после кобальтина по периферии его зерен, вскоре как менее устойчивый минерал подвергался энергичному замещению с образованием мелкозернистого агрегата. Редко на пограничные участки аллоклазита и кобальтина выклинивается глаукоdot.

Аллоклазит Южного месторождения ассоциирует с кобальтином, глаукоdotом, высококобальтистым глаукоdotом, кобальтпиритом, пиритом, халькопиритом, пентландитом, саффоритом, арсенопиритом, данаитом, миллеритом, линнеитом, пирротином, висмутином, электрумом, самородным висмутом, теллурином, теллуrowисмутитом и бисмоклитом.

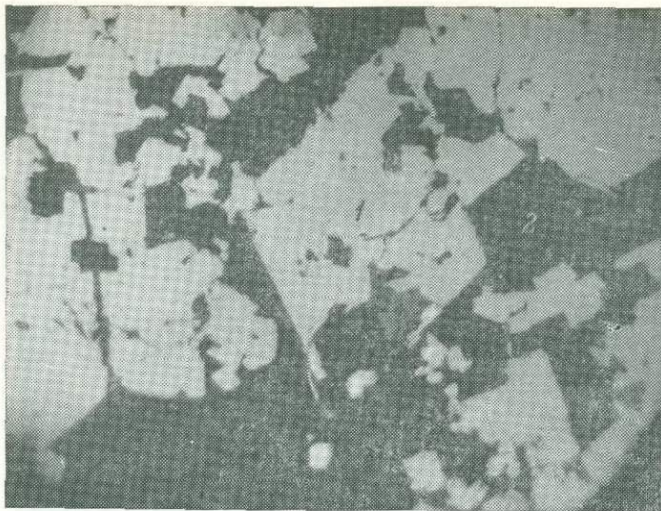


Рис. 83. Ромбические кристаллы аллоклазита (1) в прожилке кобальтина (2). Северное кобальтовое месторождение (обр. 605).
Полированный шлиф, ув. 32

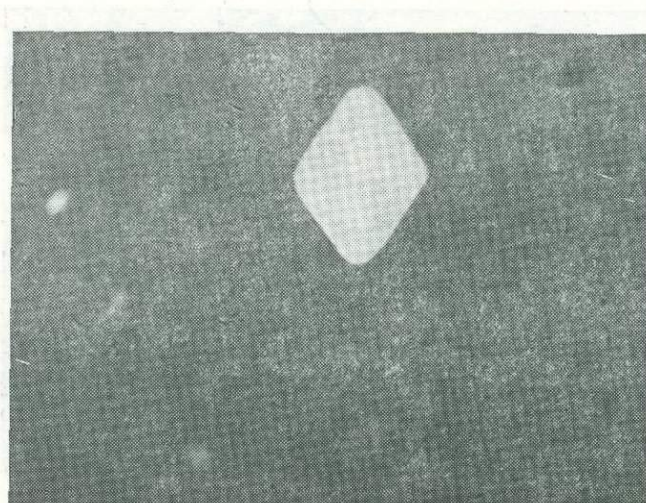


Рис. 84. Ромбические кристаллы аллоклазита (белое) в кальците (черное). Из штольни Юго-Восточного участка Южного месторождения (обр. 214).
Полированный шлиф, ув. 32

Аллоклазит в тесном срастании с кобальтином замещается кальцитом с образованием реликтовой микротекстуры (см. рис. 82). Как кобальтин и глаукодот аллоклазит здесь чаще отлагается по кальцитовым прожилкам в трещинах магнетита, мушкетовита, скарнов и халькопирита.

В Главной рудной зоне Северного кобальтового месторождения аллоклазит в парагенезисе с кобальтином, глаукодотом, саффоритом, моддеритом, данаитом, арсенопиритом, пиритом, кобальтпиритом, пентландитом и др. локализован в измененных, перетертых хлоритизирован-

ных участках дайки диабазового порфирита и в окварцованных песчаниках и туфопесчаниках всячего бока дайки (рис. 83).

На Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении аллоклазит с кобальтином и глаукодом размещен в трещинах магнетитовых руд, гранатов, роговиков и дашкесанитов, где находится в тесной ассоциации с кобальтином, глаукодом, пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, магнетитом, арсенопиритом, карролитом, саффоритом, линнеитом, данаитом, миллеритом, бравоитом, андрадитом, гроссуляром, кварцем, кальцитом, хлоритом, эпидотом, дашкесанитом и др.

На Северо-Западном кобальтсодержащем железорудном месторождении аллоклазит встречается в сростании с кобальтином, глаукодом, саффоритом, самородным висмутом и висмутином в кварц-карбонатной жиле. Богатая аллоклазит-кобальтиновая жила с саффоритом, самородным висмутом и висмутином отмечена в сильно раздробленных и гидротермально-измененных, т. е. карбонатизированных, серицитизированных и хлоритизированных зонах.

В медно- и серноколчеданных рудах Кашкачайского месторождения аллоклазит с кобальтином, гесситом, тетрадимитом входит в состав кварц-пирит-халькопиритовых и халькопиритовых жил.

Морфология. Аллоклазит с кобальтином, глаукодом, высококобальтистым глаукодом образует прожилки мощностью от 1 мм до 15—25 см; линзы от 2 см до 1—2 м; гнезда размером от 1 до 5 см; отдельные в виде вкрапленников кристаллы размером от 1 мм до 1 см; отдельные, хорошо ограненные ромбические кристаллы (см. рис. 105 и

Таблица 53

Спектры отражения аллоклазита, %

Длина волны, нм	Северное месторождение		Северо-Восточное месторождение		Северо-Западное месторождение (обр. 755)	Южное месторождение		
	обр. 590	обр. 605	обр. 601	обр. 606		обр. 200	обр. 210	обр. 437
440	46,5	49,3	48,4	48,0	50,3	50,6	47,2	48,9
460	46,6	49,3	49,0	48,2	50,3	50,5	47,6	46,9
480	47,8	49,5	49,0	48,3	51,4	50,4	47,5	46,7
500	48,5	50,0	49,3	49,1	51,4	50,9	47,9	47,5
520	49,6	50,3	50,0	49,8	51,4	51,1	48,6	48,2
540	50,0	51,0	50,6	50,3	52,0	51,3	48,9	49,4
560	50,6	51,4	51,1	50,4	52,1	51,9	49,1	50,3
580	51,0	52,7	51,3	51,1	52,2	52,0	49,7	51,2
600	51,4	53,5	51,8	51,2	52,4	52,1	50,3	51,6
620	51,6	54,0	52,0	51,2	53,2	52,1	50,8	52,5
640	52,0	54,8	52,0	51,1	53,1	52,2	54,0	53,5
660	52,1	55,0	51,4	50,0	53,0	52,3	51,3	54,0
680	52,2	55,0	51,2	49,4	52,6	52,4	52,1	54,5
700	52,3	54,8	51,2	49,4	52,4	53,0	53,3	55,0
720	52,1	54,8	51,2	50,3	52,3	53,0	53,8	55,3
740	52,0	54,8	51,4	50,2	52,4	53,1	53,9	55,5
760	52,0	54,7	51,4	50,3	52,3	53,3		
780	52,1	54,5	52,0	50,3	52,2	53,4		
800	52,2	54,2	52,0	50,3	52,4	53,4		
850	52,3	53,6	52,0	50,2	52,5	54,2		
900	52,2	52,5	52,0	50,0	52,4	54,4		
950	52,4	51,5	51,3	50,0	52,1	54,6		
1000	52,3	51,5	51,3	50,0	52,2	54,8		
1050	53,0	52,3	52,9	50,3	52,1	50,0		
1100	53,3	54,0	54,6	51,4	53,0	55,0		

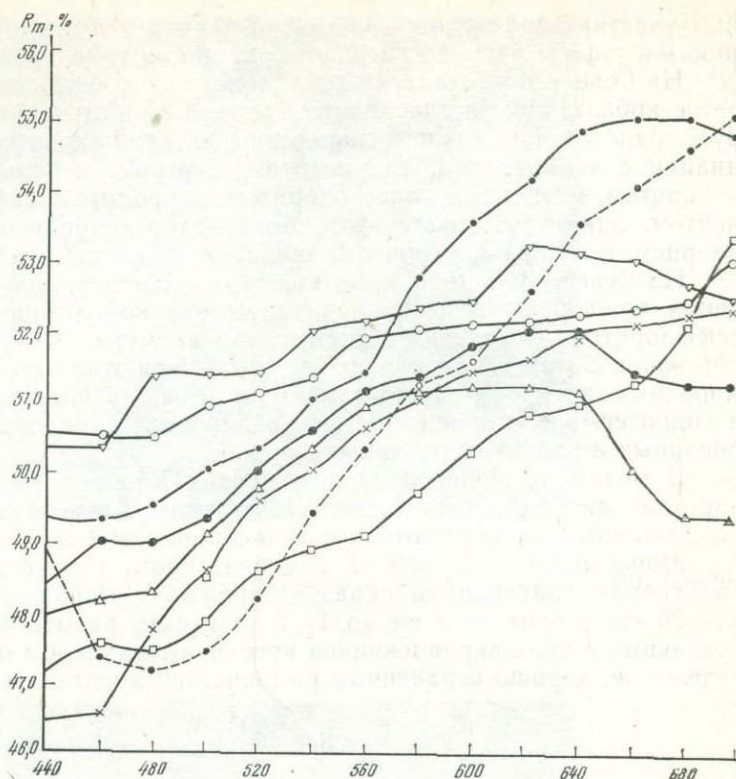


Рис. 85. Спектры отражения аллоклаизита из месторождений: 1, 3, 4 — образцы 437, 210 и 200 из Южного железо-кобальтового месторождения; 7 и 8 — образцы 601 и 606 из Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения.

106) размером до 2—3 мм, а также скелетообразные формы выделений (рис. 84).

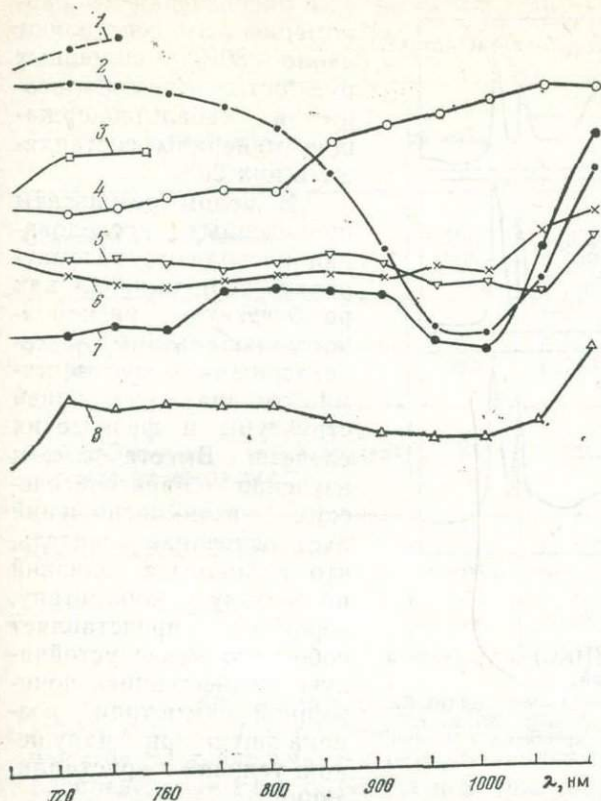
Физические свойства. Макроскопически на свежем куске цвет аллоклаизита оловянно-белый, белый с голубоватым оттенком. Блеск металлический. Хрупкий. Отмечена спайность по {101} до отчетливой. Излом неровный. Черта серовато-черная. В отраженном свете аллоклаизит отличается от кобальтина синеватым оттенком; то же наблюдается и при сравнении его с обычным глаукодомом; рядом с арсенопиритом аллоклаизит имеет голубоватый оттенок. Отражательная способность при обычном синем фильтре ниже, чем у кобальтина; в иммерсии она еще более понижается.

Спектры отражения аллоклаизита из различных месторождений приведены в табл. 53 и на рис. 85.

Краткая характеристика ИКС аллоклаизита приведена ниже и отображена на рис. 86.

1. Северное кобальтовое месторождение, обр. 590. Получены полосы аллоклаизита 1090 см^{-1} , дуплет $800\text{—}780\text{ см}^{-1}$ и полоса $520\text{—}465\text{ см}^{-1}$, что дает поглощение в области $1030\text{—}950\text{ см}^{-1}$. Наплывы около 1150 см^{-1} для этого же минерала.

2. Южное железо-кобальтовое месторождение. Для обр. 121 получена полоса аллоклаизита $520\text{—}465\text{ см}^{-1}$, дающая поглощение в области 1170 см^{-1} ; для обр. 286 полоса лежит в той же области, но основной



рождения; 2, 6 — образцы 605 и 590 из Северного кобальтового; 5 — обр. 755 из Северо-Западного кобальтсодержащего рудного

максимум сдвинут в сторону более низких частот $\sim 960 \text{ см}^{-1}$. В области $600\text{—}400 \text{ см}^{-1}$ наблюдаются два четких максимума — $520\text{—}460 \text{ см}^{-1}$.

Твердость аллоклазита приведена в табл. 54.

Определение плотности аллоклазита приводится в табл. 55.

Травится только концентрированной HNO_3 , при этом минерал тускнеет, выявляется зональная структура (рис. 87). Остальные обычные реактивы, применяемые в минералогии, на аллоклазит не действуют.

Для химического, спектрального и рентгенофазового анализов (из штольни 1 на Юго-Восточном участке Южного месторождения, обр. 210) отобрана проба, в которой при микроскопическом изучении прессованных шлифов оказалось около 40% аллоклазита, около 60% кобальтина и редко включения само-

родного висмута совместно с висмутином в аллоклазите (см. рис. 21 и описание самородного висмута).

Содержание главных компонентов (Co, Fe, As, S) очень близко к старым анализам «кобальтина» и «аллоклазита» из Оравицы. Несколько повышенное отношение Co:Fe в пробе из Южного месторождения можно связывать с установленными значительными примесями кобальтина. Незначительное количество висмута, установленное химическим анализом в аллоклазите, обусловлено присутствием мельчайших выделений висмутовых минералов (самородный висмут, висмутин, теллуrowисмутит и др.).

Мономинеральный спектральный полуколичественный анализ аллоклазита с примесью кобальтина представлен (в %): Ni 0,01—0,3; Cu 0,001—1,0; Bi и Ag 0,001—0,1; Zn 0,01—1,0; Pb 0,001—0,2; Mn 0,001—0,1; Cd и Sn 0,001—0,03; Sb 0,01—0,03.

Рентгеновские исследования. Межплоскостные расстояния аллоклазита по изученным автором образцам хорошо сопоставляются с литературными данными (табл. 56). Характерные линии аллоклазита: 0,280 (10) и 0,278 (10); 0,249 (8,5) и 0,247 (8); 0,185 (7,5) и 0,181 (10). Значения величин межплоскостных расстояний и параметр аллоклазита (параметры элементарной ячейки аллоклазита указаны в конце табл. 59) из месторождений АзССР очень близок к эталонным. В кобальтовых рудах месторождений АзССР аллоклазит и кобальтин в соотношении

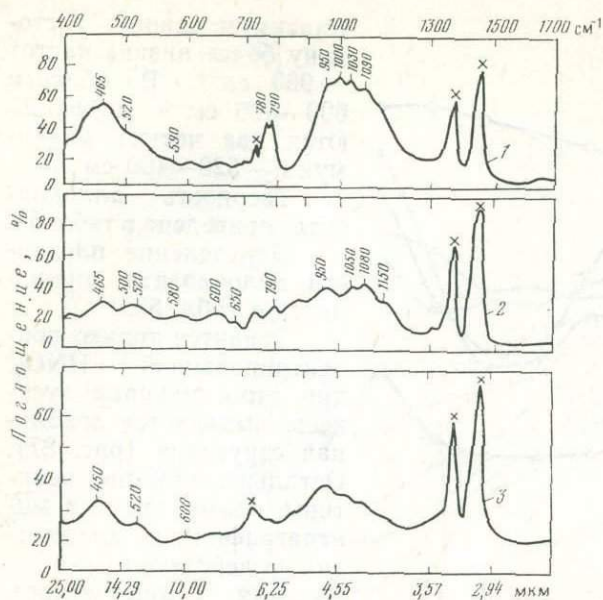


Рис. 86. Инфракрасный спектр (ИКС) аллоклазита из месторождений:

1 — обр. 590 из Северного кобальтового; 2 — обр. 651 из Северо-Восточного железо-кобальтового; 3 — обр. 286 из Южного железо-кобальтового. Отмеченное крестиком (X) относится к вазелиновому маслу

1:1 распространены равномерно и составляют около 80% сплошных руд; остальные кобальтовые и кобальтсодержащие минералы составляют в них 20%.

В целом результаты приведенных исследований позволяют рассматривать этот минерал как ромбическую разновидность кобальтина с характерными особенностями состава, внутренней структуры и физических свойств. Вместе с тем изучение парагенетических взаимоотношений дает основание считать, что аллоклазит, близкий по составу к кобальтину, вероятно, представляет собой его менее устойчивую модификацию пониженной симметрии, возникающую при нарушении условий кристаллизации.

Таблица 54

Микротвердость аллоклазита

Месторождение	№ образца	Число замеров	H, ГПа		H _{ср} , ГПа	Коэффициент анизотропии твердости		Нагрузка P, Н
			от	до		K _{H1}	K _{H2}	
Северное кобальтовое	590	5	7,96	11,22	8,48	1,19	1,21	0,49
	605	10	7,26	9,92	8,57	1,17	1,18	0,49
Северо-Восточное железо-кобальтовое	691	8	7,98	10,02	8,66	1,19	1,23	0,49
	606	10	8,28	9,98	8,69	1,19	1,23	0,49
Северо-Западное кобальт-содержащее железорудное	755	10	7,34	9,69	8,50	1,21	1,23	0,49
Южное железо-кобальтовое	121	5	7,52	9,91	8,25	1,19	1,23	0,49
	200	5	7,26	9,28	8,29	1,19	1,23	0,49
	286	10	7,96	8,75	8,19	1,17	1,21	0,49
	437	8	8,37	8,77	8,47	1,19	1,23	0,49
	615	10	7,26	9,73	8,23	1,17	1,19	0,49

Плотность аллоклазита

Месторождение	№ образца	Определение			$d_{\text{ср}}$, г/см ³
		1	2	3	
Северное кобальтовое	590	6,320	6,310	6,300	$6,31 \pm 0,05$
	605	6,310	6,310	6,310	$6,31 \pm 0,05$
Северо-Восточное железо-кобальтовое	601	6,300	6,310	6,320	$6,31 \pm 0,06$
	606	6,323	6,323	6,323	$6,32 \pm 0,05$
Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное	755	6,293	6,314	6,323	$6,31 \pm 0,05$
Южное железо-кобальтовое	121	6,320	6,370	6,310	$6,33 \pm 0,06$
	286	6,030	6,010	6,020	$6,02 \pm 0,03$
	437	6,320	6,330	6,330	$6,33 \pm 0,06$
	615	6,300	6,290	6,310	$6,30 \pm 0,05$

Химический состав аллоклазита приведен в табл. 57. При исследовании химического состава аллоклазита с помощью микрозонда получены фотография участка сканирования (рис. 88, 89) и записи кривых распределения Fe, Co, Ni, As и S (рис. 90). По результатам микрозондовых количественных анализов содержание никеля в исследованных аллоклазитах, как правило, незначительно; лишь в 34 точках concentra-

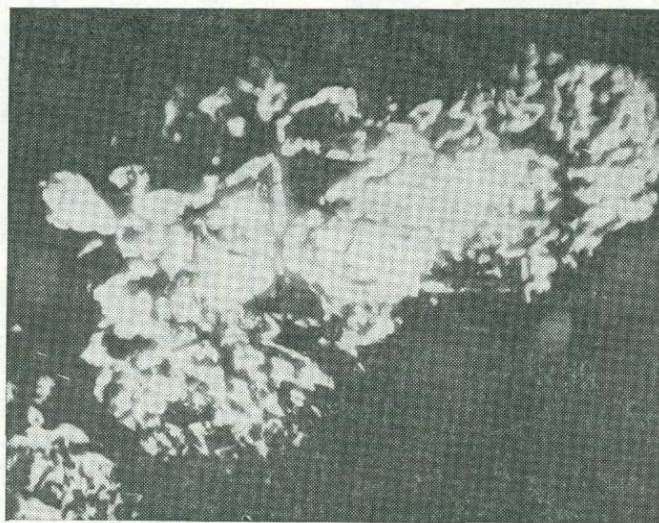


Рис. 87. Зональные структуры аллоклазита (белые) в скарне (темно-серые); после травления HNO_3 . Юго-Восточный участок Южного месторождения (обр. 286).

Полированный шлиф, ув. 32

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки аллоклазита

Северное месторождение		Северо-Восточное месторождение				Северо-Западное месторождение (обр. 755)		Южное месторождение				Хаканебе, Швеция (обр. X) [43]		
		(обр. 601)		(обр. 650)				(обр. 121)		(обр. 210)				
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>
1	0,321	2	0,322	2	0,321	1	0,321	2	0,322	0,3	0,321	0,5	0,305	240
5	0,307	2	0,307	3	0,307	1,4	0,304	—	—	1	0,307	0,5	0,293	201
10	0,278	10	0,2785	10	0,278	10	0,280	10	0,278	10	0,279	10	0,277	010
4	0,275	4	0,275	4	0,275	3	0,274	3	0,274	7	0,275	10	0,275	022, 241
8	0,2499	8	0,2491	9	0,249	7,1	0,2495	8	0,249	4	0,2492	8	0,247	261
7	0,2275	7	0,2275	8	0,2273	7	0,2268	7	0,2274	3	0,2276	1	0,231	012
4	0,1968	2	0,1968	5	0,1970	2,1	0,1973	5	0,1965	1	0,1970	—	0,1961	262
3	0,1852	1	0,1853	1	0,1853	0,7	0,1859	5	0,1850	0,4	0,1854	10	0,1813	212
1	0,1702	1	0,1701	1	0,1703	—	—	1	0,1802	0,3	0,1708	2	0,1712	400
7	0,1678	4	0,1680	8	0,1678	7	0,1683	7	0,1678	2	0,1681	4	0,1640	083, 203

 $a_0=0,980$ нм $b_0=0,780$ нм $c_0=0,680$ нм $a_0=0,978$ нм $b_0=0,780$ нм $c_0=0,678$ нм $a_0=0,983$ нм $b_0=0,800$ нм $c_0=0,678$ нм $a_0=0,978$ нм $b_0=0,780$ нм $c_0=0,544$ нм $a_0=0,861$ нм $b_0=0,790$ нм $c_0=0,681$ нм $a_0=0,980$ нм $b_0=0,775$ нм $c_0=0,662$ нм

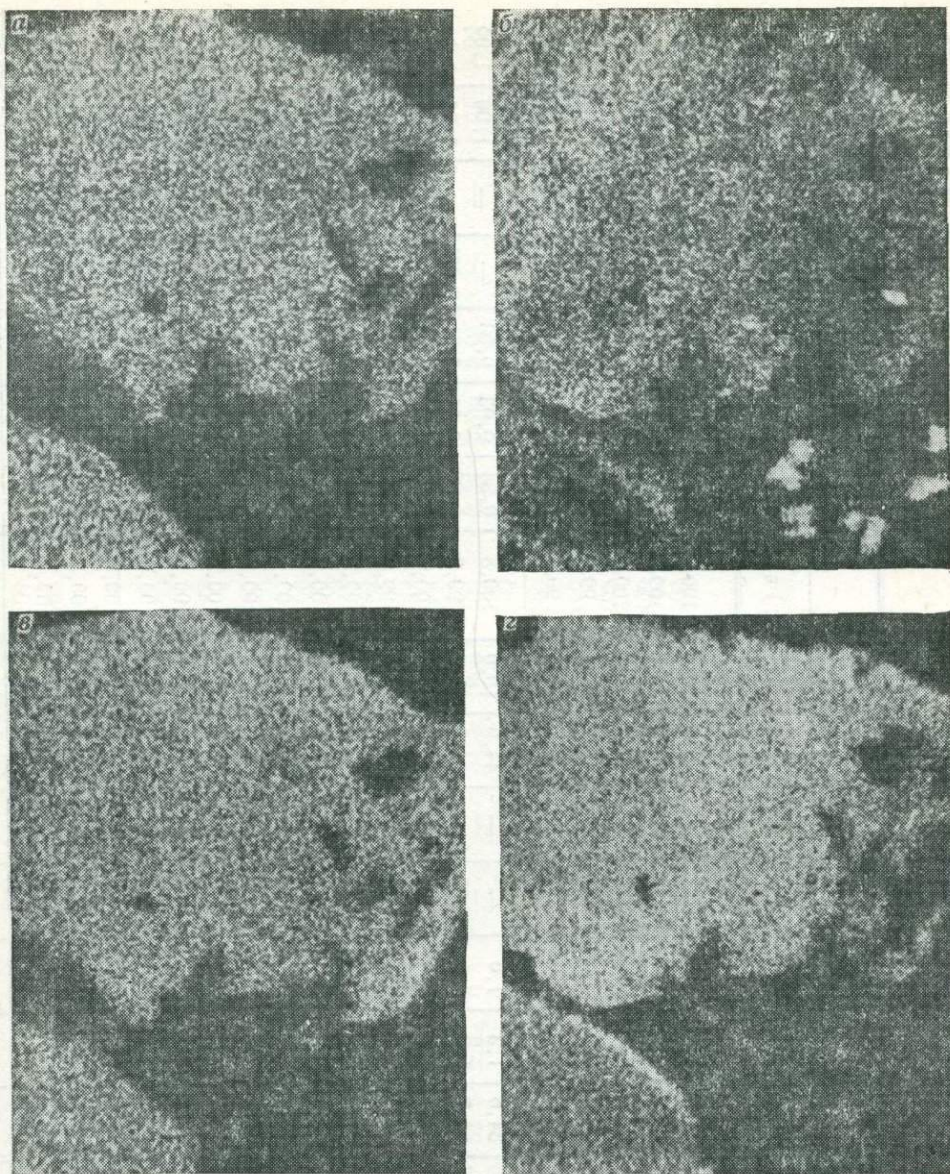


Рис. 88. Участок сканирования аллоклазита в характеристическом рентгеновском излучении размером 300×300 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 437):

a — CoK_{α} (белое), *б* — FeK_{α} (белое), *в* — AsK_{α} (белое), *г* — SK_{α} (белое)

ция его выше 1% и максимально достигает 2—3%. Можно отметить изоморфизм между железом и кобальтом. Отношение $Co : Fe$ изменяется от 39,8 до 10,5, а отношение $Co : Ni$ — от 115 до 2,27.

Медь и висмут встречаются в виде примеси в некоторых образцах и распределены неравномерно. Концентрации серы и мышьяка не постоянны. Отношение концентрации $As : S$ изменяется от 2,7 до 1,7. Составы аллоклазитов из различных месторождений АзССР и Тунаберг (Швеция) нанесены на диаграмму (см. рис. 80).

Химический состав аллоказита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %							Коэффициент в формуле								
			Co	Fe	Ni	Cu	Bi	As	S	Сумма	Co	Fe	Ni	Cu	Bi	As	S	
Северное кобальтовое	590	1	32,2	2,1	1,0	—	—	47,2	17,6	100,1	0,93	0,06	0,03	—	—	1,07	0,93	
		2	33,1	1,1	0,7	0,07	—	—	47,2	17,4	100,2	0,95	0,03	0,02	0,002	—	1,07	0,93
		3	34,6	1,3	—	—	—	—	45,5	19,2	100,6	0,97	0,04	—	—	1,01	0,99	
	605	4	35,2	0,5	—	—	—	—	43,9	20,1	99,7	0,99	0,01	—	—	—	0,98	1,02
		5	35,2	0,4	—	—	—	—	43,9	20,1	99,6	0,98	0,01	—	—	—	0,97	1,03
Северо-Восточное железо-кобальтовое	601	6	34,6	1,3	1,0	—	—	44,9	19,0	100,8	0,94	0,03	0,03	—	—	1,00	1,00	
		7	35,7	1,2	0,4	0,05	—	—	39,5	22,5	99,3	0,96	0,03	0,01	0,001	—	0,96	1,04
		8	33,8	1,6	1,8	0,05	—	—	42,1	20,9	100,2	0,91	0,04	0,05	0,001	—	0,96	1,04
	606	9	35,1	1,2	0,2	—	—	41,2	21,7	99,4	0,96	0,03	0,01	—	—	0,90	1,10	
		10	35,1	1,1	0,3	—	—	42,5	21,2	100,2	0,96	0,03	0,01	—	—	0,98	1,02	
	607	11	35,1	2,0	0,05	—	—	40,5	23,2	100,85	0,96	0,04	0,001	—	—	0,96	1,04	
		12	34,8	2,0	0,1	—	—	39,7	23,5	100,6	0,96	0,04	0,001	—	—	0,96	1,04	
	650	13	35,8	0,9	0,07	—	—	41,0	22,7	100,47	0,98	0,02	0,001	—	—	0,98	1,02	
		14	33,8	2,2	1,2	—	—	40,8	23,5	100,2	0,92	0,05	0,03	—	—	0,96	1,04	
		15	35,8	0,4	0,6	—	—	41,0	22,7	100,5	0,98	0,01	0,01	—	—	0,96	1,04	
	651	16	34,0	1,3	1,5	—	—	41,0	22,7	100,5	0,94	0,03	0,04	—	—	0,96	1,04	
		17	33,7	2,1	1,0	—	—	40,2	23,7	100,3	0,92	0,05	0,03	—	—	0,95	1,05	
	691	18	34,7	1,8	0,8	—	—	45,3	19,4	100,5	0,96	0,03	0,02	—	—	1,00	1,00	
		19	33,6	1,6	0,5	—	—	45,3	19,4	100,4	0,96	0,03	0,02	—	—	1,00	1,00	
	Северо-Западное кобальт-содержащее железорудное	755	20	35,2	1,3	0,05	—	—	41,44	21,2	100,44	0,97	0,03	1,001	—	—	0,96	1,04
			21	35,2	0,5	0,5	—	—	45,8	19,1	100,6	0,98	0,01	0,01	—	—	1,02	0,98
	Южное железо-кобальтовое	121	22	31,8	2,1	1,8	—	—	46,2	17,8	99,7	0,91	0,05	0,05	—	—	1,04	0,96
			23	31,5	2,4	1,0	—	—	46,2	17,8	98,9	0,91	0,06	0,03	—	—	1,04	0,96
		200	24	33,8	1,7	0,1	—	—	44,8	19,8	100,2	0,95	0,04	0,01	—	—	0,98	1,02
25			34,0	1,2	—	—	—	44,8	20,0	100,0	0,97	0,03	—	—	—	1,00	1,00	
210		26	32,93	3,14	0,03	0,13	0,09	48,8	19,06	100,07	0,92	0,08	0,001	0,001	—	0,99	1,01	
		27	34,5	0,9	0,03	—	—	47,0	18,0	100,4	0,99	0,01	0,001	—	—	1,04	0,96	
437		28	35,0	1,8	0,2	—	—	45,5	20,4	102,9	0,95	0,04	0,01	—	—	0,98	1,02	
		29	34,4	1,2	0,4	—	—	45,5	19,2	100,7	0,96	0,03	0,01	—	—	1,01	0,99	
450		30	33,6	2,3	0,2	—	—	45,0	19,3	100,4	0,94	0,06	0,001	—	—	1,00	1,00	
		31	33,6	2,0	0,5	—	—	44,4	19,6	100,1	0,94	0,05	0,01	—	—	1,01	0,99	
522		32	34,9	1,5	0,2	—	—	42,9	20,3	99,8	0,96	0,03	0,01	—	—	0,98	1,02	
540		33	33,3	1,1	0,2	—	—	45,8	19,8	100,2	0,96	0,03	0,01	—	—	1,00	1,00	
		34	33,9	1,6	0,3	—	—	43,4	20,8	100,0	0,95	0,04	0,01	—	—	0,96	1,04	
615		35	33,0	2,0	0,7	—	—	45,3	19,5	100,5	0,93	0,05	0,02	—	—	1,00	1,00	
		36	35,3	0,5	0,13	—	—	44,5	19,6	100,03	0,98	0,01	0,01	—	—	0,99	1,01	
	37	33,4	2,1	—	—	—	46,2	19,1	100,8	0,95	0,05	—	—	—	1,02	0,98		
Кашкачайское кобальтсодержащее медноколчеданное	701	38	33,9	1,2	0,3	—	—	40,0	21,2	96,6	0,96	0,03	0,01	—	—	0,96	1,04	
Тунабергское (Швеция)	1	39	34,5	0,3	1,1	—	—	45,2	19,3	100,4	0,96	0,01	0,03	—	—	1,00	1,00	

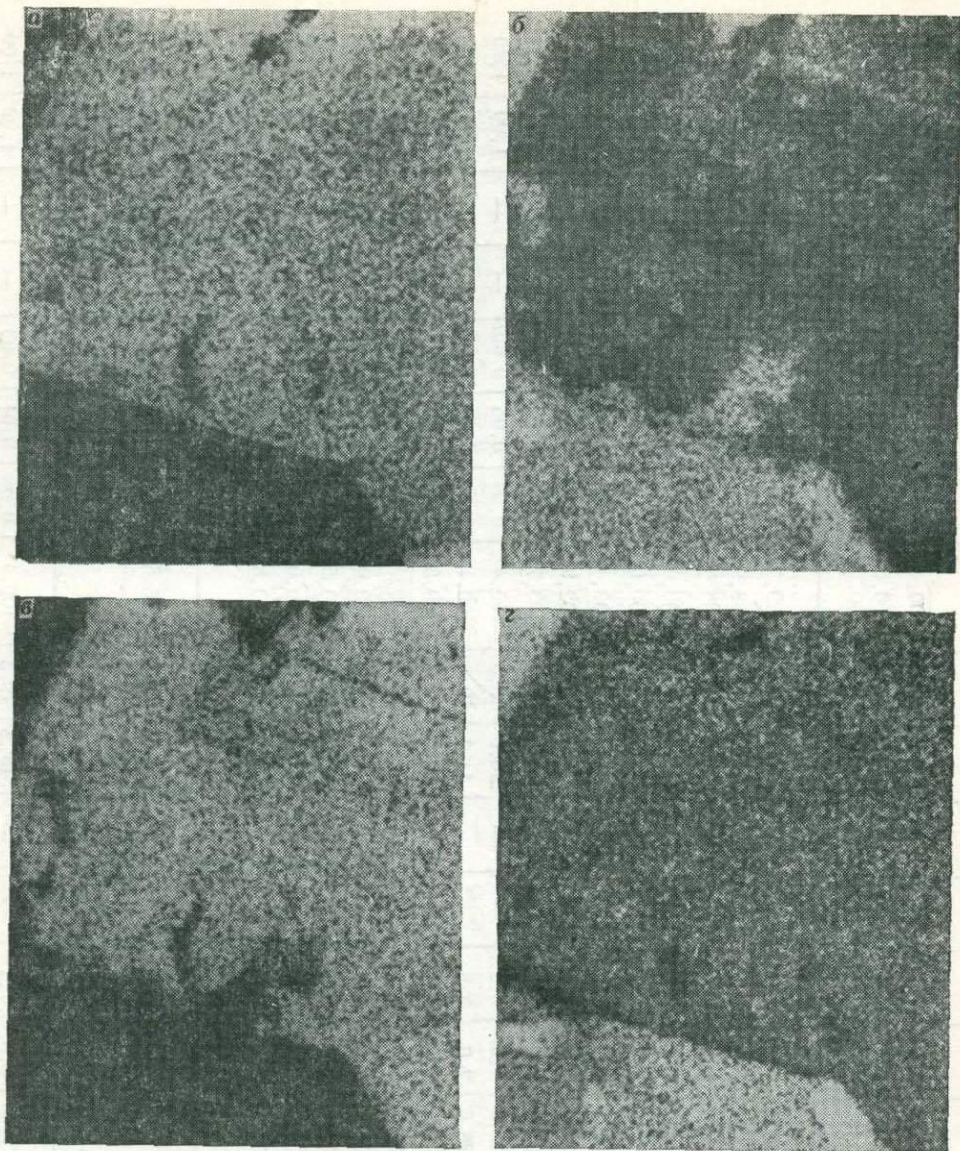


Рис. 89. Участок сканирования аллоклазита в характеристическом излучении размером 150×150 мкм. Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное месторождение (обр. 755):

а — CoK_α (белое), б — FeK_α (белое), в — AsK_α (белое), г — AsK_α (белое)

ВЫСОКОКОБАЛЬТИСТЫЙ ГЛАУКОДОТ

В рудах месторождений АзССР высококобальтистый глаукодо́т впервые обнаружен А. И. Махмудовым и И. П. Лапутиной [28] на Южном железо-кобальтовом и Северном кобальтовом месторождениях Дашкесанского рудного района в гранат-эпидот-хлоритовых, гранат-эпидот-кальцитовых, гранат-кварц-магнетитовых, кварц-кальцит-хлоритовых и других скарнах, в магнетитовых рудах и в толщах и зонах сильно раздробленных диабазовых порфириров. Этот минерал с глауко-

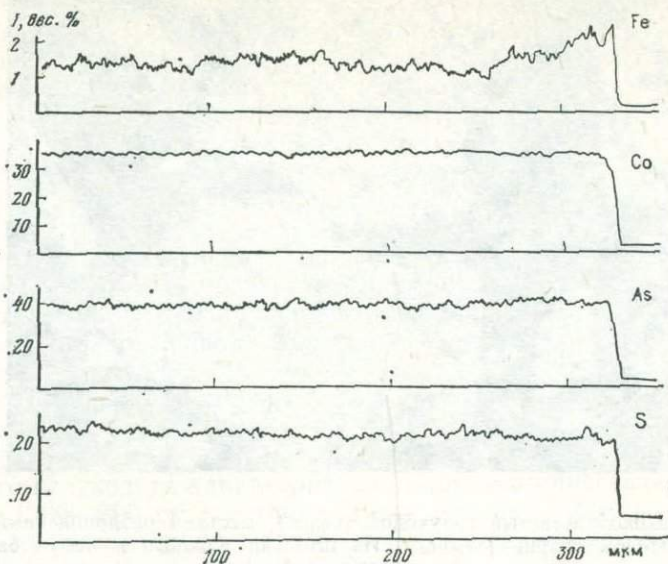


Рис. 90. Кривые распределения Fe, Co, As и S по профилю, проходящему через аллоклазит. Северо-Западное кобальтсодержащее железорудное месторождение (обр. 755)

дотом, аллоклазитом, кобальтином, иногда данаитом образует прожилковые рудные тела мощностью до 50 см и встречается в парагенезисе с аллоклазитом, глаукодотом, данаитом, арсенопиритом, саффлоритом, леллингитом, магнетитом, гематитом, халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, миллеритом, линнеитом, кварцем, кальцитом, гранатом, эпидотом, хлоритом и др. (рис. 91). Иногда в гранат-эпидот-кальцитовых скарнах встречаются чистые, местами раздробленные (рис. 92) кристаллы высококобальтистого глаукодота.

На Северном кобальтовом месторождении он ассоциирует с аллоклазитом, глаукодотом, кобальтином, данаитом, арсенопиритом, моддеритом, саффлоритом, кобальтпиритом, халькопиритом, пиритом, кварцем, хлоритом, кальцитом.

Морфология. Макроскопически высококобальтистый глаукодот создает средне-, мелко- и тонкозернистые агрегаты. Сов-



Рис. 91. Высококобальтистый глаукодот (1), глаукодот (2), данаит (3), аллоклазит (4) и нерудные минералы (5). Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 615)

Полированный шлиф. Николы +, ув. 72

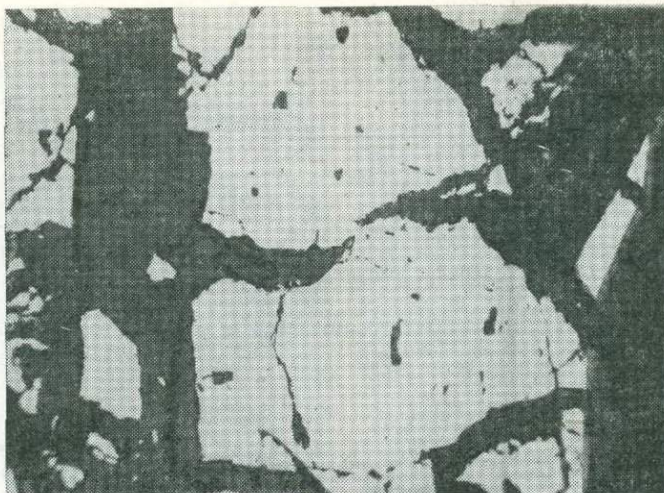


Рис. 92. Высококобальтистый глаукодот (белое), местами раздробленный в гранат-эпидот-кальцитовом скарне (темное). Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 615).

Полированный шлиф, ув. 12



Рис. 93. Зональная структура высококобальтистого глаукодота; протравлен HNO_3 . Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 615)

Полированный шлиф, ув. 37

местно с глаукодотом, аллоклазитом, кобальтином, данаитом, арсенипитом и другими рудными минералами образует гнездообразные скопления и тонкие прожилки в массе скарнов; мощность прожилков от 1 мм до 3 см, гнезд до 5 см; в отдельных кристаллах до 3—4 см (см. рис. 92). Имеющиеся в массе скарнов и руд зерна высококобальтистого глаукодота зонального ромбовидного и удлиненно-призматического облика размером до 0,5 мм (см. рис. 92), что особенно хорошо вырисовывается при скрещенных николях.

Травится HNO_3 (1:1) слабее, чем обычный глаукоdot (рис. 93).

Физические свойства. Высококобальтистый глаукоdot макроскопически похож на аллоклазит, кобальтин и обычный глаукоdot. В свежем изломе цвет этого минерала серый, серовато-белый. Черта черная. Непрозрачен. Спайность совершенная по {010}, слабая по {101}. Блеск металлический. Излом неровный. Хрупок. В отраженном свете белый, желтовато-белый, иногда с красноватым оттенком.

Отражательная способность ниже обычного глаукодота, аллоклазита, данаита, арсенопирита и кобальтина; выше моддерита и сафлорита. В иммерсии отражательная способность понижается незначительно, но больше выделяются желтоватый, зеленоватый и красноватый тона. При скрещенных николях наблюдаются яркий желтый, зеленый и красный цвета. Кроме того, зональность проявляется слабее, чем у обычного глаукодота. Анизотропия высококобальтистого глаукодота сильнее, чем обычного глаукодота. Спектры отражения высококобальтистого глаукодота приведены в табл. 58 и на рис. 94.

Инфракрасно-спектрометрические (ИКС) исследования высококобальтистого глаукодота характеризуются довольно интенсивной полосой в области $1200-900 \text{ см}^{-1}$ с тремя максимумами: 1160 см^{-1} , 1085 см^{-1} (основной максимум) и дуплет $975-960 \text{ см}^{-1}$, далее идет еще один дуплет $800-780 \text{ см}^{-1}$ (рис. 95).

Плотность высококобальтистого глаукодота из Северного кобальтового и Южного железо-кобальтового месторождений $d_{\text{ср}}$ определена (в г/см³) как $6,06 \pm 0,04$ (обр. 595) и $6,01 \pm 0,02$ (обр. 615).

Твердость высококобальтистого глаукодота при $P=0,98 \text{ Н}$ $H=9,35-10,43 \text{ ГПа}$; $H_{\text{ср}}=9,94 \pm 0,14 \text{ ГПа}$.

Результаты мономинеральных спектральных анализов показали, что постоянными примесями в минерале являются (в %): медь 0,2, никель 0,1; цинк 0,01; свинец 0,03; алюминий 0,8; магний 0,4; марганец 0,01; титан 0,01; ванадий 0,001; серебро 0,003; висмут 0,002; олово 0,003 и скандий 0,001. Присутствие алюминия, магния, марганца связано с мельчайшими примесями вмещающих пород.

Таблица 58

Спектры отражения высококобальтистого глаукодота, %

Длина волны, нм	Южное месторождение				Длина волны, нм	Южное месторождение			
	обр. 615	обр. 617	обр. 621	обр. 624		обр. 615	обр. 617	обр. 621	обр. 624
440	49,0	48,0	46,0	48,0	700	56,8	53,2	50,0	50,4
460	49,0	48,2	46,4	48,0	720	56,8	53,0	50,1	51,0
480	49,4	49,1	47,1	47,4	740	56,6	53,0	50,2	51,1
500	50,0	50,0	48,0	48,0	760	56,5	53,0	50,3	51,2
520	50,6	51,0	48,2	48,2	780	56,3	53,1	50,4	51,3
540	51,5	51,3	49,0	48,3	800	56,0	53,2	51,0	51,4
560	52,6	52,2	49,2	49,0	850	55,8	53,3	51,0	51,4
580	53,9	53,0	49,4	49,2	900	55,4	53,3	50,1	51,3
600	55,0	53,3	49,4	49,4	950	54,3	53,3	49,4	51,4
620	56,0	54,0	49,4	50,0	1000	54,0	54,3	49,0	52,0
640	56,7	54,1	49,4	50,1	1050	54,1	55,0	49,0	52,4
660	57,1	54,0	49,4	50,2	1150	55,0	56,0	52,0	54,0
680	57,2	53,4	49,4	50,4					

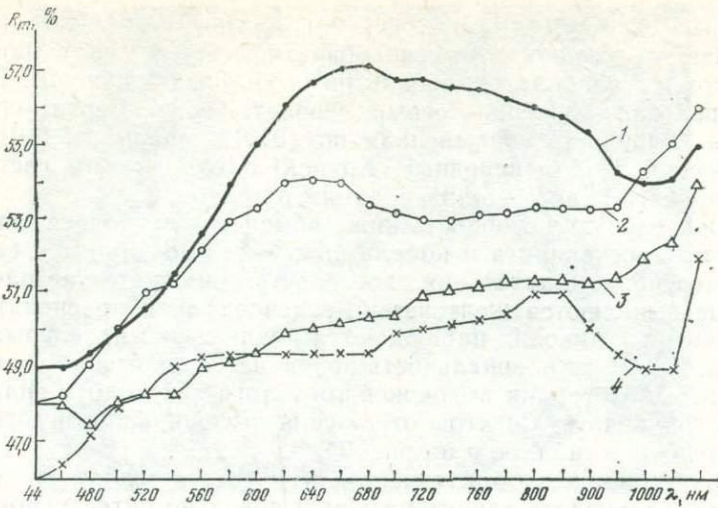


Рис. 94. Спектр отражения высококобальтистого глаукодота. Южное железо-кобальтовое месторождение
1 — обр. 615, 2 — обр. 617, 3 — обр. 624, 4 — обр. 621

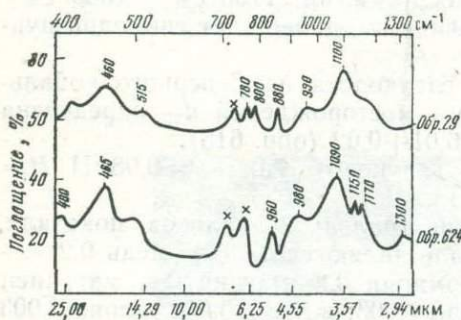


Рис. 95. Инфракрасные спектры (ИКС) высококобальтистого глаукодота. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 29 и 624)
Отмеченное крестиком (X) относится к вазелиновому маслу

Рентгенометрические исследования. Результаты расчета межплоскостных расстояний и параметры высококобальтистого глаукодота приведены в табл. 59. В этой же таблице для сравнения приведены данные высококобальтистого глаукодота, полученные Н. Н. Шишкиным [40]; рассчитаны параметры высококобальтистого глаукодота. Характерные линии высококобальтистого глаукодота следующие: 0,274 (10), 0,246 (6) и 0,183 (7, 8). Значения величин межплоскостных расстояний высококобальтистого глаукодота из месторождений АзССР очень близки к эталонным [40].

Химический состав приведен в табл. 60. Наблюдается зональный дефицит мышьяка и серы по всем образцам месторождений (см. табл. 59). Элементы, обнаруженные в составе высококобальтистого глаукодота, кроме никеля, распределены равномерно. Получены фотографии участков сканирований размером 280×180 мкм (рис. 96, обр. 595) из Северного кобальтового; размером 70×120 мкм (рис. 97, обр. 29) и размером 300×300 мкм (см. рис. 103, обр. 615) из Южного железо-кобальтового месторождений, а также записи кривых распределения Co, Fe, As и S по профилю, проходящему через высококобальтистый глаукодот (рис. 98).

Отношение Co : Fe изменяется от 4,05 до 1,64, а отношение Co : Ni — от 9,40 до 14,01. Отношение концентрации As : S изменяется от 1,17 до 0,72. По результатам исследований и была составлена диаграмма (см. рис. 80).

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки
высококобальтистого глаукодота

Северное месторождение (обр. 595)			Южное месторождение						Тувинское месторождение (обр. 3) [40]		
			обр. 615		обр. 617		обр. 623				
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>
0,5	0,548	101	0,5	0,557	0,5	0,554	0,6	0,554	—	—	—
1	0,357	210	2	0,358	1,6	0,357	1,5	0,358	2	0,558	210
2	0,303	202	2,5	0,302	2,8	0,303	2	0,303	2	0,304	202
7	0,2782	310	3	0,2781	4	0,2781	5,2	0,2781	3	0,2798	310
10	0,2740	202	10	0,2741	10	0,2741	10	0,2741	6	0,2746	202
5	0,2690	021	1,6	0,2688	1,7	0,2688	1,2	0,2688	1	0,2652	400
5	0,2454	220	4,5	0,2462	4,5	0,2461	4,5	0,2462	6	0,2471	220
3	0,240	400	7	0,2407	9	0,2401	2,5	0,240	5	0,2403	400
2	0,2270	401	1,5	0,2271	2	0,2271	2,5	0,2271	3	0,2282	401
1	0,200	013	1	0,200	1	0,200	0,8	0,200	4	0,2006	051
1	0,1967	203	0,6	0,1967	0,7	0,1967	1,3	0,1967	4	0,1967	222
7	0,1813	510	8	0,1833	5,5	0,1818	4,3	0,1817	10	0,1817	510
2	0,1729	331	0,5	0,1735	—	—	0,5	0,1732	4	0,1733	331
1	0,1634	330	9	0,1648	1,7	0,1635	1,9	0,1634	6	0,1637	340
2	0,1583	520	0,6	0,1582	0,7	0,1583	0,4	0,1583	4	0,1585	411
2	0,1548	521	1,5	0,1546	0,2	0,1540	1,2	0,1543	4	0,1547	061
			$a_0=0,971$ нм $b_0=0,574$ нм $c_0=0,671$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,976$ нм $b_0=0,574$ нм $c_0=0,671$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,588 \pm 0,004$ нм $b_0=0,580 \pm 0,002$ нм $c_0=0,694 \pm 0,002$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,975 \pm 0,003$ нм $b_0=0,571$ нм $c_0=0,674 \pm 0,001$ нм		

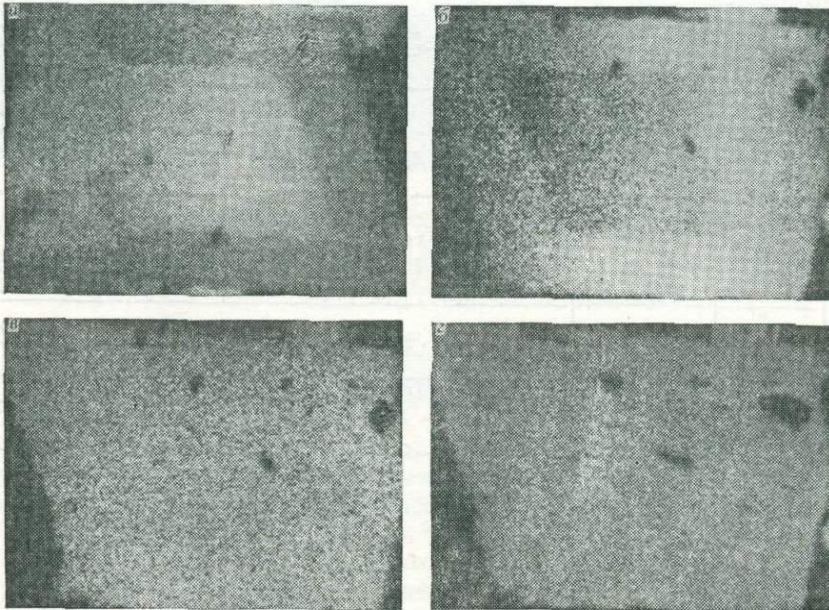


Рис. 96. Фотография участков сканирования высококобальтистого глаукодота (1) и глаукодота (2) в характеристических рентгеновских лучах размером 280×180 мкм. Северное кобальтовое месторождение (обр. 595):

а — CoK_{α} (белое), б — FeK_{α} (белое), в — AsK_{α} (белое), г — SK_{α} (белое)

Таблица 60

Химический состав высококобальтистого глаукодота

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Co	Fe	Ni	As	S	Сумма	Co	Fe	Ni	As	S
Северное кобальтовое	595	1	26,7	8,8	—	44,2	20,3	100,0	0,74	0,26	—	0,96	1,04
		2	27,8	7,6	0,1	44,2	20,3	100,0	0,77	0,23	0,001	0,96	1,04
Южное железо-кобальтовое	1	3	27,08	13,90	0,03	39,65	19,25	99,91	0,72	0,38	—	0,84	1,16
		4	24,8	10,3	0,4	44,2	20,3	100,0	0,69	0,30	0,01	0,97	1,03
	29	5	26,4	8,9	0,2	44,2	20,3	100,0	0,73	0,26	0,01	0,97	1,03
		6	22,7	12,1	0,07	45,6	19,8	100,1	0,64	0,36	0,001	0,99	1,01
	615	7	23,3	11,9	0,17	45,6	19,03	100,0	0,65	0,34	0,01	1,01	0,99
		8	24,9	10,3	0,18	45,3	19,5	100,18	0,69	0,30	0,01	1,01	1,01
	616	9	25,0	10,0	—	46,2	19,0	100,2	0,70	0,30	—	1,02	0,98
	617	10	24,95	10,1	—	47,0	18,8	100,85	0,70	0,30	—	1,03	0,97
	620	11	27,8	7,6	—	45,3	19,3	100,0	0,77	0,23	—	0,99	0,01
		12	23,0	12,0	—	45,5	19,5	100,0	0,64	0,36	—	1,00	1,00
	621	13	25,2	10,0	—	45,5	19,5	100,2	0,70	0,30	—	1,00	1,00
		14	26,5	9,0	—	45,2	19,3	100,0	0,73	0,27	—	0,99	1,01
	623	15	28,4	7,0	—	45,2	19,4	100,0	0,79	0,21	—	1,00	1,00
		16	25,8	9,2	—	47,2	17,8	100,0	0,73	0,27	—	1,08	0,92
	624	17	28,2	7,7	—	44,3	19,8	100,0	0,78	0,22	—	0,98	1,02
		11	18	26,33	7,04	1,62	46,8	19,21	100,0	0,74	0,21	0,05	1,03

Примечание. Анализы № 1, 2, 4—17 выполнены А. И. Махмудовым микрозондом MS-46 «Камека»; № 3 — по данным Г. Х. Эфендиева [42], № 18 — по данным Н. Н. Шнишкина [40], обычные химические.

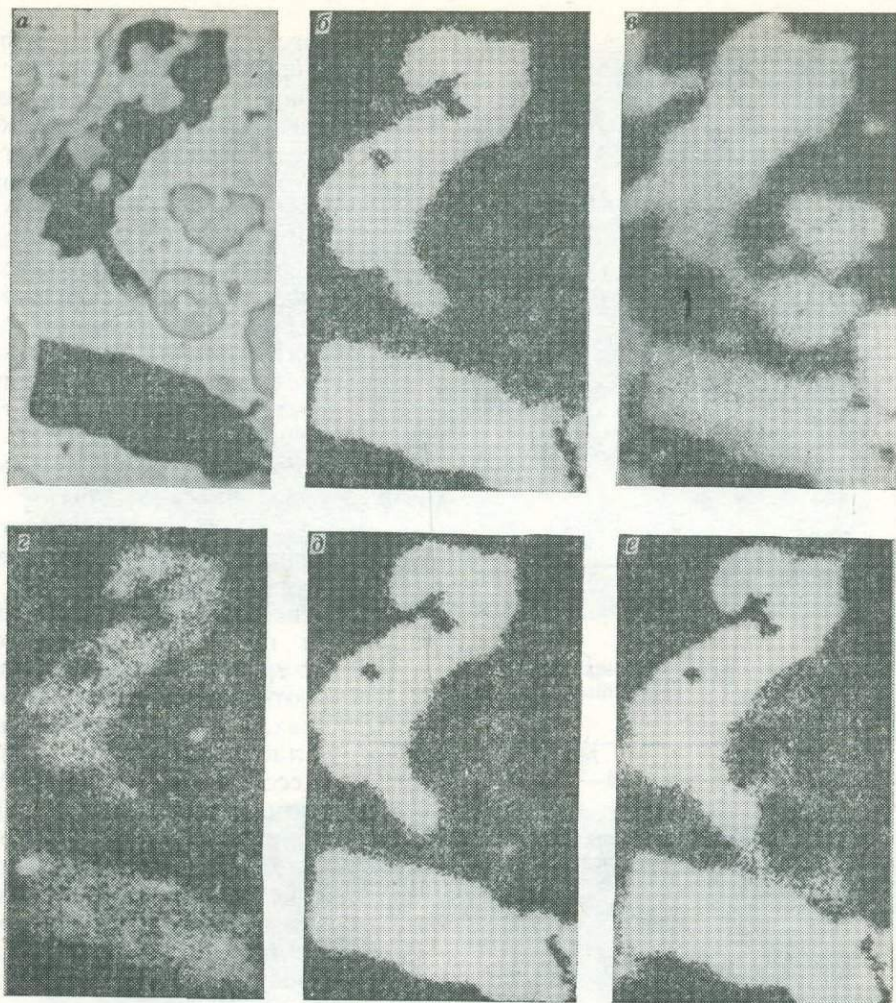


Рис. 97. Участок сканирования высококобальтистого глаукодота размером 70×120 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 29):

a — в поглощенных электронах; в характеристическом рентгеновском излучении: *б* — CoK_{α} (белое), *в* — FeK_{α} (белое), *г* — NiK_{α} (белое), *д* — AsK_{α} (белое), *е* — SK_{α} (белое)

ГЛАУКОДОТ

Глаукоdot в Дашкесанском рудном районе упоминается в работах ряда исследователей [11, 15, 21, 42].

Условия нахождения. Глаукоdot — один из главных минералов сульфоарсенидов кобальта Дашкесанского рудного района. На Северном кобальтовом месторождении, особенно в Главной рудной зоне (в жилах 10, 11, 12, в зонах 1, 6, 7, 8, в апофизах 2 и 3) глаукоdot распространен в кобальтин-аллоклазитовых, аллоклазит-высококобальтистых, глаукоdot-данаитовых и арсенопирит-данаитовых рудах, где преобладает над арсенопиритом и данаитом. В хлоритизированной породе образует крупные агрегаты в виде прожилков и линз мощностью 1—10 см (рис. 99). На полированном шлифе видно, как глаукоdot сечет арсенопирит и данаит. У идиоморфных зерен глаукодота появляется скелетная структура (рис. 100), возникающая вследствие замещения

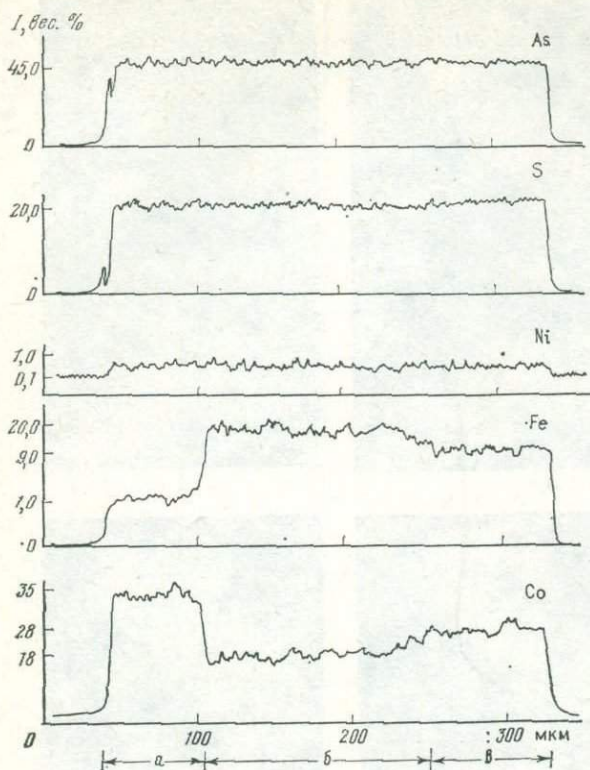


Рис. 98. Кривые распределения Co, Fe, Ni, S и As по профилю, проходящему через высококобальтистый глаукоdot (а), глаукоdot (б) и аллоклазит (в). Северное кобальтовое месторождение (обр. 595)

его более поздними сульфидами меди, цинка и свинца. На Северном месторождении глаукоdot встречается в парагенезисе с аллоклазитом, кобальтином, высококобальтистым глаукоdotом, арсенопиритом, данаитом, моддеритом, сафлоритом, кобальтпиритом, пиритом, халькопиритом, кобальтпентландитом, пирротинном, сфалеритом, галенитом, магнетитом и нерудными минералами различного состава.

На Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении глаукоdot в виде мелких вкраплений и прожилков приурочен к трещинам в гранат-эпидот-магнетитовых скарнах, а также в кобальтин-аллоклазитовых рудах, ассоциируя с кобальтином, аллоклазитом, сафлоритом, карролитом, виоларитом, пентландитом, пирротинном, сфалеритом, магнетитом и другими сульфидами и сульфосолями.

На Юго-Восточном участке Южного месторождения глаукоdot в тесной ассоциации с кобальтином, аллоклазитом, пиритом и сфалеритом обнаружен в лежачем боку скарноворудной залежи; замещается кобальтином и корродируется поздним кальцитом. Отдельные зерна глаукоdotа отмечены на контакте мраморизованных известняков с дайкой габбро-диабазы. На полированных шлифах глаукоdot количественно уступает высококобальтистому глаукоdotу, кобальтину и кобальтпириту. Местами глаукоdot вместе с кобальтпиритом приурочен к кальцитовым прожилкам на лежачем боку дайки измененных диабазовых порфиритов. В штреке штольни 1 (в 10 м от устья) в кальцит-гранатовых скарнах среднезернистые агрегаты глаукоdotа образуют обособленные гнезда. Отдельные зерна удлинённо-призматической формы встречаются с кобальтином и аллоклазитом в магнетите, гематите, пирите, гранате и кальците. На всех участках Южного месторождения глаукоdot сопровождается высококобальтистым глаукоdotом, аллоклазитом, кобальтином, данаитом, арсенопиритом, сафлоритом, леллингитом, линнеитом, кобальтпиритом, кобальтсодержащим пиритом, халькопиритом, магнетитом, гематитом, сфалеритом, галенитом, миллеритом, кубанитом, самородным висмутом, висмутином, теллурувисмутитом, теллури-том, бисмоклитом и гесситом.

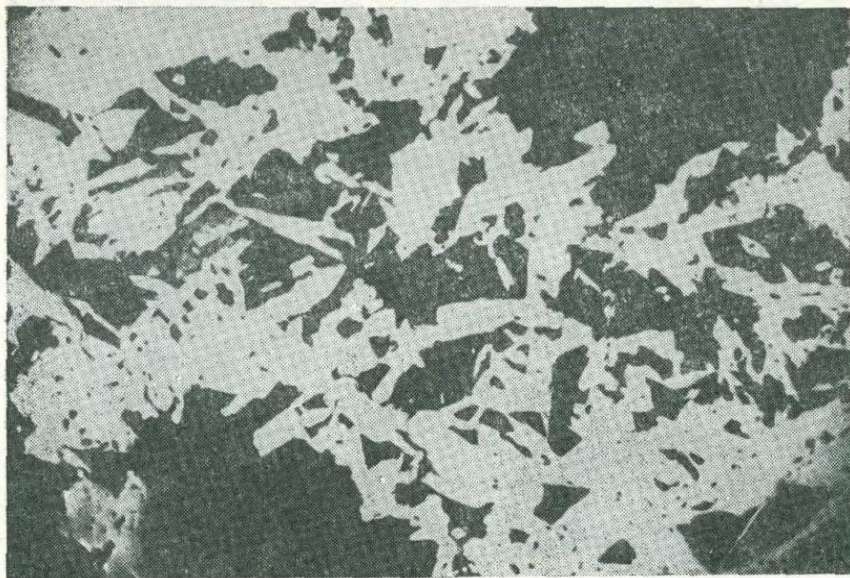


Рис. 99. Агрегаты глаукодота (белое) в хлоритизированной породе (темное). Северное кобальтовое месторождение (обр. 605).
Полированный шлиф, ув. 7

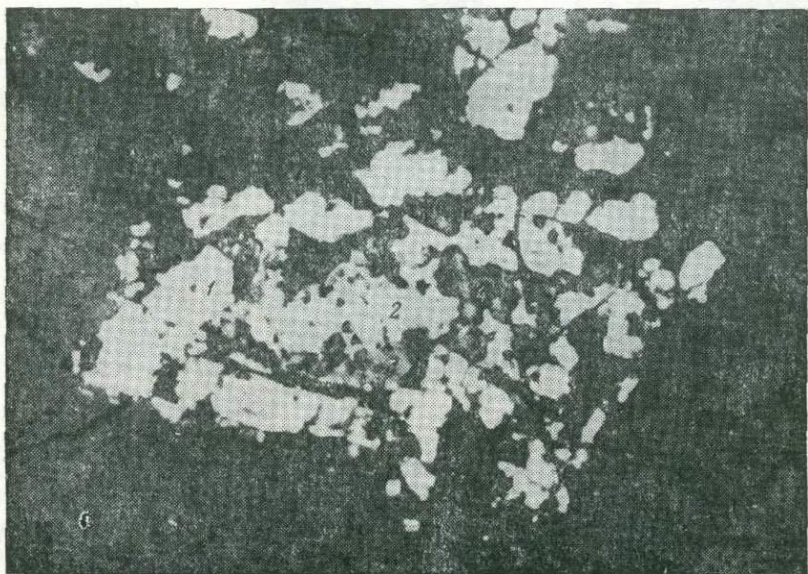
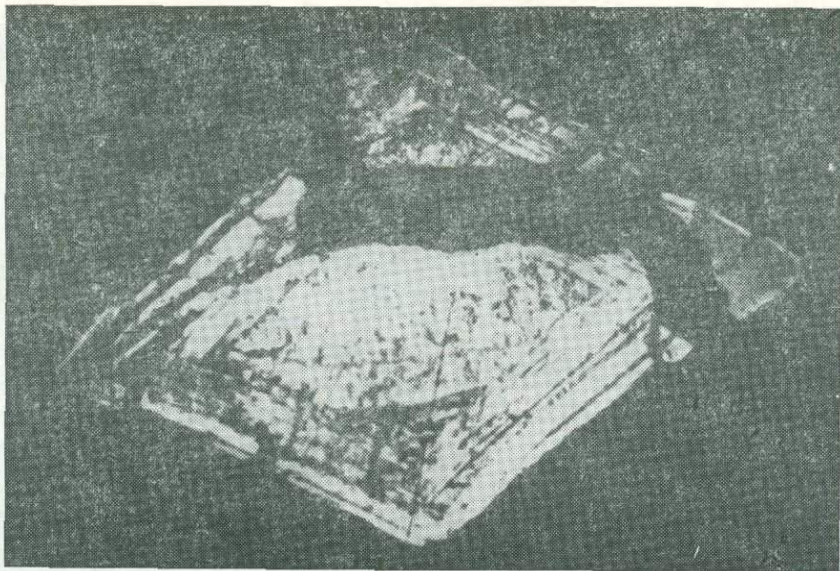
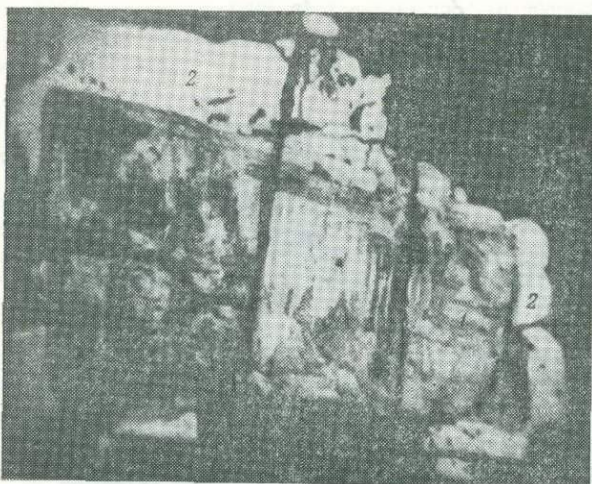


Рис. 100. Скелетная структура глаукодота (1), замещенного халькопиритом (2), сфалеритом (3) и галенитом (4). Главная зона Северного кобальтового месторождения (обр. 596).
Полированный шлиф, ув. 8



↑
Рис. 101. Зональная структура глаукодота. Протравлен HNO_3 (1:1). Главная рудная зона Северного кобальтового месторождения (обр. 585).

Полированный шлиф, ув. 72



←
Рис. 102. Зональная структура глаукодота (1), выявленная после травления NH_4OH под действием электрического тока; вокруг глаукодота вырисовываются камки аллоклазита (2). Главная рудная зона Северного кобальтового месторождения (обр. 595).

Полированный шлиф, ув. 72

Морфология. В виде гнездообразных скоплений и тонких прожилков совместно с высококобальтистым глаукодотом, аллоклазитом, кобальтином, пиритом, кобальтпиритом и кальцитом встречается среди скарнов в кальцитовых прожилках и в массе кобальтоносных пиритов. Мощность прожилков и гнезд колеблется от нескольких миллиметров до 2—3 см. Отдельные зерна размером 1—2 мм встречены в пирите, высококобальтистом глаукодоте, аллоклазите, кобальтице, магнетите и во вмещающих породах. Зональный глаукодот отмечен в скарнах (рис. 101). На Северном кобальтовом и Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождениях глаукодот в рудах и породах образует прожилки, линзы, гнезда и вкрапленники. Во вмещающих породах Северного кобальтового месторождения встречается в виде густой вкрапленности

размером от 0,2 мм до 0,2 см. Отдельные зерна размером, не превышающим 2—3 мм, представлены кристаллами с гранями ромбической призмы {101} и {210}.

Травится глаукодот HNO_3 и NH_4OH под действием электрического тока; выявляется зональная структура (см. рис. 101). Другие реагенты не действуют. В некоторых образцах после травления NH_4OH под действием электрического тока вокруг глаукодота вырисовываются каемки аллоклазита (рис. 102).

Физические свойства. Глаукодот по форме не отличается от кобальтина, аллоклазита, высококобальтистого глаукодота и данаита. На куске образца цвет глаукодота от серовато-оловянно-белого до серебрино-белого. Черта черная. Непрозрачен. Спайность совершенная по {010}, слабая по {101}. Блеск металлический. Излом неровный. Хрупок. В отраженном свете глаукодот белый со слабым розоватым оттенком, хорошо заметным рядом с арсенопиритом; по сравнению с кобальтином и аллоклазитом — белый с розоватым оттенком; близок к высококобальтистому глаукодоту.

Отражательная способность выше, чем высококобальтистого глаукодота, данаита, арсенопирита, аллоклазита; ниже, чем кобальтина. В иммерсии отражательная способность понижается незначительно и резко выделяется розоватый тон. Эффекты анизотропии такие же, как у арсенопирита, но в общем несколько слабее. Двухотражение слабое.

Спектры отражения глаукодота из Северного кобальтового и Южного железо-кобальтового месторождений приведены в табл. 61 и на рис. 103.

Плотность глаукодота из месторождений Дашкесанского рудного района $d_{\text{ср}}$ (в г/см^3) составляет $5,97 \pm 0,02$ (обр. 586) и $6,05 \pm 0,02$ (обр. 615).

Твердость глаукодота при $P=0,68$ Н составляет $H=9,15-10,14$ ГПа, $H_{\text{ср}}=9,78 \pm 0,39$ ГПа.

Мономинеральные спектральные анализы показывают, что постоянными для всех образцов примесями являются (в %): никель 0,1; медь

Таблица 61

Спектры отражения глаукодота, %

Длина волны, нм	Северное месторождение		Южное месторождение			Длина волны, нм	Северное месторождение		Южное месторождение		
	обр. 585	обр. 605	обр. 615	обр. 620	обр. 621		обр. 585	обр. 605	обр. 615	обр. 620	обр. 621
440	52,5	50,0	48,9	49,5	50,5	700	53,8	55,7	56,0	55,9	56,9
460	53,5	50,0	49,0	50,0	50,5	720	53,8	55,6	55,6	55,8	56,7
480	53,0	50,3	49,1	50,3	50,6	740	53,5	55,4	55,6	55,6	56,3
500	53,5	50,6	49,6	50,6	50,7	760	53,8	55,2	55,4	55,5	56,1
520	53,0	51,5	50,3	51,5	51,2	780	53,5	55,0	55,0	55,3	55,8
540	53,8	52,2	51,4	52,2	52,1	800	53,0	54,9	54,0	55,9	55,7
560	54,5	53,0	52,5	53,0	53,4	850	53,0	54,0	54,0	54,8	55,1
580	54,8	53,9	53,8	53,9	54,2	900	53,5	53,5	54,0	54,2	54,3
600	54,3	54,8	54,6	54,8	55,4	950	54,0	53,0	53,5	54,2	54,5
620	54,9	55,9	55,6	56,3	56,2	1000	54,2	52,8	54,0	53,8	54,8
640	54,5	56,0	56,0	56,6	56,5	1050	55,8	53,1	54,8	53,5	56,5
660	54,8	55,9	56,0	56,4	57,0	1100	56,1	55,5	57,0	56,5	57,5
680	54,7	55,8	56,1	56,2	57,2						

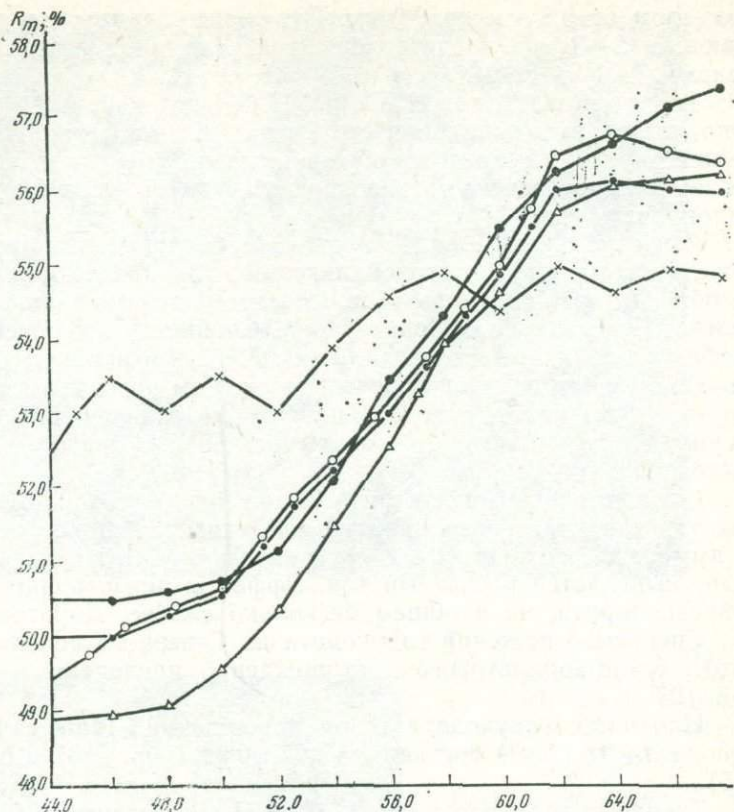


Рис. 103. Спектры

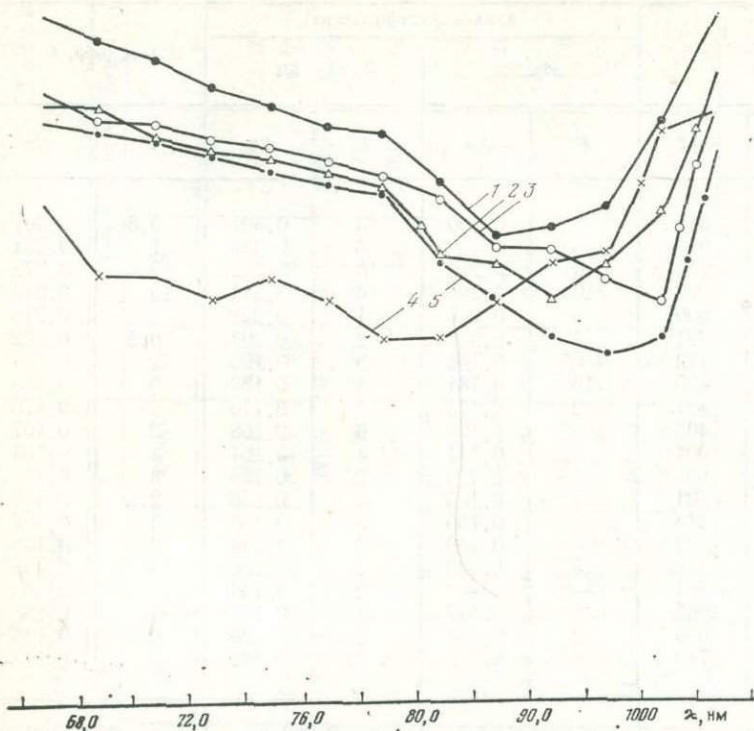
1 — обр. 621, 2 — обр. 615, 3 — обр. 620 из Южного железо-кобальтового створждения

0,2; титан 0,03; свинец 0,03; марганец 0,01—0,03; цинк 0,01 и скандий 0,003.

Рентгеновские исследования. Результаты расчета межплоскостных расстояний и параметры глаукодота приводятся в табл. 62; сравнительная характеристика глаукодота приведена по сопоставлению с литературным источником (эталон) [43]. Характерные линии глаукодота следующие: 0,272 (10), 0,182 (9) и 0,164 (7). Параметры глаукодота рассчитаны и приведены в табл. 62. Значения величин межплоскостных расстояний глаукодота из месторождений АзССР очень близки к эталонным [43].

Химический состав глаукодота приведен в табл. 63. Железо и кобальт, а также мышьяк и сера в составе глаукодота распределены равномерно. С помощью микрозонда получены фотографии участков сканирования размером от 100×100 до 300×300 мкм (рис. 104) и записи кривых распределения Co, Fe, As и S по профилю, проходящему через глаукодот (рис. 105).

Отношение Fe:Co изменяется от 1,75 до 1,82, а отношение Co:Ni — от 1090 до 601. Концентрация мышьяка и серы непостоянна, наблюдаются зональные дефициты. Отношение концентрации As:S изменяется от 1,53 до 0,92. Химический состав глаукодота по табл. 63 нанесен на диаграмму (см. рис. 80).



отражения глаукодота:

месторождения; 4 — обр. 585, 5 — обр. 605 — из Северного кобальтового ме-

ДАНАИТ

Данаит — высококобальтистый арсенопирит * открыт в 1883 г. Хэйсом в образцах из рудника Хэйнес-Стелайт (штат Айдахо, США), позже отмечен в ряде месторождений СССР и за рубежом [34, 40]. Химические анализы данаита из Северного кобальтового месторождения впервые приведены Г. Х. Эфендиевым [42]; минералогическое описание выполнено А. И. Махмудовым [21, 24, 30].

Условия нахождения. Исследован из различных месторождений Дашкесанского рудного района среди скарнов различного состава, в магнетитовых рудах и в зонах сильно раздробленных диабазовых порфиритов. Данаит ассоциирует с арсенопиритом, глаукодотом, высококобальтистым глаукодотом, аллоклазитом, кобальтином, магнетитом, гематитом, халькопиритом, пиритом, кобальтпиритом, моддеритом, сафлоритом, карролитом, леллингитом, миллеритом, линнеитом, зигенитом, самородным висмутом, висмутином, теллуrowисмутитом, теллури- том и электрумом [30]. На Северном кобальтовом месторождении отмечаются зоны вкрапленно-прожилковой минерализации, обогащенные данаитом (Главная рудная зона, жилы 10 и 11). На Южном железо- кобальтовом месторождении среди эпидот-гранатовых скарнов и магне-

* Данаит содержит от 1 до 12 % Со.

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки глаукодота

Северное месторождение (обр. 585)			Южное месторождение				Эталон (обр. 4) [43]	
			обр. 620		обр. 621			
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
3	0,300	011	5	0,300	5	0,301	0,5	0,301
3	0,284	020	—	—	4	0,284	1	0,284
10	0,272	202	10	0,272	10	0,272	10	0,272
10	0,244	220	10	0,245	10	0,244	10	0,245
2	0,221	000	3	0,216	1	0,221	1	0,218
2	0,202	321	1	0,200	2	0,203	0,5	0,202
2	0,196	113	6	0,196	3	0,196	2	0,196
8	0,183	420	10	0,181	8	0,182	9	0,183
3	0,177	421	2	0,173	2	0,175	2	0,175
3	0,167	403	6	0,168	6	0,168	3	0,167
9	0,165	004	7	0,164	4	0,164	4	0,164
3	0,160	600	4	0,158	2	0,159	3	0,159
3	0,156	521	7	0,155	4	0,156	2	0,156
3	0,153	413	8	0,150	8	0,150	3	0,152
2	0,149	022	8	0,149	7	0,148	0,5	0,148
2	0,139	140	5	0,139	3	0,138	4	0,138
1	0,132	531	—	—	2	0,134	1	0,133
1	0,128	005	6	0,127	1	0,127	1	0,128
1	0,125	630	2	0,125	1	0,125	0,5	0,125
6	0,122	710	6	0,122	2	0,122	2	0,122
$a_0=0,961$ нм $b_0=0,566$ нм $c_0=0,641$ нм $\beta \sim 90^\circ$			$a_0=0,961$ нм $b_0=0,566$ нм $c_0=0,652$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,962$ нм $b_0=0,565$ нм $c_0=0,662$ нм $\beta \sim 90^\circ$		$a_0=0,964$ нм $b_0=0,539$ нм $c_0=0,664$ нм $z=24$	

титовых руд встречена арсениpirit-данаитовая жила мощностью до 1 м и прожилки данаит-глаукодот-аллоклазитового состава (из штольни Юго-Восточного участка месторождения). Иногда во вмещающих породах, а также в зонах дробления наблюдаются ромбовидные и удлиненно-призматические зерна данаита (рис. 106). В гранат-эпидот-магнетитовых скарнах данаит вырастает в аллоклазит и кобальтин (рис. 107).

Морфология. Образует во вмещающих породах и арсениpirit-данаит-глаукодотовых рудах ромбовидные и удлиненно-призматические и округлые зерна величиной от 0,1 до 1,0 мм (см. рис. 106). Местами в массе высококобальтистого глаукодота, аллоклазита и кобальтина видны нитевидные, тонкие прожилки мощностью до 1 мм (см. рис. 107). По результатам гониометрического исследования данаита, проведенного А. И. Баженовым [1] (Карагемское месторождение, Юго-Восточный Алтай), выделяются кристаллы данаита двух габитусов — пластинчатые и удлиненные псевдопирамидальные (табл. 64). Пластинчатый габитус кристаллов данаита обусловлен развитием граней трех простых форм: m — [110], c — [001] и e — {101}, а удлиненный псевдопирамидальный — двух: m — 110 и n — 012. Обозначения форм приняты по Дэна (1951 г.). Псевдобипирамидальные кристаллы данаита часто дают двойники, причем плоскостью срастания является грань e [101].

Химический состав глаукодота

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле					
			Fe	Co	Ni	As	S	Сумма	Fe	Co	Ni	As	S	
Северное кобальтовое	585	1	20,0	14,6	0,2	45,4	19,8	100,0	0,58	0,41	0,01	1,00	1,00	
		2	16,9	18,3	—	44,4	20,4	100,0	0,49	0,51	—	0,96	1,04	
	595	3	20,8	14,2	0,1	44,5	20,4	100,0	0,61	0,39	0,002	0,96	1,04	
	596	4	21,00	15,01	0,2	44,78	19,01	100,0	0,61	0,40	0,001	1,03	0,97	
	597	5	19,5	15,4	0,1	45,0	19,0	100,0	0,57	0,43	0,001	1,04	0,96	
		6	17,8	16,5	—	49,5	16,5	100,3	0,54	0,46	—	1,13	0,87	
	605	7	19,0	15,3	—	50,0	15,7	100,0	0,56	0,44	—	1,16	0,84	
		8	20,8	13,0	—	52,0	14,5	100,3	0,62	0,38	—	1,21	0,79	
		9	17,5	17,0	—	49,0	16,5	100,0	0,52	0,48	—	1,12	0,88	
	III	10	18,74	16,06	—	45,29	18,74	99,76	0,55	0,45	—	1,03	0,97	
		IV	11	21,33	12,21	—	45,88	19,38	98,80	0,65	0,35	—	1,01	0,99
		V	12	16,23	19,26	0,02	44,93	18,89	99,33	0,56	0,49	—	1,02	0,98
		I	13	12,83	21,21	—	45,88	19,38	99,30	0,39	0,61	—	1,00	1,00
Южное железно-кобальтовое	615	14	12,0	21,8	0,2	47,6	18,4	100,0	0,36	0,63	0,01	0,99	1,01	
		620	15	21,9	12,5	0,09	46,5	19,1	100,0	0,64	0,36	—	1,01	0,99
	621	16	12,1	21,8	0,1	47,6	18,5	100,0	0,36	0,64	—	0,99	1,01	
	VII	17	14,4	20,2	0,02	44,05	19,69	98,34	0,42	0,58	—	1,00	1,00	
	VIII	18	21,82	13,8	—	43,75	19,7	99,07	0,63	0,37	—	1,00	1,00	

Примечание. Анализы № 1—9, 14—16 выполнены А. И. Махмудовым микрозондом MS-46 «Камека»; № 10 — по данным Г. А. Крутова [16]; № 11 — 13 — по данным Г. Х. Эфендиева [42], № 17 и 18 — по данным Л. П. Кочурова [15], обычные химические.

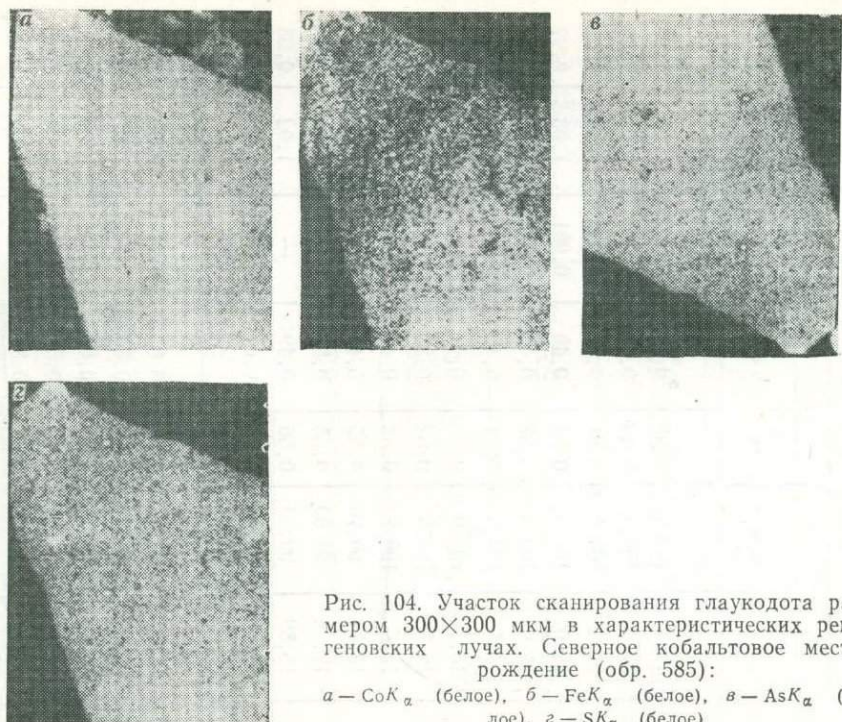


Рис. 104. Участок сканирования глаукодота размером 300×300 мкм в характеристических рентгеновских лучах. Северное кобальтовое месторождение (обр. 585):

a — CoK_α (белое), *b* — FeK_α (белое), *c* — AsK_α (белое), *d* — SK_α (белое)

Травится данаит HNO_3 (1 : 1) с выявлением зональной структуры. После травления по периферии зерен данаита видна каемка глаукодота и высококобальтистого глаукодота.

Физические свойства. Микро- и макроскопически цвет данаита белый и оловянно-белый. От арсенипирита отличается слабо заметным серовато-белым оттенком; от глаукодота и аллоклазита — четкой анизотропией с цветным эффектом от голубого до розовато-желтого, иногда голубовато-серого.

Обладает сильным отражением. В иммерсии в кристаллах данаита по границе с аллоклазитом, глаукодотом, высококобальтистым глаукодотом, кобальтином и пиритом наблюдается отчетливо выраженный синий оттенок. Иногда отмечаются двойники. В наиболее крупных индивидах спайность ясная по [101].

Спектры отражения данаита приведены в табл. 65 и на рис. 108.

Твердость данаита из Северного кобальтового месторождения — $H = 8,14 - 9,84$ ГПа,

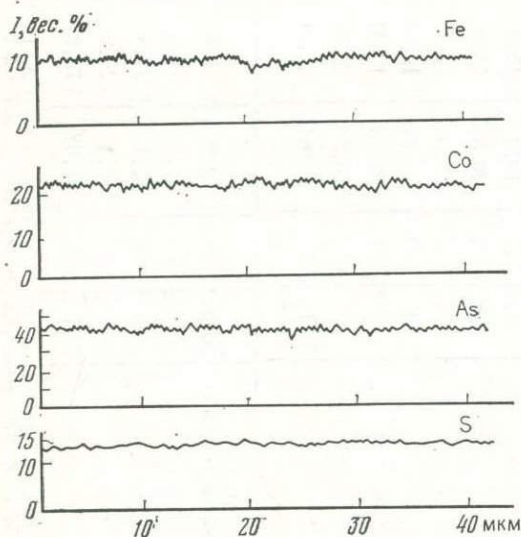


Рис. 105. Кривые распределения Fe, Co, As и S по профилю, проходящему через глаукодот. Северное кобальтовое месторождение (обр. 585)

$H_{\text{ср}} = 8,63$ ГПа, при $P = 0,68 - 0,98$ Н, а данаита из месторождения Якобсбоккен (Норвегия) — $H = 8,07 - 8,55$ ГПа, $H_{\text{ср}} = 8,34$ ГПа при $P = 0,68 - 0,98$ Н, $d_{\text{ср}}$ (в г/см³) составляет: $6,2 \pm 0,02$ (по данным автора) и $6,0 \pm 0,04$ (месторождение Якобсбоккен, Норвегия).

Рентгеновские исследования данаита приводятся в табл. 66. Здесь же для сравнения приведены данные данаита из Карагемского месторождения [1]. Получены следующие параметры: $a = 0,964$ нм, $b = 0,564$ нм, $c = 0,640$ нм, $\beta \approx 90^\circ$; $a : b : c = 1,79 : 1,0 : 1,135$.

Химический состав данаита дан в табл. 67. Были проанализированы образцы данаита, отобранные из Северного кобальтового и Южного железо-кобальтового месторождений. Кроме того, был изучен состав данаита из месторождения Якобсбоккен (Норвегия). Полученные результаты представлены в табл. 66. Здесь же приведены сопоставления по литературным данным (анализы 6 [42], 22 [1] и 23—27 [35]). Химический состав данаита следующий (в %): железо от 23,9 до 35,54, кобальт от 1,20 до 11,7, никель от 0,03 до 1,26. Получены фотографии участков сканирования размером 100×150 мкм (рис. 109), 100×100 мкм (рис. 110) и записи кривых распределения Fe, Co, As и S по профилю, проходящему через данаит (рис. 111). Можно отметить существенный изоморф-

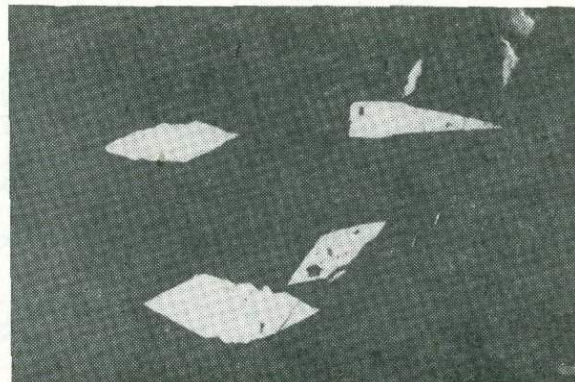
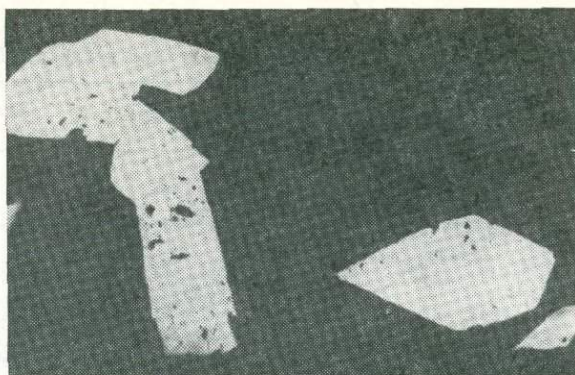


Рис. 106. Кристаллы данаита (белое) в породе (черное). Из штольни Северного кобальтового месторождения (обр. 580).

Полированный аншлиф, ув. 8

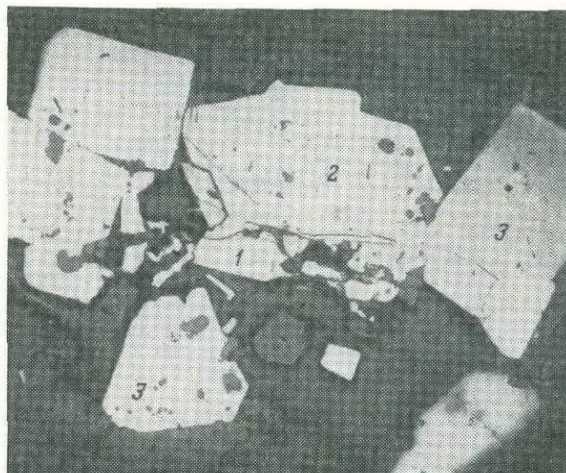


Рис. 107. Данаит (1) в сростании с кристаллами аллоклазита (2) и кобальтина (3). Из штольни Южного железо-кобальтового месторождения (обр. 200)

Полированный шлиф, ув. 56

Гониометрическое исследование данаита

Грани	Значение колебаний углов	Среднее значение колебаний углов	Число измерений
	по А. И. Баженову, 1958 г.	по Дэна, 1951 г.	
110 : 110	68°09'30"—68°15'00"	68°12'15"—68°13'00"	4
110 : 110	111°50'30"—111°45'00"	111°47'45"—111°47'00"	4
012 : 012	61°26'00"—61°25'00"	61°25'30"—61°26'00"	4
012 : 012	118°34'00"—118°35'00"	118°34'30"—118°24'00"	4
101 : 101	59°11'00"—59°22'00"	59°11'30"—59°22'00"	4
101 : 101	60°43'00"—60°42'00"	60°42'30"—60°19'00"	4

физм между железом и кобальтом. Отношение Fe : Co изменяется от 2 до 11,2 в различных образцах данаита внутри одного месторождения, а максимально обнаруженное — от 2 до 27,7. Никель и медь в виде примеси распределены неравномерно (см. рис. 109, 110 и 111). Концентрации серы и мышьяка непостоянные с зональным дефицитом. Отношение концентрации As : S от 3,5 до 0,5. Полученные химические составы данаита по табл. 66 нанесены на диаграмму (см. рис. 80).

Приведенные данные показывают, что данаит отличается от арсенопирита по химическому составу и физическим признакам. Его можно считать самостоятельным минералом из группы арсенопирита. Окончательно вопрос решится после проведения структурных исследований.

АРСЕНОПИРИТ

Арсенопирит из месторождений Азербайджанской ССР описан рядом исследователей [11, 15, 19, 21, 24, 30, 42]. В основном широко распространен на Северном кобальтовом, Южном железо-кобальтовом,

Таблица 65

Спектры отражения данаита, %

Длина волны, нм	Южное месторождение			Северное месторождение	Месторождение Якобсбоккен (Норвегия)	Длина волны, нм	Южное месторождение			Северное месторождение	Месторождение Якобсбоккен (Норвегия)
	обр. 200 ₁	обр. 200 ₂	обр. 200 ₃	обр. 580	обр. 21		обр. 200 ₁	обр. 200 ₂	обр. 200 ₃	обр. 580	обр. 21
440	51,3	50,3	49,7	51,6	50,8	700	52,0	53,0	53,3	51,7	52,6
460	51,0	50,3	49,8	51,0	49,7	720	52,0	53,0	53,4	51,4	52,0
480	50,1	50,4	50,2	51,2	50,3	740	52,1	53,1	53,4	51,2	52,8
500	51,1	50,9	51,0	51,9	50,6	760	52,3	53,3	53,8		
520	51,2	51,1	51,3	51,8	50,9	780	52,4	53,4	53,8		
540	51,4	51,3	51,8	52,0	51,8	800	52,4	53,4	54,0		
560	51,4	51,4	52,0	51,8	52,0	850	53,0	54,2	54,6		
580	51,3	52,0	52,1	51,8	52,2	900	53,4	55,0	55,2		
600	51,2	52,1	52,2	51,7	52,2	950	54,2	55,2	55,8		
620	51,3	52,1	52,4	51,8	52,8	1000	54,3	56,2	56,6		
640	51,4	52,2	52,5	51,7	52,7	1050	55,0	56,4	58,0		
660	51,4	52,3	52,6	51,6	52,5	1100	55,2	57,0	59,2		
680	51,4	52,4	53,0	51,9	53,3						

Примечание. R_m для обр. 200₁, 200₂ и 200₃ изучены на приборе ФМЭ-1 в ЦНИГРИ, а обр. 580 и 21 — на ПИОР в ИГЕМ АН СССР.

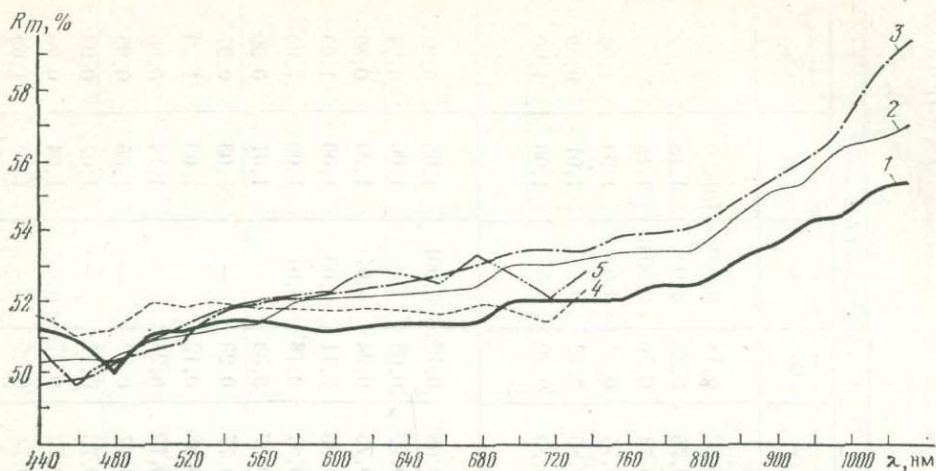


Рис. 108. Спектры отражения данита из месторождений Дашкесанского рудного района:

1 — обр. 200, 2 — обр. 200, 3 — обр. 200, — из Южного; 4 — обр. 580 — из Северного; 5 — обр. 21 — из месторождения Якобсбоккен (Норвегия)

Северо-Восточном железо-кобальтовом, Северо-Западном кобальтсодержащем железорудном, Кашкачайском и Кедабекском кобальтсодержащих медноколчеданных, Кетамском кобальтовом, Килитском кобальт-никельсодержащем вольфрамовом, Агюртском медно-молибденовом и на других месторождениях и рудопроявлениях АзССР.

В месторождениях Дашкесанского рудного района арсенипитрит в кобальтовых рудах составляет 3—4% рудной массы. В сульфоарсенидной массе Северного кобальтового и Южного железо-кобальтового месторождений арсенипитрит по распространенности (после кобальтина, ал-

Таблица 66

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки данита

Северное месторождение (обр. 580)			Южное месторождение (обр. 620)		Карагемское месторождение (обр. 1) [1]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>hkl</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
3	0,367	210	1	0,363	1	0,365
10	0,267	202	2	0,267	8	0,266
2	0,2558	311	2	0,2568	1	0,254
8	0,2443	220	8	0,2440	8	0,242
2	0,2210	410	10	0,2211	—	—
5	0,1633	330	2	0,1630	3	0,1628
2	0,1588	331	—	—	1	0,1579
3	0,1533	014	1	0,1520	1	0,1526

$a=0,964$ нм $\beta \sim 90^\circ$;
 $b=0,564$ нм $a:b:c=1,79$;
 $c=0,640$ нм $1:1,56$

Химический состав данаита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %						Коэффициент в формуле				
			Fe	Co	Ni	As	S	Сумма	Fe	Co	Ni	As	S
Северное кобальтовое	580	1	26,1	6,0	0,5	51,2	14,5	97,9	0,82	0,18	0,004	1,20	0,80
		2	24,5	7,6	1,0	50,8	15,2	99,1	0,76	0,22	0,02	1,18	0,82
		3	23,8	8,8	0,1	50,6	15,2	98,5	0,74	0,26	0,003	1,18	0,82
	585	4	26,0	7,4	1,26	45,6	19,7	99,96	0,76	0,21	0,03	1,00	1,00
	586	5	29,85	4,22	0,02	48,45	19,7	100,0	0,86	0,12	0,001	1,01	0,99
	587	6	27,05	7,02	—	45,56	19,25	98,80	0,80	0,20	—	1,00	1,00
Южное железкобальтовое	200	7	29,7	4,0	0,05	48,7	17,9	100,35	0,88	0,12	0,001	1,08	0,92
		8	31,3	2,8	—	47,6	18,2	99,9	0,92	0,08	—	1,06	0,94
	205	9	25,0	8,2	0,2	52,1	14,9	100,4	0,75	0,24	0,01	1,20	0,80
		10	29,2	3,9	1,2	45,8	19,7	99,8	0,86	0,11	0,03	1,00	1,00
	206	11	27,6	6,4	0,4	45,8	19,6	99,8	0,81	0,18	0,01	1,00	1,00
		12	23,6	11,7	—	46,1	19,2	100,6	0,67	0,33	—	1,01	0,99
		13	26,5	8,2	—	47,1	18,9	100,7	0,77	0,23	—	1,03	0,97
	450	14	30,2	4,5	—	46,0	19,5	100,2	0,88	0,12	—	1,00	1,00
		15	24,0	10,0	—	49,4	16,6	100,0	0,72	0,28	—	1,14	0,86
		16	26,7	7,8	—	47,5	18,3	100,3	0,77	0,23	—	1,05	0,95
		17	24,5	9,7	—	48,0	18,0	100,2	0,73	0,27	—	1,07	0,93
	615	18	23,9	9,6	0,4	47,5	18,8	100,2	0,72	0,27	0,01	1,04	0,96
	620	19	24,55	10,46	—	45,11	20,28	100,4	0,71	0,29	—	1,00	1,00

Якобсбокени (Норвегия)	21	20	33,25	1,20	0,03	43,81	21,96	100,25	0,97	0,03	0,001	0,96	1,04
		21	33,32	1,21	0,03	43,80	22,23	100,59	0,97	0,03	0,001	0,96	1,04
Карагемское (СССР)	22	22	33,82	4,94	—	42,61	18,63	100,0	0,85	0,15	—	0,99	1,01
Нордмаркен (Швеция)	23	23	31,42	3,07	—	45,77	19,74	100,0	0,92	0,08	—	1,00	1,00
Рудник Мошинг-Стар (Британская Колумбия)	24	24	29,65	3,05	—	47,6	19,7	100,0	0,91	0,09	—	1,02	0,98
Сулетьелма (Норвегия)	25	25	33,93	6,81	—	38,40	20,75	99,89	0,95	0,20	—	0,88	1,12
Рудник Феникс-Принс, Зимбабве	26	26	35,54	5,36	0,4	40,66	19,93	101,89	0,83	0,16	0,01	0,98	1,02
Рудник Хейнес-Стелайт (США)	27	27	27,26	8,71	—	46,93	17,10	100,0	0,84	0,26	—	1,08	0,92

Примечание. Анализы № 1—5, 7—21 выполнены А. И. Махмудовым, И. П. Лапутиной [30] микрозондом MS-46 «Камека»; № 6 — по данным Г. Х. Эфендиева [42], № 22 — по данным А. И. Баженова [1], обычные химические.

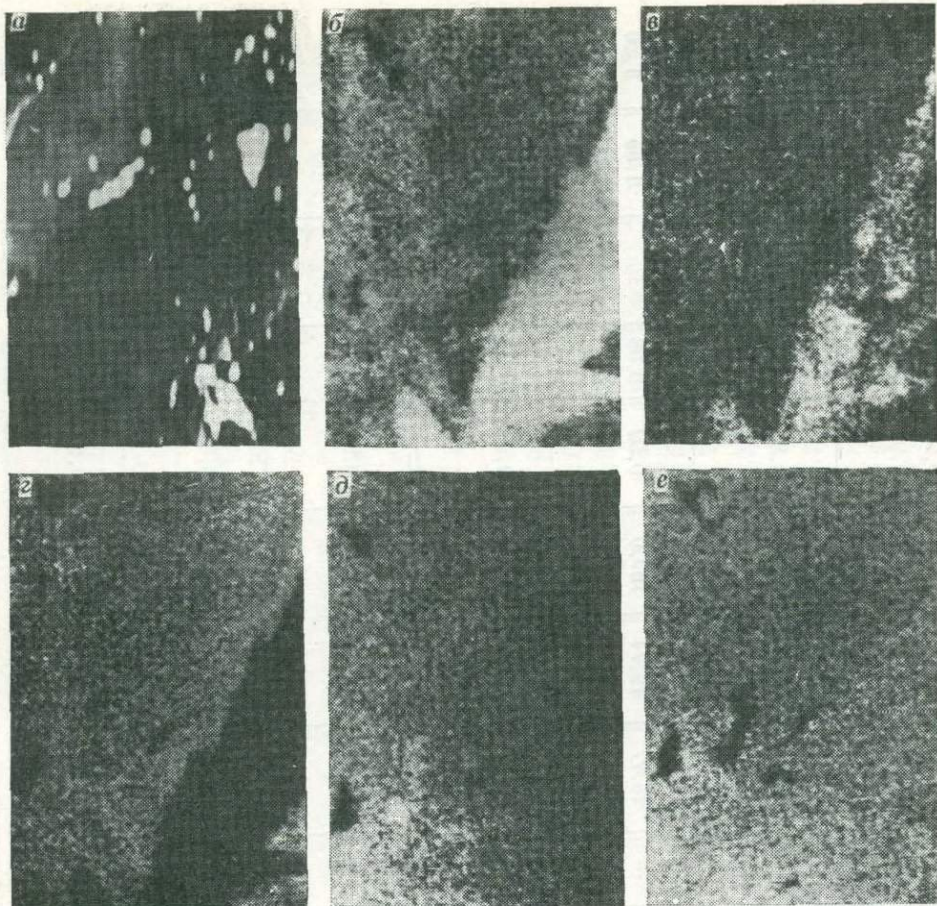


Рис. 109. Участок сканирования дананта размером 100×150 мкм. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 200).

a — в поглощенных электронах и в характеристическом рентгеновском излучении: *b* — FeK_{α} (белое), *в* — CoK_{α} (белое), *г* — NiK_{α} (белое), *д* — AsK_{α} (белое), *е* — SK_{α} (белое)

локлазита, высококобальтистого глаукодота и кобальтсодержащего арсенопирита) занимает пятое место. Обнаружены прожилки, вкрапления и гнезда крупно- и среднезернистого арсенопирита. На Северном кобальтовом месторождении ассоциирует с данантом, глаукодотом, высококобальтистым глаукодотом, аллоклазитом, кобальтином, пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом I, пирротином I, саффоритом, моддеритом. Из нерудных минералов арсенопирит сопровождают кварц II и хлорит I. Для сульфоарсенидов характерна раздробленность зерен с выполнением трещинок более поздними минералами: халькопиритом I, пирритом II, кварцем III, хлоритом II и кальцитом. В этой ассоциации арсенопирит, как и пирротин I, является одним из наиболее ранних по времени выделений минералов. Остальные рудные минералы ксеноморфны по отношению к нему, образуя каемки вокруг его зерен.

На Южном железо-кобальтовом месторождении среди скарноворудной толщи была обнаружена кобальтсодержащая арсенопиритовая жила с примесью бурнонита [24]. Основная масса массивных руд состоит (в %): из арсенопирита 90, дананта 9, бурнонита 0,2, сфалерита 0,2,

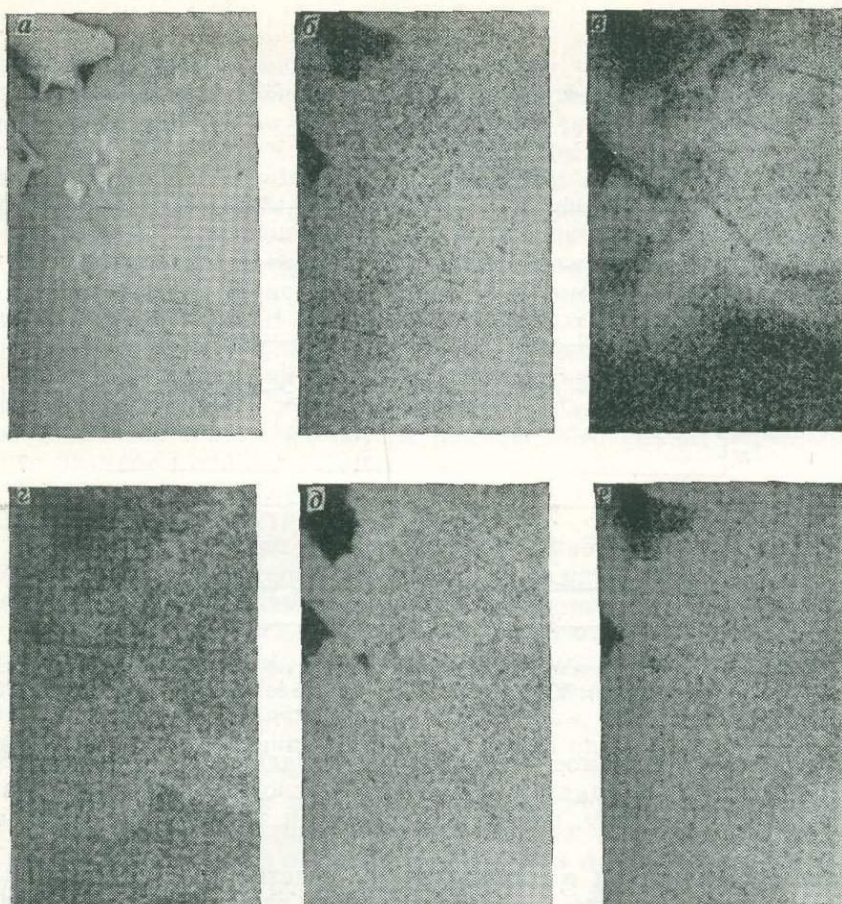


Рис. 110. Участки сканирования данаита размером 100×100 мкм.
a — в поглощенных электронах и в характеристическом рентгеновском излучении: *б* — FeK_{α} (белое), *в* — CoK_{α} (белое), *г* — NiK_{α} (белое), *д* — AsK_{α} (белое), *е* — SK_{α} (белое). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 206)

халькопирита 0,2, пирита 0,2, галенита 0,1 и пирротина 0,1. Арсенопирит сильно раздроблен, цементируется прозрачным минералом и реже сульфидами, в том числе бурнонитом. Арсенопирит (из штольни Юго-Восточного участка этого месторождения) был встречен среди хлорит-эпидот-гранатовых скарнов. На Пирсултанском участке Южного месторождения среди ромборадиально-лучистых агрегатов арсенопирита наблюдается кобальтсодержащий леллингит. В отличие от Северного кобальтового месторождения на описываемом месторождении арсенопирит, кроме минералов арсенидов и сульфоарсенидов кобальта, сопровождается магнетитом, гематитом, леллингитом, молибденитом, линнеитом, миллеритом, висмутином, теллурувисмутитом и другими минералами рудных и нерудных скарнов.

В незначительном количестве вкрапленность арсенопирита наблюдается в хлорит-дашкесанитовом скарне совместно с ильвантом. Характерно, что во всех перечисленных ассоциациях арсенопирит обособлен от прочих сульфидов. Другие зерна арсенопирита в ассоциации с сульфидами отмечаются в сульфидных фракциях, выделенных из массивной магнетитовой руды и эпидот-гранат-магнетитового скарна Юго-Запад-

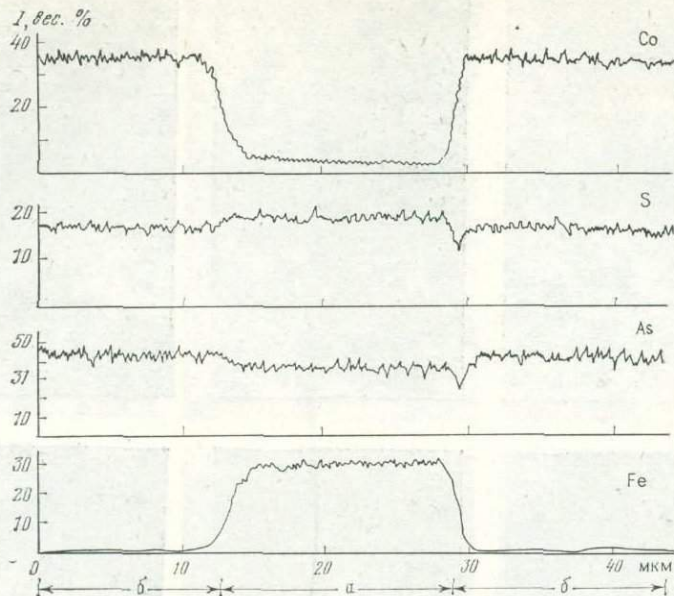


Рис. 111. Кривые распределения Fe, As, S и Co по профилю, проходящему через данаит (а) и аллоклазит (б). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 200)

ного участка и Северо-Восточного железо-кобальтового месторождения. Сульфиды в этих фракциях представлены в основном пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, иногда с отдельными зернами борнита и сфалерита.

На Юго-Восточном и Юго-Западном участках месторождения арсенопирит количественно уступает данаиту, глаукоdotу, аллоклазиту, кобальтину и пириту, а местами халькопириту. В большинстве случаев его лучистые скопления, вкрапленники и прожилки находятся в скарнах. Арсенопирит в медно- и серноколчеданных рудах Кашкачая определен под микроскопом в ассоциации с халькопиритом, аллоклазитом, молибденитом, пирротинном, тетрадимитом, гесситом, марказитом, сфалеритом, галенитом и нерудными минералами — кварцем, кальцитом.

В Кедабекском рудном районе вкрапленники арсенопирита встречаются в халькопиритовых рудах. Кроме того, редкие идиоморфные выделения арсенопирита совместно со сфалеритом и халькопиритом находятся в кварце [42].

На Килитском месторождении встречается в виде мелких вкрапленников в пирротине и халькопирите. На Кетамском и Агюртском месторождениях обнаружен микроскопически в пирит-халькопиритовых и кобальтпиритовых рудах. На Кетамском месторождении арсенопирит ассоциирует с кобальтпиритом, зигенитом, пиритом и халькопиритом; из нерудных минералов — с кварцем, кальцитом, эпидотом и гранатом, на Агюртском — с пиритом, халькопиритом, молибденитом, сфалеритом, марказитом, козалитом и пирротинном. Колчеданосные кварцевые жилы Агюртского месторождения содержат арсенопирит, самородный висмут, серебро, электрум, висмутин, матильдит и теллуrowисмут.

Морфология. Встречается в виде зернистых агрегатов монокристаллов, двойников и тройников в различных кобальтовых и кобальтсодержащих рудах. В Северном кобальтовом месторождении найдены отдельные удлиненные кристаллы арсенопирита размером $1 \times 0,5$ см.

Арсенопирит (Южное месторождение) — кристаллографически индивидуализированный минерал, иногда имеет короткие призматические формы выделений, а также характерные двойники прорастания и срастания. Эти двойники по [100] и [001] приводят к образованию псевдоромбических кристаллов. Заметны эпитактические срастания арсенопирита с данаитом, глаукодомом, аллоклазитом и кобальтином, а также с бурнонитом, галенитом, пиритом, халькопиритом и реже пирротином. Во всех случаях арсенопирит и данаит наблюдаются в виде неравномерной вкрапленности среди массивных магнетитовых, хлорит-магнетитовых и кальцит-магнетитовых руд. Обычный размер зерен арсенопирита до 1,5—2,0 мм. В кальцит-магнетитовых рудах, кроме вкрапленности, арсенопирит образует короткие маломощные прожилки (1,5—2,0 мм), как правило, на контакте зерен магнетита и кальцита. В рудах других месторождений и рудопроявлений под микроскопом наблюдаются удлиненно-призматические и ромбовидные формы зерен арсенопирита размером от 0,1 до 0,5 мм.

Травится арсенопирит HNO_3 (1:1) в течение 1 мин, при этом выявляется зональное строение зерен.

Физические свойства. Макроскопически цвет арсенопирита оловянно-белый. Цвет черты серовато-серый. Блеск металлический. Макроскопически похож на хлоантит, смальтин, герсдорфит и леллингит.

Характерные оптические свойства позволяют легко диагностировать минерал в полированных шлифах. Арсенопирит обладает высокой отражательной способностью и четкой анизотропией с цветным эффектом от голубоватого до коричневатого-желтого цвета. Явления двуотражения заметны лишь в иммерсии и выражены слабо при незначительном цветном эффекте в желтовато-розовых тонах.

Спектры отражения арсенопирита приведены в табл. 68 и на рис. 112. Величина R_m постепенно возрастает на участке спектра 580—780 нм, изменяясь незначительно, но, начиная с участка спектра 800—1100 нм, опять постепенно увеличивается. ИКС арсенопирита совпадает с ИКС кобальтина, аллоклазита и высококобальтистого глаукодота (рис. 113).

Таблица 68

Спектры отражения арсенопирита, %

Длина волны, нм	Южное месторождение (обр. 535)	Агюртское месторождение (обр. 213)	Северное месторождение (обр. 585)	Длина волны, нм	Южное месторождение (обр. 535)	Агюртское месторождение (обр. 213)	Северное месторождение (обр. 585)
440	50,4	49,8	50,6	700	50,6	52,3	51,8
460	51,8	50,8	51,6	720	50,5	52,1	52,0
480	52,0	52,2	52,0	740	50,4	52,0	51,6
500	52,1	52,0	52,0	760	51,0	52,0	51,4
520	52,6	52,3	52,8	780	51,5	52,1	51,8
540	52,7	51,8	52,6	800	52,0	52,2	52,2
560	52,0	50,6	52,4	850	53,0	52,3	52,8
580	51,8	51,0	51,8	900	52,5	52,2	52,6
600	51,3	51,4	51,4	950	52,8	52,4	52,8
620	51,0	51,6	51,2	1000	52,6	52,3	52,4
640	50,8	52,0	51,0	1050	52,8	53,0	52,8
660	50,7	52,1	50,8	1100	53,2	53,8	53,0
680	50,5	52,2	51,6				

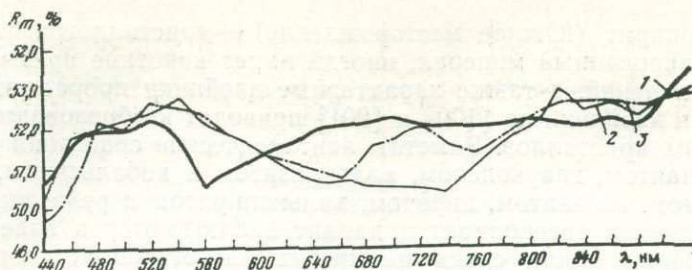


Рис. 112. Спектры отражения арсенопирита из месторождений Дашкесанского рудного района:

1 — обр. 213 — из Агюртского; 2 — обр. 535 — из Южного; 3 — обр. 585 — из Северного

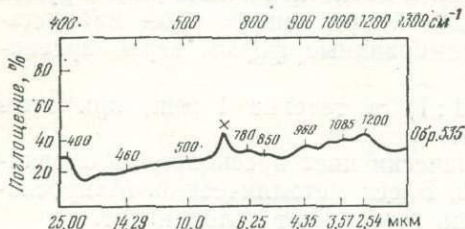


Рис. 113. Инфракрасный спектр (ИКС) кобальтсодержащего арсенопирита. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 535). Отмеченное крестиком (x) относится к вазелиновому маслу

Твердость арсенопирита из Южного месторождения: $H = 10,28 - 11,02$ ГПа, $H_{ср} = 10,21 \pm 0,04$ ГПа, $P = 0,68 - 0,98$ Н; из Северного кобальтового месторождения $H = 8,96 - 11,02$ ГПа, $H_{ср} = 9,91 \pm 0,16$ ГПа, $P = 0,98$ Н. Отмечается анизотропия твердости II рода.

Плотность арсенопирита из Южного месторождения $d_{ср} = 6,1 \pm 0,04$ г/см³.

Результаты анализов кобальтсодержащего арсенопирита из названных месторождений, полученных в спектральных лабораториях ИГЕМ и ВИМС, следующие (в %): кобальт 0,01—0,1, никель 0,003—0,005, медь 0,05—2,0, свинец 0,002—0,1, цинк 0,008—0,05 и др. Pb, Sb, Cu связаны с бурнонитом и в незначительном количестве с другими сопутствующими рудными и нерудными минералами.

Рентгеновские исследования. Дифрактограмма арсенопирита из Южного месторождения (обр. 535) приводится в табл. 69. Характерные

Таблица 69

Межплоскостные расстояния арсенопирита

По данным А. И. Махмудова [24]				По данным В. И. Михеева [35]			
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
1,3	0,368	3	0,367	1,2	0,1588	7	0,1594
0,4	0,337	—	—	1,3	0,1543	7	0,1541
2,8	0,290	3	0,293	0,5	0,1482	4	0,1477
10	0,267	10	0,266	0,5	0,1387	4	0,1391
6,6	0,244	9	0,244	0,7	0,1335	8	0,1338
0,3	0,228	—	—	0,5	0,1276	4	0,1276
0,4	0,2168	—	—	0,7	0,1221	7	0,1224
1,2	0,2103	—	—	0,5	0,1192	3	0,1184
0,5	0,2027	5	0,2001	—	—	5	0,1113
1,2	0,1946	6	0,1943	0,8	0,1107	6	0,1107
1,8	0,1766	7	0,1758	0,6	0,1052	8	0,1049
0,5	0,1687	5	0,1698	0,6	0,1046	8	0,1046

Химический состав арсенипирита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
			Fe	Co	As	S	Сумма	Fe	Co	As	S
Северное кобальтовое	585	1	34,1	0,40	46,8	19,9	100,2	0,99	0,01	1,00	1,00
	586	2	30,01	1,07	46,63	19,48	100,5	0,96	0,11	1,00	1,00
	587	3	33,72	0,50	45,73	19,23	99,18	0,99	0,01	1,00	1,00
Моллагасанлинское кобальтсодержащее полиметаллическое	588	4	33,91	0,08	45,86	19,51	99,36	1,00	0,002	1,00	1,00
Южное железо-кобальтовое	535	5	34,4	—	46,3	19,1	99,8	1,00	—	1,00	1,00
	536	6	34,4	0,02	46,3	19,48	100,2	1,00	0,001	1,00	1,00
	537	7	33,9	0,1	46,4	19,60	100,0	0,99	0,01	1,00	1,00
Агюртское медномолибденовое	2412	8	34,28	—	46,02	19,69	99,99	1,00	—	1,00	1,00
		9	34,29	—	46,02	19,69	100,00	1,00	—	1,00	1,00
		10	34,28	—	46,02	19,70	100,00	1,00	—	1,00	1,00
		11	34,29	—	46,01	19,69	99,99	1,00	—	1,00	1,00
		12	34,28	—	46,03	19,69	100,00	1,00	—	1,00	1,00
	2413	13	34,41	—	46,31	19,26	99,98	1,02	—	1,01	0,99
		14	34,30	—	46,10	19,60	100,00	1,00	—	1,00	1,00
		15	34,29	—	46,02	19,68	100,00	1,00	—	1,00	1,00
		16	34,29	—	46,02	19,68	100,00	1,00	—	1,00	1,00
	17	34,28	—	46,03	19,69	100,00	1,00	—	1,00	1,00	

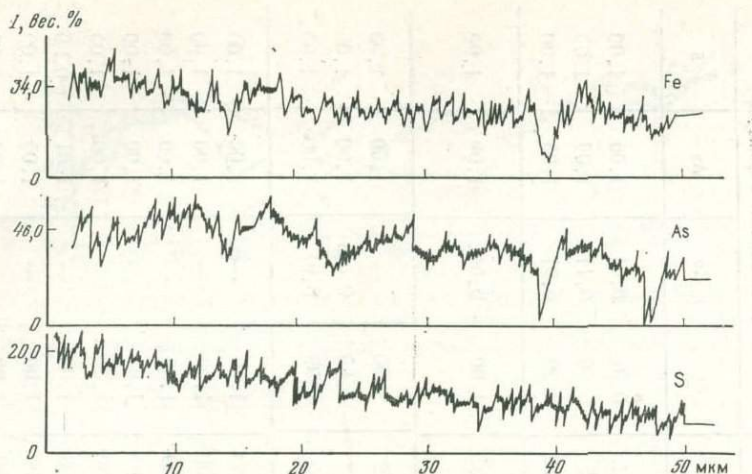


Рис. 114. Кривые распределения Fe, As и S по профилю, проходящему через арсенопирит. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 635)

линии арсенопирита (обр. 535): 0,267 (10), 0,2445 (6, 6) и 0,1828 (3, 8). Параметры арсенопирита, по литературным данным [34], следующие: $a=0,953$; $b=0,566$; $c=0,643$, $\beta \approx 90^\circ$; $a:b:c=1,684:1:1,136$, $z=8$.

Химический состав арсенопирита приведен в табл. 70. Получены записи кривых распределения Fe, Co, Ni, As и S из Северного кобальтового и из Агюртского медно-молибденового месторождений (рис. 114).

Арсенопирит из Северного месторождения характеризуется высоким содержанием кобальта — от 0,40 до 1,07%. Отношение кобальта к железу (1:9,9) в кобальтсодержащем арсенопирите увеличивается до 1:4 в данаите, а отношение Fe:Co:Ni к мышьяку и сере имеет незначительное колебание, в среднем приближаясь к 1:1:1. Арсенопирит данного месторождения содержит ничтожные примеси никеля (от 0,0 до 0,02%). Химические составы арсенопирита и кобальтсодержащего арсенопирита нанесены на диаграмму (см. рис. 80).

Сульфосоли

ТЕННАНТИТ

Условия нахождения. Мельчайшие (до 0,2 мм) прожилкообразные выделения и прожилки теннантита в кобальтоносных сульфидных и сульфоарсенидных рудах включены в халькопирит, борнит и арсенопирит или распадаются по их периферии.

Теннантит представлен двумя генерациями. Мелкие неправильной формы зерна теннантита I и II заполняют межзерновые пространства сфалерита и галенита, сфалерита и халькопирита, иногда кварца и халькопирита. По границам между сфалеритом, галенитом и теннантитом проникают эмульсионные и нитеобразные выделения халькопирита II и III генераций. В теннантите II генерации наблюдаются более поздние выделения самородного золота, электрума и др.

Вкрапленники теннантита в жильной массе и во вмещающих породах ассоциируют с халькопиритом, борнитом, галенитом, сфалеритом, кубанитом, пиритом, кобальтпиритом, пирротинном, молибденитом, гематитом, реалгаром, кварцем, кальцитом, серицитом. В кристаллах теннантита наблюдается двойникование. Образует ориентированные сра-

Спектры отражения теннангита, %

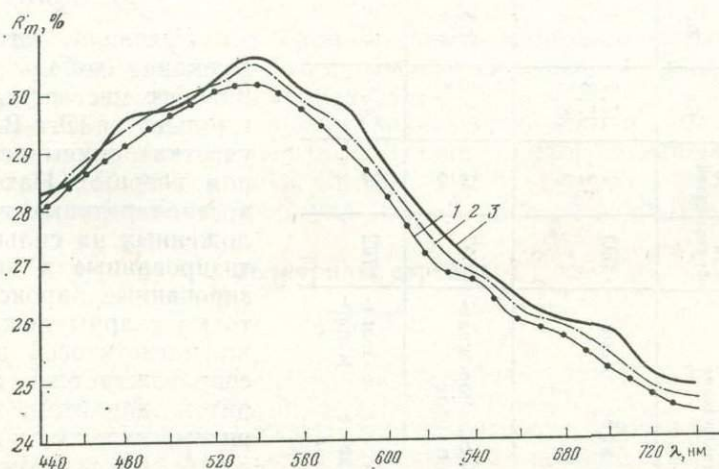
Длина волны, нм	Северное месторождение (обр. 590)	Северо-Восточное месторождение (обр. 607)	Кашкачайское месторождение (обр. 702)	Длина волны, нм	Северное месторождение (обр. 590)	Северо-Восточное месторождение (обр. 607)	Кашкачайское месторождение (обр. 702)
440	28,0	28,1	28,2	600	28,2	28,4	28,6
460	28,6	28,8	28,7	620	27,0	27,4	27,7
480	29,2	29,4	29,5	640	26,7	26,8	26,9
500	29,6	29,8	29,7	660	26,0	26,1	26,4
520	30,0	30,1	30,2	680	25,8	25,9	26,0
540	30,2	30,5	30,6	700	25,2	25,4	25,8
560	29,8	29,9	30,0	720	24,7	24,8	25,0
580	29,4	29,6	29,8	740	24,4	24,6	24,8

станции с халькопиритом, электрумом, самородным золотом, серебром, висмутом, висмутинном, теллурувисмутитом, ортоклазом, кварцем.

Физические свойства. В отраженном свете серовато-белый с голубовато-зеленоватым оттенком. В скрещенных николях и в инфракрасных лучах изотропен. От станнина и бурнонита отличается изотропностью, от тетраэдрита — голубовато-зеленоватым оттенком, более яркими рефлексами. В иммерсии внутренние рефлексы коричнево-красные.

Дисперсии отражательной способности теннангита I и II генераций практически одинаковы; величина R_m постепенно возрастает при переходе из коротковолновой в средневолновую часть спектра 440—740 нм. Для отражений теннангита характерен широкий максимум при 540 нм. Наибольшая величина отражения ($R_m=30,5\%$; $\lambda=540$ нм) характеризует теннантит (табл. 71, рис. 115).

Твердость теннангита при $P=0,49$ Н (по данным трех замеров): $H=3,01-3,89$ ГПа, $H_{cp}=3,32\pm 0,03$ ГПа. Плотность теннангита $d_{cp}=4,60\pm 0,02$ г/см³.

Рис. 115. Спектры отражения (R_m) теннангита:

1 — обр. 590 из Северного кобальтового; 2 — обр. 607 из Северо-Восточного железо-кобальтового и 3 — обр. 702 из Кашкачайского кобальтсодержащего медноколчеданного месторождений

Химический состав теннантита

Месторождение	№ образца анализа	№ анализа	Содержание, вес. %										Коэффициент в формуле				
			Cu	Zn	Fe	Ag	Sb	As	S	С у м м а	Cu	Zn	Fe	Ag	Sb	As	S
Северное кобальтовое	590	1	37,7	6,8	2,7	2,7	9,1	13,8	26,6	99,4	9,45	1,62	0,75	0,39	2,87	1,16	13,0
		2	37,8	6,8	2,6	2,8	9,2	14,3	26,5	100,0	9,45	1,62	0,75	0,39	2,90	1,17	13,0
		3	38,5	6,6	2,3	2,2	8,8	14,6	26,5	99,0	9,64	1,52	0,64	0,31	2,90	1,19	13,0
Северо-Восточное железокобальтовое	607	4	38,6	6,5	2,4	2,5	9,0	14,6	26,4	100,0	9,65	1,50	0,65	0,38	2,90	1,18	13,0
		5	38,8	6,4	2,5	2,6	9,0	14,7	26,5	100,5	9,66	1,50	0,68	0,38	2,91	1,19	13,0
Кашкачакское кобальтосодержащее медноколчеданное	702	6	38,9	6,6	2,1	1,8	7,9	14,9	26,9	99,1	9,66	1,55	0,58	0,26	3,09	1,01	13,0

Травится от паров HNO_3 ; тускнеет. Выявляется структура: 1) $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$; 2) $4 \text{ см}^3 \text{HNO}_3 + 19 \text{ см}^3 \text{HCl} + 5-12 \text{ см}^3 \text{H}_2\text{O}$.

Главные рентгеновские линии теннантита следующие: 0,294 (10); 0,255 (6); 0,240 (4); 0,1803 (10); 0,1537 (8); 0,1170 (4).

Параметры элементарной ячейки теннантита следующие: $a_0 = 1,021$; $b_0 = 1,021$; $c = 1,021$; $\alpha = 90^\circ$; $\beta = 90^\circ$; $\gamma = 90^\circ$.

Спектральными анализами в теннантите разных генераций обнаружены (в %): Fe—1, Cu—1, Zn—1, Pb>1, As~1, Sb~0,1, Sr—0,3, Cd—0,1, Mn—0,2, Mo—0,1001, Al—0,3, Ti—0,5, Ni, Ga и Al—0,001, Cr—0,003, Mg—0,01, Sn—0,004.

Химический состав теннантита приведен в табл. 72.

В зернах теннантита Fe, Cu, Zn, Ag, Sb, As и S распределены равномерно. Результаты анализов рассчитывались по формуле, соответствующей теоретической.

БУРНОНИТ

Условия нахождения. Бурнонит кобальтовых руд Южного месторождения (из штольни Юго-Восточного участка) описывается автором впервые. Находится в арсенопиритовых жилах, наложенных на сильно эпидотизированные и карбонатизированные пироксен-гранатовые скарны лежачего блока магнетитовой залежи и сопровождается арсенопиритом, данаитом, халькопиритом, пиритом, глаукодом, аллоклазитом, кобальтином, магнетитом, гематитом, теллуридами и сульфидами Cu, Ni, Fe и Cu.

Межплоскостные расстояния бурнонита

По данным А. И. Махму- дова [22]		По данным В. И. Михеева [35]		По данным А. И. Махму- дова [22]		По данным В. И. Михеева [35]		По данным А. И. Махму- дова [22]		По данным В. И. Михеева [35]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
2	0,469	2	0,47	5	0,2584	8	0,258	7	0,1422	6	0,1421
2	0,428	4	0,432	7	0,1980	8	0,1980	5	0,1392	2	0,1388
7	0,387	8	0,386	7	0,1946	8	0,1945	1	0,1357	2	0,1360
5	0,368	6	0,368	8	0,1768	8	0,1763	1	0,1338	2	0,1332
4	0,326	2	0,325	5	0,1621	6	0,1625	3	0,1230	2	0,1227
6	0,298	8	0,296	3	0,1558	6	0,1555	4	0,1148	2	0,1145
10	0,2732	10	0,273	1	0,1480	2	0,1481	4	0,1105	2	0,1106

Морфология. Нитевидные прожилки бурнонита мощностью 0,5 мм секут арсенопирит. Под микроскопом видно развитие его по периферии кобальтовых прожилков в виде аллотриоморфных выделений в массе арсенопирита. Размер зерен от 0,1 до 1—2 мм. Гнезда, прожилки и вкрапленники бурнонита в массе арсенопирита составляют около 1%.

Физические свойства. В отраженном свете бурнонит зеленовато-серый, белый. На фоне кварца белый с голубовато-зеленоватым стеньком. Отражательная способность для зеленых лучей $R_m = 33,5\%$, оранжевых — 30%, красных — 29,5%. Двухотражение в воздухе незаметно, в иммерсии слабое. Анизотропен. В скрещенных николях строение двойниковое. В иммерсии заметны густые внутренние рефлексии.

Из Южного месторождения: $H = 1,79—1,92$ ГПа, $H_{cp} = 1,78$ ГПа, при $P = 0,49$ Н.

Травится HNO_3 (1:1); разлагается с образованием голубого раствора и выпадением осадка, содержащего S, Sb и Pb. В парах царской водки тускнеет. Экспозиция 3—5 мин. Растворитель NH_4OH . Проявитель: рубеоновая кислота. Отпечаток серо-зеленого цвета. При микроскопической реакции на свинец растворитель NH_4OH , экспозиция 1 мин. Проявитель KI (5%). Пленка лимонно-желтого цвета. При действии концентрированной дымящей бромисто-водородной кислоты (в ледяной уксусной кислоте) в течение 2—5 с выявляются полисинтетические двойники, развивающиеся в двух направлениях.

Рентгеновские исследования бурнонита приведены в табл. 73.

Химический состав бурнонита из Южного месторождения представлен (в вес. %): Pb 48,2, Sb 20,6, Cu 12,7, S 18,5.

Кристаллохимическая формула: $Pb_{1,00}S_{1,00}Cu_{2,00}S_{1,00}Sb_{2,00}S_{2,00}$.

Теллуриды серебра

ГЕССИТ

Гессит в кобальтоносных медно- и серноколчеданных рудах Кашкачайского месторождения был обнаружен автором [13].

Условия нахождения. Гессит с тетрадимитом приурочен к аллоклазиту, кобальтину и халькопириту. Встречается в полированных шлифах, в пирит-халькопиритовых рудах Агюртского месторождения в парагенезисе с самородным серебром, электрумом, висмутином, пирротинном и магнетитом.

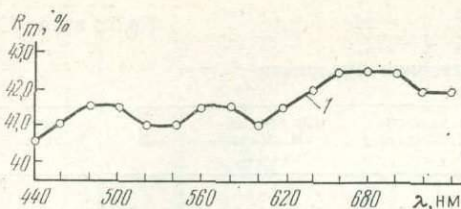


Рис. 116. Спектры отражения гессита:
1 — обр. 701 из Кашкачайского месторождения

Морфология. Под микроскопом наблюдаются мелкие вкрапленники размером 0,1—0,2 мм и аллотриоморфнозернистые агрегаты размером 0,3—0,8 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет гессита от светло-серого до серовато-белого с синеватым оттенком. Отражательная способность ниже, чем пирита, самородного серебра, электрума, висмутитина, тетрадимита, матильдита и теллуровисмутита. Ниже приведены результаты измерения спектров отражения гессита (обр. 701) Кашкачайского месторождения (рис. 116). Наблюдается анизотропный мелкозернистый агрегат пластинчатых двойников.

Длина волны λ , нм	R_m , %	Длина волны λ , нм	R_m , %	Длина волны λ , нм	R_m , %
440	40,5	560	41,5	660	42,5
460	41,0	580	41,5	680	42,5
480	41,5	600	41,0	700	42,5
500	41,5	620	41,5	720	42,0
520	41,0	640	42,7	740	42,0
540	41,0				

Твердость гессита при $P=0,1$ Н: $H=0,29—0,41$ ГПа, $H_{ср}=0,35$ ГПа (Кашкачайское месторождение, обр. 701); $H=0,29—0,44$ ГПа, $H_{ср}=0,36$ ГПа (Агюртское месторождение, обр. 2412).

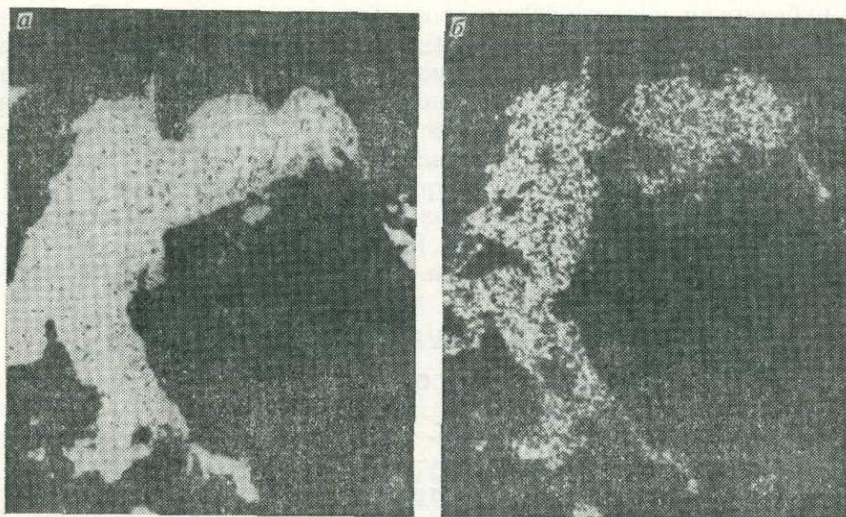


Рис. 117. Участок сканирования гессита (белое) в характеристическом рентгеновском излучении размером 90×90 мкм. Кашкачайское месторождение (обр. 701)
а — AgK α (белое); б — TeK α (белое)

Травится HNO_3 (при этом растворяется). При растворении в H_2SO_4 окрашивается в малиновый цвет. Микрохимической реакцией устанавливаются серебро и теллур.

Химический состав гессита приводится в табл. 74. Получена фотография участка сканирования гессита размером 90×90 мкм (рис. 117) и кривые распределения по профилю, проходящему через гессит (а) и тетрадимит (б) из Кашкачайского кобальтсодержащего медноколчеданного месторождения (рис. 118).

Теллуриды висмута

ТЕЛЛУРОВИСМУТИТ

Условия нахождения. Теллуровисмутит входит в состав аллоклазит-кобальтиновых, арсенопирит-данаитовых и пирит-халькопиритовых руд, где встречается с самородным висмутом, висмутином, тетрадимитом, теллуридом, парателлуридом, бисмоклитом (рис. 119), гесситом, электрумом, пентландитом, пирротинном, кобальтсодержащим пирротинном, валлерином, виоларитом, миллеритом, кубанитом, магнетитом, гематитом, кварцем, кальцитом и гранатами.

Морфология. Ксеноморфные выделения теллуровисмутита располагаются вдоль зерен аллоклазита, кобальтина и кальцита, образуя неравномернозернистые агрегаты с величиной отдельных зерен от 0,1 до 0,001 мм и менее. Нередко приобретает скрытокристаллическое строе-

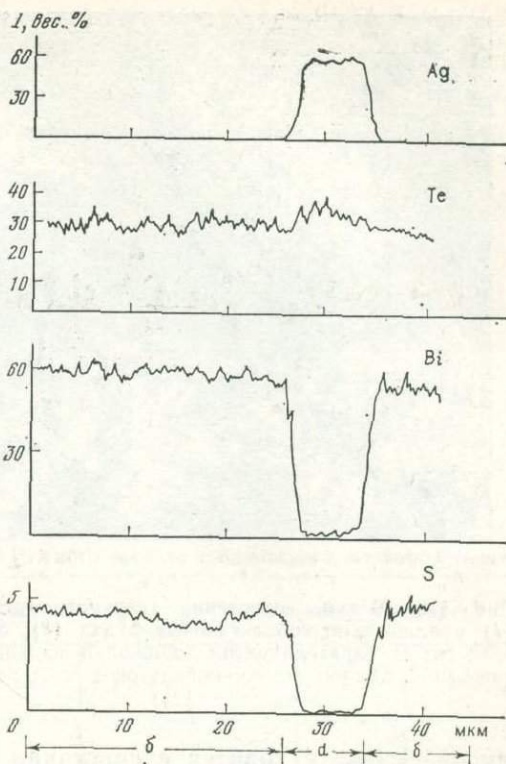


Рис. 118. Кривые распределения Ag, Te, Bi и S (вес. %) по профилю, проходящему через гессит (а) и тетрадимит (б). Кашкачайское месторождение (обр. 701)

Таблица 74

Химический состав гессита из Кашкачайского кобальтсодержащего медноколчеданного месторождения (обр. 701)

№ анализа	Содержание, вес. %			Коэффициент в формуле		№ анализа	Содержание, вес. %			Коэффициент в формуле	
	Ag	Te	Сумма	Ag	Te		Ag	Te	Сумма	Ag	Te
1	62,95	37,00	99,95	2,00	1,00	6	62,98	37,02	100,00	2,00	1,00
2	62,98	37,01	99,99	2,00	1,00	7	62,96	37,04	100,00	2,00	1,00
3	63,00	37,00	100,00	2,00	1,00	8	63,00	37,00	100,00	2,00	1,00
4	62,96	37,02	99,98	2,00	1,00	9	62,98	37,02	100,00	2,00	1,00
5	62,97	37,03	100,00	2,00	1,00	10	63,00	37,00	100,00	2,00	1,00

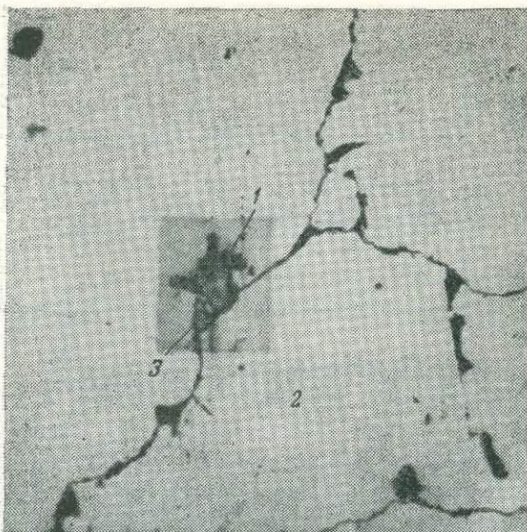


Рис. 119. Мелкие включения теллуrowисмутита (1) в аллоклазит-кобальтиновых рудах (2); 3 — теллурит с парателлурином, прожилки кальцита (черные). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121)

теллуrowисмутит находится в сростании, рельеф ниже, а к тетрадимиту — выше. Ниже приведены результаты измерения спектров отражения теллуrowисмутита (обр. 121) из Северного кобальтового месторождения (рис. 120).

Длина волны λ , мн	R_m , %	Длина волны λ , нм	R_m , %	Длина волны λ , нм	R_m , %
440	62,0	560	64,9	660	66,0
460	63,3	580	64,7	680	66,4
480	63,5	600	64,6	700	66,0
500	64,0	620	65,0	720	65,8
520	63,8	640	65,6	740	65,9
540	64,4				

Минерал анизотропный, со слабым цветным эффектом — голубоватым, желтоватым, иногда коричневатым. Погасание ориентировано по спайности. Двухотражение слабое. Рельеф минерала выше тетрадимита, в некоторых сечениях выше матильдита.

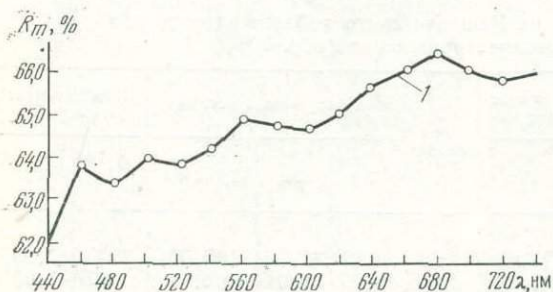


Рис. 120. Спектры отражения (R_m) теллуrowисмутита:

1 — обр. 121 из Южного железо-кобальтового месторождения

ние (структуру замещения). Тонкозернистые участки в них обычно содержат мельчайшие реликты первичных минералов, в том числе аллоклазита (0,02—0,1 мм). Включения теллуrowисмутита в халькопирите имеют неправильные червеобразные формы. В кварцевой жиле теллуrowисмутит встречается в виде мельчайших выделений размером 0,002—0,03 мм.

Физические свойства. В отраженном свете теллуrowисмутит белый с розоватым оттенком, чем хорошо выделяется на фоне аллоклазита. Отражательная способность для желтого света: $R_m=62\%$ при $\lambda=580$ нм; обладает слабой анизотропией. По отношению к аллоклазиту и кобальтину, с которыми теллуrowисмутит находится в сростании, рельеф ниже, а к тетрадимиту — выше.

Микротвердость теллуrowисмутита составляет: $H=0,43-0,91$ ГПа, $H_{cp}=0,59\pm 0,014$ ГПа при $P=0,2$ Н. Установлена анизотропия твердости, $K_H=1,44$.

Травится HNO_3 (конц.) и HCl (конц.), а также

Таблица 75

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки теллурувисмутита

Южное месторождение (обр. 121)		Британская Колумбия, Канада [43]		Южное месторождение (обр. 121)		Британская Колумбия, Канада [43]	
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,508	2	0,505	1	0,170	2	0,170
10	0,325	10	0,321	3	0,161	4	0,161
2	0,268	1	0,269	4	0,149	5	0,148
8	0,238	8	0,237	2	0,139	3	0,139
1	0,224	2	0,223	$a_0 = 0,434 + 0,002 \text{ нм}$ $c_0 = 3,044 + 0,001 \text{ нм}$ $\beta \sim 90^\circ$		$a_0 = 0,432 \text{ нм}$ $c_0 = 3,045 \text{ нм}$ $z = 0$	
5	0,220	5	0,219				
4	0,204	5	0,203				
2	0,200	1	0,200				
3	0,183	4	0,181				

Таблица 76

Химический состав теллурувисмутита из Южного железо-кобальтового месторождения

№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле		
		Вl	Te	As	Сумма	Вl	Te	As
121	1	52,5	48,40	—	100,90	2,00	3,000	—
	2	52,3	48,20	—	100,50	2,00	3,00	—
	3	52,0	48,10	—	100,10	2,00	3,00	—
210	4	53,1	46,70	0,02	100,00	2,00	2,999	0,001
	5	53,0	46,70	0,03	100,00	2,00	2,999	0,001
	6	52,8	47,00	0,02	100,00	2,00	2,999	0,001
450	7	53,3	46,71	—	100,01	2,00	3,000	—
	8	53,4	46,60	—	100,00	2,00	3,000	—
	9	53,1	46,90	—	100,00	2,00	3,00	—
	10	53,2	46,80	—	100,00	2,00	3,00	—

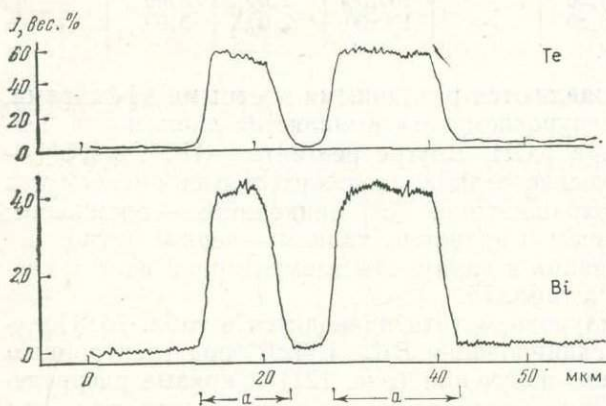
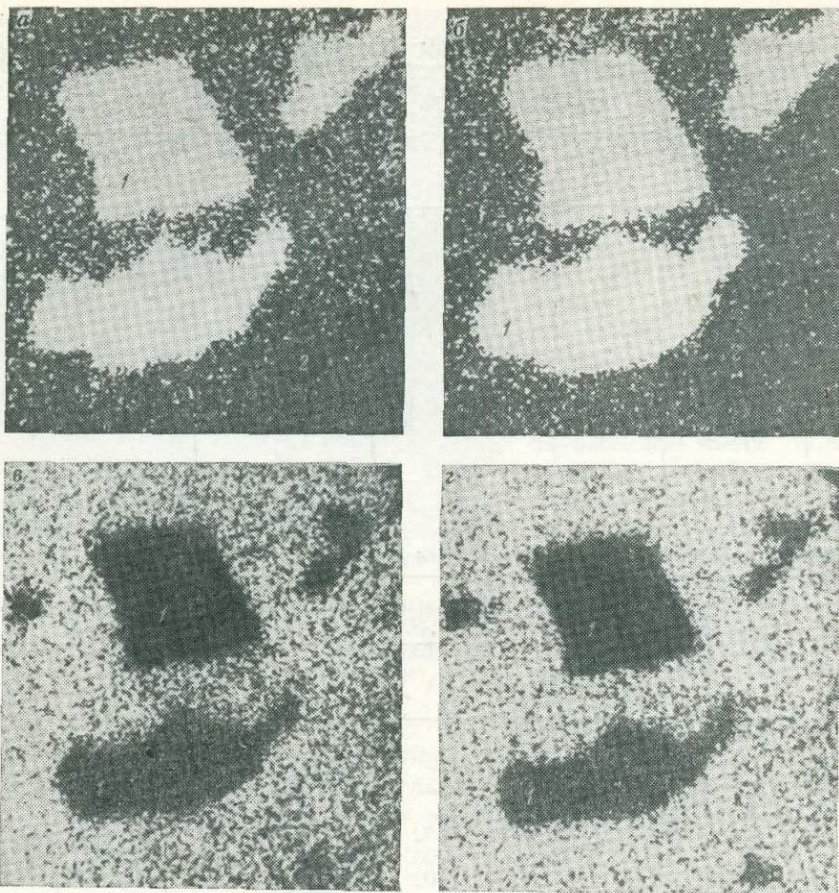
FeCl_3 ; места травления проявляются различными цветными эффектами, но структура травления теллурувисмутита выявляется лишь под действием 20—30%-ного раствора KOH. Другие реагенты — HCl и KCN — не действуют. Микрохимические реакции положительные: на висмут с тиомочевинной — желтое окрашивание, с цинхоином — оранжевое; на теллур с хлористым цезием и иодистым калием — черное пятно.

Рентгеновские исследования и параметры элементарной ячейки теллурувисмутита приводятся в табл. 75.

Химический состав теллурувисмутита приводится в табл. 76. Получены фотографии участка сканирования Vl_α и TeL_α под электронным зондом в характеристическом излучении (рис. 121) и кривые распределения Te, Vl и As по профилю, проходящему через теллурувисмутит (рис. 122).

ТЕТРАДИМИТ

Условия нахождения. Среди теллуридов наиболее распространенный минерал. Встречается в парагенезисе с теллурувисмутитом, висмутином, самородным висмутом, теллурином, электрумом, аллоклазитом,



↑
Рис. 121. Растровые изображения кристаллов теллуrowисмутита (1) размером 50×50 мкм в аллоклазите (2) в характеристических рентгеновских лучах (обр. 450):
а — BiK_α (белое), б — TeK (белое), в — CoK_α (черное), г — SK_α (черное)

← Рис. 122. Кривые распределения Bi и Te по профилю, проходящему через теллуrowисмутит (а). Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 450)

кобальтином, арсенопиритом на Южном железо-кобальтовом и с гесситом, аллоклазитом, кобальтином, халькопиритом, пиритом на Кашкачайском месторождениях. В различных сульфидных рудах месторождений Кельбаджарского и Ордубадского рудных районов обнаружены мелкие зерна тетрадимита.

Морфология. Под микроскопом видны мелкие таблитчатые, пластинчатые и зернистые формы выделений размером 0,3—0,5 мм, а иногда до 1—2 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет тетрадимита изменяется от серого до белого. Отражательная способность умеренно высокая, выше, чем висмутина, халькопирита, но ниже, чем у теллуrowисмутита. Ниже приведены результаты измерения спектров отражения тетрадимита (обр. 701) из Кашкачайского кобальтсодержащего мед-

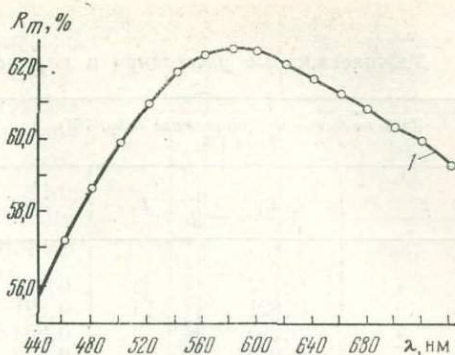


Рис. 123. Спектры отражения тетрадимита: 1 — обр. 701 из Кашкачайского месторождения

Длина волны λ, нм	R _m , %	Длина волны λ, нм	R _m , %	Длина волны λ, нм	R _m , %
440	55,7	560	62,3	660	61,3
460	57,2	580	62,6	680	60,8
480	58,7	600	62,5	700	60,4
500	59,9	620	62,1	720	59,9
520	61,0	640	51,6	740	59,6
540	61,8				

ноколчеданного месторождения (рис. 123). Двухотражение слабое. Эффект анизотропии в воздухе отчетливый, в иммерсии сильный. Все теллуриды висмута по диагностическим признакам очень сходны между собой. В совместных сростках с теллуrowисмутитом тетрадимит темнее (слабо зеленоватый). Отличия хорошо видны в иммерсии. Кривая дисперсии R_m теллуrowисмутита на всем протяжении спектра расположена выше и имеет максимальный подъем в ИК-области. Таким образом, лучше всего тетрадимит и теллуrowисмутит различаются в красном монохроматическом свете.

Твердость тетрадимита составляет: $H=0,26-0,68$ ГПа, $H_{ср}=0,37 \pm \pm 0,016$ ГПа при $P=0,2$ Н. Установлена анизотропия твердости, $K_H=1,68$.

Травится под воздействием HNO_3 (при вскипании выделяется NO_2), приобретая темно-коричневый цвет.

Рентгеновские исследования тетрадимита и параметры элементарной ячейки приводятся в табл. 77.

Химический состав. Для более точного установления тетрадимита был определен его химический состав (табл. 78) и получена запись кри-вых распределения Vi , Te и S по профилю, проходящему через тетрадимит (см. рис. 118 и описание гессита).

ОКИСЛЫ ТЕЛЛУРА

Оксиды теллура — теллурит, парателлурит и теллуристый бисмоклит в аллоклазит-кобальтиновых рудах ассоциируют с самородным висмутом, теллуrowисмутитом, тетрадимитом, гесситом и рядом сульфидов и сульфоарсенидов кобальта, никеля, железа и меди; на рассматриваемых месторождениях впервые описываются автором.

Теллурит (TeO_2) был открыт под названием теллуристкой кислоты Пецем (1842 г.). Теллурит ромбической сингонии полиморфен. Встречен в форме сростаний мелких кристаллов, собранных в пучки, сферни-

Межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки тетрадимита

Кашкачайское месторождение (обр. 701) Урал [35]				Кашкачайское месторождение (обр. 701) Урал [35]			
<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>	<i>I</i>	<i>d/n</i>
4	0,337	2	0,336	3	0,1910	4	0,1916
10	0,321	10	0,321	5	0,1802	1	0,1819
4	0,285	3	0,284	5	0,1634	5	0,1640
7	0,2701	2	0,272	4	0,1597	5	0,1591
5	0,264	5	0,263	2	0,1551	2	0,1551
4	0,245	5	0,242				
10	0,226	10	0,226				
4	0,1962	4	0,1963				
				$a_0=1,031 \pm 0,002$ нм		$a_0=0,1033$ нм	
				$c_0=3,006 \pm 0,001$ нм		$c_0=0,3007$ нм	

Таблица 78

Химический состав тетрадимита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле		
			Bi	Te	S	Сумма	Bi	Te	S
Южное железо-кобальтовое	121	1	59,8	35,8	4,4	100,0	2,00	2,00	1,00
		2	59,0	36,2	4,8	100,0	2,00	2,00	1,00
		3	59,4	36,0	4,6	100,0	2,00	2,00	1,00
	460	4	59,6	36,2	4,2	100,0	2,00	2,00	1,00
		5	59,5	36,0	4,5	100,0	2,00	2,00	1,00
		6	59,7	36,0	4,3	100,0	2,00	2,00	1,00
Кашкачайское кобальт-содержащее медноколчеданное	701	7	59,5	36,0	4,5	100,0	2,00	2,00	1,00
		8	59,6	36,0	4,4	100,0	2,00	2,00	1,00
		9	59,7	35,9	4,4	100,0	2,00	2,00	1,00
		10	59,5	36,0	4,5	100,0	2,00	2,00	1,00
		11	59,7	36,0	4,3	100,0	2,0	2,00	1,00
		12	59,5	36,0	4,5	100,0	2,00	2,00	1,00

Таблица 79

Параметры элементарной ячейки теллурита и парателлурита, нм

Минерал	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a:b:c</i>	<i>c:a</i>	<i>z</i>
Теллурит	0,551	1,175	0,560	0,468:1:0,476	—	8
Парателлурит	0,481	—	0,381	1:1,588	0,792:2	4

ческих и радиально-лучистых агрегатов. По цвету различаются белые, желтовато-белые и медово-желтые разновидности. Блеск алмазный, твердость около 2, тревится до полного растворения в концентрированных кислотах и щелочах. В частности, при растворении в концентрированной H_2SO_4 последняя от присутствия теллура окрашивается в малиновый цвет. Под микроскопом в аншлифах наблюдаются скрытокристаллические и зернистые агрегаты. В проходящем свете почти бесцветный, реже окрашен; при скрещенных николях погасание прямое.

Парателлурит. Название этого минерала подчеркивает полиморфизм с теллуридом (Г. Суитцер и Х. Суенсон, 1960 г.). Под микроскопом наблюдается в виде скрытокристаллических и тонкозернистых кристаллических агрегатов серовато-белого цвета. Теллурит и парателлурит в отношении характера проявления на месторождении, формы агрегатов в аншлифе и физических свойств имеют много общего. Блеск парателлурита смоляной до воскового. Оба эти полиморфных минерала различаются друг от друга по параметрам элементарной ячейки (табл. 79).

Химические составы теллурита, парателлурита и бисмоклита из Южного месторождения почти соответствуют теоретическим (табл. 80). Однако в описываемых минералах содержание Bi 2,1 и Cl 2,1% следует отнести к примеси более позднего бисмоклита; сняты фотографии участков сканирования этих минералов (рис. 124).

ОКСИХЛОРИДЫ

Бисмоклит ($BiClO$). В массе аллоклазит-кобальтиновых руд Южного месторождения бисмоклит находится в сростании с теллуридом и парателлуридом, а в аншлифах выделяется единичными мелкими агрегатами или в виде псевдоморфоз, по-видимому, по первичным висмутовым минералам. Цвет от желтовато-серого до бледно-зеленого. Под микроскопом в проходящем свете видны выделения бисмоклита очень мелкие, почти скрытокристаллические, дву-преломление в шлифе очень низкое до изотропного. Установленные химически

Химический состав теллуридов из Южного железо-кобальтового месторождения

Минерал	№ образца	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле					
		Te	Bi	As	Cl	O	Сумма	Te	Bi	As	Cl	O
Теллурит и парателлурит	121	77,00	2,10	—	2,10	18,8	100	0,98	0,02	—	0,15	1,90
Теллурит теоретический		79,94	—	—	—	20,6	100	1,00	—	—	—	2,00
Бисмоклит	121	0,70	77,10	2,1	14,00	6,1	100	0,01	0,95	0,04	1,02	0,98
Бисмоклит теоретический		—	80,24	—	13,61	6,15	100	—	1,00	—	1,00	1,00

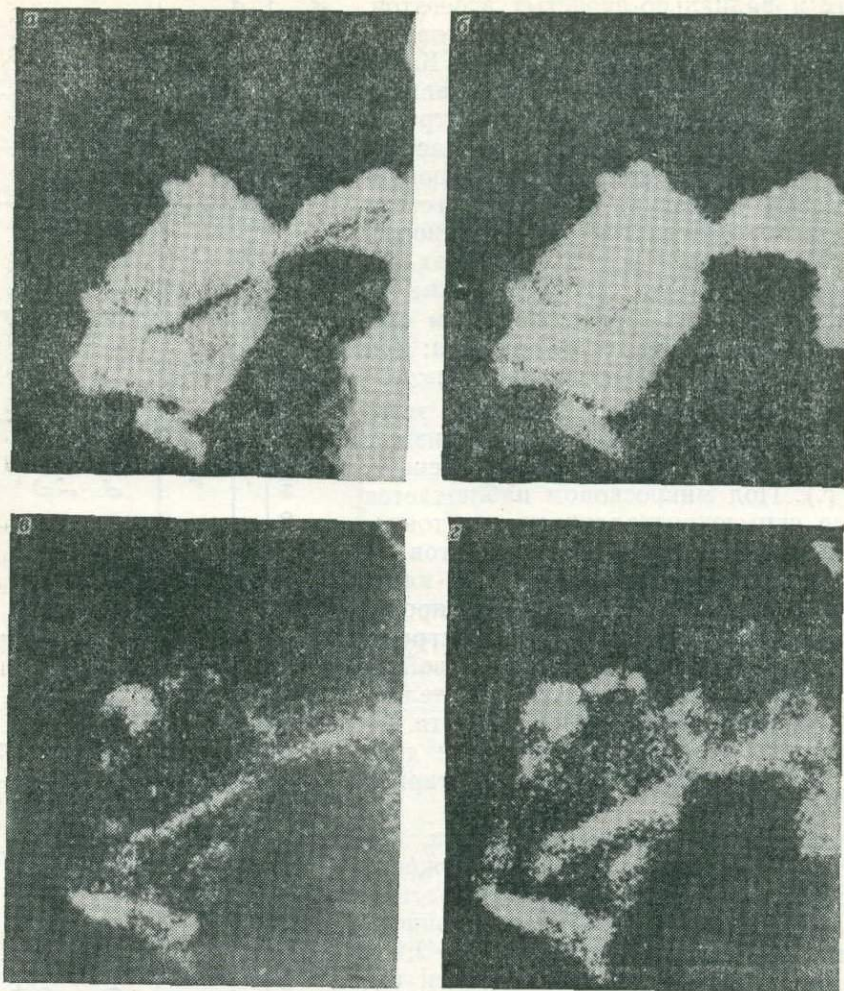


Рис. 124. Растровые картины распределения минералообразующих элементов в теллуридах в пределах одного участка площадью 100×100 мкм в аллоклазите. Южное месторождение (обр. 121). Фотографии сняты микрозондом «Камека» в характеристическом рентгеновском излучении:

a — теллур (белое) в теллуриде; *б* — теллур (белое) в парателлуриде; *в* — висмут (белое) в теллуриде; *г* — хлор (белое) в бисмоклите

ми анализами (см. табл. 80) в бисмоклите мышьяк (2,1%) и теллур (0,7%) являются изоморфными примесями, обусловленными наличием в его парагенезисе соответственно аллоклазита и теллурита. Причем кислород частично замещается хлором. Как показывает пересчет, химический состав бисмоклита из Южного Дашкесана отклоняется от теоретического, поэтому можно говорить о существовании разновидности рассматриваемого минерала. В шлифе травится до полного растворения при воздействии концентрированной HCl и HNO_3 .

Окислы МАГНЕТИТ

Описание магнетита Дашкесанского рудного района дано в работах Г. А. Крутова (1937 г.), М. А. Кашкая [11], Г. Х. Эфендиева [42].

А. И. Махмудова [21] и др. Формы выделения магнетита однообразны, но все же по внешнему виду и морфологическим особенностям можно различить пять его разновидностей: 1) мелкозернистый, 2) крупнозернистый, 3) кристаллический, 4) пластинчатый, 5) колломорфный.

Мелкозернистый магнетит составляет основную массу собственно магнетитовых и скарново-магнетитовых руд. Размер отдельных зерен его колеблется от 0,1 до 1 мм в равномернозернистых агрегатах с гранатом, форма зерен неправильная, ксеноморфная.

Мелкозернистый магнетит в сплошных рудах достигает 80%, оставшиеся 20% составляют гранат, эпидот, кварц, кальцит, хлорит, реже апатит и актинолит. Пирит, кобальтпирит, халькопирит, никельпирит и сульфоарсениды Co и Fe содержатся в скарново-магнетитовой залежи в незначительных количествах в виде тонкорассеянной вкрапленности и отдельных небольших включений, располагающихся между зернами магнетита и минералов скарна. Тонкая вкрапленность халькопирита с кобальтином и карролитом в магнетите наиболее характерна для руд Северо-Восточного месторождения. Мелкозернистый магнетит часто сопровождают халькопирит, пирит, кобальтпирит, кобальтин, аллоклазит, данаит, арсенопирит, леллингит, миллерит, линнит, сфалерит, гематит, мушкетовит, сафлорит, валлерит, кубанит, марказит, пентландит, пирротин, андрадит, гроссуляр, кальцит, эпидот, хлорит, актинолит и ильвант.

По отношению к гранату магнетит более поздний и в гранат-магнетитовых рудах цементирует гранат, обрастает его или замещает по отдельным зонам.

По магнетиту интенсивно развиваются гематит и маггемит. Гематит в процессе мартитизации магнетита в поверхностных условиях выделяется по нему повсеместно, образуя различные структуры замещения: решетчатые, когда он приурочен к октаэдрическим плоскостям магнетита, перистые — в случае замещения по обе стороны от трещин и петельчатые, когда замещение идет по границам зерен. Маггемит возникает главным образом в центре зерен магнетита и иногда замещает его по отдельным зонам. В гипергенных условиях по магнетиту развиваются гидроокислы железа — гетит и гидрогетит. Тонкорассеянные гидроокислы придают магнетиту голубоватый оттенок.

Спектральные анализы мелкозернистого магнетита из различных месторождений показали его относительную чистоту. В магнетите постоянно присутствуют Ti, Co, Ni, Cu, Zn; в некоторых образцах обнаруживаются элементы-примеси Cr, V, Zn, Pb, Ag, Zr, Sb и Sn.

Крупнозернистый магнетит менее развит и слагает магнетитовые тела среди различных скарнов. Обычный размер зерен этой разновидности 2—4 мм. С мелкозернистым магнетитом даже в прожилках связан постепенными переходами. Возможно, в некоторых случаях крупнозернистый магнетит возник вследствие перекристаллизации мелкозернистой разновидности. Зональность магнетита равномерная по всему зерну. Характерна связь крупнозернистой разновидности магнетита с сульфидами — пиритом, халькопиритом, сфалеритом. Пирит выделялся после магнетита, проникая по его зонам и трещинам с образованием раздробленной структуры. Халькопирит и сфалерит заполняют промежутки зерен магнетита. Кальцит и кварц как более поздние минералы развиваются в интерстициях магнетита, создавая характерные структуры отслаивания.

Крупнозернистый магнетит создает скопления с пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, кобальтином, аллоклазитом, гематитом, кубанитом, сафлоритом и сфалеритом. Спектральные анализы показали со-

держание в них меди, цинка, титана, марганца, мышьяка, кобальта, примеси никеля, стронция и молибдена.

Кристаллический магнетит представлен отдельными зернами и агрегатами, выполняющими стенки пустот и трещин в сплошном магнетите и в скарнах. Размер отдельных зерен достигает 1,5 см. Кристаллический магнетит встречается с гранатом, кальцитом и поздним кварцем. В кристаллическом магнетите из гранат-магнетитовых скарнов, по данным спектральных анализов, обнаружены незначительные содержания меди, цинка, ванадия и титана, свинца, марганца, скандия, магния, галлия, хрома, олова, никеля, алюминия, иттрия, следы серебра, кобальта и бария. Кристаллический магнетит отличается от крупнозернистого несколько повышенным содержанием циркония, галлия, бария, стронция и хрома.

Пластинчатый магнетит образует мелкозернистый агрегат или радиально-лучистые скопления пластинчатых зерен. В них наблюдаются реликтовые выделения гематита, халькопирита, кобальтина и очень редко сфалерита.

Магнетит с хорошо выраженной колломорфной структурой встречается на Южном месторождении: в лежащем боку измененной дайки диабазовых порфиритов на контакте с вмещающими орговикованными туфами, в ассоциации с пиритом, кобальтпиритом, гематитом, марказитом, глаукодотом и халькопиритом. К сферолитовым агрегатам магнетита нарастают кристаллы кальцита и кварца с радиально-лучистым строением. Иногда сферолиты нарастают на кварц и оказываются включенными в него совместно с отдельными зернами пирита, окаймленными кобальтином. Спектральный анализ магнетита из сферолитовых агрегатов показал в нем наличие марганца, кобальта, никеля, меди и цинка. Количественный химический состав дашкесанского магнетита был определен Л. Ячевским (1905 г.) и Г. Х. Эфендиевым (1939 г.). По данным обоих авторов, соотношение Fe_2O_3 и FeO в анализированных образцах оказалось близким к теоретической формуле минерала.

Химический состав, изученный микросондом, после пересчета дает кристаллохимическую формулу магнетита: $Fe^{2+}_{1,00}(Fe^{3+}_{0,86}Ti_{0,09}Mn_{0,01} \times XCa_{0,02}Si_{0,02})_{2,00}O_{4,00}$

ГЕМАТИТ

По данным М. А. Кашкая [11] и А. И. Махмудова [21], на месторождениях Дашкесанского рудного района в скарново-магнетитовых рудах выделяются три, а в скарново-рудных залежах Килитского месторождения — две генерации гематита.

Гематит I генерации выделяется до магнетита рудных скарнов, о чем свидетельствует мушкетовит, т. е. псевдоморфозы магнетита по гематиту. Гематит II генерации выделяется в форме железной слюды, представленной тонкими пластинками и чешуйками, рассыпающимися на отдельные пластиночки величиной до 1—2 мм. К гематиту III генерации относится микрочешуйчатый гематит, выделившийся по магнетиту в процессе его мармитизации. Нахождение гематита на Северном кобальтовом месторождении вне связи со скарновым комплексом и в ассоциации с магнетитом, арсенопиритом, пиритом, халькопиритом, реже кобальтином, аллоклазитом дает основание отнести его образование к началу гидротермального процесса.

На Южном и Северо-Восточном месторождениях гематит отмечается, как правило, в виде тонкочешуйчатых и тонкоигольчатых, реже крупнопластинчатых форм выделений, образующих лучистые, розетко-

видные скопления. На некоторых участках в виде оолитовых и сферолитовых выделений ассоциирует с пиритом, кобальтпиритом, магнетитом, халькопиритом, кобальтином, аллоклазитом, карролитом, арсенипиритом, данаитом, сфалеритом и другими сульфидами и сульфоарсенидами.

МАГГЕМИТ

Маггемит по своим оптическим данным минерал промежуточный между гематитом и магнетитом. Присутствует во всех рудах Дашкесанского района. Незначительные его количества ассоциируют с гематитом, мушкетовитом, магнетитом, сульфидами и сульфоарсенидами Fe, Co, Ni и Cu. Цвет минерала в присутствии магнетита голубовато-серый, при наличии гематита и гидроокислов железа принимает розовый оттенок. Отражательная способность маггемита значительно ниже, чем у магнетита; изотропен, дает бурые внутренние рефлексы; стальной иглой не чертится. Развивается по магнетиту всех разновидностей. По характеру замещения маггемит отличается от гематита: развивается преимущественно в центре зерен магнетита. Характерны неправильной формы зерна, в которых отмечаются редкие остатки неизмененного коричневатого магнетита. В случае зональных кристаллов магнетита отдельные его зоны нацело замещаются маггемитом. Гематит в таких случаях образуется преимущественно по маггемиту. Как уже указывалось, маггемит вместе с магнетитом слагает внутренние концентраты в сферолитовых агрегатах гематита.

ИЛЬМЕНИТ

Ильменит встречается в скарноворудных месторождениях Дашкесанского и Ордубадского рудных районов с магнетитом и минералами скарна. Не образует больших скоплений. Во вмещающих гранитоидах неравномерно рассеян в виде мелких (0,02—0,1 мм), слабо удлиненных включений, окруженных буроватым ореолом гидроокислов железа. Тончайшая сеть прожилков гидроокислов, развитых вокруг ильменита, образуется за счет железа, освободившегося при замещении последнего рутилом и анатазом. Они под микроскопом обнаруживают неоднородное строение: серые с буроватым оттенком включения ильменита замещаются светло-серым минералом со светло-бурыми внутренними рефлексами, например, такими, как рутил. Ильменит встречается в ассоциации с рутилом, гематитом, маггемитом, магнетитом, пиритом, кобальтпиритом, пирротинном, кобальтином, арсенипиритом, халькопиритом, молибденитом, галенитом, сфалеритом, кварцем, кальцитом, хлоритом, цеолитами, актинолитом и ортоклазом.

РУТИЛ

Рутил повсеместно отмечается в кобальтоносных скарноворудных залежах, во вмещающих породах и жильных образованиях, располагаясь в скоплениях разрушенных темноцветных компонентов в виде мелких включений неправильной формы размером 0,01—0,06 мм. При большом увеличении в полированных шлифах скопления обнаруживают неоднородное строение. Среди белых, отчетливо анизотропных включений рутила видны участки — реликты ильменита с меньшей отражательной способностью и более низким рельефом. Судя по отношению рутила к окружающим его минералам ранних стадий минерализации

Таблица 81
Химический состав рутила из Килитского кобальт-никельсодержащего вольфрамового месторождения (обр. 2500)

Окислы	Содержание	
	вес. %	ат. кол.
TiO ₂	97,70	1,223
FeO	0,94	0,013
Nb ₂ O ₅	0,44	0,003
С у м м а	99,08	

(кварцу, калишпату и др.), он образовался в самом начале процесса их кристаллизации и поэтому, как правило, корродируется всеми названными минералами.

Рутил создает парагенетические скопления с ильменитом, магнетитом, гематитом, кварцем, кальцитом, ортоклазом и реже минералами сульфидов и сульфоарсенидов Fe, Co, Ni и Cu. Химический состав рутила приведен в табл. 81.

После пересчета получена кристаллохимическая формула рутила: $(\text{Ti}_{0,98}\text{Fe}_{0,01} \times \text{Nb}_{0,01})_{1,00}\text{O}_{2,00}$.

В составе рутила в значительном количестве обнаружен ниобий, что свидетельствует о том, что в кобальтоносных залежах рассматриваемых месторождений присутствует ниобийсодержащая разновидность этого минерала.

Окислы олова

КАССИТЕРИТ

Условия нахождения. Обнаружены мелкие включения касситерита среди гранат-пироксеновых и плагиоклаз-полевошпатовых скарнов, в кварце, между зернами кварца и пирита и в трещинках, по периферии шеелита. Последняя обнаруживается только в кварцевых прожилках (мощность каемки 0,01 мм). Касситерит Килитского месторождения — продукт трех стадий: касситерит-кварцевой, касситерит-сульфидной, касситерит-шеелитовой. Касситерит в скарновых породах ассоциирует с шеелитом, танталсодержащим шеелитом, пиритом, кобальтпиритом, полидимитом, зигенитом, магнетитом, рутилом, иттропатитом, стронцийсодержащим апатитом, итросфеном, кварцем, кальцитом, гроссуляром, диопсидом, альбитом, хлоритом и др.

Морфология. Касситерит в кварце, шеелите и в микротрещинах скарновых пород образует мелкие (от 0,001 до 0,02 мм, очень редко 0,05 мм) неправильной формы вкрапленники.

Химический состав касситерита приводится в табл. 82.

Таблица 82

Химический состав касситерита из Килитского месторождения

Окислы	Содержание				Окислы	Содержание			
	вес. %		ат. кол.			вес. %		ат. кол.	
	обр. 2500 ₁		обр. 2600 ₂			обр. 2500 ₁		обр. 2600 ₂	
SnO ₂	90,8	0,603	91,6	0,608	MnO	0,1	0,001	—	—
WO ₃	3,0	0,013	—	—	SiO ₂	1,5	0,058	2,1	0,075
FeO	1,5	0,021	4,5	0,063					
CaO	2,2	0,039	1,0	0,025					
С у м м а					С у м м а	99,1	—	99,2	—

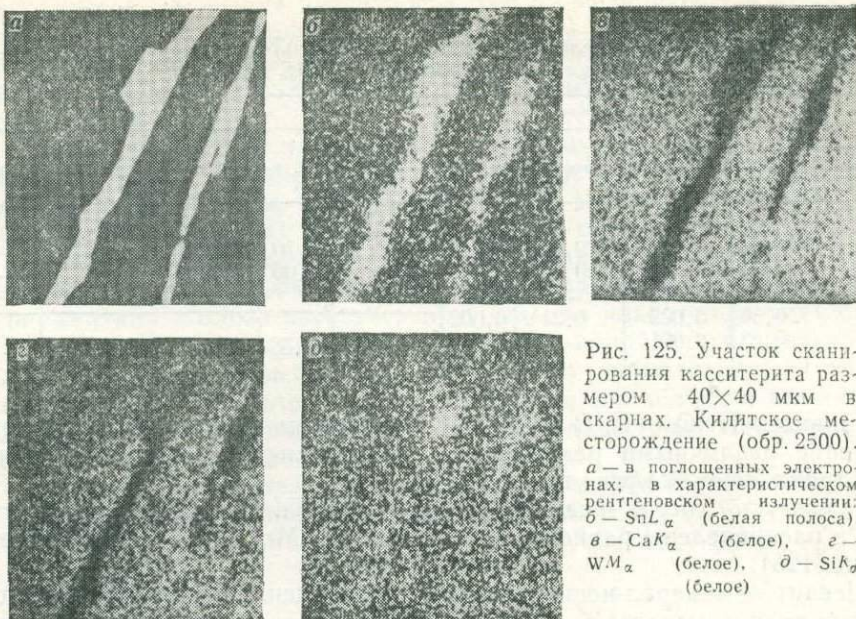


Рис. 125. Участок сканирования касситерита размером 40×40 мкм в скарнах. Килийское месторождение (обр. 2500).
 а — в поглощенных электронах; в характеристическом рентгеновском излучении:
 б — SnL_α (белая полоса),
 в — CaK_α (белое), г — WM_α (белое), д — SiK_α (белое)

В касситерите железо, марганец и вольфрам являются изоморфной примесью и распределены неравномерно (рис. 125). После пересчета получены кристаллохимические формулы: 1) $(\text{Sn}_{0,89}\text{Ca}_{0,06}\text{Fe}_{0,03}\text{W}_{0,02}\text{Mn}_{0,002})_{1,00}\text{O}_{2,00}$; 2) $(\text{Sn}_{0,87}\text{Fe}_{0,09}\text{Ca}_{0,04})_{1,00}\text{O}_{2,00}$.

Вольфраматы

ШЕЕЛИТ

Условия нахождения. Шеелит крайне неравномерно распределен среди скарнов Килийского месторождения совместно с гроссуляром, диопсидом, альбитом, ортоклазом, кварцем; иногда приурочен к пирит-кварцевым прожилкам и гидротермально-измененным зонам. В них призматические зерна шеелита корродируются гроссуляром, диопсидом, альбитом, ортоклазом, сфеном, кварцем. Размер зерен шеелита от $0,2 \times 0,2$ до $0,5 \times 1,0$ мм. В массе скарновых минералов шеелит сопровождают касситерит, пирит, кобальтпирит, халькопирит, полидимит, зигенит, магнетит, рутил, гроссуляр, диопсид, альбит, ортоклаз, кварц, иттропатит, стронцийсодержащий апатит, иттротрофен и др.

Морфология. Шеелит в скарнах и пирит-кварцевых прожилках образует мелкие (от $0,2 \times 0,2$ до $0,5 \times 0,8$ мм) изометрические зерна, а в гидротермально-измененных породах очень редкие от 1×1 до $1 \times 1,5$ мм неправильной формы выделения.

Физические свойства. Под микроскопом на фоне скарновых минералов обнаруживаются серые, коричневатые, иногда желтовато-белые цвета шеелита; бледно-желтый в кварц-пиритовых прожилках. Слабо анизотропен. Двуотражение незаметно.

Люминесценция обнаруживается в коротковолновых ультрафиолетовых лучах; шеелит из Килийского месторождения имеет яркое, голубое свечение, характерное для этого минерала.

Твердость шеелита составляет $H = 3,86 - 4,07$ ГПа; $H_{\text{ср}} = 3,95 \pm 0,15$ ГПа, при $P = 0,49$ Н, что соответствует 4,5 по шкале Мооса.

Химический состав шеелита из Килитского кобальт-никельсодержащего вольфрамового месторождения (обр. 2500)

Окислы	Содержание				Окислы	Содержание			
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.		вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.
WO ₃	79,30	0,342	79,62	0,348	MnO	0,10	0,001	—	—
CaO	19,30	0,344	20,36	0,352	MgO	0,06	0,001	—	—
SnO ₂	0,30	0,002	—	—					
MoO ₂	0,30	0,003	0,21	0,002					
Ta ₂ O ₅	0,23	0,001	—	—					
					С у м м а	99,59	—	100,46	

Травится HNO₃ (1 : 1) и HCl с выявлением зональной структуры. Травление различными реактивами, применяемыми в минераграфии, дает отрицательный эффект.

Химический состав шеелита приведен в табл. 83. В зернах шеелита W и Ca распределены равномерно, Sn, Mo, Ta, Mn и Mg — неравномерно (рис. 126).

Шеелит — минерал-носитель олова, молибдена и тантала. Поведение этих трех элементов в шеелите из Килитского месторождения связано с различными условиями минералообразования, отражает известные общие черты геохимии этих элементов в постмагматическом про-

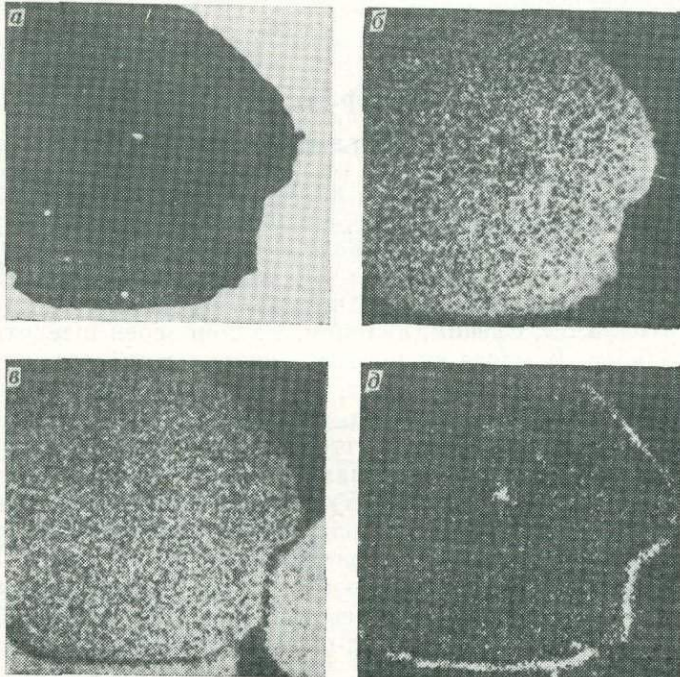


Рис. 126. Участок сканирования шеелита размером 40×40 мкм. Килитское месторождение (обр. 2500).

а — в поглощенных электронах; в характеристическом рентгеновском излучении: б — WM_α (белое), в — CaK_α (белое), г — SnL_α (белая полоса)

цессе, когда увеличение кислотности растворов приводит к относительному накоплению тантала, олова и молибдена. Однако специфика образования шеелита, обуславливаемая его кристаллизацией в нейтральных средах, определяет и особые черты распределения в нем тантала, олова и молибдена.

Таким образом, можно наметить следующие основные черты распределения примеси тантала, олова и молибдена в шеелите: 1) шеелит не является концентратом тантала, но тем не менее этот элемент часто присутствует в нем; 2) физико-химические особенности кристаллизации шеелита в нейтральных средах определяют относительное накопление в нем тантала, олова и молибдена; 3) наибольший уровень накопления тантала и олова свойствен шеелитам из альбитовых метасоматитов. Особенности геохимии тантала, олова и молибдена в шеелите, очевидно, связаны с повышенной щелочностью родоначальных гранитоидных интрузий; 4) наличие тантала, олова и молибдена в шеелите характерно для гипогенных образований — производных кислых дифференциатов гранитных магм.

Кристаллизация шеелита происходит в различной геологической обстановке, в разных минеральных ассоциациях.

Глава 5

ГИПЕРГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

В зависимости от многочисленных геологических факторов в кобальтоносных месторождениях Азербайджанской ССР наблюдаются различные скопления гипергенных минералов.

Особое внимание уделялось рассмотрению вопросов поведения минералов кобальта и никеля в условиях зоны окисления. В кобальтоносных месторождениях Дашкесанского рудного района минералы кобальта в условиях зоны окисления специально рассмотрены М. А. Карасик (1946 г.), М. А. Кашкаем [11], А. И. Махмудовым [21], Г. Х. Эфендиевым [42] и Л. К. Яхонтовой (1957 г.). По мнению М. А. Карасик и Г. Х. Эфендиева, наиболее интенсивные процессы окисления кобальтовых руд отмечаются в оруденелых крутопадающих зонах дробления, по дайкам диабазовых порфиритов. Причиной этого является, по-видимому, значительная разрыхленность этих зон, что способствует циркуляции вод в зоне аэрации. На Северном кобальтовом месторождении окисление по Главной зоне распространяется местами на глубину до 150 м.

Увеличение содержания кобальта с глубиной и отсутствие его концентраций в верхних горизонтах отдельных зон минерализации объясняется окислением первичных минералов кобальта с выносом значительной его части. Интенсивное окисление кобальтовых минералов в основном в эритрин и очень редко в винклерит и гетерогенит наблюдается на старых отвалах, пролежавших длительное время на дневной поверхности, а также выступающих на поверхности часто оруденелых зон разломов на Амамчайском участке Южного месторождения [42]. Г. Х. Эфендиевым были изучены большие штUFFы магнетитовых руд с густо вкрапленным кобальтином из Северо-Восточного железкобальтового месторождения. При полной сохранности в них магнетита кобальтин полностью перешел в эритрин. То же самое наблюдается на молодых отвалах. Кроме водных растворов, особенно при наличии в

них Fe^{+3} и O, окислению кобальтина содействует инсоляция, а также наличие ассоциирующих с ним минералов. По наблюдению Г. Х. Эфендиева [42], участие в ассоциации халькопирита и пирита оказывает тормозящее влияние на окисление кобальтовых минералов. Наличие магнетита, наоборот, ускоряет этот процесс.

М. А. Кашкай [11] указывает, что рудный скарн подвергается окислению легче, чем безрудный; наличие же сульфидов в скарне в значительной степени форсирует этот процесс. Как известно, сульфиды быстро окисляются в водно-воздушных условиях, и продукты их окисления довольно разнообразны. В качестве примера укажем, что за счет такого обычного сульфида, как халькопирит, в зависимости от физико-химических условий образуется один или механическая смесь нескольких гипергенных минералов, таких, как самородная медь, халькозин, ковеллин, борнит, малахит, азурит, купрогаллуазит, купроасболан, хризоколла, халькантит, мелантерит, пизанит и бурый железняк.

Наличие в ассоциации других как рудных, так и нерудных минералов значительно влияет не только на скорость окисления, но и определяет характер продуктов окисления. Так, например, наличие кальцита в ассоциации с халькопиритом обуславливает образование водных гипергенных минералов — малахита, азурита и гипса. Таким образом, довольно большое разнообразие физико-химических условий и их нестабильность в различных участках зоны окисления обуславливают большое разнообразие в структурно-текстурных особенностях окисления руд. На месторождениях Дашкесанского рудного района установлены пористые, друзовые, рыхлые, землистые, порошковатые, колломорфные, корковые, полосчатые и брекчиевидные текстуры.

Из гипергенных минералов на месторождениях широко представлены окислы и гидроокислы, сульфаты, силикаты, в меньшем количестве встречаются карбонаты; самородные элементы, сульфиды и арсенаты по распространенности значительно уступают всем вышеуказанным минералам [11]. Гипергенные минералы — аннабергит, гарниерит, арсенолит и др. — также обнаружены в кобальтоносных и никеленосных месторождениях Кельбаджарского и Ордубадского рудных районов. Эти минералы в пределах рассматриваемых месторождений описываются по классификациям, принятым в минералогии.

САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Самородная медь. Обнаружена в небольшом количестве в полированных шлифах в виде продукта окисления халькопирита; автором — на Северо-Западном железорудном месторождении в ассоциации с халькозином. По данным М. А. Кашкай [23], самородная медь как продукт окисления халькозина отмечена на Северо-Восточном железкобальтовом месторождении в виде дендритоподобного образования.

СУЛЬФИДЫ

Ковеллин. На Юго-Восточном участке (из штольни 1, с глубины 229 м) Южного железо-кобальтового, на Северном кобальтовом, а также на Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождениях ковеллин был обнаружен в незначительных количествах в зоне окисления, где развит по периферии выделений халькопирита, по трещинам халькопирита, а иногда по борниту. Ковеллиновая каемка вокруг зерен халькопирита и борнита отмечается в полированных штуфах руд из Северо-Восточного и Южного железо-кобальтовых месторождений.

Мощность прожилок и каемок, образованных ковеллином, не более $0,1 \times 0,1$ мм. Здесь, на контакте аллоклазит-кобальтиновых руд ковеллин ассоциирует с халькозином, борнитом, дигенитом, магнетитом и кобальтпиритом. Ковеллин отличается на фоне всех минералов своим синим цветом, низкой твердостью и резким эффектом анизотропии, который характеризуется изменением цвета от синего до красного.

Халькозин встречается на всех месторождениях Дашкесанского рудного района в незначительном количестве. Он замещает халькопирит, образуя тонкие каемки по периферии выделений халькопирита. Мощность каемок халькозина 0,02 мм. Совместно с ковеллином наблюдается в породе в виде мелких прожилкообразных выделений размером до $0,2 \times 0,01$ мм. Халькозин легко распознается по голубоватому цвету, который после травления становится синим.

Борнит. В кобальтоносных скарново-магнетитовых рудах среди сульфидных минералов месторождений Дашкесанского рудного района был обнаружен Г. А. Крутовым (1937 г.), Г. Х. Эфендиевым [42], М. А. Кашкаем [11], А. И. Махмудовым [21].

Условия нахождения. Среди сульфидных и сульфоарсенидных минералов кобальтоносных скарново-магнетитовых руд борнит довольно распространенный минерал. В тесном парагенезисе с дигенитом, халькопиритом, аллоклазитом, кобальтином, карролитом, кобальтпиритом, сфалеритом борнит наблюдается в нижних горизонтах магнетита близ его контакта с подстилающей дашкесанитовой породой или с эпидотизированными или ороговикованными породами. Борнит в сростании с дигенитом и халькопиритом присутствует в аллоклазит-кобальтиновых рудах Северо-Восточного железорудного месторождения. Иногда наблюдается в виде каемки, прожилка, полоски или в виде реликтов борнита с дигенитом среди халькопирита и кобальтина в массе дашкесанита этого же месторождения.

Морфология. Борнит в тесном парагенезисе с дигенитом образует прожилкообразные выделения в халькопирите и кобальтине; местами тончайшими полосками проникает в промежутки зерен магнетита размером от 0,1 до 1 мм (Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение, обр. 691). На Южном месторождении среди кобальтоносных сульфидных минералов борнит образует тонкие каемки мощностью до 0,5 мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет борнита розовый с коричневатым оттенком. Отражательная способность ниже, чем у халькопирита: на длине волн 440—560 нм она у борнита намного ниже, чем у дигенита, а на длине волн 580—740 нм спектры борнита усиливаются, а дигенита понижаются (табл. 84). Минерал изотропен, иногда

Таблица 84
Спектры отражения борнита и дигенита (обр. 691), %

Длина волны, нм	Борнит	Дигенит	Длина волны, нм	Борнит	Дигенит	Длина волны, нм	Борнит	Дигенит
440	18,4	27,6	560	22,4	24,0	660	29,4	19,0
460	18,8	28,2	580	23,6	22,6	680	30,9	18,5
480	18,6	29,0	600	25,0	21,8	700	31,8	18,0
500	19,8	28,0	620	26,7	21,4	720	32,8	17,5
520	20,6	27,2	640	27,8	20,2	740	34,2	17,0
540	21,2	25,8						

Химический состав борнита из Северо-Восточного
железо-кобальтового месторождения (обр. 691)

№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле		
	Cu	Fe	S	Сумма	Cu	Fe	S
1	63,0	11,3	25,6	99,9	4,99	1,01	4,00
2	63,1	11,9	25,5	100,5	5,00	1,00	4,00
3	61,8	13,0	25,5	100,3	5,00	1,00	4,00
4	61,9	12,4	25,7	100,0	5,00	1,00	4,00
5	63,2	11,3	25,5	100,0	5,00	1,00	4,00
6	62,0	12,3	25,7	100,0	4,98	1,02	4,00
7	63,0	11,3	25,7	100,0	4,99	1,01	4,00
8	63,2	11,3	25,5	100,0	5,00	1,00	4,00
9	63,1	11,9	25,5	100,0	5,00	1,00	4,00
10	63,0	11,3	25,7	100,0	5,00	1,00	4,00

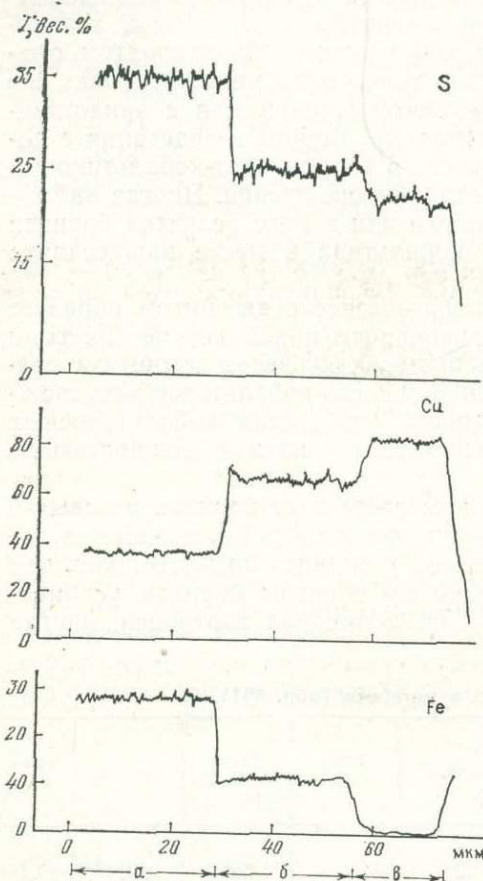


Рис. 127. Кривые распределения Fe, Cu и S по профилю, проходящему через халькопирит (а), борнит (б) и дигенит (в). Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 691)

наблюдается слабая анизотропия. Результаты измерения спектров отражения борнита и дигенита приводятся в табл. 84.

Твердость борнита составляет $H = 0,84 - 1,215$ ГПа, $H_{ср} = 1027$ ГПа при $P = 0,2$ Н.

Травится $FeCl_3$ слабо, а при действии раствора I в KI выявляется структура.

Химический состав борнита приводится в табл. 85. В зернах борнита Cu, Fe и S распределены равномерно, а изоморфные примеси не обнаружены, получены записи кривых распределения Cu, Fe и S по профилю, проходящему через борнит в сростании с халькопиритом и дигенитом (рис. 127).

Дигенит. Сведения о названии дигенита и его образовании в природе приведены в списке литературы [34, 37].

Условия нахождения. В железо-кобальтовых рудах Северо-Восточного месторождения впервые обнаружен и описан автором. В этих рудах дигенит встречается в тесном парагенезисе с борнитом, халькопиритом, аллоклазитом, кобальтином, магнетитом, кобальтпиритом, пиритом, сфалеритом, карролитом и гранатами.

Морфология. Дигенит на-

блюдается в виде мелких включений в халькопирите и борните, а также на контакте аллоклазита с магнетитом и борнитом размером от 0,01 до 0,2 мм. Реже встречаются каемки вокруг борнита размером $0,5 \times 1,0$ мм.

Физические свойства. В отраженном свете цвет дигенита на фоне борнита голубоватый, а на фоне халькопирита голубой с синеватым оттенком. Изотропен. Результаты измерения спектров отражения приведены в табл. 84.

Твердость дигенита составляет $H = 7,05$ ГПа при $P = 0,2$ Н.

Травится HNO_3 в течение 8 с; выявляется слабо зональная структура.

Химический состав дигенита приводится в табл. 86. В зернах дигенита Cu и S распределены равномерно, а Fe — неравномерно и колеблется от 0,1 до 1,0 вес. %. С помощью микрозонда получены записи кривых распределения Fe, Cu и S по профилю, проходящему через халькопирит, борнит и дигенит (см. рис. 127). В исследуемом образце дигенит находится в сростании с борнитом и халькопиритом.

Виоларит гипергенного происхождения в виде тонких прожилков по миллериту впервые был обнаружен автором [21] в железо-кобальтовых рудах Дашкесанского района.

Условия нахождения. В роговиках, амфиболовых и эпидот-гранатовых скарнах в парагенезисе с кобальтпиритом, никельпиритом, карролитом, бравонитом, пентландитом, пирротинном, линнеитом, кобальтином, аллоклазитом, кобальтсодержащим сфалеритом Южного и Северо-Восточного железо-кобальтовых месторождений. При микроскопических исследованиях (обр. 606) виоларит и бравонит встречены совместно с другими вторичными сульфидами, образовавшимися за счет изменения пентландит-халькопиритовых агрегатов, заполняющих трещины в роговиках, дашкесанитовых и горнблендитовых породах среднеюрского возраста.

Морфология. Виоларит в виде небольших различных по форме зерен включен в никельпирит, пентландит, миллерит среди кобальтовых руд Южного месторождения. Здесь виоларит занимает 5% общей массы зерен указанных минералов. По данным аншлифов, виоларит образует прожилки в кобальтовых рудах, локализованные вдоль границ зерен миллерита, линнеита, пентландита (Южное месторождение), никельпирита, карролита, кобальтпирита, кобальтина, а также халькопирита (Северо-Восточное месторождение). Формы выделений виоларита размером до $0,1 \times 0,1$ мм, приуроченные в сростании с кобальтпиритом и никельпиритом к массе раннего пирита. Агрегаты виоларита по пириту

Таблица 86

Химический состав дигенита из Северо-Восточного
железо-кобальтового месторождения (обр. 691)

№ анализа	Содержание, вес. %				Коэффициент в формуле		
	Cu	Fe	S	Сумма	Cu	Fe	S
1	77,2	1,0	22,0	100,2	8,87	0,13	5,00
2	77,0	1,0	22,0	100,0	8,87	0,13	5,00
3	78,1	0,1	21,8	100,0	9,00	0,001	5,00
4	78,0	—	22,0	100,0	9,00	—	5,00
5	77,4	0,8	21,8	100,0	8,9	0,10	5,00
6	77,2	1,0	22,0	100,2	8,87	0,13	5,00

мелкозернистые. Местами виоларит заполняет трещины в массе пирита и никельпирита, очень редко пентландита и кобальтина.

Физические свойства. Цвет виоларита в отраженном свете на фоне кобальтпирита — розовато-белый, на фоне кобальтина — розовато-сиреневый, на фоне никельпирита — сиреневый. При скрещенных николях изотропен. На полированном шлифе отражательная способность виоларита близка к отражательной способности никельпирита, пентландита, халькопирита; немного выше, чем у пирротина, заметно ниже, чем у миллерита, линнеита, пирита и кобальтпирита.

Твердость виоларита (обр. 606) составляет $H=3,96-4,55$ ГПа, $H_{\text{ср}}=4,36 \pm 0,049$ ГПа при $P=0,49$ Н, что соответствует по шкале Мооса $\sim 4,5-5,5$.

Определение плотности виоларита проведено методом непосредственного измерения объема и массы данного минерала (материал получен с помощью ПМТ-3) из микроаналитически от 5 до 15 мг. Эта работа выполнена В. Ф. Недобой в лаборатории минералогических исследований ИМГРЭ. Плотность виоларита из Северо-Восточного месторождения $d_{\text{ср}}=4,84 \pm 0,002$ г/см³.

Травится HNO_3 (1 : 1), вскипает и постепенно окрашивается в сиреневато-серый цвет.

Микрохимическая реакция на Ni была проведена с растворителем HNO_3 (конц.); экспозиция 3 мин, проявитель NH_4OH вместе с диметилглиоксимом. В результате получено пятно малинового цвета.

Химический состав виоларита приведен в табл. 87. У всех образцов выявляется дефицит серы. Результаты анализов рассчитываются на формулу, соответствующую теоретической (см. табл. 87). В зернах виоларита (обр. 607, анализы 1—4) Ni, Fe, Co и S распределены равномерно (рис. 128). С помощью микрозонда также получены кривые распределения Ni, Fe, Co и S по профилю, проходящему через виоларит (обр. 606, рис. 129).

В литературе большинством исследователей виоларит рассматривается как промежуточный член в ряду полидимит Ni_3S_4 — грейгит Fe_3S_4 с формулой $(\text{FeNiCo})_3\text{S}_4$, однако границы между виоларитом и крайними членами ряда не определены.

Из медно-никелевого месторождения Шануч на Камчатке выделяются виолариты, обогащенные железом в сравнении с FeNi_2S_4 , и виолариты, обогащенные никелем. Химический состав богатого никелем виоларита

Таблица 87

Химический состав виоларита

Месторождение	№ образца	№ анализа	Содержание, вес. %					Коэффициент в формуле			
			Ni	Fe	Co	S	Σ м-ма	Ni	Fe	Co	S
Северо-Восточное железо-кобальтовое	606	1	28,90	19,10	11,00	41,01	100,01	1,50	1,04	0,57	3,89
		2	30,10	16,14	12,50	41,30	100,04	1,56	0,88	0,65	3,92
		3	29,10	18,80	11,80	40,30	100,00	1,52	1,03	0,61	3,84
		4	28,30	18,10	12,80	40,80	100,00	1,47	0,99	0,66	3,88
Южное железо-кобальтовое	120	5	30,00	16,15	12,75	41,04	100,04	1,56	0,88	0,66	3,90
		6	28,40	17,10	13,30	41,20	100,00	1,47	0,93	0,69	3,91
		7	29,10	16,45	12,90	41,61	100,06	1,50	0,89	0,66	3,94

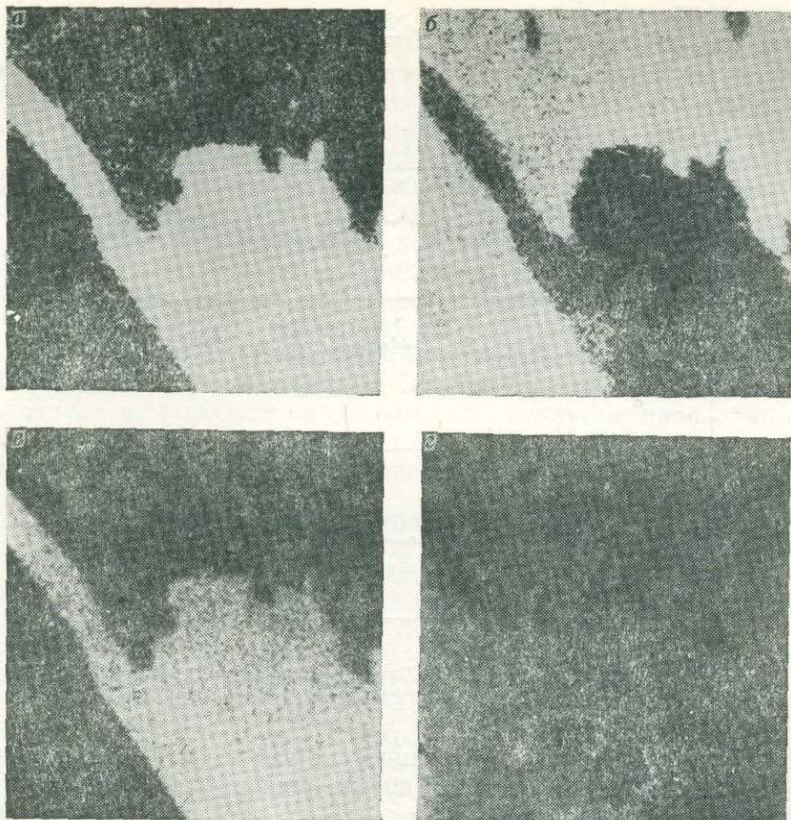


Рис. 128. Участок сканирования виоларита размером 200×200 мкм в характеристическом рентгеновском излучении. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 607):

а — $\text{NiK}\alpha$, (белое), б — $\text{CoK}\alpha$ (серое), в — $\text{FeK}\alpha$ (серовато-белое), г — $\text{SK}\alpha$ (черное)

ларита образует непрерывный изоморфный ряд с полидимитом. Между богатыми железом виоларитами и грейгитом непрерывный изоморфный ряд не установлен.

Виоларит из месторождений АзССР более соответствует виолариту из Линн-Лейк, Менибридже и Соаб-Лейк (Манитоба, США) и Фруд-Майн, Седбери (Онтарио, США). Отечественный виоларит образовался, по-видимому, во время первой стадии супергенного замещения пентландитом. Часто находится вместе с моноклинным пирротинном, более редко с пиритом. Определен при помощи анализа под электронным микрозондом и подтвержден рентгеновскими данными. Состав виоларита колеблется от $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{S}_{4,04}$ до $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{S}_{3,85}$ с дефицитом S. Вторичные виоларит и бравоит из Инглиш-Лейк (Манитоба, США) встречены совместно с другими вторичными сульфидами. Здесь виоларит образуется первым в виде псевдоморфоза по пентландиту. Дальнейшее изменение приводит к разложению виоларита, халькопирита и пирита с сопутствующим отложением бравоита, пирита, марказита, халькопирита, гематита, кварца и карбоната. С помощью микрозонда изучено распределение в сульфидах вторичного происхождения. Содержание Ni в виоларите 26%, в пластинчатом марказите — 5—8%, бравоите — 11—12%, пирите — 1,5—7,0%.

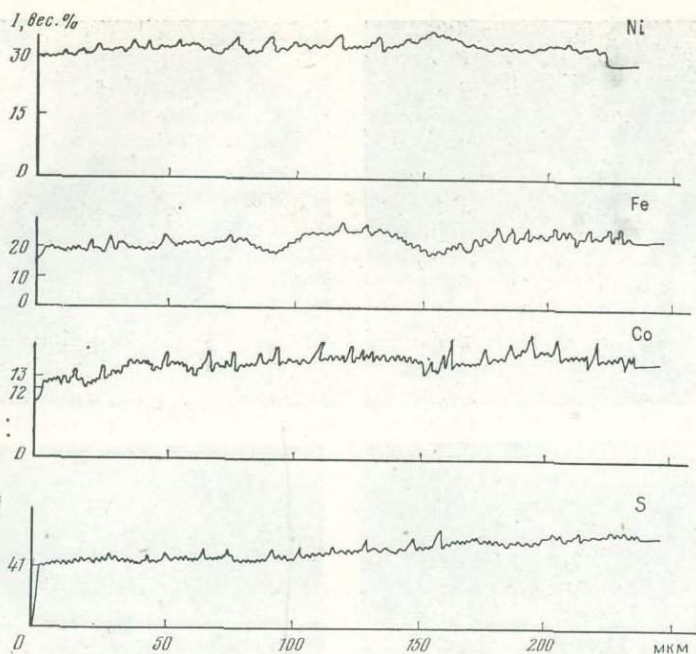


Рис. 129. Кривые распределения Ni, Fe, Co и S по профилю, проходящему через виоларит. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 606)

Виоларит — природная металлическая шпинель; были изучены мессбауэровские спектры, магнитная восприимчивость и термоэлектродвижущая сила искусственного ($\text{Fe}_{1,22}; \text{Ni}_{1,81}; \text{S}_{3,97}$) и природного ($\text{Ni}_{1,63}; \text{Fe}_{1,01}; \text{Co}_{0,33}; \text{S}_{4,02}$) виоларита, кристаллизующегося в структурном типе шпинели. Параметр решетки ($a_0 = 9,45$ нм) близок к параметрам металлических шпинелей Co_3S_4 (9,399 нм) и Ni_3S_4 (9,48 нм) и значительно меньше параметров полупроводниковых шпинелеподобных сульфидов Fe_3S_4 (9,87 нм) и FeCr_2S_4 (9,989 нм). Низкие отрицательные величины термоэлектродвижущей силы и их линейное уменьшение с температурой, величина температурно независимой магнитной восприимчивости (выше 120°C), отсутствие магнитной упорядоченности вплоть до 5°C указывают на «Паулипарамагнитный» металлический характер виоларита. Интерпретация спектров Мессбауэра неоднозначна, но предполагается, что Fe^{2+} в структуре виоларита находится в октаэдрической позиции и, следовательно, структура является обращенной. Для окончательного выяснения позиционного положения Fe^{2+} необходимо нейтронно-дифракционное исследование. Изученный виоларит нанесен на диаграмму (см. рис. 26 и описание зигенита).

В рассматриваемом случае гипергенный виоларит встречается чаще, чем гипогенный. В составе железо-кобальтовых руд виоларит прежде всего развивается по миллериту и линниту (Южное месторождение, обр. 120), затем по пентландиту, никельпириту, бравоиту, карролиту и пирротину (Северо-Восточное месторождение, обр. 606).

ОКИСЛЫ И ГИДРООКИСЛЫ

Кварц как гипергенный минерал довольно широко распространен среди бурожелезнякового материала, образовавшегося за счет окисления магнетит-гранатового скарна в всячем боку рудной толщи Северо-

Западного кобальтсодержащего железорудного, а также в Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении. Обогащенные вторичным кварцем бурые продукты, как выяснилось, имеют галлуазит-гидрогетитовый состав. В большом количестве они встречаются на горизонтах 1700—1740 м, в местах явного преобладания граната над магнетитом. Кварц в них мелкокристаллический, иногда мелкодрузовый, Легко обнаруживается под лупой и под микроскопом. Исследования показали, что во фракциях около 0,001 мм, полученных путем отмучивания бурожелезнякового материала, количество кварца составляет 5—20%. Вторичный кварц в таких продуктах ассоциирует с остаточным гранатом, хлоритом, нонтропитом, ферригаллуазитом и гидрогетитом.

Опал и полуопал, по данным М. А. Кашкая [11], не пользующиеся широким распространением в зоне окисления месторождений, были отмечены на Северо-Восточном, Северо-Западном и Южном месторождениях, где он образует белые или нежно-голубые прослойки среди хризоколлы и купрогаллуазита. Опал и полуопал образуют корочки белого цвета с желтым оттенком различной интенсивности.

ОКИСЛЫ И ГИДРООКИСЛЫ ЖЕЛЕЗА

В кобальтовых и кобальтсодержащих рудах установлены минеральные виды группы окислов и гидроокислов железа: мартит (гематит), гетит, лепидокрокит, гидрогематит и гидрогетит.

Мартит — характерный минерал для всех участков месторождений Дашкесанского рудного района. Он образует корки вишнево-красного цвета на магнетите вместе с гидрогематитом и гидрогетитом.

Гетит обычно встречается вместе с гидрогетитом, халькозинном, ковеллином, зигенитом и борнитом. В мономинеральном виде наиболее характерен для продуктов окисления сульфидов, особенно пирита, образуя по нему псевдоморфозы и зонально-ритмичные агрегаты. В зональных образованиях гетит чередуется с гидрогетитом — наиболее характерным его спутником.

Гидрогетит входит в состав кирпично-красных плотных и охристых продуктов, наблюдающихся на магнетите, или является главной составной частью в гетит-гидрогетитовых темно-коричневых плотных корках пористой текстуры, развивающихся также по магнетиту. Наконец, встречается в подобных же смесях, образующихся при выветривании рудного скарна. В последнем случае характерны светло-бурые землистые и комковатые агрегаты. Он установлен также в зональных продуктах, отвечающих окислению сульфидов, и в этом случае ассоциирует с гетитом и лимонитом. В аншлифах отличается благодаря аморфному строению желтым внутренним рефлексом и низкой твердостью. Отражательная способность его невысокая и составляет 16—18%.

На Килитском месторождении установлено два типа гидрогетита: 1) плотный гидрогетит темно-бурого цвета; 2) гидрогетит светло-бурой охристой массы в виде отдельных жил мощностью до 2—3 см, залегающих согласно с вмещающими породами в зоне окисления Килитского месторождения. Некоторые гидрогетиты содержат титан и ванадий, редко индий, золото и свинец.

ГИДРООКИСЛЫ МАРГАНЦА

Псилоделан, по данным М. А. Кашкая [11], встречается в форме дендритов и примазок в рудовмещающих роговиках и в отдельных минералах, как гипогенных (магнетит, кальцит и др.), так и гиперген-

ных (галлуазит, аллофан и др.). На Северо-Восточном и Южном железно-кобальтовых месторождениях является продуктом выветривания марганецсодержащих минералов и развит вдоль роговиков и гранатовых скарнов. Цвет псиломелана черный, разных оттенков в зависимости от наличия механических примесей бурого железняка и других гипергенных минералов, находящихся в тесной ассоциации с минералами гидроокислов железа и кобальта.

ГИДРООКИСЛЫ МЕДИ

Купроасболан в крупных скоплениях обнаружен в зоне окисления рудных скарнов Северо-Западного кобальтсодержащего железорудного месторождения (Л. К. Яхонтова, 1960 г.). Здесь он связан с окислением гранат-магнетитового скарна, содержащего включения халькопирита и гнезд сульфидно-магнетитового состава среди роговиков. Выделяется или в виде слоистых плотных корок на гранях кристаллов магнетита, очевидно, прежде заключенного в карбонатно-сульфидной массе, или в виде землястых скоплений, выполняющих пустоты в окисленном магнетитовом агрегате. Ассоциирует с малахитом, купрогаллуазитом, хризоколлой и гипергенным кварцем.

Детальные исследования описанных выделений черного минерала показали, что во всех случаях распространен купроасболан типа лампадита. Минерал сравнительно легко разлагается на холоде в соляной кислоте с выделением пузырьков хлора. Цвет порошка черно-коричневый, спектральным анализом в нем установлены высокие содержания марганца, меди, кальция и железа, примеси Co, Ni, Ag и Mg.

Было выполнено два химических анализа купроасболана: корочка на кристаллах магнетита с горизонта 1720 м (обр. 7003) и порошковатый агрегат среди окисленного магнетита с горизонта 1680 м (обр. 7016). Пересчеты результатов анализов дали следующие формулы, отвечающие разновидностям купроасболана, близким к лампадиту: 1. (Cu, Co, Ca)O·1,5MnO₂·3H₂O для обр. 7003; 2. (Cu, Co)O·2MnO₂·4H₂O для обр. 7016.

В одном из порошковатых образцов купроасболана, обнаруженных в ассоциации с купрогаллуазитом и малахитом в пустоте среди магнетитового скарна на горизонте 1680 м, было определено 25% MnO₂, около 20% Fe₂O₃ и 5,1% CoO. Во всех случаях присутствие Fe₂O₃ следует отнести к примесям гидрогетита и лимонита, а нерастворимый остаток — к кварцу.

Термограммы образцов купроасболана оказались типичными для этого минерала и подтвердили его природу. Содержали они три эндотермических эффекта: 1) 140° — удаление воды, 2) 700—720° — пиролизитовый (очень маленький) и 3) 940—960° — перманганитовый.

Медная смоляная руда установлена на Северо-Западном рудном месторождении; образование ее связано с окислением халькопирита. Детально не исследована по причине малых скоплений; микроскопически представляет собой буровато-коричневые, иногда с пестрой фиолетовой побежалостью плотные образования по халькопириту, отличающиеся стекляннм или смолистым блеском и раковистым изломом. Очевидно, является смесью куприта (Cu₂O), тенорита (CuO) и гидроокислов железа. Ассоциирует с хризоколлой, обычно окружающей ее выделения.

ГРУППА ГИДРООКИСЛОВ КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ

Гетерогенит (стениерит) представляет собой аморфную или скрытокристаллическую массу буро-коричневого цвета с розоватым и фиолетовым оттенком; нередко он несколько уплотнен, твердость его около 3,5.

На месторождениях минерал образует натечные формы, корочки вокруг гипергенных минералов, а также пронизывает волосными прожилками руды и породы кобальтоносной зоны. Этот минерал и валлерит впервые описаны Г. А. Крутовым (1937 г.) в Дашкесанском рудном районе как продукт окисления кобальтина. При диагностике этих минералов Г. А. Крутов основывался на их физических свойствах и на качественных химических определениях. Л. К. Яхонтова изучала химический состав гетерогенита. В химическом составе этого минерала, наряду с основными компонентами стениерита, присутствуют окись кальция и повышенное содержание воды. М. А. Кашкай [11] указывает, что имеющиеся данные не позволяют выявить истинную химическую природу исследованного минерала. Установленная формула стениерита: CoO ; $1,7\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. По М. А. Кашкаю, она не соответствует конституции подобных минералов, поэтому он рассчитал анализ, исходя из предположения, что в пробе имеются стениерит $\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и шульценит $3(\text{Co}, \text{Cu})\text{O} \cdot \text{Co}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. В состав шульценита он включил имеющиеся в анализе количества CuO и NiO как изоморфные с CoO . При таком подходе к интерпретации химического состава исследованного материала получились следующие результаты пересчета анализа на минералы (в %): шульценит 60,8; кальцит 1,8; стениерит 31,9; излишки 5,5. М. А. Кашкай условно называет рассматриваемое соединение смесью стениерита с шульценитом.

КАРБОНАТЫ

Из карбонатов наиболее широким распространением пользуются кальцит, кобальткальцит, сферкобальтит, арагонит, малахит и азурит.

Кальцит встречается непосредственно в коре выветривания скарноворудных залежей, а также отлагается на стенках разведочных выработок. В виде тонких прожилков сечет роговики и лимонитизированные породы, часто образуя щетки, друзы и корки; мощность корок до 2 см. Цвет гипергенных кальцитов белый, серый, желтоватый, иногда буроватый и даже черный (в зависимости от примесей); сопровождается галлуазитом, нонтронитом, аллофаном, арагонитом и др.

Кобальткальцит образуется в процессе окисления аллоклзита, кобальтина и кобальтсодержащих сульфидов — пирита и сфалерита (Л. К. Яхонтова, 1960 г.).

Обнаружен на Юго-Восточном участке Южного месторождения и в других участках месторождений Дашкесанского рудного района. В шлифах наблюдались разности, более или менее равномерно окрашенные в розовый цвет, а также обладающие пятнистой или зональной окраской. Широко распространена полупрозрачная разность, наружные зоны которой замутнены и окрашены в розовый цвет различной интенсивности. Выделяется здесь кобальткальцит в виде небольших тонких (мощностью до 1 мм) прожилков, распространяющихся по магнетиту и имеющих равномерную бледно-розовую окраску.

При окислении включенных в кальцит кобальтсодержащих сульфидов и сульфоарсенидов на контакте их с карбонатами возникает ярко-розовая зона кобальткальцита, постепенно переходящая в обычный

жильный кальцит белого цвета. Качественными реакциями в описываемом минерале легко обнаруживается кобальт. Спектральным методом в нем найдены примеси марганца, стронция, меди, цинка, железа и никеля.

Сферкобальтит. Минералогическое описание сферкобальтита из дашкесанских месторождений дано Л. К. Яхонтовой (1960). Автор использовал здесь ее материалы, дополнив их новыми наблюдениями по Юго-Восточному участку Южного месторождения.

Сферкобальтит, по Л. К. Яхонтовой, образуется в условиях разрушения карбоната вокруг включенных в него кобальтсодержащих сульфидов — пирита и сфалерита. При этом кальцит интенсивно выщелачивается вдоль плоскостей спайности и двойникования и по путям растворения окрашивается в розовый цвет. Образующиеся щелевидные пустоты покрываются тонкими корочками (0,1—0,5 мм) сферкобальтита яркой малиновой окраски. Автор указывает, что отделить описываемый минерал от кальцита практически невозможно, поэтому определение его было произведено главным образом с помощью микроскопического изучения. Тонкие корочки сферкобальтита, помимо окраски, отличаются от ассоциирующего с ними кальцита мелкокристаллическим строением и матовым блеском. Под микроскопом видно, что минерал выделяется вокруг кальцита в виде неправильных удлиненных зерен и их сростков. Характерны зональные округлые агрегаты розового цвета со слабым плеохроизмом; наблюдались зубчатые корочки на ромбоэдрических зернах кальцита.

Измерение показателей преломления образцов с Северо-Восточного месторождения (горизонт 1620 м) показало, что N_g у них колеблется в пределах 1,820—1,830, а N_p близок к $1,609 \pm 0,003$. Образцы сферкобальтита из Северо-Западного кобальтсодержащего железорудного месторождения (горизонт 1650 м) на северном склоне долины р. Джебраздор имеют величину N_g , изменяющуюся в разных зонах зональных агрегатов от 1,820 до 1,840, т. е. также близкую к теоретической.

Кобальт в сферкобальтите легко выявляется качественными реакциями. Количественное его определение в смеси, сильно обогащенной сферкобальтитом и содержащей кальцит, показало почти 42% CoO , что, без сомнения, свидетельствует о преобладании в ней карбоната кобальта, в котором количество этого элемента теоретически должно быть около 62%.

На Юго-Восточном участке (штольня над мраморным карьером) Южного месторождения сферкобальтит был встречен нами под микроскопом только в одном образце в ассоциации с кобальткальцитом и очень редко с пиритом и сфалеритом. Сферкобальтит был определен следующими диагностическими признаками: в отраженном свете минерал серый, анизотропный, в поляризованном свете выявляется зонально-лучистым строением, внутренние рефлексы розовые и желтовато-розовые. При травлении HNO_3 и HCl вскипает и чернеет.

Минерал в проходящем свете оптически отрицателен: $N_p = 1,830$; $N_g = 1,610$, $N_p - N_g = 0,220$.

Малахит из Северного кобальтового месторождения описан М. А. Кашкаем [11]. Описание его для других месторождений дается по материалам автора.

Представляет собой широко распространенное гипергенное образование, в том или ином количестве встречающееся повсеместно. Вследствие сильного окисления сульфидсодержащих магнетитовых руд малахит образуется путем замещения медьсодержащих минералов или же заполняет пустоты. Встречается в различных натечных формах с харак-

терной грушевидной или почковидной поверхностью, а также в землестых массах. Источниками меди для образования вторичных минералов являются гипогенные сульфиды, в особенности халькопирит. Малахит в зоне окисления, естественно, мог образоваться также за счет дальнейшего изменения таких гипергенных минералов, как борнит, ковеллин, халькозин и др. Наиболее обычными спутниками малахита из гипергенных образований на месторождениях являются азурит, бурый железняк, халцедон, опал и многие другие минералы.

Азурит по распространенности на месторождениях резко уступает малахиту. Он встречается в виде пленок, небольших скоплений, зернистых или землистых масс, а также в виде мелких, хорошо образованных кристаллов. Зернистые разновидности азурита нередко с поверхности замещаются малахитом. Азурит ассоциирует с малахитом, хризоколлой, кальцитом, халькопиритом, купритом и ковеллином.

АРСЕНАТЫ

Из гипергенных арсенатов в кобальтовых и кобальтсодержащих рудах отмечены эритрин, скородит и смольяниновит.

Эритрин — широко распространенный гипергенный минерал на всех месторождениях Дашкесанского рудного района.

Г. Ф. Эфендиев отмечает, что эритрин является одним из основных продуктов изменения кобальтсодержащих минералов в Дашкесане и имеет рассеянное распространение на всех участках с кобальтовым оруденением. Формы выделения эритрина как бы копируют формы выделения первичных минералов: точечные образования в рудах с вкрапленным кобальтовым оруденением (в роговиках, жильных породах, а также в мраморизованных известняках), налеты и пленки на поверхности сплошных кобальтовых руд, корки на таких же рудах, особенно пролежавших в отвалах. Точечные образования рассеяны в массе рудовмещающих или выщелоченных верхних горизонтов зон гидротермально-измененных пород.

Эритрин встречается в виде землистых, редко радиально-лучистых и лучистых агрегатов. Последние особенно характерны для участков, где кобальтовые минералы подвергались выветриванию в карбонатной среде. Еще реже встречаются небольшие пластинчатые образования с ясной совершенной спайностью, перпендикулярной к плоскости листочков. Эти образования, в отличие от землистых агрегатов, имеют светло-розовый цвет и перламутровый блеск. Даже в незначительном скоплении эритрин резко выделяется на фоне других минералов своим характерным розовым цветом. Редко встречающиеся самостоятельные скопления эритрина, вне связи с первичными рудами, как это указывает Г. А. Крутов (1937 г.), связаны с перемещением и механическими переотложениями.

Оптические константы для ясно кристаллических разновидностей (лучистых и пластических агрегатов) следующие: N_g $1,704 \pm 0,003$; N_p $1,636 \pm 0,003$; $N_g - N_p$ $0,069$. Состав $(Co, Ni, Fe_3)(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ анализированного эритрина почти полностью совпадает с теоретическим $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$. Никель и железо, унаследованные от кобальтина, остаются в составе эритрина в качестве изоморфных примесей. Но вместе с тем заметно понижение содержания железа — около 0,3% против нескольких процентов в кобальтине. По-видимому, окисление кобальтина в эритрин сопровождается выделением значительной части содержащегося в нем железа (Fe^{+3}). В эритрин переходят также очень богатые железом глаукоdot и частично данаит. Но во всех случаях эритрин унаследует очень небольшую часть содержащегося в первичном мине-

рале железа. По-видимому, железо в процессе окисления уходит из минералов в виде сульфатов.

Скородит был описан М. А. Кашкаем (1965 г.) для Северо-Восточного участка Южного месторождения. В небольшом количестве этот минерал был им обнаружен в виде тонко рассеянной землистой массы в окисленных рудах сульфоарсенидного парагенезиса в виде примазок или тонкой пленки на породах диабазовой дайки, содержащих сульфоарсениды, подвергшиеся вторичному изменению. М. А. Кашкай указывает, что скородит ассоциирует с эритрином и, как правило, окаймляет его тонкой пленкой. От широко распространенного на месторождении малахита скородит отличается яблочно-зеленым цветом.

На Юго-Восточном участке Южного месторождения скородит микроскопически был обнаружен автором только в одном образце из отвала штольни 1. Минерал определен по следующим диагностическим признакам: в отраженном свете — голубовато-серый; отражательная способность меньше, чем у сфалерита; слабо анизотропен: имеет бесцветные, иногда желтоватые внутренние рефлексы; хорошо травится HNO_3 и HCl .

Наличие в исследуемом минерале мышьяка определено восстановлением этого элемента в растворе HCl . Железо обнаружено капельным анализом по синему пятну берлинской лазури на фильтровальной бумаге при воздействии на раствор минерала 5%-ным раствором железистосинеродистого калия. Зернистые агрегаты скородита встречаются в зоне окисления месторождения, в составе их преобладают мышьяксодержащие минералы. Наблюдается срастание скородита с гидроокислами железа с образованием колломорфной метаколлоидной структуры. Очень редко ассоциирует с арсенопиритом.

Смольяниновит. Описание смольяниновита приводится по материалам Г. А. Крутова, Л. К. Яхонтовой, Г. С. Румянцева и др. (1958 г.). Это водный оксарсенат железа, кобальта, кальция и магния — продукт окисления кобальтовых арсенидов. В небольших количествах был установлен на Юго-Восточном участке Южного месторождения с эритрином и гетерогенитом.

Минерал выделяется в виде охр соломенно-желтого цвета, покрывающих кристаллики эритрина и заполняющих промежутки между ними. Качественными испытаниями в нем определены железо, кобальт и мышьяк. Оптические свойства описываемого арсената очень близки к известным в литературе. Спутанно-волоконистое строение зерен, желтая окраска, низкое двупреломление (около 0,010) и средний показатель преломления (близкий к 1,604) дают основание отнести условно минерал к смольяниновиту.

СИЛИКАТЫ

Гизингерит был обнаружен М. А. Кашкаем [11] микроскопически среди кальцит-магнетитовых руд Юго-Восточного участка в виде псевдоморфоз по пириту, образующему скопления в мелкозернистых магнетитовых рудах из нескольких скважин. Кроме пирита гизингерит замещает магнетит и ильваит.

Описание гизингерита автор приводит по данным А. П. Грудева и Т. И. Ратниковой (1970 г.). Ими выделяются две разновидности минерала: 1) натечная колломорфная разновидность, развивающаяся в виде плотных корочек в трещинах и пустотах крупнокристаллического кальцита среди кварцсодержащих кальцит-магнетитовых руд с ильваитом. Иногда гизингерит тесно прорастает сквозь кварц и кальцит, образуя

сплошную однородную массу светло-бурого цвета. Кристаллы кварца в таких случаях приобретают бурю окраску. Гизингерит в пустотах и трещинах среди кальцита обладает характерным смоляно-черным или красновато-черным цветом; обычно просвечивает в краях. Характерны раковистый излом и жирный блеск. Колломорфные корочки гизингерита развиты трещинами дегидратации. Минерал очень хрупок, твердость около 3. Эта разновидность гизингерита развивается по ильваиту, местами почти нацело замещая его; 2) землистый гизингерит, образующий тонкие налеты и зеленовато-черные псевдоморфозы по кристаллам пирита. В отличие от первой разновидности землистый гизингерит находится в тесной ассоциации с пиритом, халькопиритом, мелкозернистым магнетитом и дашкесанитом.

По данным спектральных анализов для гизингерита, образующего примазки по пириту, характерно содержание серебра и стронция, которые отсутствуют в гизингерите, развивающемся в пустотах, а также повышенное содержание магния, меди и кальция. Обе разновидности содержат небольшие примеси марганца.

Глава 6

НЕРУДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Кварц. Среди кобальтовых и кобальтсодержащих руд кварц является довольно широко распространенным минералом. Он входит в состав различных типов скарнов, где выделяется в пустотах или в трещинах. Вместе с аметистом встречается в парагенезисе собственно сульфидов и сульфоарсенидов кобальтовых минералов. Как более или менее существенная составная часть рудной массы, он развит в гранатовых, эпидот-гранатовых, геденбергит-гранатовых скарнах, являющихся вмещающей средой аллоклазит-кобальтиновой и полисульфидной минерализаций.

Выделяется кварц нескольких генераций. Наиболее ранним является кварц из кварц-карбонатных кварц-аллоклазит-кобальтиновых, кварц-шеелит-касситеритовых и кварц-карбонат-полисульфидных прожилков среди скарнов, образующий крупные призматические зерна, а в центральных частях прожилков — мелкие друзы.

Вторая генерация кварца — молочно-белая, полупрозрачная разновидность, которая частично кристаллизуется в процессе метасоматоза, главным образом в открытых полостях. На контактах с пересекающими и замещающими его сульфидными, магнетит-гематитовыми и другими минералами возникают оторочки прозрачной разновидности кварца, очищенной от мелких газовой-жидких включений. Характерен повсеместный и, по видимому, многократный катаклиз кварца этой генерации. В катаклазитах повсеместно попадают аллоклазит, кобальтин, кобальтпирит, шеелит и касситерит. Наблюдавшиеся при больших увеличениях газовой-жидкие включения в кварце указывают на низкие температуры кристаллизации, около 100—150° С, так как объем газовой фазы не превышает 5—10%, а иногда и отсутствует. Неравномерное распределение по объему зерен и признаки перекристаллизации кварца указывают на вторичное происхождение газовой-жидких включений и их вероятную синхронность с кристаллизацией главной массы шеелита, касситерита, кобальтпирита в скарнах.

Кварц III генерации тесно связан с полисульфидами и сульфоарсенидами в тонкозернистых рудах. В отличие от ранних, эта генерация представлена прозрачными идиоморфными кристаллами размером 0,3—1,5 мм, равномерными сульфидами и сульфоарсенидами. Жильная форма кварца подразделяется на два типа: 1) мелкие кварцевые прожилки, ориентированные в самых разнообразных направлениях, мощностью около 1,0—1,5 мм; 2) кварцевые жилы и гнезда мощностью до 10—15 см, не имеющие определенной ориентировки. Оба типа кварцевых жил несут богатую сульфидную, сульфоарсенидную и шеелит-касситеритовую минерализацию.

Следует отметить, что рудную минерализацию содержат лишь те кварцевые жилы, которые локализируются в контурах рудных тел. Кварц и его разновидности в пределах рассматриваемых месторождений наблюдаются в парагенетической ассоциации со всеми обнаруженными рудными и нерудными минералами.

Кальцит в том или ином количестве входит в состав всех типов руд и скарновых пород.

Наиболее крупные скопления раннего кальцита, или кальцита I генерации, приурочены к контактовым частям рудных тел с вмещающими породами. Здесь крупнозернистый белый кальцит слагает нередко мономинеральные полосы мощностью до 60 см. В ассоциации с кварцем, сульфидами и окислами кальцит занимает промежутки между отдельными почковидными образованиями. Под микроскопом видно, что ранний кальцит совершенно бесцветен и отличается обычно крупнозернистой структурой с размерами отдельных зерен от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Он обладает таблитчатой формой зерен и образует широкие двойники. Проведенные нами спектральные анализы раннего кальцита показывают, что отличительной особенностью этого минерала является наличие в его составе редких элементов — тантала, церия и иттрия. Постоянно присутствуют титан, железо, кобальт, никель, вольфрам и иногда олово.

Макроскопически кальцит II генерации бесцветен, иногда со слабо розоватым оттенком. Под микроскопом наблюдается в виде бесцветных таблитчатых и неправильной формы зерен. Отличается от раннего кальцита мелкозернистой структурой. Результаты спектральных анализов кальцита II генерации аналогичны кальциту I генерации.

Кальцит III генерации широко представлен: образует мощные жилы, секущие все скарновые минералы и связанные с ними сульфиды, сульфоарсениды, а также прожилки поздних сульфидов с кальцитом II генерации. Наиболее мощные жилы кальцита III генерации встречаются висячем боку Главного рудного тела. Широко развиты жилородные и неправильные по форме тела кальцита III генерации в рудном теле месторождений. Макроскопически кальцит III генерации отличается тонкозернистой структурой и розоватым цветом. Кальцит III генерации отличается от кальцита ранних генераций более высоким показателем преломления и большим двупреломлением.

Вместе с кальцитом встречаются пирит, кобальтпирит, халькопирит, аллоклазит, кобальтин, глаукокодот, сфалерит, полидимит, зигенит, пентландит, кобальтпентландит, магнетит, пирротин, шеелит, касситерит, ильменит и рутил. Во всех минерализованных зонах месторождений наблюдаются и самостоятельные кальциты без сульфидов. В виде прожилков различной мощности они заполняют трещинки в рудных гнездах и рудовмещающих породах или образуют гнездообразные скопления, являясь последними по времени выделения из гидротермальных растворов.

Химический состав кальцита
из Северо-Восточного железо-
кобальтового месторождения
(обр. 606)

Окислы	Содержание	
	вес. %	ат. кол.
CaO	55,45	0,989
CO ₂	43,27	0,981
MnO	0,96	0,014
FeO	0,17	0,002
SiO ₂	0,15	0,002
Сумма	100,00	

Примечания. 1. Fe определено в элементарной форме и пересчитано на FeO. 2. CO₂ определено по разности 100% — CaO+FeO. 3. Определения выполнены в лаборатории ИГЕМ АН СССР.

Качественными анализами в кальците отмечается целый ряд элементов. Многие из обнаруженных анализом элементов в кальците, несомненно, являются механическими примесями, хотя и содержатся в небольших количествах. К изоморфным примесям кальцита можно отнести Mn и Fe, Ni и Co.

После пересчета результатов химического анализа, приведенного в табл. 88, получена следующая кристаллохимическая формула кальцита: $(Ca_{0,99}Mn_{0,01}Fe_{0,002})_{1,00}(Co_{0,98}Si_{0,002})_{0,98} \times O_{3,00}$.

Ортоклаз, распространенный в рудах сульфидов и сульфоарсенидов кобальта, под микроскопом белый, розоватый, буровато-желтый, иногда мясо-красный, кремово-желтый.

Встречается в парагенетической ассоциации с кварцем, кальцитом, гранатом, эпидитом, альбитом, диопсидом, геденбергитом и другими рудными и нерудными минералами. В шлифе на некоторых участках наблюдаются мелкие неправильной формы бесцветные прозрачные разности, возможно, адуляр.

Гранаты из месторождений Дашкесанского рудного района были описаны Л. А. Ячевским, Г. А. Крутовым, Ф. И. Векиловой, Г. П. Барсановым, М. А. Кашкаем, А. И. Махмудовым и др.

В рудных телах гранаты слагают неправильной формы участки и полосы мономинеральных гранатовых и двуминеральных гроссуляр-андрадитовых сканарнов. Встречаются ритмично-полосчатые образования, состоящие из узких, шириной в несколько миллиметров, чередующихся полос гроссуляра, в малом количестве андрадита и редко пироксена, а в другом случае — из тонких полос гроссуляра и сульфидов (пирита, кобальтпирита, сфалерита), реже шеелита и касситерита. Мелкие кристаллики гроссуляра изредка встречаются в открытых полостях, являясь более ранними образованиями.

Гранат представлен в основном двумя разновидностями: 1) буро-зеленая, зеленовато-желтая, бледно-зеленая, в которой отдельные кристаллы макроскопически неразличимы (гроссуляр); 2) желтоватая, зеленоватая, буро-красная, черноватая (андрадит) с кристаллами размером до 0,3—0,4 см в поперечнике. Гранаты, в которых гроссуляровый компонент преобладает над андрадитовым, обычно окрашены в буро-зеленый цвет, тогда как характерным цветом гранатов, близких к андрадиту, является бурый различных оттенков.

В результате химических и спектральных анализов в гранатах были обнаружены в значительном количестве кобальт, ванадий, марганец и титан. Кобальт в решетке граната изоморфно замещает железо из-за близости ионных радиусов. Никель обнаружен лишь в некоторых образцах в сотых долях процента, а цирконий — до 0,005%, ванадий — 0,001—0,002%. Приведенные данные показывают, что гранаты являются членами изоморфного ряда гроссуляр — андрадит. В них в широких пределах происходит взаимное изоморфное замещение Al^{+3} и Fe^{+3} , что обуславливает развитие гранатов промежуточного состава с различ-

Таблица 89

Химический состав гроссуляра
из Килитского кобальт-
никельсодержащего вольфрамового
месторождения (обр. 2500)

Оксиды	Содержание			
	1		2	
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.
SiO ₂	38,47	0,640	39,47	0,657
CaO	24,04	0,429	23,40	0,417
Al ₂ O ₃	23,07	0,452	22,04	0,432
FeO	12,68	0,176	14,70	0,205
MnO	1,02	0,014	0,83	0,012
MgO	—	—	0,5	0,012
Сумма	99,29	—	99,69	—

ным соотношением гроссуляра и андрадита. Такие гранаты на месторождении встречаются довольно часто. Гранаты гроссуляр-андрадитового ряда в скарнах сопровождаются эпидотом, актинолитом, хлоритом, диопсидом, геденбергитом и сульфидами и окислами.

После пересчета результатов химического анализа, приведенного в табл. 89, были получены следующие кристаллохимические формулы гранатов: 1. $(Ca_{2,00}Fe_{0,83}Mn_{0,07})_{2,90}Al_{2,10} \times (Si_{2,98}Al_{0,02})_{3,00}O_{12,00}$; 2. $(Ca_{1,93}Fe_{0,95} \times Mn_{0,05})_{3,00}Al_{2,00}Si_{3,00}O_{12,00}$.

Эпидот — основной минерал скарнов смешанного типа; часто находится в кварцевых, кварц-карбонатных, гранатовых скарнах и во вмещающих их породах. Представлен

идiomорфными, неправильными губчатыми зернами с реликтами замещенных зерен альбита, ортоклаза, диопсида, дашкесанита и геденбергита. Встречается в виде вкраплений и скоплений в эндо- и экзокскарнах, образует сноповидные и лучистые агрегаты, метки или отдельные кристаллы в жеодах и жилах; входит в состав эпидозитов, альбититов и других метасоматических пород. Вне контактовых зон эпидот нередко можно встретить среди вулканогенных пород вместе с кварцем, кальцитом и другими минералами. Эпидот фиштакково-зеленый, образует вытянутые вдоль {010} кристаллы длиной до 2—3 см и до 3 мм в поперечнике, нарастающие на магнетите, гранате и других минералах. Эпидот нередко дает лучистые скопления удлиненных кристаллов. Местами встречаются мелкозернистые (до землистых) скопления вокруг скарновых минералов. В скарноворудных зонах и в зонах дробления месторождений Дашкесанского рудного района эпидот встречается совместно с кварцем, кальцитом, магнетитом и минералами сульфидов и сульфосаренидов, образуя полосы мощностью 3—5 см. Размеры отдельных индивидов достигают 0,2×1,5 мм.

На Килитском и Кетамском месторождениях эпидот образуется чаще за счет серицитизированного плагиоклаза. В парагенезисе с эпидотом в скарнах нередко находятся шеелит, касситерит, полидимит, пирит, халькопирит, кварц, кальцит (Килитское месторождение), кобальтпирит, зигенит, магнетит, гематит и хлорит (Кетамское месторождение). Местами мелкозернистые скопления эпидота окаймляют скарновые минералы. Под микроскопом эпидот двух разновидностей: бесцветный и плеохроичирующий от бесцветного до лимонно-желтого. Иногда в кристаллах эпидота встречается ортит. Хорошо ограненные кристаллы цементируются кальцитом и кварцем. В некоторых кристаллах эпидота наблюдается зональное строение.

В результате спектральных анализов в эпидоте были обнаружены Ti, Mn, Cu и Ga, Sr [11].

Дашкесанит — хлорсодержащий амфибол впервые обнаружен С. А. Докторовичем-Гребницким (1913 г.), установившим, что по своим свойствам он близок к глаукофану. Е. Г. Багратуни (1932 г.) определил его как гастингситовую роговую обманку. Г. А. Крутовым

(1937 г.) выявлены специфические особенности этого минерала из группы гастингита, который назван дашкесанитом.

Актинолит встречается в эндоскарнах в ассоциации с гроссуляром, андрадитом, кварцем, кальцитом, ортоклазом, альбитом, магнетитом, гематитом, шеелитом, касситеритом, хлоритом, цеолитами, сульфидами и сульфоарсенидами.

На Килитском месторождении встречаются волосистые разновидности актинолита — биссолит бесцветный или слабо-зеленоватый.

Хлорит пеннинского ряда принимает большое участие в гидротермально-измененных жильных и вмещающих околорудных породах кобальтиновых рудных зон, в особенности на Северном кобальтовом месторождении. Характеризуется чешуйчатым строением, зеленоватым цветом, слабо плеохроирует под микроскопом. Хлориты — обычные продукты разложения темноцветных минералов и замещают основные плагиоклазы вулканогенных порфиритов [11]. В зонах дробления они, выполняя мелкие трещины совместно с кварцем и поздними сульфидами и сульфоарсенидами, окрашивают их в грязно-зеленый цвет. Большой частью хлорит представлен темноокрашенной разновидностью со средним двулучепреломлением ($N_m = 1,656 - 1,660$), соответствующей группе железистых хлоритов типа тюрингита [21].

В кобальтоносных скарнах Килитского и Кетамского месторождений хлорит встречается в виде мелкочешуйчатых, реже колломорфных агрегатов или табличек. Интенсивно окрашен и плеохроирует от зеленовато-бурого или оливково-зеленого по N_g до зеленовато-желтого по N_p .

Цеолиты распространены в скарноворудных залежах, в приконтактовых участках интрузивов и в жильных породах. В значительных количествах находятся в зонах дробления среди туфобрекчий. Ассоциируют с гранатами и аллоклазитом, кобальтином, арсенипитом, данаитом, магнетитом, пиритом, кобальтпиритом, халькопиритом, эпидотом, актинолитом, кальцитом и кварцем. Образуют сеть тонких (мощностью 0,5—2,0 см и редко более) цеолитовых (с малым количеством кальцита) и кальцит-цеолитовых прожилок, где занимают часто краевые зоны, но иногда выполняют и центральные части, оттесняя кальцит к зальбандам. Такие взаимоотношения цеолитов и кальцита свидетельствуют о несколько более ранней кристаллизации первых при формировании цеолит-кальцитовых прожилок. Значительная часть прожилок сложена сплошными пластинчато-зернистыми агрегатами, окрашенными в светло-розовато-оранжевый цвет. При исследовании этих агрегатов под микроскопом оказалось, что они представляют собой сростки разновидностей цеолитов: гейландита, натролита, сколецита и ломонтита.

Гейландит составляет значительную часть цеолит-кальцитовых прожилок; представлен полупрозрачными светлоокрашенными таблитчатыми агрегатами, слагающими призальбандовые участки. Иногда заполняет пустотки в породах, образуя щетки таблитчатых кристаллов. Показатели светопреломления гейландита по $N'_g = 1,502 \pm 0,001$, $N'_p = 1,493 \pm 0,001$. Коноскопическая фигура его двусная положительная. При пересчете данных химического анализа одной пробы цеолита из прожилок получена формула, отвечающая теоретическому составу гейландита. Присутствие в ней небольших количеств натрия обусловлено засоренностью проб натролитом, находящимся в тесном сростании с гейландитом.

Кристаллохимическая формула гейландита из Южного месторождения следующая: $(Ca_{1,05}Na_{0,24}Mg_{0,06})_{1,35}Al_{2,00}(Si_{5,66}Al_{0,24})_{5,92}O_{16,00} \times 6,4 H_2O$.

Натролит только в иммерсионных препаратах выделяется в массе гейландита своим более низким рельефом. Показатели светопреломления его по $N'_g=1,493\pm 0,001$, по $N'_p=1,484\pm 0,001$. Коноскопическая фигура двусная положительная. По оптическим свойствам этот минерал соответствует натролиту.

Сколецит в небольших количествах обнаруживается более высоким рельефом: показатели светопреломления по $N'_g=1,519\pm 0,001$, по $N'_p=1,510\pm 0,001$. Двусный отрицательный.

Ломонтит из Дашкесанского рудного района, по данным Л. К. Яхонтовой, в иммерсионных препаратах прозрачен, бесцветен, распадается на резко удлиненные пластинки. Двусный отрицательный. Показатели светопреломления минерала по $N'_p=1,516\pm 0,001$, по $N'_g=1,507\pm 0,001$. Оптические данные и форма кристаллов типична для ломонтита.

По времени образования цеолиты на рассматриваемых месторождениях являются одними из поздних минералов гидротермально-измененных жильных пород, особенно в районе кобальтовой минерализации, где они встречаются в виде мелких кристалликов, часто определяемых лишь микроскопически. Они кристаллизовались немного раньше кальцита, в самую последнюю стадию гипогенной минерализации, на что указывают многочисленные факты пересечения прожилков различного минералогического состава (включая пирит и кобальтпирит).

Ильваит принадлежит к числу минералов, образующих значительные концентрации в скарнах, где они нередко выделяются в виде отдельных скоплений и крупных линз в ассоциации с гранатами, пироксенами, магнетитом, сульфидами и сульфоарсенидами. На Южном месторождении ильваит обнаружен в образцах из кернов ряда скважин Юго-Восточного и Юго-Западного участков. На Юго-Восточном участке минерал образует значительные по своим размерам скопления крупнозернистых агрегатов, а также отдельных линз и прослоев мощностью до 5—7 см, расположенных среди магнетитовых руд в тесной ассоциации с кальцитом и дашкесанитом. По трещинкам в крупнокристаллическом кальците в виде прожилков и примазок вместе с ильваитом развиваются гематит и сфалерит. Нередко ильваит развивается по зальбандам кальцитовых прожилков в виде отдельных крупных шестоватых кристаллов (длиной до 2 см); в таких прожилках минерал тесно ассоциирует с арсенопиритом.

На Юго-Западном участке ильваит наблюдался в виде небольших мелкозернистых выделений среди безрудного гранат-эпидотового скарна, иногда вместе с дашкесанитом и хлоритом; имеет смоляно-черный цвет с сильным жирным блеском в изломе. Ильваит на Юго-Восточном участке был встречен в ассоциации с халькопиритом, пиритом и гематитом. Все эти минералы присутствуют в крупнокристаллическом кальците среди гранатового скарна, размеры зерен ильванита достигают 0,1 мм. Минерал хорошо диагностируется в отраженном свете по низкой отражательной способности и очень сильному эффекту анизотропии. Цвет у различно ориентированных зерен меняется от розовато-серого до голубого. В скрещенных николях отчетливо наблюдается цветной эффект от густо-синего до красновато-розового. Характерен красно-бурый внутренний рефлекс.

Альбит встречается в Дашкесанском и Ордубадском рудных районах, близ гранитоидных интрузий в виде тонких оторочек мощностью 0,005—0,1 мм. В жильных образованиях, преимущественно в кварц-полевошпатовых прожилках, обнаруживается редко и в малых количествах. Образует полисинтетические sdвойникованные таблитчатые зерна размером до 1 мм в псевдоморфозах по ортоклазу и роговой обман-

ке. Калиевые полевые шпаты также замещаются альбитом, начиная с периферии зерен, вплоть до образования шахматных альбитов по ортоклазу. Альбит — мутный под микроскопом, содержит мелкие листочки серицита.

В Дашкесанском районе, а также на Килитском и Кетамском месторождениях альбит встречается вместе с ортоклазом, кварцем, кальцитом, диопсидом, гроссуляром, андрадитом, ильменитом, рутилом, магнетитом, иттротрофаном, иттропатитом, шеелитом, касситеритом, пиритом, кобальтпиритом и сульфидами.

Диопсид — минерал эндо- и экзоскарнов и вмещающих интрузивных пород основного состава. Сопровождается гроссуляром, андрадитом, альбитом, ортоклазом, геденбергитом, эпидотом, кварцем, кальцитом, магнетитом, гематитом, актинолитом, хлоритом, цеолитом, шеелитом, касситеритом, сульфидами и сульфоарсенидами. Наблюдается в виде короткопризматических кристаллов длиной до 0,3 мм зеленоватого цвета, иногда бесцветен.

Апатит и иттропатит. Встречен в эндо- и экзоскарнах, в интрузивных и ороговикованных породах. В большом количестве кристаллики апатита обнаружены в дашкесанитовых скарнах всяческого бока скарноворудной залежи, актинолитовой массе и в магнетите.

В составе апатита из Килитского месторождения были обнаружены автором Y, Rb и Sr, вследствие чего минерал был назван иттропатитом. Иттропатит встречается с иттротрофаном, магнетитом, ильменитом, рутилом, шеелитом, касситеритом, а также кварцем, кальцитом в массе скарнов, в порфиридных гранитах; образует мелкие короткопризматические кристаллы размером 0,1—0,2 мм. Цвет иттропатита под микроскопом на фоне скарновых минералов серый (в зависимости от примесей FeO), зеленовато-желтый (богат иттрием, стронцием и рубидием), на некоторых участках голубой, зеленовато-голубой.

Фотолюминесценция иттропатита изучена под микроскопом (МЛ-2). Наблюдения велись на полированных шлифах, приготовленных без предварительной обработки, органическими соединениями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при переходе от пород магматического облика к образованиям гидротермальных жил неоднородность зерен апатита резко возрастает.

Зеленовато-желтая разновидность апатита в ультрафиолетовых лучах имеет зеленоватый и желтоватый характер люминесценции. При этом устанавливается довольно отчетливая визуальная зависимость яркости свечения от интенсивности окраски апатита. Наиболее ярко люминесцируют ясноокрашенные кристаллы иттропатита.

Химический состав иттропатита изучен микроанализатором. Анализ элементов Y, Pb, Sr, Ba проводился по линиям L_{α} , при ускоряющем напряжении 20 кВ. В качестве эталонов использовались гомогенные минералы известного состава или синтезированные фазы: $BaSO_4$, $SrSO_4$, Rb, Se $(WO_4)_3$, Y_2SiO_5 ; Nb и Ta — металлические.

Результаты анализов приведены в табл. 90. Были проанализированы образцы иттропатита из Килитского месторождения (обр. 2500). В зернах иттропатита установлены элементы (в вес. %): P_2O_5 41,9—42,26; Y_2O_5 0,12—0,56 (распределены равномерно) и PbO 0,03; SrO 0,2—0,5; BaO 0,03 (распределены неравномерно).

Минералы, содержащие редкоземельные элементы, целесообразно подразделять на две группы: редкоземельные минералы, в структуре которых редкоземельные элементы занимают свою собственную позицию, и минералы, в которых редкоземельные элементы присутствуют в качестве изоморфной примеси. Последние представляют наибольший

Химический состав иттроапатита из Килитского кобальт-никельсодержащего вольфрамового месторождения (обр. 2500)

Окислы	Содержание					
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.
	1		2		3	
CaO	54,77	0,977	56,52	1,008	55,2	0,984
P ₂ O ₅	42,26	0,596	41,9	0,591	42,1	0,593
Y ₂ O ₃	0,56	0,005	0,18	0,002	0,12	0,001
FeO	0,45	0,006	0,12	0,002	0,10	0,001
SrO	—	—	0,5	0,001	0,2	0,002
RbO	—	—	0,03	0,003	—	—
BaO	—	—	—	—	0,03	0,0002
OH	1,7	0,221	1,7	0,221	1,7	0,221
Сумма	99,75		100,58		99,45	

Примечание. После пересчета результатов анализа получены следующие кристаллохимические формулы иттроапатита: 1. (Ca_{4,82}Y_{0,03}Fe_{0,03})_{4,88}P_{2,94}O_{12,15}(OH)_{0,99}. 2. (Ca_{4,93}Y_{0,01}Fe_{0,01}Rb_{0,002})_{4,95}P_{2,89}O_{12,07}(OH)_{1,08}. 3. (Ca_{4,83}Y_{0,01}Fe_{0,01}Sr_{0,01}Ba_{0,001})_{4,86}P_{2,91}O₁₂.

интерес, так как обнаруживают широкие вариации в содержании и составе в зависимости от кристаллохимических особенностей структуры и условий минералообразования.

Следует отметить появление в парагенетической ассоциации с иттроапатитом сульфидов (пирит, кобальтпирит, арсенопирит); окислов (касситерит, магнетит, гематит, рутил, кварц, ильменит) и других минералов (шеелит и др.), что свидетельствует о некотором снижении кислотности раствора и возрастании активности S⁻². Изменение активности ряда элементов и физико-химических условий в процессе минералообразования находит отражение в изменении состава отдельных минералов и их ассоциаций.

Иттроапатит — типичный акцессорный минерал большого числа интрузивных пород, особенно кислых и щелочных. Происхождение акцессорных минералов одни исследователи связывают с метасоматическими процессами, другие — с непосредственной кристаллизацией из магматического расплава. Из этого расплава, образующегося при ликвации диорит-апатит-магнетитовой магмы, при 850—1000 °С кристаллизуются магнетит-апатитовые тела с ильменитом. В случае ликвации основной магмы с отделением сульфидного расплава могут образоваться сплошные медно-никелевые руды — пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит с апатитом, выделяющимся раньше сульфидов. Иттроапатит из рассматриваемого месторождения богат Y, Rb, Sr и Ba, цвет его зеленовато-желтый, иногда зеленовато-голубой.

Сфен и иттросфен. В скарнах различного состава Килитского месторождения сфен является акцессорным минералом. В его составе, по данным химического анализа, содержание Y₂O₃ варьирует от 0,62 до 2,3% и Nb₂O₃ от 0,13 до 0,14%. Иттросфен встречается с пиритом, халькопиритом, полидимитом, зигенитом, рутилом, магнетитом, ильменитом, апатитом, шеелитом, касситеритом, кварцем, кальцитом, эпидотом, гроссуляром, диопсидом, альбитом, ортоклазом и др.

Химический состав иттрросфена из Килитского кобальт-никельсодержащего вольфрамового месторождения (обр. 2500)

Оксиды	Содержание					
	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.	вес. %	ат. кол.
	1		2		3	
TiO ₂	37,8	0,473	35,4	0,443	35,6	0,446
SiO ₂	30,3	0,504	30,5	0,508	30,44	0,507
CaO	25,9	0,462	27,5	0,490	28,6	0,510
Y ₂ O ₃	2,3	0,021	1,02	0,009	0,62	0,001
Al ₂ O ₃	0,95	0,019	2,1	0,041	3,34	0,065
Fe ₂ O ₃	0,75	0,009	2,5	0,031	0,40	0,005
Nb ₂ O ₅	0,13	0,004	—	—	0,14	0,001
FeO	1,14	0,016	—	—	—	—
BaO	0,21	0,002	—	—	—	—
MnO	—	—	0,2	0,003	—	—
Сумма	99,48	—	99,22	—	99,14	—

Примечание. После пересчета результатов анализа получены следующие кристаллохимические формулы иттрросфена: 1. (Ca_{0,92}Y_{0,04}Fe²⁺_{0,02}Nb_{0,01}Ba_{0,01})_{1,00}(Ti_{0,94}Al_{0,04}Fe³⁺_{0,02})_{1,00}Si_{1,00}O_{5,00}. 2. (Ca_{0,97}Y_{0,02}Mn_{0,01})_{1,00}(Ti_{0,87}Al_{0,08}Fe_{0,06})_{1,01}Si_{1,00}O_{4,98}. 3. (Ca_{0,99}Y_{0,01})_{1,00}(Ti_{0,87}Al_{0,12}Fe_{0,01}Nb_{0,002})_{1,00}(Si_{0,996}Al_{0,004})_{1,00}O_{5,00}.

В массе скарных пород встречаются мелкие одиночные, изредка радиально-лучистые агрегаты иттрросфена размером от 0,002—0,003 до 0,01—0,1 мм. Цвет иттрросфена под микроскопом на фоне скарных пород коричневатый, иногда желтоватый до зеленовато-белого. Результаты анализов иттрросфена приведены в табл. 91.

Геденбергит представлен призматическим агрегатом зеленовато-черного цвета. Показатели преломления в иммерсионных препаратах изменяются следующим образом: $N'_p = 1,73—1,754$; $N'_g = 1,754—1,78$. Двуосный, удлинение положительное.

В шлифах прозрачные минералы выделяются в агрегат длинношестоватых зерен буроватого цвета. В скрещенных николях характерна неоднородная аномальная интерференционная окраска, как у эидота. Погасание косое до 30—45°. Промежутки между зернами геденбергита занимают плагиоклаз, остатки стекла, участки кварца роговиковой структуры, рудные минералы, обрастаемые стебельчатым кварцем, эпидот, редкие зерна эгирина, скаполита и мелкие глобулярные вкрапления кристобалита.

Кристобалит обнаружен в виде чрезвычайно мелких глобулей и шестигранных табличек, измеряемых сотыми долями миллиметра. Поэтому он не мог быть отобран для специальных исследований. В шлифе под микроскопом установлен лишь очень низкий показатель преломления. Центральная часть глобулей не действует на поляризационный свет. Минерал — двуосный, отрицательный. Эти показатели, характерная форма выделений, ассоциация с кварцем и высокотемпературным геденбергитом позволили диагностировать его как кристобалит.

Везувиан образует ограненные короткопризматические кристаллы разных оттенков серовато-зеленого, реже красновато-бурого цвета с характерной штриховкой на гранях призмы. В зависимости от содержания железа N'_g колеблется от 1,702 до 1,706. Иногда в скрещенных

николях у минерала появляются зональные аномальные цвета интерференции желтого или синего оттенков. В базальных срезах изредка видны секториальные двойники.

Волластонит относится к числу редковстречающихся минералов месторождения в эндо- и экзокарнах в ассоциации с альбитом, ортоклазом, гроссуляром, андрадитом, диопсидом, геденбергитом, эпидотом и хлоритом. Под микроскопом минерал обнаруживает окраску от белой до розовой. В скарнах различного состава Килитского месторождения волластонит представлен таблитчатыми выделениями размером до 0,5 мм. Местами образует кристаллики или радиально-лучистые сростки.

Глава 7

ТИПЫ РУД, ИХ СОСТАВ И ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Изучение вещественного состава руд и естественных минеральных ассоциаций месторождений позволяет выделить следующие главные типы кобальтовых и кобальтсодержащих руд: 1) аллоклазит-кобальтиновые; 2) глаукоdot-данаит-арсенопиритовые; 3) кобальтпиритовые с редкими примесями сульфоарсенидов железа, кобальта и никеля. Главными для месторождений Дашкесанского рудного района являются первые два типа. Третий тип имеет смешанный минералогический состав и изменчивые количественные соотношения между минералами.

Главными минералами аллоклазит-кобальтиновых руд являются кобальтин и аллоклазит, составляющие 90% рудной массы и тесно ассоциирующие с моддеритом, саффоритом, самородным висмутом, висмутином, теллуридом, теллуrowисмутитом, карролитом, пиритом, кобальтсодержащим пиритом, кобальтпиритом, бравонитом, халькопиритом, пирротинном, пентландитом, магнетитом, линнеитом. Характерно почти полное отсутствие арсенопирита, данаита, леллингита и глаукоdotа. Сфалерит, галенит, молибденит, миллерит и электрум присутствуют в ограниченном количестве.

Аллоклазит-кобальтиновые руды локализованы в трещинах, секущих скарны, и в лежачем боку магнетитовой залежи Юго-Восточного и Юго-Западного участков месторождения. Мелкозернистый кобальтин и аллоклазит образуют вкрапленность, отдельные скопления и тонкие пересекающиеся прожилки, что создает пятнистую, пятнисто-прожилковую и тонкопрожилковую текстуры. Отдельные прожилки имеют небольшую мощность (до 1 см), в то время как мощность рудной зоны в целом достигает 25—50 см (рис. 130). Кобальтин и аллоклазит в виде мелкозернистой равномерной вкрапленности заключены в скарновом кварц-карбонатном жильном материале. Характерной особенностью кобальтина и аллоклазита в карбонатных прожилках является их интенсивная корродированность до образования скелетных и реликтовых форм.

Интересны соотношения кобальтина, аллоклазита и магнетита. В ряде случаев магнетит поздней генерации отчетливо корродирует крупные, хорошо образованные кристаллы кобальтина и аллоклазита по магнетиту, когда сильно корродированные зерна магнетита находятся

в центре их кристаллов. Очевидно, здесь происходит развитие кобальтина и аллоклазита по наиболее раннему магнетиту скарновой стадии рудотложения. Пирит, халькопирит, пирротин являются более поздними по отношению к кобальтину и аллоклазиту. Они отчетливо корродируют их и по времени образования близки эпидоту, актинолиту и хлориту. Под микроскопом видно, что наиболее характерные аллоклазит-кобальтиновые руды наблюдаются в эпидот-кальцитовых прожилках, секущих измененный скарн с аномальным гранатом, эпидотом, кальцитом, реже хлоритом. Иногда наблюдается приуроченность мелких, неправильной формы зерен аллоклазита с мельчайшими включениями самородного висмута, висмутина, теллуrowисмутита, тетрадимита, гессита, теллурита и парателлурита к промежуткам между крупными идиоморфными зернами кобальтина и аллоклазита.

Главными минералами глаукоdot - данаит - арсенопиритовых руд являются арсенопирит, данаит, глаукоdot, составляющие соответственно 40—50%, 20—25% и 10—15% рудной массы. Для данного типа руд характерно полное отсутствие аллоклазита. Постоянно, но в незначительном количестве присутствуют леллингит, кобальтин и пирротин, иногда пирит I. Прочие минералы — халькопирит, пирит II, сфалерит и галенит — в небольшом количестве появляются в результате наложения полисульфидной стадии минералообразования; в ничтожных количествах, в виде единичных зерен — миллерит и электрум. Глаукоdot-данаит-арсенопиритовые руды хорошо выражены в штольне 1 на Юго-Восточном участке Южного месторождения в скарнированных порфиритах, кальцитовых прожилках, а также в эпидот-гранат-хлоритовых, гранат-магнетитовых и хлорит-эпидот-кальцитовых породах. Для этих руд наиболее характерной текстурой является полосчатая. Реже встречаются реликтовая микротекстура и гнездообразная.

Основными минералами кобальтпиритовых руд являются кобальтпирит, кобальтсодержащий пирит, пирит, карролит, линнеит, зигенит, миллерит, хизлевудит, пентландит и халькопирит; халькопирит всегда преобладает над пиритом в количественном отношении. Кроме того, в небольших количествах присутствуют кобальтин, глаукоdot, арсенопирит, данаит, леллингит, саффлорит, миллерит, сфалерит, галенит,

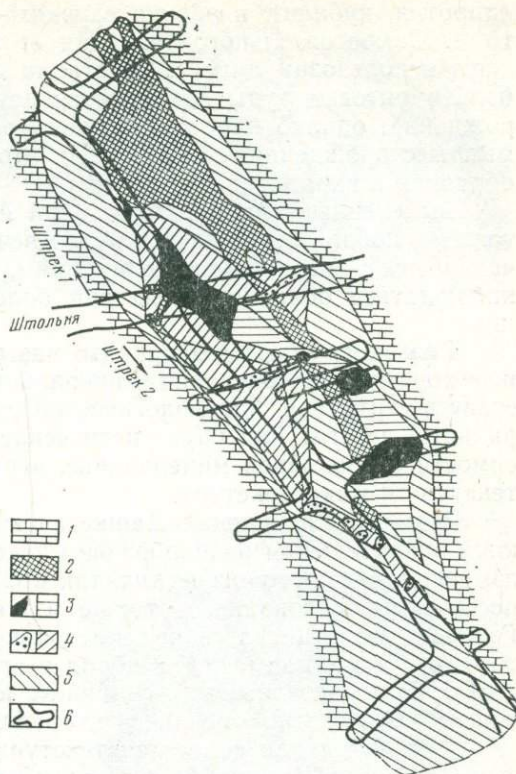


Рис. 130. Распределение типов кобальтовых и кобальтсодержащих руд Южного месторождения.

1 — мраморизованные известняки; 2 — магнетитовые руды; 3 — аллоклазит-кобальтиновые руды; 4 — глаукоdot-данаит-арсенопиритовые руды; 5 — кобальтпиритовые руды; 6 — горные выработки

пирротин, кубанит, в редких случаях — аллоклазит, валлериит и электрум. Самостоятельного значения этот тип не представляет и может быть использован лишь в сочетании с другими разновидностями. Кобальтпиритовые руды встречаются почти во всех рудных зонах месторождений, однако наиболее широко распространены на рассматриваемых месторождениях АзССР. Для этого типа руд характерны гнездовая и вкрапленная текстуры.

Выделенные для месторождений АзССР три главных типа кобальтовых и кобальтсодержащих руд отвечают лишь наиболее часто встречающимся минеральным ассоциациям. Кроме них, в рудном поле могут наблюдаться более сложные или более простые минеральные сочетания.

Текстурой руды принято называть строение руды, обусловленное характером сростания минеральных агрегатов, различных по составу и структуре. Морфологической единицей текстуры является минеральный агрегат или парагенетическая ассоциация минералов. В зависимости от размеров минеральных агрегатов в рудах выделяют макротекстуру и микротекстуру.

Руды месторождений Дашкесанского рудного района характеризуются значительным разнообразием текстур и структур, что обусловлено изменением как геологических, так и физико-химических условий в процессе рудообразования, а также и последующими изменениями руд. Господствующими здесь являются текстуры, отражающие процесс метасоматического замещения пород и кристаллизацию из раствора в пустотах. Это массивные или сплошные вкрапленные, пятнистые, прожилковые, полосчатые, брекчиевые, графические и реликтовые текстуры.

Массивная или сплошная текстура широко распространена на Северном, Северо-Восточном и Южном месторождениях. Эта текстура характерна для аллоклазит-кобальтиновых, глаукоdot-высококобальтистых, глаукоdot-данаитовых (рис. 131) и арсенопирит-данаитовых руд (рис. 132), которые приурочены к эпидот-гранатовым и гранат-эпидот-магнетитовым скарнам.

Вкрапленная текстура характеризуется неравномерным распределением мелких рудных агрегатов (отдельных зерен или сростков) в гидротермально-измененных диабазовых порфиритах (рис. 133), в эпидот-гранатовых (рис. 134), эпидот-гранат-магнетитовых (рис. 135), эпидот-гранат-хлорит-кальцитовых (рис. 136) и хлорит-гранат-эпидотовых (рис. 136 и 137) скарнах. Форма вкрапленности в указанных горных породах неправильная, линзовидная, изометричная, а размеры колеблются от долей миллиметра до 1 см. Количество рудных минералов в этих породах в зависимости от типа руды измеряется долями процента или десятками процентов. Можно предположить, что на рассматриваемых месторождениях вкрапленники рудных минералов могут быть эпигенетическими, так как они образуются при наложении на ранние минеральные агрегаты поздних минералов, связанных генетически с последующими стадиями минерализации, и реликтовыми, сохранившимися при метаморфизме породы или руды.

Вкрапленные текстуры широко распространены в аллоклазит-кобальтиновых рудах (рис. 138).

Пятнистая текстура характеризует такие формы сростания, когда рудный минеральный агрегат, например чистый аллоклазит, кобальтин или агрегат, состоящий из трех минералов — аллоклазита, кобальтина и глаукодота (рис. 139), или из нескольких агрегатов в форме пятен и гнезд развиты в массе другого рудного или нерудного минерального агрегата. На месторождении в указанных пятнистых текстурах величи-

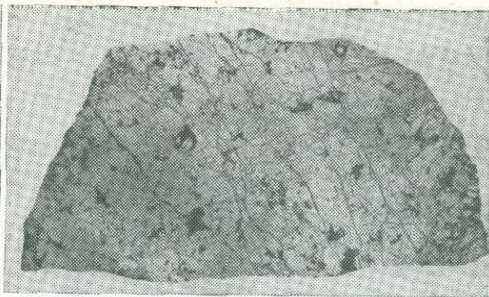
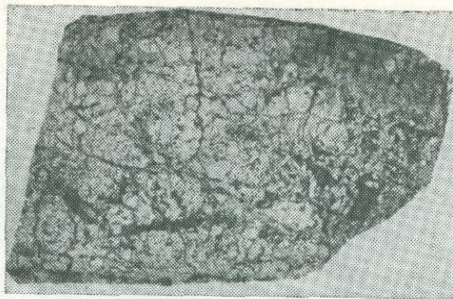


Рис. 131. Массивная или сплошная руда, богатая глаукоdot-высококобальтистыми и глаукоdot-данайтовыми примесями, в эпидот-гранатовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 615).

Полированный штупф, 2/3 нат. вел.

Рис. 132. Массивная или сплошная руда, богатая арсенопирит-данайтом, в скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 535)

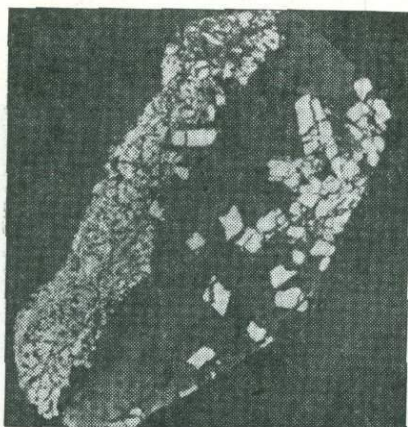


Рис. 133. Вкрапленная и прожилково-вкрапленная текстура, образованная аллоклазитом, кобальтином, глаукоdotом и высококобальтистым глаукоdotом, в гидротермально-измененных диабазовых порфирирах. Северное кобальтовое месторождение (обр. 585).

Полированный штупф, 3/5 нат. вел.



Рис. 134. Вкрапленная и прожилковая текстура, образованная кобальтином и аллоклазитом, в эпидот-гранатовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 210).

Полированный штупф, 2/3 нат. вел.

на минеральных агрегатов колеблется от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров. Эти текстуры на месторождениях Дашкесанского рудного района распространены в гранат-эпидотовых скарнах (см. рис. 139), дашкесаните (рис. 140) и в эпидотизированных и хлоритизированных гранатовых скарнах (рис. 141). Кроме того, пятнистые текстуры обычно наблюдаются в эпидот-хлорит-кальцит-гранат-магнетитовых, гранат-кальцит-магнетитовых, гранат-эпидотовых и гранат-магнетитовых скарнах. Таким образом, пятнистые текстуры руд имеют широкое распространение среди различных типов скарнов и в магнетитовых рудах, т. е. там, где особое значение имели процессы контакто-инфильтрационного метасоматоза. Границы рудного агрегата обычно зазубрены. Пятнистые текстуры характерны для аллоклазит-кобальтового типа руд.

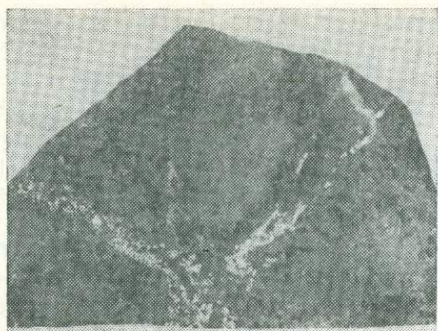


Рис. 135. Вкрапленная и прожилково-вкрапленная аллоклазит-кобальтиновая руда с мелкими включениями самородного висмута, висмутина, теллуrowисмутита и теллурита в эпидот-гранат-магнетитовых рудах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

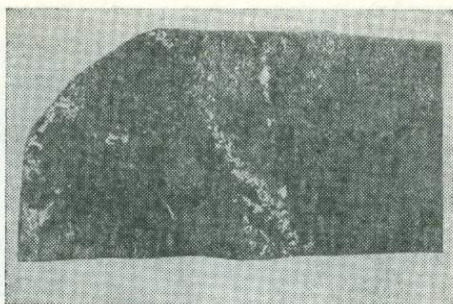


Рис. 136. Вкрапленная и прожилково-вкрапленная текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в эпидот-гранат-магнетитовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 410).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

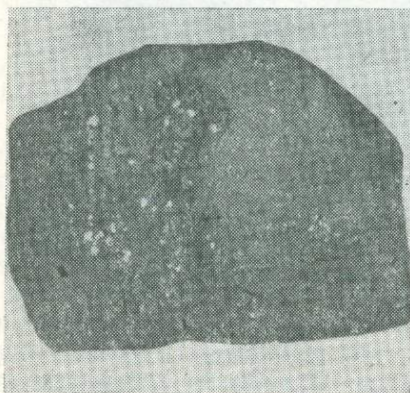


Рис. 137. Вкрапленная и прожилкообразная метасоматическая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в эпидот-гранат-хлорит-кальцитовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 120).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

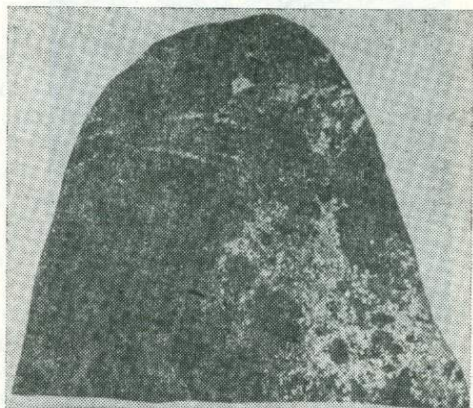


Рис. 138. Прожилково-вкрапленная текстура аллоклазит-кобальтиновой руды с мелкими включениями теллуrowисмутита и саффорита в хлорит-гранат-эпидотовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 437).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

Прожилковая текстура широко распространена среди гранат-эпидотовых (рис. 142), эпидот-гранатовых (рис. 143), по кварцевой жиле среди туфогенных (рис. 144), дашкесанитовых (рис. 145) и темно-зеленых скарновых пород (рис. 146). Они характеризуются развитием прожилков рудных минералов по трещинам, пересекающим породу или руду в зонах брекчирования, или по трещинам отдельности. Мощность прожилков колеблется от долей миллиметра до 0,5 и 1,0 см, иногда до 1,5—2,0 см. По наблюдениям автора, на некоторых участках месторождений прожилки кобальтина выполняют серию параллельных трещин в гранат-эпидотовых скарнах, создавая полосчатую текстуру. По отно-

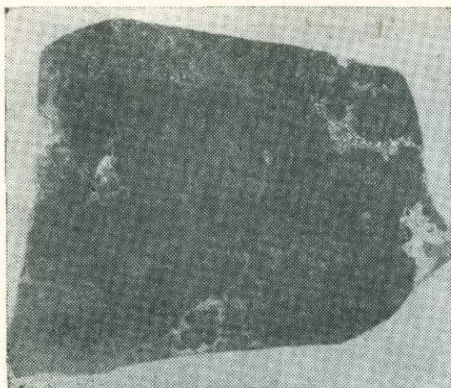


Рис. 139. Пятнистая текстура гнездообразной формы агрегата минералов кобальтина и аллоклазита в гранат-эпидотовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 437).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

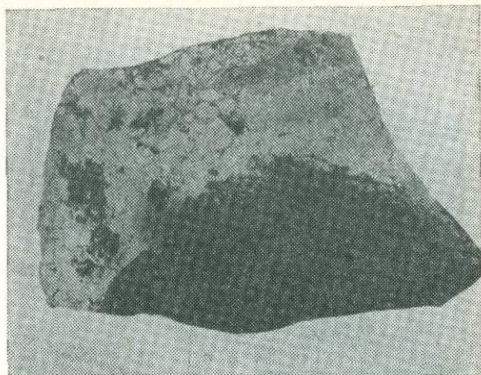


Рис. 140. Пятнистая и прожилкообразная аллоклазит-кобальтин-глаукоdotовая руда в дашкесаните. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 601).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

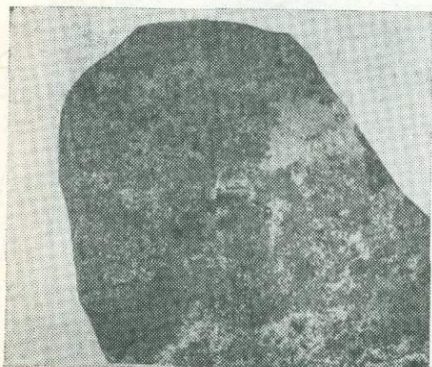


Рис. 141. Пятнистая и прожилкообразная текстура, образованная мелкозернистым кобальтином, аллоклазитом и глаукодотом, в эпидотизированных и хлоритизированных гранатовых скарнах. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 608).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

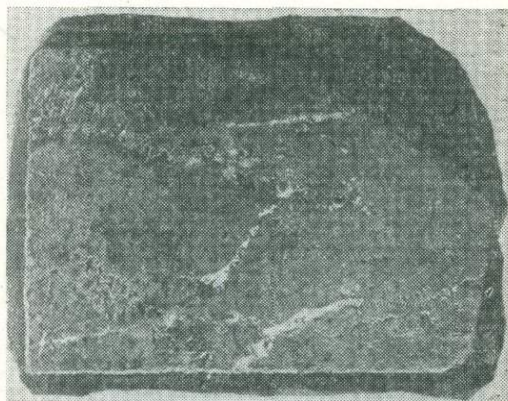


Рис. 142. Прожилковая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в гранат-эпидотовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 121).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

шению к вмещающей породе или руде прожилки всегда более молодые. Прожилки заполнения имеют извилистые границы и иногда сопровождаются тонкой вкрапленностью замещающего минерала. Такие прожилки распространены в гранат-эпидотовых, эпидот-гранат-магнетитовых скарнах, в зальбандовых частях диабазовых порфиритов и роговиках. Кроме того, среди скарнов в зальбандах кальцитовых жил наблюдаются метакристаллы пирита, магнетита, кобальтина, аллоклазита, глаукодота и других минералов, грани которых являются границами прожилка (см. рис. 142, 144, 145, 146).

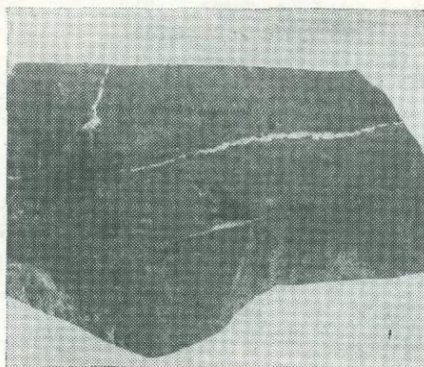


Рис. 143. Прожилковая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в эпидот-гранатовых скарнах. Южное железо-кобальтовое месторождение (обр. 211).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

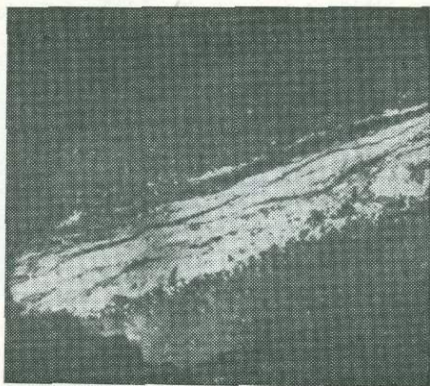


Рис. 144. Прожилковая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды по кварцевой жиле среди туфогенных пород. Северное кобальтовое месторождение (обр. 585).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.



Рис. 145. Прожилковая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в дашкесанитах. Северо-Восточное месторождение (обр. 603).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

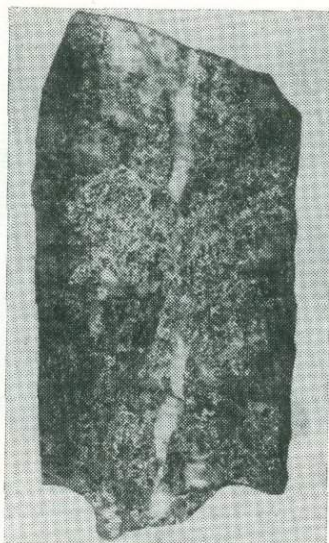


Рис. 146. Прожилковая текстура мелкозернистой аллоклазит-кобальтиновой руды с мелкими включениями саффорита и кобальтпирита по кальциевой прожилке в эпидот-скарновой породе. Северо-Западное месторождение (обр. 755).

Полированный штуф, 2/3 нат. вел.

Прожилковая текстура характерна для аллоклазит-кобальтинового и глаукодат-данаит-арсенопиритового типов руд.

Полосчатая текстура наблюдалась во всех участках месторождений Дашкесанского рудного района. Эта текстура обнаруживается среди ороговикованных пород (рис. 147) и эпидот-гранат-дашкесанитовых скарнов (рис. 148). Она характеризуется чередованием полос различного минерального состава. Полосы имеют мощность от десятых долей

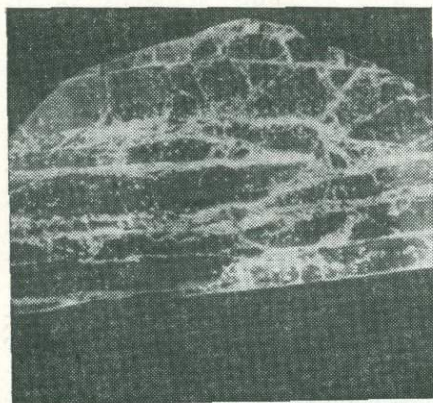


Рис. 147. Полосчатая, местами брекчированная текстура глаукокодот-данаитовой руды в ороговикованных породах. Северное кобальтовое месторождение (обр. 585).

Полированный шлиф, 2/3 нат. вел.

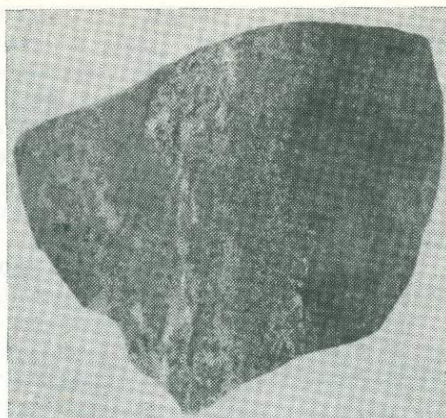


Рис. 148. Полосчатая текстура богатой вкрапленной, почти сплошной аллоклазит-кобальтиновой руды в эпидот-гранат-дашкесанитовых скарнах. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 640).

Полированный шлиф, 2/3 нат. вел.



Рис. 149. Брекчиевая текстура пирит-кобальтпиритовых руд в ороговикованных породах. Северное кобальтовое месторождение (обр. 581).

Полированный шлиф, 2/3 нат. вел.

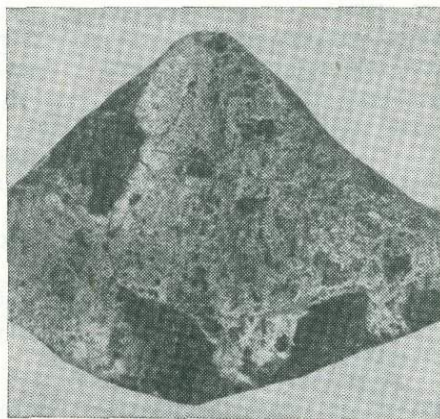


Рис. 150. Брекчиевидно-пятнистая текстура аллоклазит-кобальтиновой руды в дашкесаните. Северо-Восточное железо-кобальтовое месторождение (обр. 601).

Полированный шлиф, 2/3 нат. вел.

миллиметра до нескольких сантиметров. Длина полос по простиранию колеблется от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. Границы между полосами резкие или постепенные. Полосчатая текстура исключительно широко развита в аллоклазит-кобальтиновом и глаукокодот-арсенипиритовом типах руд, реже встречается в кобальтин-пиритовом типе руд.

Брекчиевая текстура наблюдалась на Северном кобальтовом месторождении, образованная пиритом и кобальтпиритом в ороговикованных породах (рис. 149) и на Северо-Восточном железо-кобальтовом месторождении, образованная аллоклазитом и кобальтином в дашкесаните (рис. 150).

Графическая микротекстура наблюдается на Пирсултанском участке Южного месторождения и развита в скарнах и магнетитах. Она является результатом срастания магнетита, пирита, гематита, халькопирита, маггемита, кобальтина и распространена в эпидот-гранат-магнетитовых скарнах. В процессе срастания двух разных по времени образования минеральных агрегатов замещающий агрегат образует в замещаемом неправильной извилистой формы выделения. Границы между агрегатами зазубрены. Такая текстура типична для процессов коррозионного замещения.

Реликтовая микротекстура характерна в основном для Юго-Восточного участка Южного месторождения и развита среди гранат-эпидот-хлоритовых, хлорит-эпидот-актинолитовых, гранат-магнетитовых скарнов и в зонах брекчирования. При почти полном замещении раннего минерального агрегата сохранившиеся его остатки имеют неравномерную форму. Реликтовая микротекстура была обнаружена среди гранат-эпидот-хлоритовых скарнов по контакту тектонических зон дробления, где она была образована арсенопиритом и кобальтином, в которых сохранились реликты минералов породы.

Структурой руды принято называть строение минерального агрегата, обусловленное формой, размерами и характером срастания минеральных зерен. Морфологической единицей структуры является минеральное зерно.

На месторождениях Дашкесанского рудного района преобладают структуры, характеризующие метасоматическое замещение пород и руд — метазернистые структуры, такие как гипидиоморфнометазернистая, аллотриоморфнометазернистая и радиально-лучистая структуры. Меньшее распространение имеют коррозионные структуры, из них наблюдаются зональная скелетная, ксеноморфная, реликтовая и раскрошенная. Из метакolloидных структур, встречающихся на месторождениях, следует отметить колломорфную, сферолитовую и оолитовую структуры.

Из группы кристаллобластических структур в рудах месторождения известна лишь идиобластическая структура, которая образовалась в результате перекристаллизации минералов в твердом состоянии. Кроме того, на месторождениях наблюдается раздробленная структура, возникшая в результате дробления.

Незначительным распространением во всех типах руд пользуются структуры распада твердого раствора — эмульсионная, крестообразная (звездчатая), решетчатая, пламеневидная и петельчатая.

Гипидиоморфно- и идиоморфнометазернистые, а также скелетная структуры характерны для сочетаний магнетита, аллоклазита, кобальтина, глаукодота, высококобальтистого глаукодота, кобальтпирита и пирита, метасоматически развивающихся в скарнах, а также в магнетитовых рудах. Эти структуры распространены преимущественно в кобальтпиритовом типе руд, главным образом на Юго-Западном участке Южно-Дашкесанского месторождения.

Аллотриоморфнометазернистая структура свойственна халькопирит-кобальтпиритовым минеральным агрегатам и отчетливо вырисовывается после травления халькопирита парами царской водки. Агрегаты гематита радиально-лучистой структуры встречаются в эпидот-гранат-кальцит-магнетитовых скарнах и чаще всего наблюдаются в кобальтпиритовом типе руд.

Зональная структура свойственна минеральным агрегатам магнетита, кобальтпирита, аллоклазита, кобальтина, глаукодота, высококобальтистого глаукодота, данаита, арсенопирита, кобальтсодержащего

пирита, пирита, халькопирита, линнента, карролита, моддерита, саф-флорита, леллингита и другим минералам сульфидов и сульфоарсени-дов. Она легко выявляется травлением HNO_3 , HCl , FeCl_3 и другими реактивами, применяемыми в минераграфии.

Агрегаты кобальтина и аллоклазита (см. рис. 73 и 86) образуют скелетные структуры в скарнах среди кальцита, халькопирита и магнетита. Чаще всего эта структура встречается в аллоклазит-кобальтиновом типе руд.

Пирротин, пентландит, кубанит и другие минералы дают ксеноморф-ную структуру, распространенную преимущественно на Юго-Восточном участке Южного месторождения в теле диабаз-порфиритовых даек, где пирротин развивается в виде неправильной формы выделений.

Реликтовая структура на месторождении характерна для минераль-ных агрегатов аллоклазита (см. рис. 82), кобальтина, миллерита и лин-нента, моддерита и сафлорита; распространена на Северном и Южном месторождениях и локализована в эпидот-хлорит-гранатовых, эпидот-гранат-кальцит-магнетитовых скарнах, а также в халькопирите и маг-нетите. Эта структура наблюдается в аллоклазит-кобальтиновом и глау-кодот-данаит-арсенопиритовом типах руд.

Раскрошенная структура характерна для минеральных агрегатов линнента, который замещается миллеритом. Встречается среди гранат-кальцит-магнетитовых скарнов и в медноколчеданных рудах.

Идиобластическую скелетообразную структуру создают магнетит и пирит II генерации в кальцит-гранатовых скарнах.

Колломорфная структура на месторождении наблюдалась у магне-тита в лежащем боку дайки измененных диабазовых порфириров. Она обнаружена в кобальтпиритовом типе руд. Выявляется от травления соляной кислотой с цинковой пылью, при этом становится хорошо замет-ной концентрически скорлуповатая структура магнетита.

Сферолитовая и оолитовая структуры встречаются в агрегатах ге-матита среди магнетитовых скарнов и карбонатов.

Эмульсионная структура характерна для сфалерита, в котором халькопирит образует тонкую эмульсионную вкрапленность. Она рас-пространена среди скарнов и наблюдается в глаукодот-данаит-арсено-пиритовом и кобальтпиритовом типах руды.

Агрегаты гематита и мушкетовита дают пластинчатые структуры, распространенные среди кальцит-магнетитовых скарнов. В аллоклазит-кобальтиновом типе руды мушкетовит, образуя псевдоморфозы по ге-матиту, развивается в виде радиально-лучистых выделений.

Решетчатая, графическая и пламенивидная структуры характерны для линнента и миллерита. В линненте миллерит образует тонкую ре-шетку, а также мелкие червеобразной и пламенивидной формы выде-ления.

Крестообразная (звездчатая) структура характерна для минераль-ного агрегата халькопирита с мельчайшими крестообразными (звезд-чатыми) выделениями сфалерита, распространена на месторождениях и встречается в кобальтпиритовом типе руд.

Катакластическая структура. На месторождениях Дашкесанского рудного района для этой группы структур известна только раздроблен-ная структура, характерная для минеральных агрегатов магнетита и кобальтина. Она распространена на Пирсултанском (магнетит) и на Юго-Восточном (кобальтин) участках Южного месторождения среди скарнов и встречается в аллоклазит-кобальтовом и глаукодот-данаит-арсенопиритовом типах руд.

ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ КОБАЛЬТОВЫХ И КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ РУД

МАЛЫЕ, РЕДКИЕ И РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

С целью выявления специфических для месторождений малых, редких и рассеянных элементов более 1000 проб различных минералов, пород и руд были исследованы с помощью полуколичественного спектрального анализа. Среди проанализированных проб более 100 являются мономинеральными, остальные отвечают вмещающим вулканогенным породам, жильным диабазовым порфирирам, породам зон дробления и типам руд. Наибольшее внимание было уделено исследованию главных минералов сульфидов и сульфоарсенидов железа, кобальта и никеля. Элементами, обнаруженными в минералах, породах и рудах, являются железо, кобальт, никель, мышьяк, медь, марганец, цинк, молибден, золото, серебро, висмут, теллур, кадмий, вольфрам, олово, ванадий, хром, цирконий, барий, скандий, иттрий, ниобий, тантал, рений, лантан, и церий.

Во вмещающих породах постоянно обнаруживаются мышьяк, марганец, свинец, вольфрам, олово, галлий, титан, медь, цинк, кобальт, никель, цирконий. Во многих пробах установлены ванадий, висмут, теллур, хром, молибден, серебро, барий, скандий, иттрий, ниобий, рений, лантан, церий и иттербий. Данные полуколичественного определения этих элементов приведены в табл. 92.

Таблица 92

Результаты спектрального анализа пород на малые,
редкие и рассеянные элементы, вес. %

Элементы	Вулканогенно-осадочные породы средней и верхней юры	Жильные диабазовые порфириды	Породы зон дробления
As	0,01—0,30	—	Следы—0,03
Mn	0,03—1,0	0,01—1,00	0,03—1,0
Pb	0,001—0,03	0,001—0,01	0,001—0,01
Sn	0,001—0,003	0,001—0,03	0,001—0,01
Ga	0,001—0,003	0,001—0,003	0,001—0,001
Bi	0,001—0,003	—	0,001—0,01
Te	0,001—0,003	—	0,001—0,01
Mo	Следы—0,001	Следы—0,0001	Следы—0,001
V	0,001—0,03	0,003—0,03	0,003—0,03
Ti	0,03—1,0	0,03—1,0	0,03—1,0
Cu	0,001—0,1	0,003—0,1	0,003—1,0
Ag	Следы—0,0001	0,0001—0,0003	Следы—0,0001
In	0,01—0,1	0,01—0,3	0,003—0,1
Co	0,001—0,003	0,003—0,04	0,003—0,1
Ni	0,0001—0,010	0,001—0,03	0,001—0,03
Zr	0,0001—0,003	0,001—0,03	0,003—0,1
Cr	0,001—0,03	0,001—0,03	0,001—0,03
Ba	0,0001—0,03	0,003—0,01	0,0001—0,01
Sc	0,003—0,01	0,003—0,01	0,003—0,01
Be	0,0001	0,0001	0,0001
Y	0,003—0,01	0,003—0,01	0,003—0,01
La	0,01	0,01	0,01
Ce	0,03—0,10	0,03—0,1	0,03
Yb	0,001—0,001	0,001	0,001—0,001

Особенностью вмещающих пород является явное преобладание примесей литофильных элементов и подчиненная роль элементов халькофильной группы. В жильных диабазовых порфиритах постоянно обнаруживаются марганец, свинец, галлий, ванадий, титан, медь, золото, серебро, цинк, кобальт, никель, цирконий; во многих пробах установлены вольфрам, олово, хром, барий, скандий, молибден, иттрий, рений, ниобий, тантал, лантан, церий и иттербий (см. табл. 92). Для жильных диабазовых порфиритов характерно сходство состава элементов с вмещающими породами. От последних они отличаются постоянным наличием никеля, хрома, молибдена, вольфрама, олова, иттрия, рения, ниобия, тантала, лантана, церия и иттербия. В породах зон дробления постоянно устанавливаются марганец, свинец, магний, галлий, ванадий, титан, хром, кобальт, никель, медь, цинк, цирконий; во многих пробах присутствуют вольфрам, олово, барий, молибден, скандий, золото, серебро, иттрий, ниобий, тантал, рений, лантан, церий, иттербий и висмут.

Породы зон дробления как продукты сильнейшего раздробления и сложно гидротермального изменения вмещающих и жильных пород состоят главным образом из хлорита, кальцита, кварца, в меньшей степени — из серицита, цеолитов.

Сравнение спектральных анализов вулканогенно-осадочных пород средней и верхней юры и жильных диабазовых порфиритов с анализами пород зон дробления свидетельствует о том, что халькофильные элементы, обнаруженные в породах зон дробления, не характерны для пород средней и верхней юры и почти сходны с элементами жильных диабазовых порфиритов (кроме мышьяка).

В кобальтовых рудах месторождений АзССР малые, редкие и рассеянные элементы представлены следующими: мышьяк, кобальт, никель, висмут, теллур, медь, титан, марганец, ванадий, хром, цирконий, цинк, свинец, молибден, золото, серебро, вольфрам, олово, барий, скандий, галлий, иттрий, ниобий, рений. В разных типах руд отдельные элементы не только сильно колеблются по содержанию, но иногда даже отсутствуют (табл. 93).

Для гематит-магнетитовых руд характерны значительные количества мышьяка, кобальта, никеля, меди, титана и марганца, отсутствие висмута, ванадия, хрома, олова, скандия и лишь незначительные примеси циркония, цинка, свинца, молибдена, серебра, бария, галлия и др. (см. табл. 93).

Для кобальтовых руд, представленных следующими типами руд: аллоклазит-кобальтовым, глаукокодот-данаит-арсенопиритовым и кобальтпиритовым, характерно высокое содержание мышьяка, кобальта, никеля и меди. В глаукокодот-данаит-арсенопиритовых рудах содержание никеля 0,1%, а в аллоклазит-кобальтовых рудах содержание никеля от 1,0 до 5—7%. Как видно из табл. 93, в кобальтиновых рудах содержание мышьяка, кобальта и никеля составляет более 1,0%. Изменение содержания мышьяка, кобальта и никеля в перечисленных типах руд зависит от особенностей их минерального состава. В первом типе кобальтовых руд преобладающими являются кобальтин, аллоклазит, высококобальтистый глаукокодот, линнеит, моддерит, саффорит и карролит. Кобальтпирит, зигенит, данаит, высококобальтистый пентландит и некоторые другие являются второстепенными кобальтовыми минералами. Арсенопирит, пирит, леллингит, миллерит, хизлевудит, бравоит, сфалерит и другие минералы являются кобальтсодержащими. Кобальт в них содержится в виде изоморфной примеси.

Для аллоклазит-кобальтиновых руд, кроме указанных элементов, характерно высокое содержание никеля, висмута, теллура, меди, золо-

Результаты спектрального анализа руд на малые, редкие и рассеянные элементы, вес. %

Элементы	Типы руд			
	Гематит-магнетитовые	Аллоклазит-кобальтиновые (в скарне и магнетите)	Глаукокод-кобальтиновые (в скарне и магнетите)	Кобальт-пиритовые
As	0,03—0,1	1,0	1,0	0,03—0,1
Co	0,03—0,1	1,0	1,0	0,03—0,1
Ni	0,03—0,1	1,0	0,1	0,03—0,1
Bi	0,01—0,01	0,03—0,10	0,01—0,03	0,01—0,03
Te	0,01—0,01	0,001—0,01	0,001—0,01	0,001—0,01
Cu	0,01—0,3	0,03—0,1	0,01—0,03	0,01—0,03
Ti	0,03—0,1	0,01—0,03	0,003—0,01	0,03—0,1
Mn	0,03—0,1	0,01—0,03	0,01—0,03	0,03—0,1
V	—	0,01—0,03	0,001—0,003	—
Cr	—	—	—	0,001—0,10
Zr	0,001—0,03	0,01—0,1	0,01—0,1	0,01—0,1
In	0,01—0,03	0,01—0,03	0,01—0,03	0,003—0,01
Pb	0,003—0,01	0,01—0,03	0,01—0,03	—
Mo	0,003—0,03	—	—	Следы
Ag	0,0001—0,03	—	0,0001—0,0003	0,0001—0,001
Sn	—	0,001	0,001	—
Ba	0,01—0,03	—	—	—
Sc	—	0,003	0,003	—
Be	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ga	0,01	0,01	0,01	—
Cd	—	—	—	0,003—0,01
Au	—	—	—	Есть

та и серебра, относительно высокие примеси свинца, цинка, титана, марганца, ванадия, но при резко пониженном содержании вольфрама, олова, скандия, иттрия, рения, ниобия и галлия.

Для глаукокод-данаит-арсенопиритовых руд, кроме мышьяка, кобальта и никеля, характерно высокое содержание циркония, цинка, свинца, марганца, меди, титана; относительно высокие примеси висмута, теллура и ванадия, но при резко пониженном содержании золота, серебра, вольфрама, олова, скандия и галлия.

В кобальтпиритовых рудах, кроме кобальта, никеля, титана и марганца, характерно высокое содержание меди, висмута, теллура, хрома, циркония, при резко пониженном содержании цинка, серебра, галлия, молибдена, золота, что также вполне отвечает минеральному составу руд.

Ниже кратко приведено распределение указанных элементов в руде.

Кобальт — элемент, весьма характерный для рассматриваемых месторождений АзССР, особенно для мышьяк-кобальт-висмутовой стадии минерализации. Он образует ряд самостоятельных минералов: кобальтин, аллоклазит, глаукокод, данаит, моддерит, саффорит, линнеит, зигенит, леллингит, а также гипергенные минералы — эритрин и кобальтсодержащий карбонат. Химическими и спектральными анализами кобальт обнаружен также в магнетите, арсенопирите, пирите, пирротине, халькопирите, сфалерите, галените и кальците. Наличие кобальта и никеля в вышеуказанных кобальт- и никельсодержащих минералах, по-видимому, связано с изоморфным замещением железа кобальтом и кобальта никелем. Кобальт в кальците, возможно, также изоморфно замещает железо и никель. Присутствие же кобальта, никеля, золота,

серебра и других элементов в халькопирите, сфалерите и галените скорее всего объясняется механическими примесями кобальтсодержащих минералов. Мышьяк является элементом, также характерным для собственно мышьяково-кобальтовой и мышьяк-кобальт-висмутовой стадии минерализации, образуя аллоклазит, арсенопирит, данаит, леллингит, глаукоdot, высококобальтистый глаукоdot, кобальтин, моддерит, сафлорит и при гипергенных изменениях первичных минералов — эритрин.

По данным спектрального анализа примеси мышьяка установлены в пирите, халькопирите и марказите.

Никель — элемент, характерный для полисульфидной стадии рудообразования. Он образует на рассматриваемых месторождениях самостоятельные минералы — зигенит, виоларит, миллерит, пентландит, хизлевудит, полидимит, бравоит, никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит и другие никельсодержащие соединения. Никель спектроскопически и химически установлен во всех проанализированных пробах кобальтина, аллоклазита и глаукоdotа в тысячных, сотых и десятых долях процента. Как показывают анализы, накопление никеля происходило в начальные стадии рудного процесса, главным образом при формировании аллоклазит-кобальтовых прожилков. В связи с тем, что установленные нами никелевые минералы относятся к числу самостоятельных минералов кобальтовых руд, а никель в основном приурочен к аллоклазит-кобальтиновой руде, допустимо полагать, что главная масса его находится в виде изоморфной примеси в указанных собственно кобальтовых минералах. Таким образом, приведенные данные указывают на то, что исследуемые руды характеризуются повышенным соотношением халькофильных элементов в минералах, формировавшихся в относительно низкотемпературных стадиях, и элементов группы железа в минералах высокотемпературных. Относительно повышенная концентрация Ni от 0 до 4% констатирована в кобальтине, аллоклазите, глаукоdotе до 1,0% в нескольких пробах аллоклазит-кобальтиновых руд.

Висмут — специфичный элемент полисульфидной и мышьяк-кобальт-висмутовой стадий рудообразования. В описываемых нами месторождениях встречается в виде самородного висмута, висмутина, тетрадимита и теллуrowисмутита. Как было указано раньше, связь висмута с аллоклазитом обусловлена в основном большим сходством кристаллохимических свойств его с кобальтом. Повышенное содержание висмута (от 0,08 до 0,1%) обнаружено химическим и спектральным анализом в пробах аллоклазита, которое имеет широкое распространение на месторождениях и связано с аллоклазит-кобальтиновыми и аллоклазит-кальцитовыми прожилками. Содержание висмута довольно устойчиво и составляет в среднем 0,3—0,9%.

Теллур обнаружен в виде теллуридов — теллурита, парателлурита, тетрадимита, теллуrowисмутита, гессита и др. в полисульфидной стадии минералообразования.

Медь образует самостоятельные минералы: халькопирит, кубанит, валлеринит, карролит, борнит, дигенит, халькозин, и ковеллин.

Титан во всех первичных образованиях находится в пониженных концентрациях, даже в основных породах концентрация его ниже кларка литосферы. Все типы руд, включая и гематит-магнетитовые, характеризуются резко пониженным, по сравнению с горными породами, содержанием титана. Титан, обнаруженный в минералах в количестве 10^{-1} — 10^{-4} %, по-видимому, связан в основном с механическими примесями (соответствующими рудами и породами), о чем свидетельствует значительно большее, по сравнению с минералами, содержание его в рудах тех же минералов [42].

В рудовмещающих магматических породах титан, помимо его обычного изоморфного состояния в темноцветных силикатах, представлен аксессуориями — рутилом, ильменитом, титанитом, реже сфеном. Все эти минералы (чаще всего рутил) микроскопически обнаруживаются во многих породах, в том числе особенно во вторичных кварцитах. Но сколько-нибудь заметных их скоплений в первичных образованиях до сих пор не найдено.

Марганец — весьма рассеянный элемент. По спектральным анализам слабые линии его обнаружены почти во всех минералах (окислы железа, сульфоарсениды, сульфиды), но наибольшая концентрация (0,22%) констатирована в сфалерите и в других сульфидах и сульфоарсенидах.

Ванадий обнаружен в некоторых минералах, рудах и породах. Содержание ванадия в аллоклазит-кобальтиновых рудах колеблется от 0,01 до 0,03%, а в глаукодот-данаит-арсенопиритовых рудах от 0,001 до 0,003%.

Хром, кроме хромшпинелидов Гейдаринского хромитового месторождения, обнаружен также в кобальтпиритовых рудах, где содержание его колеблется от 0,001 до 0,1%.

Вольфрам и олово — главные элементы Килитского месторождения (Ордубадский рудный район). Вольфрам встречается в виде шеелита, гюбнерита, вольфрамита, а олово — касситерита. Они как примеси, в незначительном количестве присутствуют в отдельных минералах и рудах. Содержание олова в глаукодоте и в аллоклазите колеблется от 10^{-4} до 10^{-5} %; в халькопирите отмечено олово в количестве 0,05 и 0,005%.

Цинк образует единственный самостоятельный минерал — сфалерит. Слабые и средние линии цинка, обнаруженные при анализе других минералов, следует объяснять наличием механических примесей этого минерала. По данным спектрального анализа, содержание цинка в халькопирите достигает 0,2%. Минераграфические исследования показывают, что в халькопирите часто наблюдаются звездчатые и крестообразные включения сфалерита.

Свинец образует самостоятельные минералы — галенит, бурнонит и др.

Молибден в виде молибденита также является постоянной примесью в сфалерите, галените, халькопирите и очень редко в кобальтовых минералах. Повышенное содержание молибдена (от 0,0001 до 0,1%) приурочено к кобальтину, магнетиту и пириту. Содержание молибдена довольно устойчиво и составляет в среднем 0,01%. Спектральным анализом слабые его линии обнаружены в отдельных образцах аллоклазита и арсенопирита.

Золото и серебро — мало характерные элементы и лишь иногда образуют собственные минералы — самородное золото, серебро и электрум. Спектральными анализами слабые линии золота обнаружены в пирите и халькопирите, а слабые линии серебра — в галените (0,03%). Эти примеси надо отнести к микровключениям.

Цирконий — рассеянный элемент, однако слабые линии его обнаружены во всех типах руд, но небольшие концентрации (до 0,1%) связаны с кобальтовыми рудами.

Барий по очень слабым линиям спектрограммы наблюдался только в магнетите в количествах от 0,01 до 0,03%. В остальных минералах, рудах и породах этот элемент не обнаружен.

Скандий обнаружен спектральными анализами только в аллоклазит-кобальтовых и глаукодот-данаит-арсенопиритовых рудах. Поэ-

тому следует полагать, что скандий в пробах указанных типов руд связан с рудовмещающими породами — порфиритами. Содержание скандия в указанных типах руд колеблется до 0,003%.

Галлий повышенных концентраций не дает и в значительной степени рассеян. Геохимически связан с цинком, осаждаясь вместе с последним в составе сфалерита. Отмечено наличие галлия в кобальтине и глаукодоте, однако концентрации его здесь ничтожны. Максимальное содержание в рудах достигает 0,005%.

Кадмий изоморфно входит в сфалерит. Содержание его в сфалерите варьирует от 0,1 до 0,25%. Спектральным анализом слабые линии кадмия обнаружены в кобальтоносных сульфидных рудах, где содержание его доходит до 0,003—0,01%.

Иттрий в значительном количестве входит в состав апатита и сфена в скарноворудных залежах Южного и Килитского месторождений, образуя иттроапатит и иттротрофен, где содержание его изменяется от 0,12 до 0,56%. Иттрий в незначительном количестве был обнаружен в вулканогенно-осадочных породах средней и верхней юры, в жильных диабазовых порфиритах и в породах зоны дробления (см. табл. 90 и 91).

Ниобий в виде Nb_2O_3 входит в состав иттротрофена, ильменита, рутила (от 0,13 до 0,24%, реже 2—7%). В зависимости от количества примесей ниобия минералы называются ниобийсодержащим сфеном, ильменитом, рутилом и др.

Тантал как элемент-примесь в незначительном количестве присутствует в скарновых рудах.

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Элементами, содержащимися в различных количествах, но проходящими через все минеральные ассоциации, т. е. сквозными, являются медь и никель.

2. Малые и редкие элементы, обнаруженные в кобальтовых рудах, очень близки к элементам, характерным для вмещающих пород. Поэтому их, возможно, можно рассматривать как результат мобилизационной геохимической специализации.

3. Процесс отложения сульфидов и сульфидов характеризуется появлением существенно отличного комплекса малых и редких элементов (мышьяк, кобальт, свинец, цинк, серебро, золото и др.), что, по-видимому, связано с появлением новых порций гидротермов последующих стадий рудообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженов А. И.* Минералы кобальта и никеля из Карагемского месторождения (Юго-Вост. Алтай). — Науч. докл. высш. школы. Серия геол. и геогр. наук, 1958, № 4, с. 169—172.
2. *Барсанов Г. П.* Некоторые данные по минералогии контактово-метасоматических образований Дашкесана. — В кн.: Вопросы петрографии и минералогии. М., Изд-во АН СССР, т. II, 1953, с. 14—30.
3. *Бекташи С. А., Махмудов А. И.* Изоморфный ряд сульфоарсенидов кобальта Дашкесанского рудного района азербайджанской части Малого Кавказа. — В кн.: Вопросы изоморфизма и генезиса минеральных индивидов и комплексов. Элиста, 1977, с. 213—218.
4. *Боришанская С. С., Крутов Г. А., Махмудов А. И.* Аллоклазит из Южного Дашкесана АзССР. — Докл. АН СССР, 1965, т. 161, № 5, с. 1181—1183.
5. *Виноградова Р. А., Крутов Г. А., Рудашевский Н. С.* О разновидности никелевого аллоклазита. — Докл. АН СССР, 1975, т. 222, № 5, с. 1179—1181.
6. *Вяльсов Л. Н.* Спектры отражения рудных минералов. М., ИГЕМ, 1973.
7. *Глазковский А. А.* Кобальт. Справочник для геологов, вып. 55. М., Госгеолтехиздат, 1961.
8. *Годовиков А. А.* О некоторых особенностях изоморфизма диарсенидов кобальта, никеля и железа. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1959, вып. 10, с. 74—85.
9. *Годовиков А. А.* Об особенностях последовательности выделения арсенидов кобальта, никеля и железа в гидротермальных рудных жилах. — Геология и геофизика, 1960, № 6.
10. *Исаенко М. П., Боришанская С. С., Афанасьева Е. Л.* Определитель главных минералов руд в отраженном свете. М., Недра, 1978.
11. *Кашкай М. А.* Петрология и металлогения Дашкесана и других железорудных месторождений Азербайджана. М., Недра, 1965.
12. *Кашкай М. А., Махмудов А. И.* Теллуриды в кобальтовых рудах Дашкесанского рудного района. — Изв. АН АзССР, 1974, № 4, с. 98—104.
13. *Кашкай М. А., Махмудов А. И., Магриби А. А.* Тетрадимит и гессит из медно- и серноколчеданных руд Кашкачайского месторождения в Дашкесанском районе. — Докл. АН АзССР, 1974, т. XXX, № 5, с. 62—66.
14. *К минералогии Агюрт-Мисдагского рудного поля (Малый Кавказ)/С. А. Бекташи, А. И. Махмудов, М. Б. Зейналов, Н. В. Тронева, М. И. Мамедов.* — Изв. АН АзССР. Сер. наук о Земле, 1978, с. 74—82.
15. *Кочуров Л. П.* Кобальт в сульфидно-магнетитовых рудах контактово-метасоматических месторождений. — Тр. ин-та Гипроникель, 1958, вып. 3.
16. *Крутов Г. А.* Месторождения кобальта. М., Госгеолтехиздат, 1959.
17. *Лебедева С. И.* Определение микротвердости минералов. М., Изд-во АН СССР, 1963.
18. *Марков К. А.* Закономерности размещения и формирования рудных столбов Дашкесанского Северного кобальтового месторождения. — В кн.: Мат-лы по геол. и минерал. рудных месторождений СССР. Т. 60. Л., 1961, с. 51—62.
19. *Марков К. А.* К вопросу о взаимоотношении сульфоарсенидно-кобальтового оруденения со скарнами. — В кн.: Мат-лы по геол. и минерал. рудных месторождений СССР. Т. 103. Л., 1964, с. 170—179.
20. *Махмудов А. И.* Кобальтин Южно-Дашкесанского месторождения. — Изв. АН АзССР. Сер. наук о Земле, 1966, № 2, с. 48—57.
21. *Махмудов А. И.* Минералогия и условия формирования кобальтовых руд Южно-Дашкесанского месторождения. Баку, Азернешр, 1968.
22. *Махмудов А. И.* Бурнонит в рудах Южно-Дашкесанского месторождения. — Уч. зап. АзГУ. Сер. геол., 1973, № 2, с. 94—97.
23. *Махмудов А. И.* Минералы кобальта в рудах Северо-Западного железорудного участка Дашкесанского месторождения. — Уч. зап. АзГУ. Сер. геол. и геогр., 1973, № 3, с. 16—23.
24. *Махмудов А. И.* Арсенипирит (кобальтсодержащий) в рудах Дашкесанских месторождений. — Уч. зап. АзГУ. Сер. геол. и геогр., 1973, № 4, с. 87—96.
25. *Махмудов А. И.* Новые данные о минералах кобальта в медно- и серноколчеданных рудах Кашкачайского проявления (Дашкесанский район АзССР). — Уч. зап. АзГУ. Сер. геол. и геогр., 1973, № 6, с. 89—96.

26. Махмудов А. И. Из истории открытия кобальта и его минералов в рудах Азербайджана (XIX—XX вв.). Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1974, с. 355—360. (Тр. IV Закавказ. конф. по истории науки).
27. Махмудов А. И., Зейналов М. Б., Гаджиев Т. Г. Зигенит из Кетамского сульфидного месторождения Ордубадского рудного района НахАССР.—Уч. зап. АзГУ. Сер. геол. и геогр., 1975, № 1, с. 54—61.
28. Махмудов А. И., Лапутина И. П. Первая находка моддерита в СССР.—Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. Вторая серия, 1977, ч. 106, вып. 3, с. 347—350.
29. Махмудов А. И., Гаджиев Т. Г., Зейналов М. Б. Медно-кобальт-никелевые сульфидные минералы Кетамского месторождения (Малый Кавказ).—В кн.: Рудообразовательные процессы и минеральные находения. София, 1977, с. 57—70.
30. Махмудов А. И., Лапутина И. П. Данаит из Дашкесанского рудного района АзССР (Малый Кавказ).—В кн.: Новые данные о минералах СССР. М., 1978, с. 96—103.
31. Махмудов А. И. Новые данные о минералогии сульфидных месторождений Ордубадского рудного района НахАССР.—Уч. зап. АзГУ. Сер. геол., 1978, № 6, с. 29—36.
32. Махмудов А. И., Лапутина И. П. Первая находка карролита в АзССР.—Докл. АН АзССР. 1980, № 10, с. 69—74.
33. Минералы ряда $FeAsS-CoAsS$ (на примере Абаканского железорудного месторождения)/Н. С. Рудашевский, А. Ф. Сидоров, Г. В. Спиридонов, А. Л. Хинейко.—В кн.: Минералы и парагенезисы минералов эндогенных месторождений. Л., 1975, с. 74—85.
34. Минералы. Справочник. Т. I. М., Изд-во АН СССР, 1960.
35. Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
36. Первая находка парараммельсбергита в Азербайджанской ССР/А. И. Махмудов, Ш. И. Аллахвердиев, Ш. С. Бекташи, Н. В. Тронева.—Докл. АН АзССР, 1979, т. XXX, № 1, с. 80—86.
37. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
38. Рябоконт С. М. К диагностике минералов группы кобальтина.—Геологический журнал, 1971, т. 31, вып. 6, с. 79—86.
39. Унксов В. А. Об особенностях двух главных типов мышьяково-кобальтовых месторождений.—Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., т. 60, Л., 1961, с. 133—138.
40. Шишкин Н. Н. Кобальт в рудах месторождений СССР.—М., Недра, 1973.
41. Штрунц Х. Минералогическая таблица. М., Госгортехиздат, 1962.
42. Эфендиев Г. Х. Гидротермальный рудный комплекс северо-восточной части Малого Кавказа. Баку, Изд-во АН АзССР, 1957.
43. Berry L. G., Thompson R. M.—X-ray powder data for ore minerals: the Reacock atlas. „Geol. Soc. of Amer. Mem.“, 55, N 4, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Часть I

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОБАЛЬТОНОСНЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

Глава 1. Дашкесанский рудный район	5
Северное месторождение	7
Северо-Восточное месторождение	11
Северо-Западное месторождение	13
Южное месторождение	15
Моллагасанлинское месторождение	23
Кашкачайское месторождение	24
Глава 2. Ордубадский рудный район	24
Кетамское месторождение	24
Килитское месторождение	27
Глава 3. Кельбаджарский рудный район	30
Шорбулагское месторождение	31
Агканиское месторождение	32
Агятагское месторождение	33
Гейдаринское месторождение	33

Часть II

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ КОБАЛЬТОВЫХ И КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ РУД

Методика исследования рудных минералов	35
Глава 4. Гипогенные рудные минералы	38
Самородные элементы	38
Сульфиды	45
Арсениды	103
Сульфоарсениды	122
Сульфосоли	174
Теллуриды серебра	177
Теллуриды висмута	179
Оксихлориды	185
Окислы	186
Окислы олова	190
Вольфраматы	191
Глава 5. Гипергенные минералы	193
Глава 6. Нерудные минералы	207
Глава 7. Типы руд, их состав и текстурно-структурные особенности	216
Глава 8. Элементы-примеси кобальтовых и кобальтсодержащих руд	226
Список литературы	232

Адхам Исмаил оглы Махмудов

МИНЕРАЛОГИЯ КОБАЛЬТОВЫХ РУД

Редактор издательства А. М. Поспелова
Переплет художника С. А. Аладьевой
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технический редактор Л. Я. Голова
Корректор Г. Г. Большова

ИБ № 4390

Сдано в набор 26.05.81. Подписано в печать 28.11.81. Т-29139.
Формат 70×100¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 19,03. Усл. кр.-отг. 19,03.
Уч.-изд. л. 19,05. Тираж 1200 экз. Заказ 421/8513—14. Цена 3 р. 40 к.

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

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

Уважаемый товарищ!

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

Блисковский В. З.

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ
И ОБОГАТИМОСТЬ ФОСФОРИТОВЫХ РУД**

14-л., 75 к.

Рассмотрены вещественный состав и обогатимость фосфоритов — важнейшего агрохимического сырья. Описаны фосфориты СССР и некоторых зарубежных стран, а также фосфориты со дна океана. Показана технологическая роль различных минералого-петрографических факторов и даны минералогические предпосылки и критерии обогатимости фосфоритовых руд основных месторождений и бассейнов. Особое внимание уделено минералогии апатитоподобных кальциевых фосфатов. Освещена геохимия фосфоритов.

Для геологов, минералогов, обогатителей и других специалистов, занимающихся изучением фосфоритов и других видов неметаллического сырья (План 1981 г., № 299).

•

Трусова И. Ф., Чернов В. И.

**ПЕТРОГРАФИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Учеб. пособие для вузов.

25 л., 1 р. 10 к.

Дано систематическое описание магматических и метаморфических горных пород. В основу систематики положено деление пород на петрохимические типы с последующим подразделением по минеральному составу. Рассмотрены классификация и номенклатура пород. Приведены необходимые сведения о их минеральном и химическом составе, текстуре и структуре, условиях залегания и связях с полезными ископаемыми. Изложены основные представления о происхождении различных типов пород. При рассмотрении метаморфизма особое внимание уделено породам регионального метаморфизма и постмагматического метасоматоза как имеющим большое поисковое значение. Приведены планы описания глубинной, излившейся и метаморфической пород.

Для студентов геологоразведочных факультетов вузов.

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

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

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

Издательство «Недра»

3773

Sp. 4011

HEPPA