

УДК 553.43'411(17)

КОМПЛЕКСНОЕ МЕДНО-ЗОЛОТОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ВАРВАРИНСКОЕ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ: МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ И СОСТАВ РУД

© 2020 г. А. А. Антоненко^{a, *}, Н. М. Жуков^{a, **}, З. Н. Павлова^{a, ***}, Т. В. Гойколова^{a, ****}

^aСатпаев Университет, ТОО “Институт геологических наук им К.И. Сатпаева”, ул. Кабанбай батыра,
уг. ул. Валиханова, д. 69/94, Алматы, 050010 Казахстан

*e-mail: aa-kobra@mail.ru

**e-mail: Zhukov.33@mail.ru

***e-mail: pavlova.34@inbox.ru

****e-mail: tanay_2020@mail.ru

Поступила в редакцию 11.03.2019 г.

После доработки 04.06.2019 г.

Принята к публикации 30.01.2020 г.

Крупное по золоту и мелкое по меди месторождение Варваринское, выявленное в 1979 г., расположено в Казахстане в западном борту Торгайского прогиба. Сложено вулканогенно-осадочными и интрузивными породами девона. На фоне рассеянной рудной минерализации выделяются рудные зоны мощностью от первых метров до первых десятков метров, сложенные густо-вкрапленными до сплошных рудами. Рудные зоны локализованы в полосе термального метаморфизма вулканогенно-осадочных и интрузивных пород, обусловленного, по-видимому, расположенной на глубине интрузией, а рассеянная минерализация – и за пределами ореола термального метаморфизма. На месторождении выделено 10 типов рудной минерализации. В вулканогенно-осадочных породах и диоритах распространены золото-медные типы минерализации, а в серпентинитах, образовавшихся по термально метаморфизованным интрузивным породам, золото-медно-никелевые. К скарнам приурочены густовкрапленные и сплошные магнетитовые руды. Выделяются сульфидные и сульфоарсенидные типы минерализации, причем каждому типу золото-медного оруденения (пирротиновый, халькопирит-марказит-пиритовый, пиритовый, золото-сульфидно-арсенидопиритовый типы) соответствует аналог золото-медно-никелевого оруденения (пентландит-пирротиновый, халькопирит-пентландит-пиритовый, пентландит-пиритовый, золото-никелин-герсдорфитовый типы). Это свидетельствует о единстве рудообразующего процесса в серпентинитах и вулканогенно-осадочных породах с диоритами и о заимствовании рудного вещества, по крайней мере, частично, из вмещающих пород. Не имеет аналога в золото-медно-никелевом оруденении золото-халькопиритовый тип минерализации, синхронный термальному метаморфизму и аналогичный оруденению щелочной стадии медно-порфирировых месторождений. Золото присутствует во всех типах минерализации, но наиболее золотоносны золото-халькопиритовый и сульфидно-арсенидный типы. На месторождении выявлено более 80 рудных минералов. Широко проявлены процессы дисульфидизации пирротина и пиритизации халькопирита. По-видимому, эти процессы протекали при дополнительном привносе серы и привели к образованию халькопирит-марказит-пиритовой и халькопирит-пентландит-пиритовой минерализаций по пирротиновому и пентландит-пирротиновому типам соответственно. При этих процессах укрупнялось присутствующее в халькопирите невидимое золото.

Ключевые слова: Казахстан, месторождение Варваринское, золото, медь, типы минерализации, рудные минералы, вмещающие породы

DOI: 10.31857/S0016777020030028

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение Варваринское расположено в западном борту Торгайского прогиба в Костанайской области Казахстана в 100 км запад-юго-западнее г. Костанай в 4 км от границы с Россией (фиг. 1, врезка). Выявлено в 1979 г. Костанайской

геолого-геофизической экспедицией как медно-колчеданный объект. Разведывалось Жетыгаринской ГРЭ, по договору с которой авторы занимались изучением минерального состава руд, окколорудных изменений и их геохимии. В процессе работ выявилось необычное разнообразие распространенных на месторождении типов оруде-

нения, большинство которых оказалось золотоносными. Поэтому в конце 1981 г. месторождение переведено в разряд медно-золотых. Балансовые запасы руд месторождения составили 52315.6 тыс. т при содержании золота 1.21 г/т и содержании меди 0.35%. Запасы металлов — 172.6 тыс. т меди и 92903 кг золота. Попутными компонентами являются никель (0.001–0.3%, среднее содержание 0.14%) и серебро (0.1–14.5г/т, среднее 4.6 г/т). В 1995 г. начата разработка месторождения открытым способом Варваринским СП АО российской горнорудной компании “Полиметалл”. Для подземной отработки выделены руды с содержанием золота 3 г/т и содержанием меди 0.94%. На 01.01.2016 г. добыто около 10.5 т золота и 10.5 тыс. т меди. Попутно извлекается серебро.

По результатам наших исследований опубликован ряд статей, описывающих отдельные группы минералов (Павлова, Котельников, 1988; Павлова и др., 1991, 1992_{1,2}), и краткая статья с характеристикой месторождения в целом (Жуков и др., 1984). В данной работе мы приводим более детальное описание этого не имеющего аналогов в Казахстане месторождения с акцентом на выделенные типы рудной минерализации.

ФАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе полевых работ авторами выполнено объемное минералого-петрографическое картирование месторождения. Задокументирован керн 105 разведочных, поисковых и картировочных скважин колонкового бурения общим объемом более 20000 м с регулярным отбором образцов. Детальность исследований, характеризующая их достоверность, показана на фиг. 1. Из каждого образца изготовлены шлиф, аншлиф и отобрана проба на полуколичественный спектральный анализ, что обеспечивало надежную увязку между собой минералогических, петрографических и геохимических данных. Всего изготовлено и изучено 1700 прозрачных и более 1000 полированных шлифов. В лаборатории Института выполнено 1700 полуколичественных спектральных анализов и 636 количественных спектральных определений золота, серебра, висмута, мышьяка, сурьмы, олова. Отобрано и изучено спектральным и химическим методами более 300 мономинеральных проб. Для диагностики редких минералов использовались микрозондовый (микрозонд JSXA-733, более 300 определений) и в отдельных случаях рентгеновский (10) анализы. Все анализы выполнены в лабораториях Института геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы.

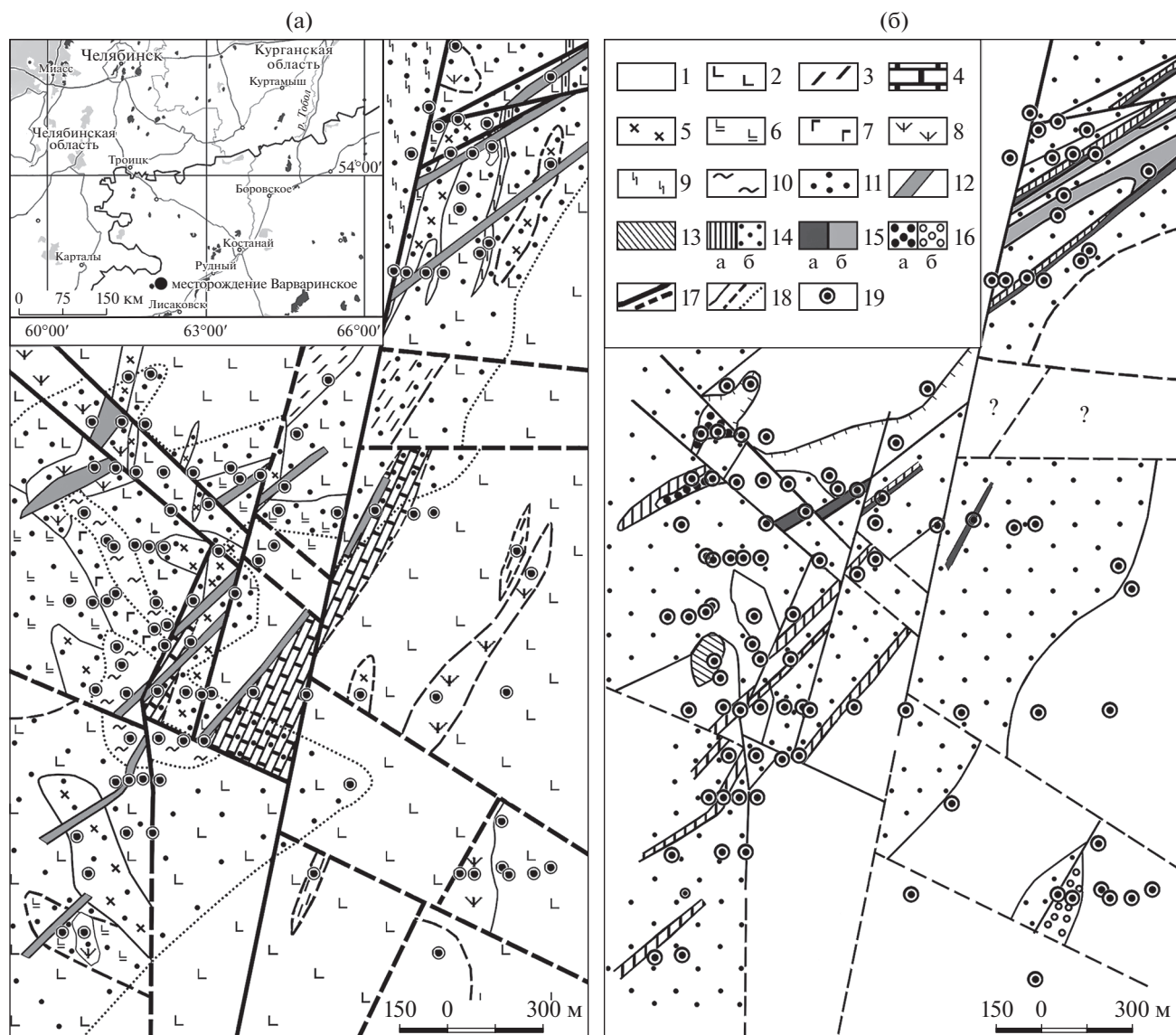
ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Региональная геодинамическая позиция месторождения определяется приуроченностью к Федоровской средне-позднедевонской островодужной зоне (Акылбеков и др., 2007), сложенной вулканогенными породами среднего и основного состава с горизонтами и линзами терригенных и карбонатных осадочных пород (Бекжанов и др., 2000). Распространены девонские интрузии ультраосновного, реже основного и среднего состава. На отдельных участках вулканогенно-осадочные породы девона прорваны гранитоидами карбона, связанными с формированием карбоновой Валерьяновской островной дуги, образования которой распространены в основном восточнее Федоровской зоны.

Вся площадь месторождения перекрыта рыхлыми мезозой-кайнозойскими отложениями мощностью 20–50 м. Палеозойские образования представлены вулканогенно-осадочными и интрузивными породами девона (фиг. 1а). На отдельных небольших участках закартированы терригенные отложения карбона. Наиболее распространены на месторождении эффузивы основного и среднего состава. Встречаются также их лито-, кристалло- и витрокластические туфы. Линзы осадочных пород девона (известняки, алевролиты, песчаники) распространены преимущественно в центральной части участка, но в виде маломощных прослоев отмечаются по скважинам почти повсеместно. Простирающиеся пород в центральной части участка северо-восточное при юго-восточном падении под углом 55°, в северо-восточном блоке простираются пород субмеридиональное, падение западное пологое.

Наиболее ранними интрузивными породами на участке являются габбро и серпентиниты. Тела серпентинитов встречаются повсеместно. Интрузия габбро выходит на поверхность палеозойского фундамента на западе центральной части участка, где она образует единое тело с серпентинитами. Распространены дайки и изометричные тела диабазов, которые в центре более крупных тел переходят в мелкозернистое габбро. Более поздними интрузивными образованиями являются диориты и порфиридные диориты, прорывающие остальные интрузии. На локальных участках они переходят в кварцевые диориты и плагиогранодиориты. Тела диоритов имеют преимущественно близмеридиональное простираение и восточное падение под углом 60°–80°.

На месторождении проявлен термальный метаморфизм пород, выраженный амфиболизацией эффузивов и туфов, диабазов, габбро, диоритов, образованием по ним плагиоклаз-амфиболовых и плагиоклаз-пироксеновых роговиков, а также амфиболитов и пироксенитов. Известняки обычно перекристаллизованы и местами скарнированы. Выделяются гранатовые, пироксен-гранато-



Фиг. 1. Схематическая геологическая карта палеозойского фундамента месторождения Варваринское (а) составлена с использованием материалов Жетыгаринской геологоразведочной экспедиции и схема распространения основных типов минерализации (б). На врезке (а) показано географическое положение месторождения. 1 – терригенные отложения карбона; 2–4 – вулканогенно-осадочные породы девона: 2 – вариолиты, базальты, андезитов-базальты, туфы, 3 – алевриты, алевропесчаники, 4 – известняки; 5–8 – интрузивные породы девона: 5 – диориты, 6 – диабазы, 7 – габбро, 8 – серпентиниты; 9 – рассланцованные амфиболитовые эффузивы, амфиболовые сланцы; 10 – роговики; 11 – прочие проявления термального метаморфизма; 12 – рудные зоны; 13–16 – типы рудной минерализации густо-крапленной до сплошных руд (а) и рассеянной (б): 13 – золото-халькопиритовый, 14 – прочие золото-медные сульфидные, 15 – сульфидно-арсенипиритовый, 16 – золото-медно-никелевые; 17 – разломы прослеженные и экстраполированные; 18 – контакты пород прослеженные, предполагаемые, условные; 19 – задокументированные авторами скважины.

вые, реже эпидот-пироксен-гранатовые скарны. Изредка в скарнах встречается волластонит. Со скарнами связаны магнетитовые руды от густо-крапленных до сплошных.

Ореол термально метаморфизованных пород протягивается через весь участок полосой север-северо-восточного направления. Свободными от его проявлений остались юго-восточная и край-

няя северо-западная части месторождения. С ним практически полностью совмещена площадь развития рудной минерализации. Степень термального метаморфизма неравномерна, она слабо проявлена в краевых частях полосы и усиливается к ее центру и с глубиной. Наиболее метаморфизованные породы, представленные роговиками, выходят на поверхность палеозойского фундамента

на западе центральной части участка (фиг. 1а). С глубиной поле их развития расширяется. По-видимому, термальный метаморфизм связан с залегающей на глубине гранитоидной интрузией, более молодой, чем диориты, так как последние подвержены термальному метаморфизму наравне с эффузивами.

Интенсивно проявлена разрывная тектоника. Широко распространены тектонические брекчии, милониты. Преобладают разломы субмеридиональной и северо-западной ориентировки. На северо-востоке месторождения разломы имеют северо-восточное и субширотное простирание. Падение большинства разломов крутое, 60° – 70° . Тектонические подвижки повторялись неоднократно. Совмещение в пространстве и времени проявлений термального и динамического метаморфизма привело к образованию амфиболовых сланцев и рассланцеванию амфиболизированных эффузивов. Выделяются дорудные и послерудные тектонические брекчии. В первых оруденение концентрируется, в основном, в цементе. Во вторых оно присутствует как в обломках, так и в цементе, при этом в цементе рудные минералы находятся преимущественно в виде мелких обломков.

На месторождении на фоне единого ореола рассеянной рудной минерализации и слабых околорудных изменений выделяются рудные зоны с интенсивной гидротермальной переработкой пород и густой вкрапленностью рудных минералов, нередко образующей сплошные руды. Наиболее характерны сплошные руды для рудных тел в известняках. Все рудные зоны находятся в полосе термально метаморфизованных пород. Рассеянная рудная минерализация встречается и за пределами ореола термального метаморфизма. Простирание рудных зон 40° – 50° , падение на большей части участка юго-восточное под углами 45° – 55° . И только на крайнем северо-востоке падение рудных зон северо-западное под углом 55° . Мощность рудных зон от первых метров до первых десятков метров.

В каждом сечении, поперечном простиранию, выделяются 2–3 рудные зоны. Разломами они разбиваются на ряд блоков, сдвигаются или растаскиваются в поперечном направлении. Протяженность не смещенных отрезков зон – до 500 м. Благодаря левостороннему смещению по разломам вся рудоносная полоса имеет северо-северо-восточное простирание вместо северо-восточного, характерного для каждой зоны в отдельности. Общая длина рудоносной полосы превышает 3 км.

ТИПЫ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

По содержанию полезных компонентов на месторождении выделяются золото-медные и золото-медно-никелевые типы минерализации. Каж-

дая группа, в свою очередь, подразделяется на сульфидные и сульфоарсенидные минеральные типы (табл. 1, фиг. 1б). Золото-медное оруденение приурочено к вулканитам, диоритам и осадочным породам, а золото-медно-никелевое – к серпентинитам. Со скарнами и скарнированными известняками связаны густо-вкрапленные и сплошные магнетитовые руды, которые за пределами рудных зон практически не содержат сульфидов. Зона окисления на месторождении проявлена слабо, и окисленные руды не выделены.

Золото-медные типы минерализации

Золото-медные типы минерализации представлены сульфидными типами: золото-халькопиритовым, халькопирит-марказит-пиритовым, пирротиновым, пиритовым и сульфоарсенидным золото-сульфидно-арсенопиритовым.

Золото-халькопиритовый тип минерализации (фиг. 2) приурочен к термально метаморфизованным вулканитам и диоритам, особенно к ороговиканым породам и роговикам. В небольшом количестве минерализация этого типа присутствует в амфиболизированных габбро. В серпентинитах, образованных по термально метаморфизованным габбро, она отсутствует. В целом интенсивность минерализации пропорциональна степени метаморфизма. На поверхности палеозойского фундамента она картируется на небольшой площади в центре участка в роговиках. Но с глубиной ореол ее распространения значительно расширяется, особенно к югу, где она прослежена более чем на 500 м от выхода на поверхность, постепенно погружаясь.

Халькопирит, являющийся основным, а большей частью и единственным рудным минералом этого типа руд, образует тонкую неравномерную вкрапленность, реже – мелкие гнезда и совсем редко – короткие тонкие прожилки. В халькопирите часты включения золота размером в тысячные доли миллиметра, нередко до 0.05 мм. Золото часто образует сростания с теллурувисмутитом и неназванным теллуридом серебра и висмута ($Ag_{8.14}Bi_{2.84}Te_7$). Редко встречается пирит и очень редко – молибденит. Элементы-примеси, имеющиеся в этом типе руд минеральные формы, представлены серебром, висмутом, теллуrom, молибденом. Характерно полное отсутствие мышьяка и сурьмы, которые имеются во всех остальных типах руд месторождения (табл. 2).

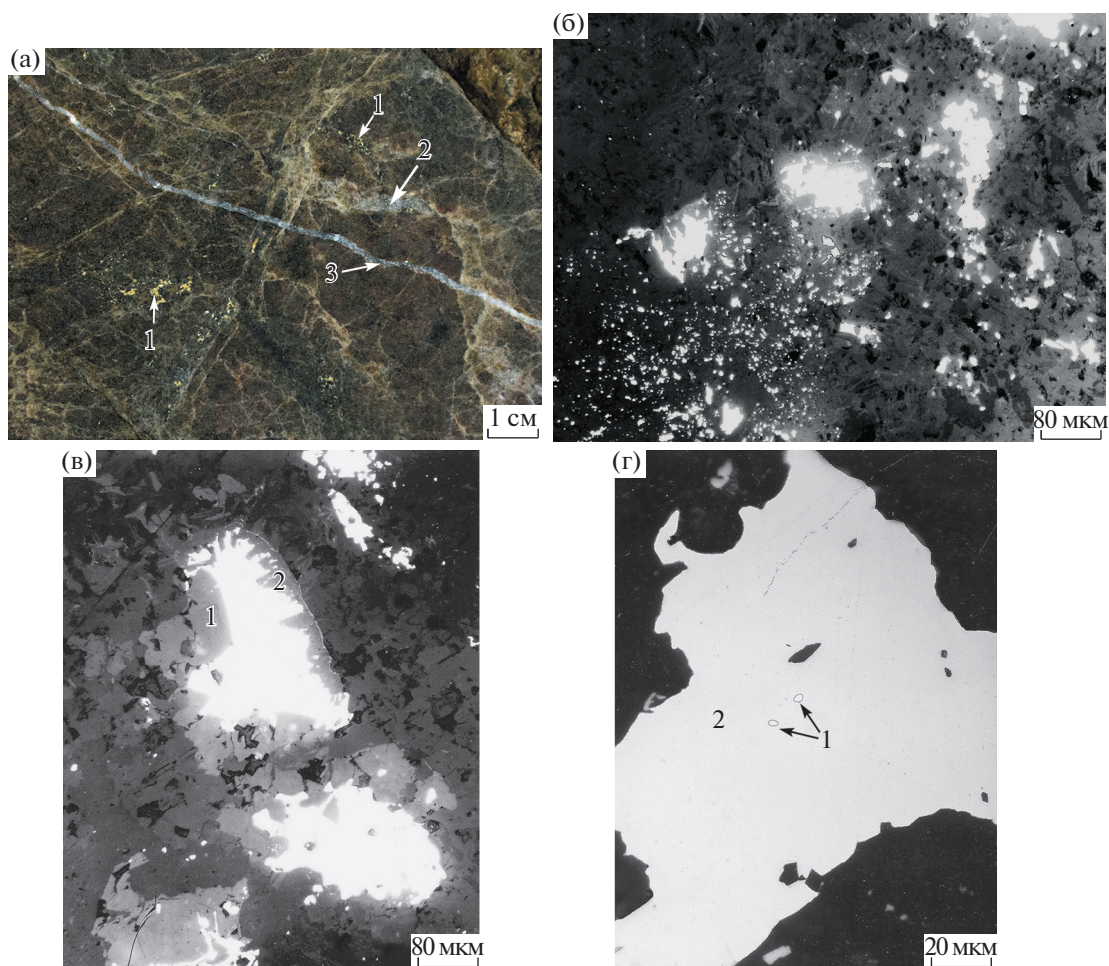
Околорудные изменения выражены биотитизацией, окварцеванием и пренитизацией. При этом пренит всегда находится в тесном сростании с халькопиритом, образуя пренит-халькопиритовую ассоциацию, характерную для медно-порфировых месторождений (Жуков, Филимонова, 1979).

Таблица 1. Основные типы оруденения

Типы оруденения		Вмещающие породы	Околорудные изменения	Характер развития оруденения	Основные рудные минералы	
Медные	Сульфидные	Золото-халько-пиритовый	Термально-метаморфизованные эффузивы, диориты	Окварцевание, биотитизация, пренитизация	Тонко-вкрапленное, редко гнезда и прожилки	Халькопирит, золото
		Пирротиновый	Эффузивы, диориты, скарны	Окварцевание, хлоритизация	Вкрапленное, гнездово-вкрапленное до густо-вкрапленного	Пирротин, халькопирит, пирит, золото
		Халькопирит-марказит-пиритовый	Эффузивы, известняки, алевролиты, диориты, скарны	Окварцевание, хлоритизация, доломитизация	Гнездово-вкрапленное до сплошных руд и прожилково-вкрапленное	Пирит, марказит, халькопирит, магнетит, золото
		Пиритовый	Эффузивы, известняки, алевролиты, диориты	Хлоритизация, окварцевание, серицитизация	Прожилково-вкрапленное, редко до сплошных руд	Пирит, марказит
	Сульфидно-арсенидный золото-сульфидно-арсенопиритовый		Эффузивы, известняки, алевролиты, диориты, скарны	Окварцевание, альбитизация, хлоритизация, карбонатизация	Вкрапленное, прожилково-вкрапленное	Арсенопирит, халькопирит, пирит, золото
Медно-никелевые	Сульфидные	Пентландит-пирротиновый	Серпентиниты	Тремолитизация, оталькование, хлоритизация	Вкрапленное до густо-вкрапленного	Пирротин, пентландит, халькопирит, пирит
		Халькопирит-пентландит-пиритовый	Серпентиниты	Окварцевание, хлоритизация, карбонатизация	Вкрапленное, прожилково-брекчиевидное	Пирит, марказит, пентландит, халькопирит, миллерит
		Пентландит-пиритовый	Серпентиниты	Окварцевание, хлоритизация	Вкрапленное, гнездово-вкрапленное	Пирит, марказит, пентландит
	Сульфидно-арсенидный золото-никелин-герсдорфитовый		Серпентиниты	Тремолитизация, оталькование, хлоритизация	Вкрапленное, гнездово-вкрапленное	Никелин, герсдорфит, халькопирит, пирит, золото
Магнетитовый		Скарны		Густо-вкрапленное, до сплошных руд	Магнетит	

Таким образом, минеральный состав данного типа рудной минерализации, характер ее распространения, околорудные изменения, геохимические особенности, выраженные в отсутствии ореолов мышьяка и сурьмы, развитие пренит-халько-

пиритовой ассоциации полностью аналогичны таковым в рудах щелочной стадии глубинных медно-порфировых систем (Жуков, Гойколова, 2013). Содержания меди также отвечают таковым в рудах щелочной стадии порфировых месторождений:



Фиг. 2. Золото-халькопиритовый тип минерализации (а – образец, б–г – шлифы полированные): а – вкрапленность халькопирита (1) в биотитизированном и окварцованном (2) эффузиве; поздний прожилок карбоната (3); б – вкрапленность халькопирита (белое) в термально метаморфизованном эффузиве; в – срастания халькопирита (белое) с кварцем (1) и пренитом (2); г – выделения золота (1) в халькопирите (2).

они редко достигают 0.3–0.5% при относительно высокой золотоносности.

Пирротиновый тип оруденения (фиг. 3) наиболее проявлен в северной части участка, где имеются как рассеянная минерализация, так и густовкрапленные и сплошные пирротиновые руды. Последние залегают над сульфидно-арсенопиритовыми рудами, отделяя их от залегающих выше руд халькопирит-марказит-пиритовых. В центре участка этот тип оруденения встречается редко, а на юге отсутствует вообще. Вмещающими породами пирротиновой минерализации являются альбитизированные вулканиты и диориты, иногда скарны.

Основным рудным минералом этого типа руд является моноклинный пирротин. Постоянно в небольшом количестве присутствует халькопирит, приуроченный к краям скоплений пирротина, к границам зерен в них и изредка в виде включений в зернах пирротина. Нередко встречаются кристаллы пирита. Видимое золото встречается

редко, оно образует включения в халькопирите и, в единичных случаях, в пирротине. В отдельных мономинеральных пробах пирротина, по данным количественного спектрального анализа, содержание золота достигает 5 г/т, а в одной пробе – 70 г/т. В виде одиночных кристалликов встречаются скуттерудит и арсенопирит, и иногда в виде включений в пирротине висмут самородный. Элементы-примеси руд отображены в табл. 2.

Повсеместно, хотя и в различной степени, проявлена дисульфидизация пирротина. Наиболее интенсивно она прошла в нижней части пирротиновых руд, где среди них появились 2–4-метровые интервалы пористых серных колчеданов. Иногда пирротиновые руды полностью преобразованы в марказит-пиритовые агрегаты с магнетитом. Халькопирит в таких агрегатах остался почти неизменным.

Околорудные изменения представлены окварцеванием и хлоритизацией. Хлорит замещает не

Таблица 2. Элементы-примеси в основных типах руд

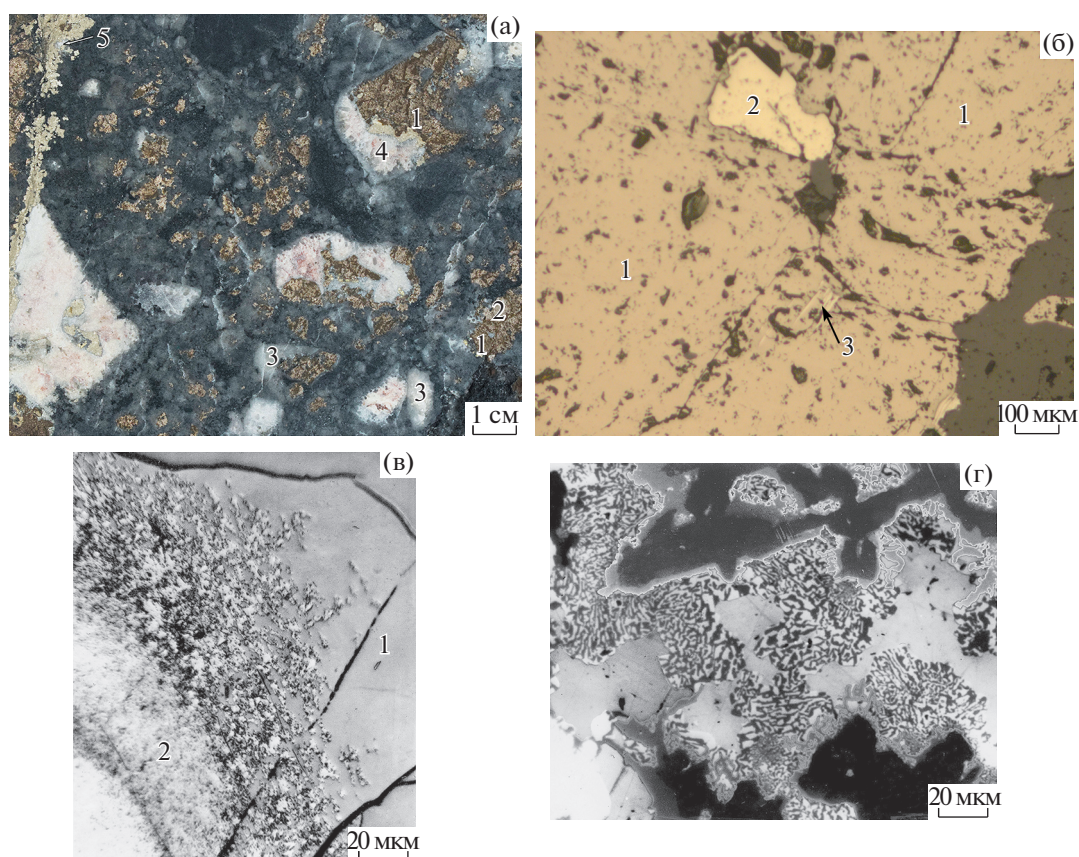
Типы минерализации	Число проб	Содержание элементов в г/т: $\frac{\text{от-до}}{\text{среднее}}$										
		Bi	Ag	Ni	Co	Pb	Zn	Mo	Sn	Cr	As	Sb
Золото-халькопиритовый	38	$\frac{3-100}{7.10}$	$\frac{0.1-5}{1.42}$	$\frac{20-700}{66.0}$	$\frac{10-70}{29.0}$	$\frac{5-10}{9.4}$	$\frac{30-150}{27.0}$	$\frac{1-15}{2.05}$	$\frac{1-20}{6.58}$	$\frac{10-700}{144}$	нет	нет
Пирротиновый	57	$\frac{3-70}{8.6}$	$\frac{0.1-7}{1.2}$	$\frac{20-1500}{185.2}$	$\frac{7-350}{41.2}$	$\frac{3-10}{7.6}$	$\frac{3-1500}{192}$	$\frac{1-30}{1.3}$	$\frac{2-25}{5.7}$	$\frac{10-1500}{296}$	$\frac{100-7000}{242}$	$\frac{0-250}{10.9}$
Халькопирит-марказит-пиритовый	83	$\frac{3-200}{13.4}$	$\frac{0.1-10}{2.7}$	$\frac{10-1000}{100}$	$\frac{10-500}{77}$	$\frac{3-20}{19.7}$	$\frac{20-1000}{139}$	$\frac{1-30}{1.49}$	$\frac{1-300}{22.4}$	$\frac{10-1500}{224}$	$\frac{10-3000}{220}$	$\frac{20-1000}{45}$
Рассеянная халькопирит-марказит-пиритовая минерализация	146	$\frac{0-300}{2.15}$	$\frac{0-25}{0.78}$	$\frac{10-1000}{88.7}$	$\frac{10-300}{31}$	$\frac{3-70}{8.5}$	$\frac{30-300}{83}$	$\frac{1-30}{2.1}$	$\frac{3-30}{5.73}$	$\frac{10-1000}{264}$	$\frac{0-1500}{30}$	$\frac{0-200}{3.3}$
Пиритовый	193	$\frac{3-100}{2.10}$	$\frac{0.1-5}{0.46}$	$\frac{10-700}{110}$	$\frac{10-300}{33}$	$\frac{3-50}{9.9}$	$\frac{20-700}{63}$	$\frac{1-30}{1.9}$	$\frac{1-70}{6.35}$	$\frac{10-1500}{216}$	$\frac{50-1000}{63.5}$	$\frac{0-50}{2-35}$
Сульфидно-арсенопиритовый	65	$\frac{3-150}{14.6}$	$\frac{0.1-30}{3.17}$	$\frac{15-300}{65}$	$\frac{7-300}{76}$	$\frac{5-30}{14.8}$	$\frac{20-300}{278}$	$\frac{0-15}{0.83}$	$\frac{3-150}{28.4}$	$\frac{10-300}{86}$	$\frac{100-10000}{1089}$	$\frac{20-300}{17.2}$
Рассеянная сульфидно-арсенопиритовая минерализация	28	$\frac{3-30}{5.07}$	$\frac{0.1-7}{0.50}$	$\frac{20-700}{136}$	$\frac{10-250}{43}$	$\frac{3-50}{5.0}$	$\frac{20-100}{97}$	$\frac{0-13}{0.96}$	$\frac{2-50}{6.78}$	$\frac{50-100}{254}$	$\frac{100-4000}{376}$	нет
Пентландит-пирротиновый	8	$\frac{0-3}{0.62}$	$\frac{0-3}{0.63}$	$\frac{700-1000}{950}$	$\frac{25-150}{51}$	нет	$\frac{70-150}{97.5}$	нет	$\frac{2-5}{2.5}$	$\frac{70-1500}{1050}$	$\frac{100-2500}{407}$	$\frac{0-100}{20}$
Халькопирит-пентландит-пиритовый	19	$\frac{0-15}{0.47}$	$\frac{0.3-10}{1.24}$	$\frac{70-2000}{568}$	$\frac{30-200}{105}$	$\frac{0-20}{2.3}$	$\frac{30-400}{143}$	$\frac{0-15}{0.21}$	$\frac{2-20}{4.26}$	$\frac{10-2000}{892}$	$\frac{100-2500}{395}$	$\frac{20-100}{15.8}$
Никелин-герсдорфитовый	51	$\frac{0-30}{2.53}$	$\frac{0.1-5}{0.50}$	$\frac{30-1500}{750}$	$\frac{20-250}{72.4}$	$\frac{0-7}{1.8}$	$\frac{30-700}{116}$	$\frac{0-15}{0.97}$	$\frac{2-10}{3.08}$	$\frac{20-2000}{829}$	$\frac{200-3000}{661}$	$\frac{20-1000}{36.5}$

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории Института геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы.

только минералы исходных и термально метаморфизованных пород, но и биотит, связанный с золото-халькопиритовой минерализацией, что указывает на более поздний характер рассматриваемого типа оруденения по отношению к термальному метаморфизму и золото-халькопиритовой минерализации.

Халькопирит-марказит-пиритовый тип рудной минерализации (фиг. 4) является наиболее распространенным, что и послужило основанием для отнесения месторождения на начальной стадии изучения к медно-колчеданному типу. Он присутствует в большинстве рудных зон, целиком слагая многие из них, особенно в южной части

месторождения. В северо-восточном блоке месторождения эти руды слагают верхние прикровельные части рудных зон, переходя ниже непосредственно или через пирротиновые руды в руды сульфидно-арсенопиритовые (фиг. 1б). Минерализация рассматриваемого типа — от гнездово-вкрапленной до сплошных руд в рудных зонах и прожилково-вкрапленная за их пределами. Вмещающими породами являются вулканиты, известняки, диориты, скарны. Оруденение сопровождается окварцеванием, хлоритизацией и доломитизацией пород и замещает продукты термального метаморфизма и биотит, связанный с золото-халькопиритовой минерализацией.



Фиг. 3. Пирротиновый тип минерализации (а – образец, б–г – полированные шлифы): а – вкрапленно-гнездовые пирит-пирротиновые руды: пирротин (1) и пирит (2) в пирит-пирротиновых сростках в дробленном окварцованном (3) и карбонатизированном (4) основном эффузиве, поздний прожилок пирита (5); б – пирротин (1) с включением пирита (2) и марказита (3); в – деталь развития “почки” марказита (2) по пирротину (1); г – развитие графических пирит-магнетитовых новообразований по халькопириту.

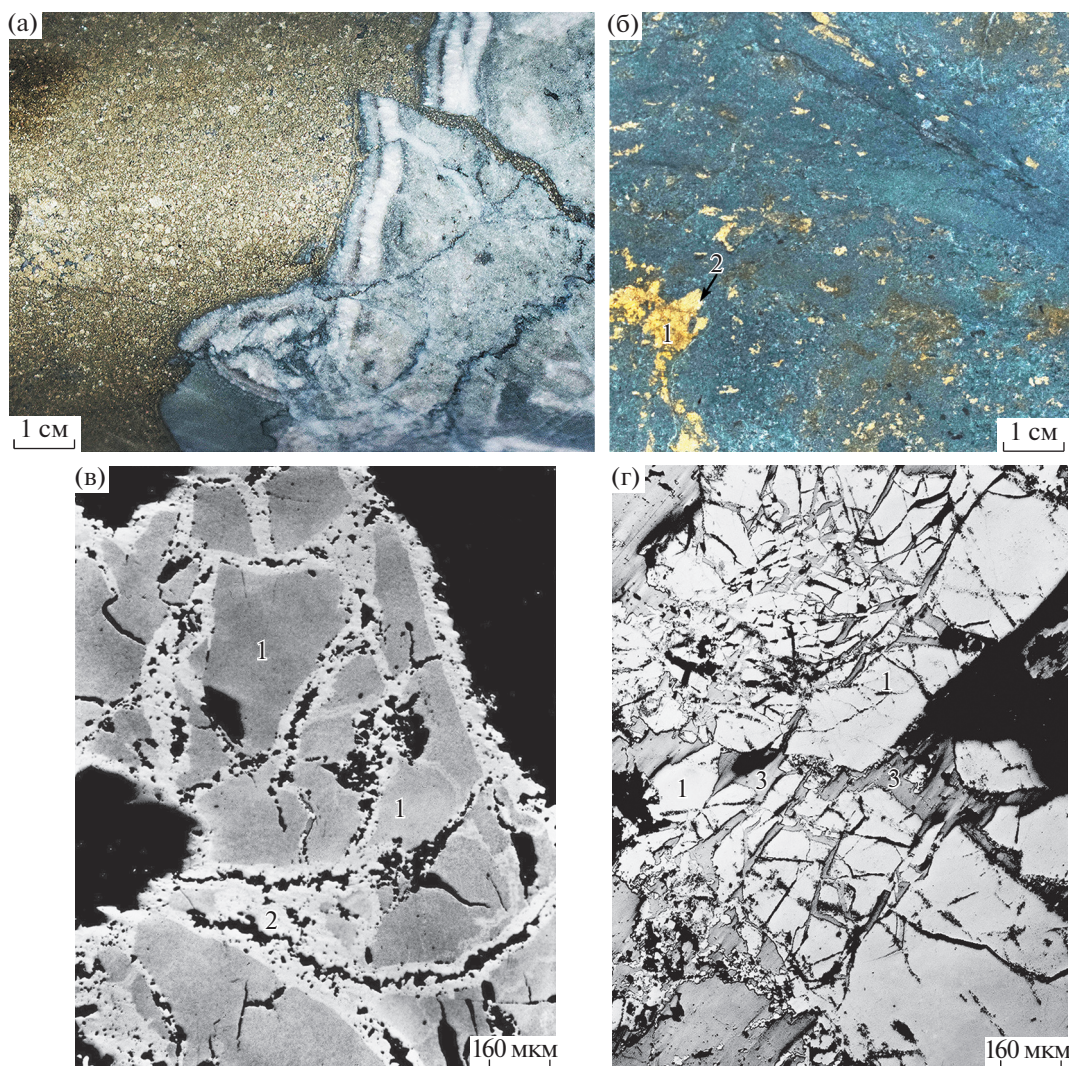
В рассеянной халькопирит-марказит-пиритовой минерализации халькопирит тяготеет к кварцу, а дисульфиды железа – к хлориту, но часто они встречаются совместно, в единых выделениях. Интенсивность минерализации грубо коррелирует со степенью гидротермального изменения. При развитии густой вкрапленности и сплошных руд породы подвергаются полной гидротермальной переработке.

Сплошные руды этого типа, развивающиеся в известняках и скарнах, отличаются обилием марказита, тонкой зернистостью (менее 0.001 мм), плотностью и представляют собой срастания халькопирита с марказитом или с пиритом. Иногда в них встречаются включения магнетитовых руд. В нижних частях рудных тел появляется примесь редких минералов: арсенопирита, пирротина, висмута самородного, звездочек сфалерита в халькопирите, редко золота. В диоритах и вулканитах в связи с зонами окварцевания развиты сплошные пористые до кавернозных кристаллически-зернистые халькопирит-пиритовые руды с примесью сфале-

рита, пирротина, марказита, магнетита, кварца и сидерита.

В рудах рассматриваемого типа широко распространены продукты замещения пирротина и высокотемпературного (пластинчатого) халькопирита новообразованиями пирита и марказита. Наблюдаются все переходные стадии этого процесса, от появления в пирротине и халькопирите тонкой сыпи и овоидов дисульфидов железа до образования их тонкозернистой смеси в примерно равном соотношении. Это дает основание предполагать, что марказит возник как новообразование по халькопириту и пирротину. При замещении таких агрегатов кварцем им избирательно замещаются исходные минералы и образуются “сажистые” агрегаты, представляющие собой нерудный минерал с густой тонкой сыпью дисульфидов железа. Реликты таких агрегатов встречаются во всех типах руд месторождения.

Халькопирит-марказит-пиритовые руды отличаются от остальных типов руд более высокими, обычно более процента, содержаниями меди. Самородное золото в них встречается редко. Основ-



Фиг. 4. Халькопирит-марказит-пиритовый тип минерализации (а, б – образцы, в, г – шлифы полированные): а – контакт сплошной халькопирит-марказит-пиритовой руды с известняком; б – гнездово-вкрапленная халькопирит-марказит-пиритовая руда в основных эффузивах: халькопирит (1), пирит (2); в, г – сплошная тонкозернистая халькопирит-марказитовая руда (1) сетется сеточкой кварц-пиритовых (2) и халькопиритовых прожилков (3).

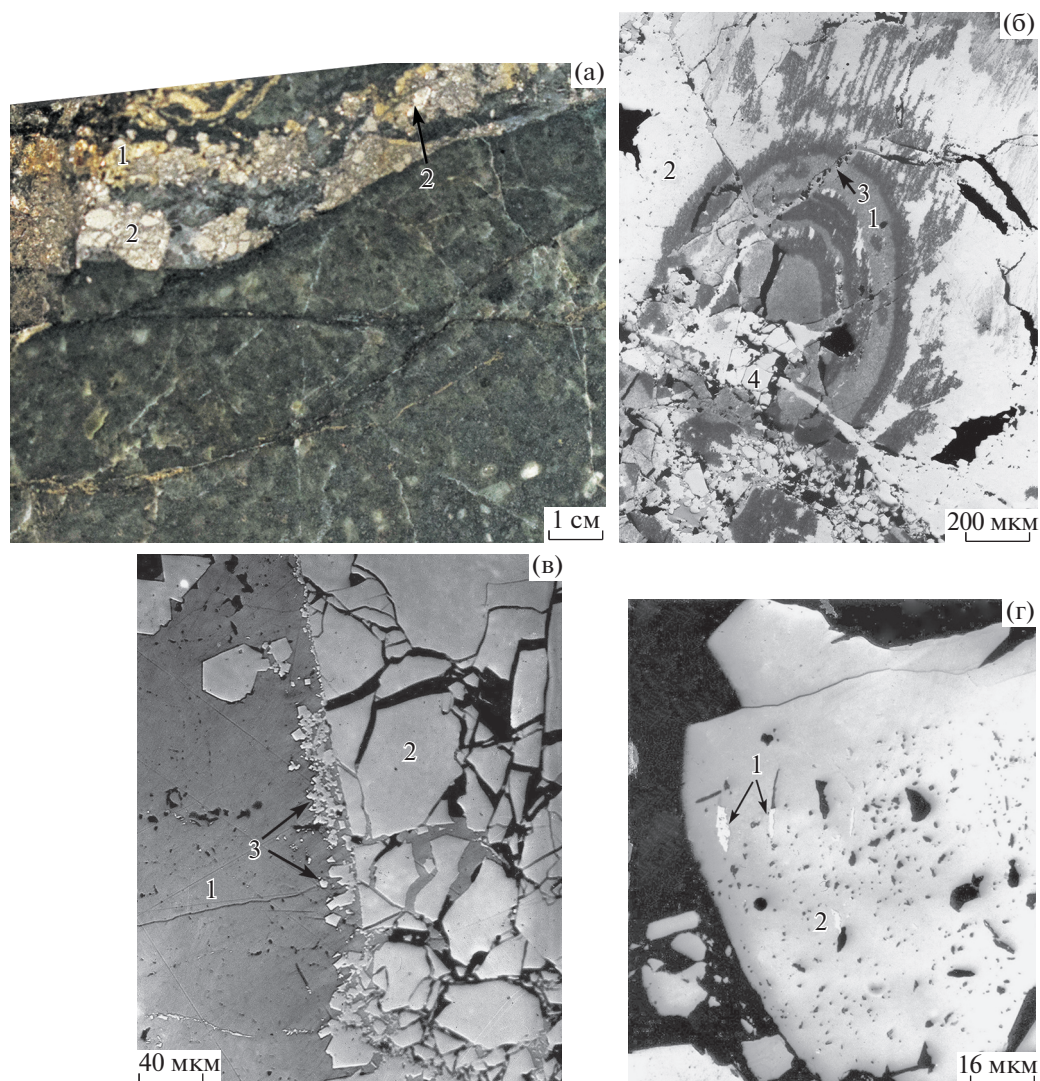
ные элементы-примеси представлены висмутом, серебром, кобальтом, оловом, молибденом, мышьяком и сурьмой.

Пиритовый тип рассеянной минерализации распространен очень широко, составляя внешний ореол по отношению к другим типам минерализации, но часто фиксируется и среди них. Он встречается во всех девонских породах и всегда сопровождается хлоритизацией. В большинстве случаев пирит-хлоритовая минерализация приурочена к зонам дробления и тектоническим брекчиям, образуя в них прожилки и гнезда, а при более интенсивных изменениях развивается метасоматически в недробленных породах. Количество пирита в хлорите колеблется от единичных зерен и их скоплений до густой вкрапленности, иногда преобладающей над хлоритом. Визуально хло-

рит-пиритовые агрегаты обычно имеют сажистый облик. Особенно часто такие сажистые прожилки, сложенные рыхлой хлоритовой массой с густой тончайшей сыпью пирита, встречаются в известняках.

В целом руды имеют почти чисто пиритовый состав с незначительной примесью марказита и единичных зерен халькопирита. Для пирита, помимо чрезвычайно мелких размеров (0.001–0.01 мм), характерен резко выраженный идиоморфизм кристалликов, отсутствие в них трещиноватости и включений других сульфидов. Этим руды обнаруживают сходство с пористыми серными колчеданами.

Сульфидоарсенидный **золото-сульфидно-арсенопиритовый тип** минерализации (фиг. 5) распро-



Фиг. 5. Золото-сульфидно-арсенопиритовый тип минерализации (а – образец; б–г – шлифы полированные): а – кварц-пирит (1)-арсенопиритовый (2) прожилок в диорит-порфирите; б – “почка” сажистого марказита (1) перекрыта стализована с периферии в пирит (2) и сечется прожилками халькопирита (3) и арсенопирита (4); в – халькопирит (1) и кварц (черное) залечивают трещины в арсенопирите (2); в халькопирите по границе с арсенопиритом – каемка новообразованного пирита; г – золото (1) в арсенопирите (2).

странен на севере и в центре участка, реже он встречается на юго-востоке его. Обычно он располагается в подошве халькопирит-марказит-пиритовых руд, переходя в них непосредственно или через пирротиновые руды. Вмещающими породами для него служат вулканиты, диориты, известняки и алевролиты. Изредка арсенопирит встречается в серпентинитах. Рудная минерализация сопровождается альбитизацией, окварцеванием, хлоритизацией и, иногда, карбонатизацией. Характер развития оруденения вкрапленный и вкрапленно-прожилковый. Часто сульфидно-арсенопиритовая минерализация совмещается с зонами халькопирит-марказит-пиритовых или пирротиновых руд и тогда принимает их облик.

Основными рудными минералами этого типа руд являются пирит, арсенопирит, халькопирит. Присутствуют также марказит, глаукоdot, леллингит, скуттерудит. Характерна их высокая золотосодержательность. Распределение золота неравномерное. В чисто арсенопиритовых прожилках видимое золото не обнаружено, хотя содержание его в монопробах арсенопирита достигает 70–100 г/т. Рассеянная вкрапленность арсенопирита за пределами прожилков содержит многочисленные включения золота, не связанного ни с трещинами, ни с границами зерен.

Наиболее богаты золотом прожилки халькопирит-арсенопиритового состава. В них золото чаще всего связано с халькопиритом, залечиваю-

щим трещины в арсенопирите. В участках развития по халькопириту пылевидных новообразований марказита наблюдались густые россыпи ультрамикроскопических зерен золота. Обычно же размер золотинок находится в пределах тысячных-сотых долей миллиметра.

Нередко золото сопровождается сульфидами и теллуридами висмута, который является одним из основных элементов-спутников руд месторождения. Другие элементы-спутники этого типа минерализации представлены мышьяком, сурьмой, серебром, теллуrom, селеном, кобальтом.

Золото-сульфидно-арсенопиритовая минерализация в количественном отношении распространена меньше других основных типов, но является наиболее золотоносной и совместно с золото-халькопиритовым и золото-никелин-герсдорфитовым оруденением определяет золоторудный облик месторождения. К тому же содержание меди в рудах этого типа сравнимо с таковым в халькопирит-марказит-пиритовых рудах.

Золото-медно-никелевые типы минерализации

Все золото-медно-никелевое оруденение локализуется в гидротермально измененных серпентинитах, амфиболитах и пироксенитах. Только изредка отдельные минералы, характерные для медно-никелевых руд, встречаются в гидротермалитах по диоритам и вулканитам, примыкающим к оруденелым серпентинитам. Основная масса золото-медно-никелевых руд картируется на поверхности в центре западной части участка в связи с интрузией габбро и серпентинитов. На глубине оруденелые серпентиниты прослеживаются почти до южной границы участка. Интересно присутствие рассеянной минерализации этого типа, содержащей минералогическое золото, в теле серпентинитов на юго-востоке участка.

Как видно из табл. 1, каждому типу медной минерализации соответствует свой тип минерализации медно-никелевой. Исключение составляет золото-халькопиритовая минерализация, синхронная с термальным метаморфизмом, предшествовавшим серпентинизации, и поэтому отсутствующая в серпентинитах.

Пентландит-пирротинный тип минерализации развит ограниченно (фиг. 6а, б). Он связан с тремолитизированными, оталькованными и хлоритизированными серпентинитами, причем рудные минералы тяготеют преимущественно к хлориту. Основным рудным минералом является пирротин при подчиненной роли пирита и халькопирита. Пирротин всегда включает лейсты пентландита. Изредка в сочетании и обычно в тесном сростании с пирротинном присутствуют никелин и герсдорфит. Для этих сростаний характерно зональное строение — каемки герсдорфита на пир-

ротине и включения пирротина в герсдорфите и, наоборот, включения никелина с каемками герсдорфита или без них в пирротине. Пирит в основном представляет собой продукт дисульфидизации пирротина.

Минералогическое золото в рудах этого типа не встречено, но самородный висмут, постоянный спутник золота, встречается часто. Помимо висмута элементы-примеси представлены никелем, кобальтом, хромом, мышьяком и сурьмой.

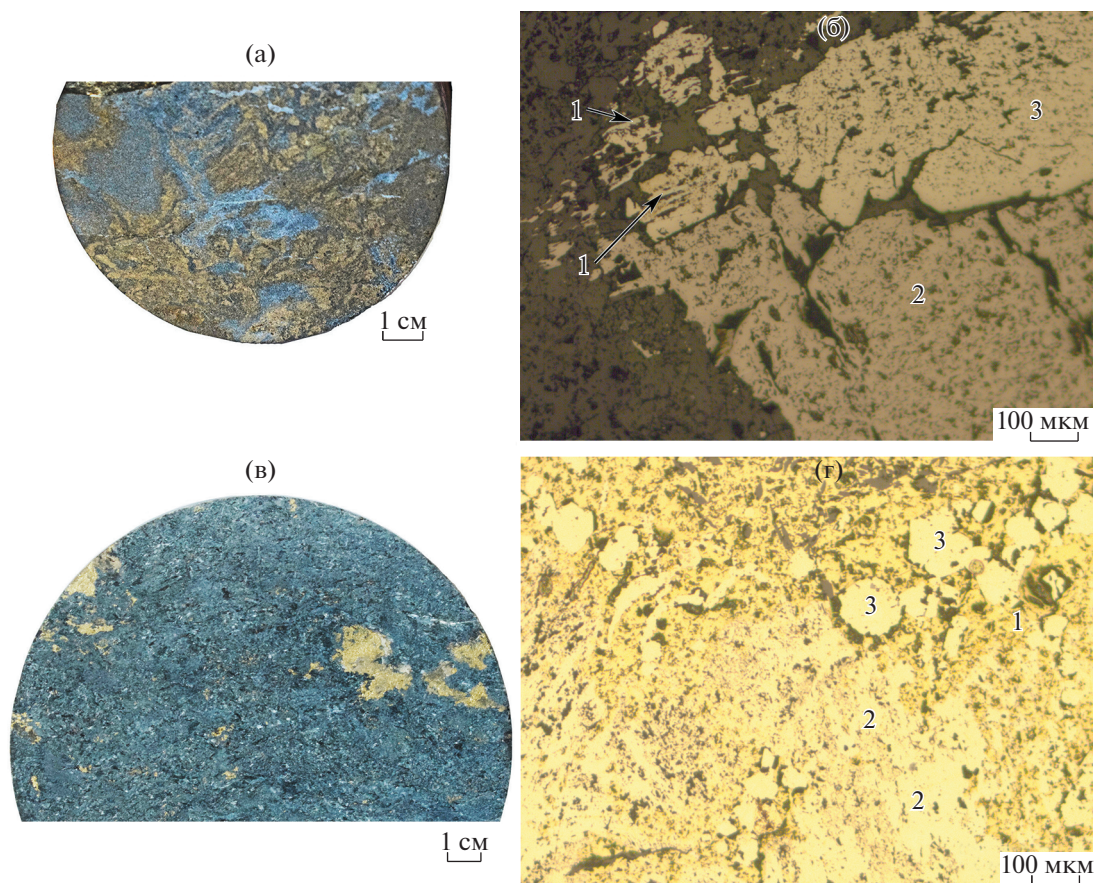
Халькопирит-пентландит-пиритовый тип руд (фиг. 6в, г) связан с окварцеванием и хлоритизацией, которые развиваются по серпентинитам и образованным по ним тремолитовым и тальковым метасоматитам. Хлоритизация образует внешнюю зону колонки гидротермалитов, а окварцевание — центральную часть ее.

Руды, связанные с окварцеванием, обычно имеют прожилково-брекчиевидную текстуру. Основная масса рудных минералов сосредоточена в прожилках, образовавшихся по зонкам дробления. Но довольно густая рудная сыпь присутствует и по всей массе окремненной породы. Основными минералами являются пирит и марказит. Халькопирит здесь редок. Распространены рассеянные скопления зерен миллерита. В пирите присутствуют включения пентландита. Встречаются агрегаты мелкокристаллического герсдорфита с редкими реликтами никелина и редко самородное золото.

В зонах хлоритизации оруденение вкрапленное. Основными минералами являются халькопирит, пирит, пентландит, магнетит. Часто встречаются марказит, виоларит, миллерит. Халькопирит обладает ясно выраженной спайностью, свойственной высокотемпературным его разновидностям. Он замещается магнетитом, магнетит-пиритовыми и марказит-пиритовыми сростаниями. Магнетит развивается в халькопирите по спайности, а магнетит-пиритовые и марказит-пиритовые агрегаты — по всей его площади, часто до образования полных псевдоморфоз. Пентландит образует каемки на пирите, жилки и гнезда в халькопирите.

Золотоносность халькопирит-пентландит-пиритовых руд слабая, при содержании меди до процента. Элементы-примеси представлены никелем, хромом, серебром, мышьяком и сурьмой.

Пентландит-пиритовый тип минерализации распространен ограниченно. Он представлен тонкими ветвящимися прожилками кварца и зонками развития гранобластового кварцевого агрегата с реликтами хлоритизированного амфибола. Прожилки и зонки окварцевания включают вкрапленность и гнезда пирита с отдельными зернами минералов никеля. Содержания меди и золота низкие. Элементы-примеси представлены характерными для медно-никелевого ряда никелем, кобальтом, хромом, а также мышьяком и сурьмой.



Фиг. 6. Сульфидные медно-никелевые руды (а, в – образцы, б, г – полированные шлифы): а – пентландит-пирротиновая руда в окварцованных и хлоритизированных серпентинитах (а – рудные минералы представлены пирротинном с микроскопическими пластинками пентландита); б – пластинки пентландита (1) в пирротине (2), пирит (3); в – вкраплено-гнездовая пирит-миллерит-халькопиритовая руда в тремолитизированных серпентинитах (в – рудные минералы представлены тонкими сростками халькопирита с миллеритом и отдельными кристаллами пирита); г – халькопирит (1)-миллеритовая (2) руда с пиритом (3).

Сульфидно-арсенидный **золото-никелин-герсдорфитовый тип** оруденения (фиг. 7) развит в тремолитизированных и оталькованных серпентинитах и в пироксенитах и амфиболитах, реликты которых иногда встречаются в тремолитовых породах. Чистая никелин-герсдорфитовая минерализация развита только в тремолитовых и тальк-тремолитовых породах. Обычно же эти породы в различной степени хлоритизированы, и в связанных с ними рудах наряду с минералами никеля всегда присутствует пирит, количество которого отвечает степени хлоритизации. При интенсивной хлоритизации происходит замещение арсенидов никеля сульфоарсенидами, а затем сульфидами, и руды переходят в сульфидные, в которых арсениды сохраняются только в виде реликтов.

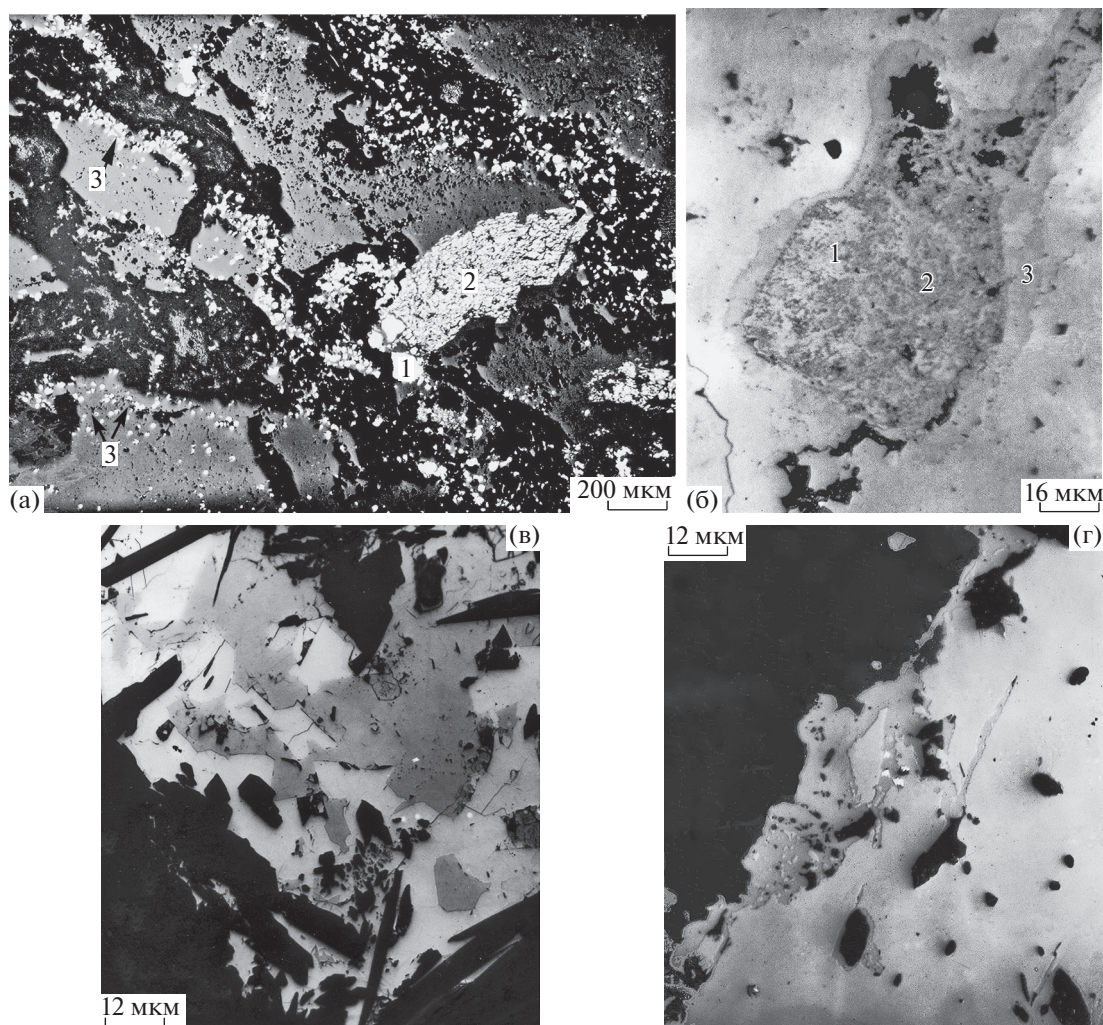
Наиболее характерны руды, состоящие из халькопирита, герсдорфита, никелина, маухерита. Иногда в них встречаются пентландит, миллерит, кубанит и валлериит. Часто встречается золото. Довольно распространен магнетит, образовавшийся

как до сульфидов и арсенидов, так и после них. Пирит с примесью марказита развивается как новообразование по халькопириту.

Как и сульфидно-арсенопиритовый тип, рассматриваемые руды отличаются высокой золотосодержимостью при повышенных содержаниях меди. Для них также характерно повышенное по сравнению с другими типами содержание никеля. Другие элементы-примеси представлены мышьяком, сурьмой, серебром, селеном, теллуром, висмутом.

Магнетитовые руды

Густовкрапленные и сплошные магнетитовые руды приурочены к скарнам и скарнированным известнякам, локализуясь преимущественно в подошве последних (фиг. 8). Реже они встречаются в скарнированных эффузивах. За пределами рудных зон они практически не содержат сульфидной минерализации. Соотношение магнетитовых



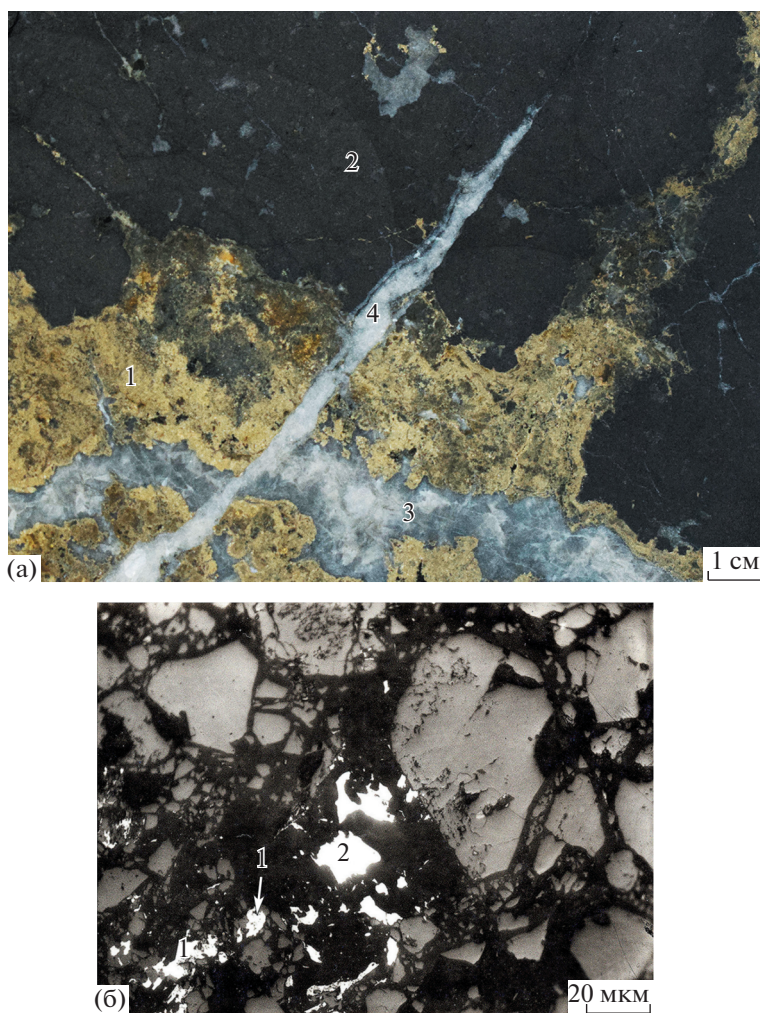
Фиг. 7. Сульфидно-арсенидный медно-никелевый тип оруденения (шлифы полированные): а – сульфидная медно-никелевая руда в кремнистых серпентинитах, рудные минералы приурочены преимущественно к зонам дробления, в обломках присутствует только тонкая их вкрапленность. 1 – пирит, 2 – марказит, 3 – бравоит; б – пентландит (1) частично замещенный виоларитом (2) и окаймленный герсдорфитом (3) в пирите; в – каемки герсдорфита (белое) на халькопирите (серое) и вокруг включений нерудного (черное) в нем; г – никелин (светлое) в краях замещен герсдорфитом (серое), золото в никелине и герсдорфите по их границе.

и сульфидных руд лучше всего проявлено в скважине, вскрывающей рудное тело в крайнем юго-западном блоке известняков. Здесь на контакте с известняками находятся руды, на 70% сложенные дробленным магнетитом, который сцементирован карбонатом. В карбонатном цементе встречается редкая вкрапленность пирита, халькопирита, марказита, сфалерита, сульфида висмута Bi_3S_5 и золота (фиг. 8б). Ниже магнетитовые руды встречаются в виде реликтов в сменяющих их с глубиной сплошных халькопирит-марказит-пиритовых рудах. Магнетит частично гематитизирован и маггемитизирован, более интенсивно в нижней части рудного тела. Такая маггемитизация магнетита на контакте с замещающим его пиритом под воздействием освобождающегося при замещении кислорода наблю-

далась нами на медно-колчеданном месторождении Приорском.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД

Минеральный состав руд месторождения богат и разнообразен (табл. 3). Помимо основных рудных минералов: сульфидов железа, меди и никеля, широко представлены сульфиды арсениды железа, никеля, арсениды никеля и кобальта, теллуриды и сульфотеллуриды висмута, серебра, меди, никеля. Распределение их по типам руд приведено в табл. 3. Кроме перечисленных в таблице, выявлено более двух десятков минералов, представленных единичными находками преимущественно в сульфидно-арсенидных типах руд. Характеристика этих минералов приведена в публикациях Пав-



Фиг. 8. Магнетитовые руды (а – образец, б – полированный шлиф): а – контакт марказит-пирит-халькопиритовых (1) и магнетитовых (2) руд, кварц (3), поздний прожилок карбоната (4); б – дробленая магнетитовая руда. К сидериту, цементирующему магнетит, приурочены сульфид висмута (1) и золото (2).

ловой и др. (Павлова, Котельников, 1988; Павлова и др., 1991, 1992_{1,2}). В целом в рудах месторождения установлено более 80 рудных минералов, в том числе около десятка новых, но неназванных, так как незначительные размеры не позволили получить их надежные рентгенограммы. Результаты микронзондовых анализов золота и его минеральных форм приведены в табл. 4. Там же указаны типы руд, в которых эти минералы встречены. Результаты микронзондовых анализов других минералов содержатся в перечисленных выше работах и здесь не повторяются.

Основным полезным компонентом руд является золото. Оно присутствует во всех типах руд, но наиболее часто встречается в трех из них: золото-халькопиритовом, золото-сульфидно-арсенопиритовом и золото-никелин-герсдорфитовом. Основными концентраторами золота являются халькопирит, арсенопирит, герсдорфит, никелин, реже

пирит и нерудные минералы, преимущественно кварц. Формы выделения золота показаны при характеристике типов руд и на фиг. 9 и 10.

В халькопирите золото располагается внутри зерен и по границе с включениями других минералов. Часто оно встречается около развивающихся по халькопириту новообразований пирита и марказита, что позволяет предполагать наличие в халькопирите невидимого золота, которое укрупняется при его пиритизации. В арсенопирите золото чаще всего приурочено к трещинкам и участкам дробления, где тесно ассоциирует с кварц-халькопиритовым цементом, реже оно встречается внутри зерен арсенопирита. Есть основания предполагать наличие в арсенопирите невидимого золота, так как в некоторых арсенопиритовых прожилках с содержанием золота до 20 г/т его минеральных форм не обнаружено. В герсдорфите включения золота рас-

Таблица 3. Распространенность рудных минералов в основных типах руд

Класс	Минерал	Формула	Типы руд					
			Золото-халько- пиритовые	Пиротиновые	Халькопирит- марказит-пиритовые	Золото-сульфидно- арсенопиритовые	Сульфидные медно-никелевые	Золото-никелин- герсдорфитовые
Самородные	Золото	Au	+++		++	+++		+++
	Электрум	(Au, Ag)				+	–	
Сульфиды	Пирит	FeS ₂	++	++	+++	+++	+++	+++
	Марказит	FeS ₂	+	++	+++	+	+++	+++
	Пирротин	Fe _{1-x} S		+++	+	+	+	+++
	Халькопирит	CuFeS ₂	+++	++	+++	+++	+	+++
	Кубанит	CuFe ₂ S ₃						+
	Валлерит	Cu ₃ Fe ₂ S ₃						+
	Миллерит	NiS						++
	Пентландит	(Ni,Fe) ₉ S ₈					++	++
	Виоларит	FeNi ₃ S ₄					++	++
	Бравоит	(Ni,Co,Fe)S ₂						
	Сфалерит	ZnS		+	+	+		+
	Молибденит	MoS ₂	+		+	+		
	Висмутин	Bi ₂ S				+		
Сульфо-арсе- ниды	Арсенопирит	FeAsS		++	++	+++		
	Теннантит	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	+			+		
	Герсдорфит	(Ni,Co,Fe)As					+	+
	Кобальтин	CoAsS	+		+			+
Арсениды	Никелин	NiAs					+	+++
	Маухерит	Ni ₁₁ As ₈						++
Теллуриды	Теллуру-висмутит	Bi ₂ Te ₃	+					
	Тетрадимит	Bi ₂ Te ₂ S	+		+	++		
	Жозеит-В	Bi _{4+x} Te _{2-x} S				+		
	Не названный	(Ag,Bi) ₁₁ Te ₇	+					
	Гессит	Ag ₂ Te				+		

Примечание. + редкие, ++ второстепенные, +++ основные минералы.

полагаются по границам с никелином и халькопиритом, реже непосредственно в герсдорфите.

Золото в основном высокопробное (табл. 4). Содержание серебра в нем редко превышает 10%. Зависимости его пробности от типа руд и вмещающих рудных минералов не наблюдается, и только в кварце его пробность отвечает электруму.

Размеры золотин варьируют от тысячных до десятых долей миллиметра, но иногда достигают 0.1–0.2 мм. Часть золота, как отмечено выше, находится в невидимой форме.

Из элементов-примесей наиболее распространены серебро, висмут, теллур. Все они совместно с золотом составляют единую золото-теллуру-

Таблица 4. Пробность золота и состав золотосодержащих минералов

Тип руды	Минерал	Включающий минерал	Содержание элементов (мас. %)				
			Au	Ag	Bi	Te	S
Золото-халькопиритовый	Золото Au	Халькопирит	89.37	11.15			
	Золото в сростке с петцитом	Халькопирит	86.20	13.79			
	Петцит* Ag_3AuTe_2	Халькопирит	19.26	45.08		34.30	
Сульфидно-арсенидопиритовый	Золото Au	Арсенопирит	88.86	10.85			
	Золото Au	Халькопирит	87.93	12.00			
	Золото Au	Пирит	88.89	10.82			
	Золото Au	Кварц, галенит	89.19	11.13			
	Мальдонит Au_2Bi	Кварц	65.74		33.75		
	Электрум	Кварц	80.32	19.39			
	Bi_5AuS_4	Кварц	13.80		76.60		9.50
	$(Bi,Pb)_5Au^{**}$	Кварц	14.90		68.00		9.80
Никелин-герсдорфитовый	Золото Au	Герсдорфит	86.08	14.82			
	Золото Au	По границе никелина с герсдорфитом	87.00	13.30			

Примечание. * – минерал содержит примесь Fe 1.28%; ** – содержание Pb составляет 6.00%. Анализы выполнены в лаборатории Института геологических наук им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, на микрозонде JCXA-733, аналитики В.Л. Левин и П.Е. Котельников.

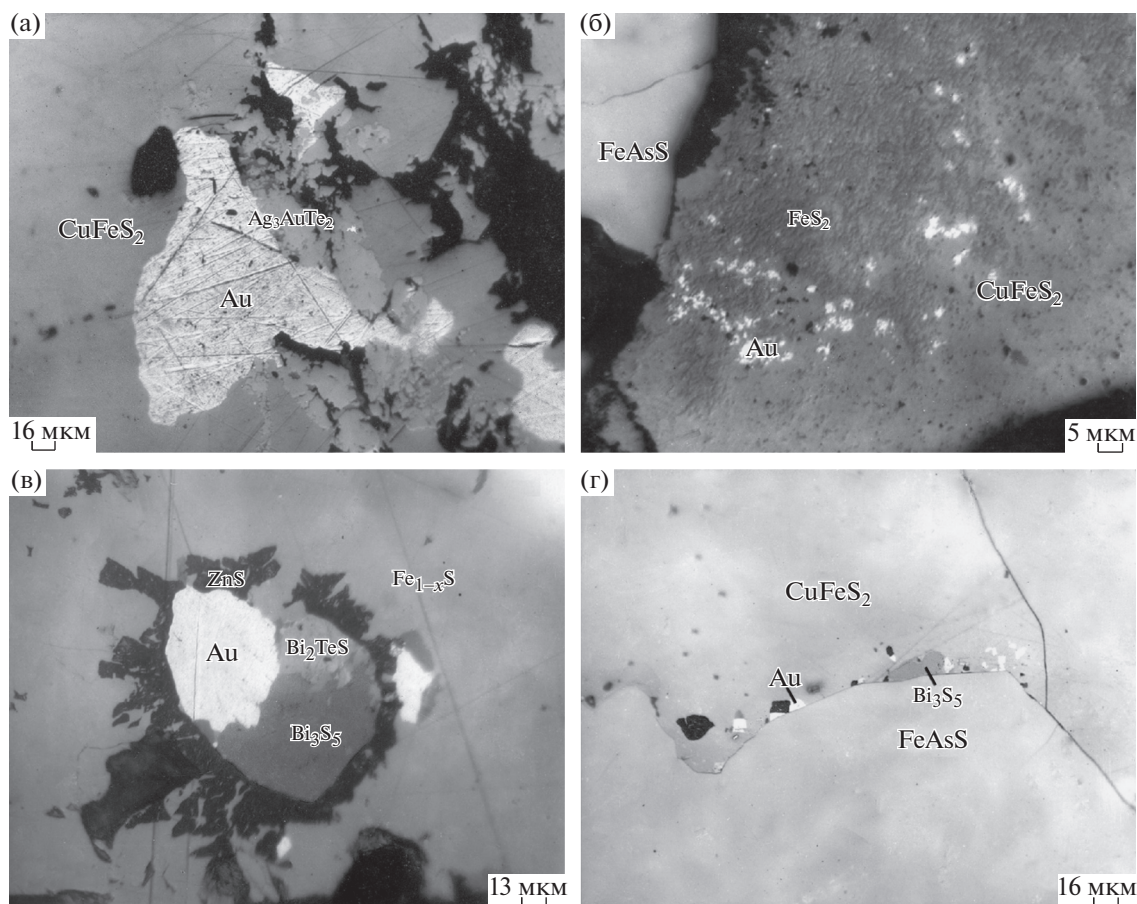
висмутую ассоциацию, распространенную в кварц-сульфидно-арсенидопиритовых прожилках в диоритах. В этой ассоциации установлено многообразие минеральных форм: самородное золото, мальдонит Au_2Bi , группа неназванных золото-висмутовых сульфидов типа Bi_5AuS_4 , $(Bi,Pb)_6AuS_3$, $(Bi,Au)_4S_5$; самородный висмут, висмутин Bi_2S_3 , иконолит Bi_4S_3 , тетрадимит Bi_2Te_2S , жозеит-А Bi_4TeS_2 , жозеит-В Bi_4Te_2S , ингодит Bi_2TeS , грюнлинит Bi_4TeS_3 , теллуrowисмутит Bi_2Te_3 , цумоит Bi_2Te_2 и другие. Следует отметить, что золото-висмутовые сульфиды относятся к новой группе природных соединений, первые сведения о которых появились в 1988 г. (Некрасов и др., 1988).

В золото-медно-никелевых рудах обычными элементами-примесями, наряду с перечисленными, являются никель, хром, кобальт. Минералы элементов платиновой группы не обнаружены. Было выполнено 5 спектрографических определений платины и палладия с предварительным пробирным обогащением с чувствительностью на платину $10^{-6}\%$ и на палладий $10^{-7}\%$ (табл. 5). В тысячных долях г/т платина и палладий содержатся в медно-никелевых рудах в серпентинитах, а палладий – и в халькопирит-марказит-пиритовых рудах в диоритах. Обращает на себя внимание некоторое обогащение этими элементами коры выветривания по оруденелым серпентинитам.

ОБСУЖДЕНИЕ

Многостадийность рудообразующего процесса и разнообразие вмещающих пород привели к не наблюдающемуся на других золоторудных месторождениях Казахстана совмещению различных типов минерализации и необычайному богатству их общего минерального состава – на месторождении выделено 10 типов рудной минерализации и выявлено более 80 рудных минералов. Жуков Н.М. с соавторами (Жуков и др., 1984) определяют тип месторождения как комбинированный. Аптикеев Е.Р. с соавторами на основании изучения вскрытого карьером пятидесятиметрового отрезка одной из рудных зон отнесли месторождение к скарновому типу, отмечая при этом незначительное распространение скарнов (Аптикеев и др., 2009).

По составу полезных компонентов нами выделены золото-медные и золото-медно-никелевые руды. Следует отметить, что медно-никелевые руды Варваринского месторождения существенно отличаются от руд типичных магматических медно-никелевых месторождений. На всех последних (за исключением Норильска) содержание никеля превышает содержание меди (Naldrett, 2010). Для них не характерна арсенидная и сульфидоарсенидная минерализация, минералы никеля и меди в них всегда представлены сульфидами. Арсениды никеля распространены в гидротермальных жильных месторождениях в породах основного и ультра-



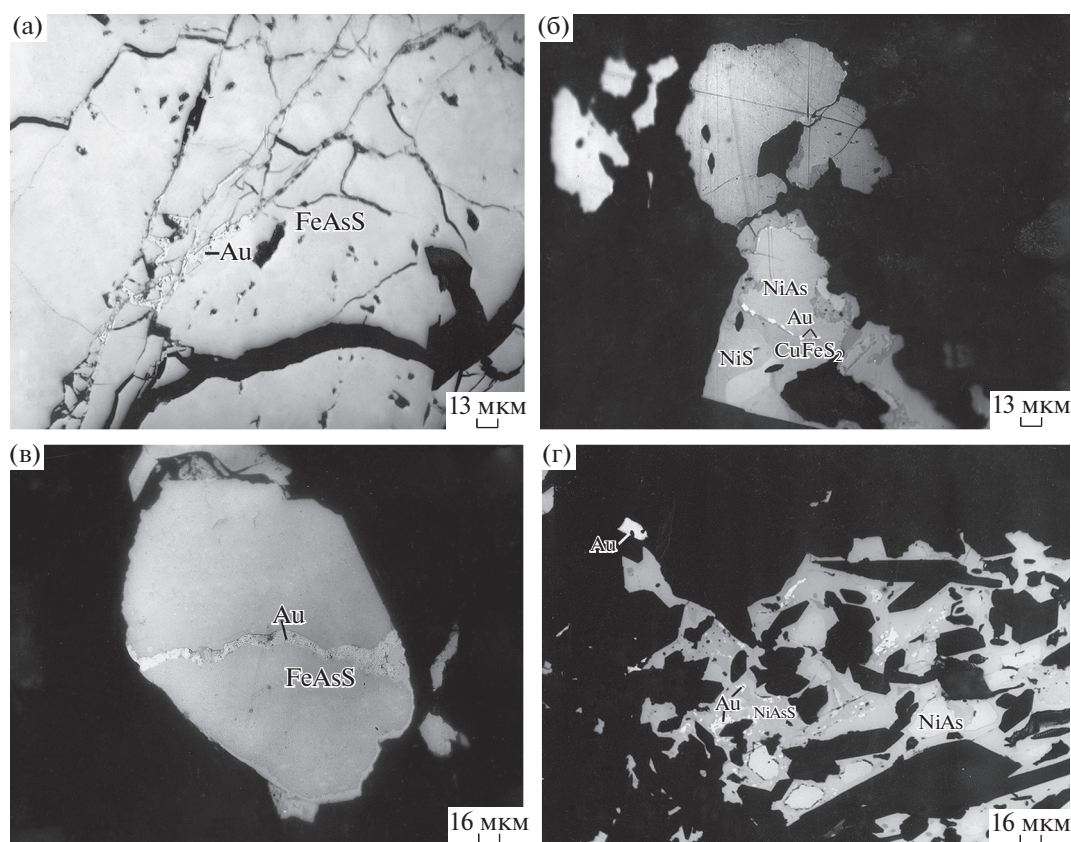
Фиг. 9. Золото в различных типах руд: а – сросток золота с петцитом в халькопирите золото-халькопиритовых руд; б – сыпь золота в участке пиритизации халькопирита из золото-сульфидно-арсенопиритовой руды; в – сросток золота с ингидитом Bi_2TeS , сфалеритом и неназванным сульфидом висмута Bi_3S_5 в пирротине пирротиновых руд; г – цепочка золотинок и зерно висмутита по границе халькопирита с арсенопиритом.

траосновного состава, что и наблюдается на Варваринке. Образование медно-никелевого оруденения этого месторождения обусловлено тем же гидротермальным процессом, что и образование медных руд в других вмещающих породах: эффузивах, диоритах, известняках, скарнах. Об этом свидетельствует соответствие каждой разновидности медно-никелевой минерализации анало-

гичного типа медного оруденения и их положение в едином массиве гидротермально измененных пород. Этим же, по-видимому, объясняется отсутствие на месторождении минералов элементов группы платины. Очевидно, что появление никелевой минерализации здесь обусловлено извлечением никеля рудообразующими растворами непосредственно из вмещающих серпентинитов.

Таблица 5. Содержания платины и палладия в основных типах руд

№ п/п	Тип минерализации и вмещающая порода	Содержание, г/т	
		Pt	Pd
1	Медно-никелевый сульфо-арсенидный в серпентинитах	0.007	0.005
2	Кора выветривания по серпентинитам с медно-никелевым сульфо-арсенидным оруденением	0.023	0.020
3	Халькопирит-марказит-пиритовый в скарнах	Не обн.	Следы
4	Халькопирит-марказит-пиритовый в диоритах	Следы	0.008
5	Сульфидно-арсенопиритовый в диоритах	Не обн.	Следы



Фиг. 10. Золото в сульфидно-арсенидных рудах: а – золото в арсенопирите золото-сульфидно-арсенопиритовых руд; б – цепочка золотинок по границе никелина с халькопиритом в золото-никелин-герсдорфитовой руде; в – прожилок золота в арсенопирите золото-сульфидно-арсенопиритовой руды; г – герсдорфит с включениями никелина и сыпью золота в золото-никелин-герсдорфитовой руде.

Наиболее ранним на месторождении является золото-халькопиритовый тип оруденения, не имеющий аналога в медно-никелевых рудах и по своему минеральному составу (халькопирит, часто с включениями золота, редко пирит и молибденит), текстурным особенностям (вкрапленность, мелкие гнезда, редкие прожилки), геохимическим особенностям (полное отсутствие мышьяка при его довольно высоком содержании в остальных типах руд) и окolorудным изменениям (биотитизация, пренитизация, окварцевание) полностью аналогичный таковому внешней зоны гидротермалитов щелочной стадии глубинных медно-порфирировых систем (Жуков, Гойколова, 2013; Антоненко и др., 2016). По-видимому, с этой же системой связано образование скарнов, которые характерны для порфирировых систем, в сферу влияния которых попадают карбонатные породы (Sillitoe, 1973). Как показывает термодинамический анализ метасоматических процессов и изучение порфирировых систем Казахстана (Жуков, 1991), а также данные по зарубежным порфирировым месторождениям (Edwards, Atkinson, 1986), образование скарнов в порфирировых системах свя-

зано именно со щелочной стадией рудообразования. Попытка связать образование скарнов Варваринки с диоритами, на наш взгляд, выглядит несостоятельно, так как сами диориты термально метаморфизованы вплоть до превращения в роговики, а редкие тела диоритов за пределами общего ореола термального метаморфизма следов термального воздействия на вмещающие эффузивы не несут. По-видимому, термальный метаморфизм обусловлен расположенной на глубине интрузией.

Появление оруденения порфирирового типа в Федоровской средне-позднедевонской островодужной зоне не выглядит случайным, так как оно характерно для многих островодужных систем, в том числе для таковых рассматриваемого района. Прилегающая к Федоровской зоне с запада ордовик-силурийская островодужная зона характеризуется медно-порфирировым и золотым оруденением (месторождения Спиридонька и Тохтаровка соответственно), а к расположенной восточнее Валерьяновской зоне приурочены медно-порфирировые (Бенкала, Баталы) и крупнейшие скарновые железорудные (Алешинское, Качарское и др.) ме-

сторождения. В Федоровской зоне все эти виды оруденения совмещены на одном месторождении.

На Варваринском месторождении собственно золотое оруденение во времени оторвано от золото-медно-порфирового. Оно наложено не только на продукты термального метаморфизма, но и на серпентиниты, которые образовались по термально метаморфизованым габбро. Сульфидные типы оруденения предшествовали сульфо-арсенидным, с которыми связана основная золотоносность месторождения. Но сульфидные руды также золотоносны, содержат редкие включения мышьяковистых минералов и характеризуются повышенными содержаниями мышьяка. Преобразования руд, развившиеся в дисульфидизации пирротина и образовании пирит-магнетитовых агрегатов по халькопириту с укрупнением содержащегося в нем невидимого золота, продолжались и после отложения сульфоарсенидных руд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие вмещающих пород и многостадийность рудообразующего процесса привели к не наблюдающемуся на других месторождениях Казахстана совмещению различных типов минерализации и необычайному богатству их общего минерального состава – на месторождении выделено 10 типов рудной минерализации и выявлено более 80 рудных минералов.

Выделяются сульфидные и сульфидно-арсенидные типы минерализации. Минеральный состав и геохимические особенности как сульфидных, так и сульфидно-арсенидных типов во многом определяются литологией вмещающих пород. В вулканитах, осадочных породах и диоритах распространено золото-медное оруденение, а в серпентинитах – золото-медно-никелевое. При этом каждой разновидности золото-медного оруденения соответствует свой тип золото-медно-никелевой минерализации, что свидетельствует в пользу единства процесса формирования золото-медных и золото-медно-никелевых руд. Такая зависимость состава оруденения, образовавшегося в процессе единого рудообразующего процесса, от литологии вмещающих пород, в свою очередь, свидетельствует о том, что рудное вещество, по крайней мере, частично, заимствовалось из вмещающих пород. Поэтому в золото-медно-никелевых рудах среди элементов-примесей присутствуют, помимо никеля, хром и кобальт, не характерные для золото-медных руд.

Выпадает из общего ряда золото-халькопиритовое оруденение, по своим характеристикам отвечающее оруденению щелочной стадии медно-порфирировых месторождений. Оно близко синхронно с термальным метаморфизмом и предшествовало остальным типам оруденения, которые

наложены на продукты термального метаморфизма и серпентиниты, образовавшиеся, в том числе, и по термально метаморфизованным габбро. Поэтому его аналоги в оруденении золото-медно-никелевого ряда отсутствуют.

На месторождении широко распространены продукты дисульфидизации пирротина и пиритизации халькопирита. По-видимому, халькопирит-марказит-пиритовый и халькопирит-пентландит-пиритовый типы оруденения являются продуктами гидротермального преобразования пирротиновых руд в условиях привноса серы, железа и меди. Структурные особенности этих руд свидетельствуют об их образовании вследствие полной дисульфидизации пирротина и развития по халькопириту тонкозернистых пирит-марказитовых и магнетит-пиритовых агрегатов. Общая масса сульфидов, особенно пирита, при этом увеличивается, что делает руды похожими на колчеданные. Этот процесс приводит также к укрупнению скрытого в раннем халькопирите невидимого золота.

Основным ценным компонентом месторождения является золото. Из 10 выделенных типов минерализации наиболее золотоносными являются три: золото-халькопиритовый, золото-сульфидно-арсенидопиритовый и золото-никелин-герсдорфитовый. Халькопирит-марказит-пиритовый и халькопирит-пентландит-пиритовый типы руд отличаются повышенным содержанием меди.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны рецензентам за замечания и советы, позволившие улучшить содержание статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования проекта № BR05236638: “Научное обеспечение восполнения и расширения минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акылбеков С.А., Воцалевский Э.С., Гуляев А.П., Жуков Н.М., Мирошниченко Л.А., Петров Н.Н., Ракишев Б.М., Ужкенов Б.С.* Минерагеническая карта Казахстана масштаба 1 : 1000000. Алматы, Астана, 2007.
- Антоненко А.А., Жуков Н.М., Герцен Л.Е., Гойколова Т.В.* Особенности минерального и элементного состава бедных руд месторождений Актогай и Бозшаколь // Изв. АН РК. Сер. геологии и технических наук. 2016. № 4. С. 18–27.
- Антикеев Е.Р., Масленников В.В., Жуков И.Г.* Текстурированные типы Варваринского золото-медно-скарнового месторождения Казахстан // Металлогения древних и современных океанов-2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Научное издание. Миасс: ИМинУРО РАН, 2009. С. 203–205.

- Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И., Скринник Л.И., Азизов Т.М., Тимуш А.В.* Геологическое строение Казахстана. Алматы, 2000. 396 с.
- Жуков Н.М.* Инфильтрационный метасоматизм и природные колонны гидротермалитов. Алма-Ата, 1991. 216 с.
- Жуков Н.М., Гойколова Т.В.* Пренит-халькопиритовая рудная ассоциация как показатель глубины формирования медных месторождений порфирирового типа // Изв. АН РК. Сер. геологии и технических наук. 2013. № 3. С. 43–45.
- Жуков Н.М., Филимонова Л.Е.* Пренит-халькопиритовая рудная ассоциация на медно-порфирировом месторождении Актогай // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1979. № 6. С. 53–55.
- Жуков Н.М., Павлова З.Н., Аубакирова Р.Е., Костеров Е.И., Гачкевич И.В.* Новый комбинированный тип золотого оруденения в Казахстане // Изв. АН Каз ССР. Сер. геол. 1984. № 5. С. 1–5.
- Некрасов И.Я., Яковлев Я.В., Соловьев Л.И., Лескова Н.В.* Первая находка Au-Bi-сульфида // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299. № 2. С. 438–441.
- Павлова З.Н., Котельников П.Е.* Формы нахождения серебра, висмута, теллура, селена, кобальта и сурьмы в медно-золоторудном месторождении Казахстана // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1988. № 2. С. 13–23.
- Павлова З.Н., Левин В.Л., Тасов Б.М.* О новых формах нахождения золота и висмута в медно-золоторудном месторождении Казахстана // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1991. № 3. С. 63–68.
- Павлова З.Н., Абулгазина С.Д., Котельников П.Е.* Сульфотеллуриды висмута из медно-золоторудного месторождения северо-западного Казахстана // Изв. АН РК. Сер. геол. 1992₁. № 3. С. 47–58.
- Павлова З.Н., Левин В.Л., Котельников П.Е.* Золото и элементы-примеси в медно-золоторудном месторождении северо-западного Казахстана // Изв. АН РК. Сер. геол. 1992₂. № 5. С. 55–67.
- Edwards R., Atkinson K.* Ore deposit geology. London; New York, 1986. 466 p.
- Naldrett A.J.* Secular variation of magmatic sulfide deposits and their source magmas // Econ. Geol. 2010. V. 105. № 3. P. 669–688.
- Sillitoe R.H.* The tops and bottoms of porphyry copper deposits // Econ. Geol. 1973. V. 68. № 6. P. 799–815.