

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИИ КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВОСТОЧНЫЙ САЯН

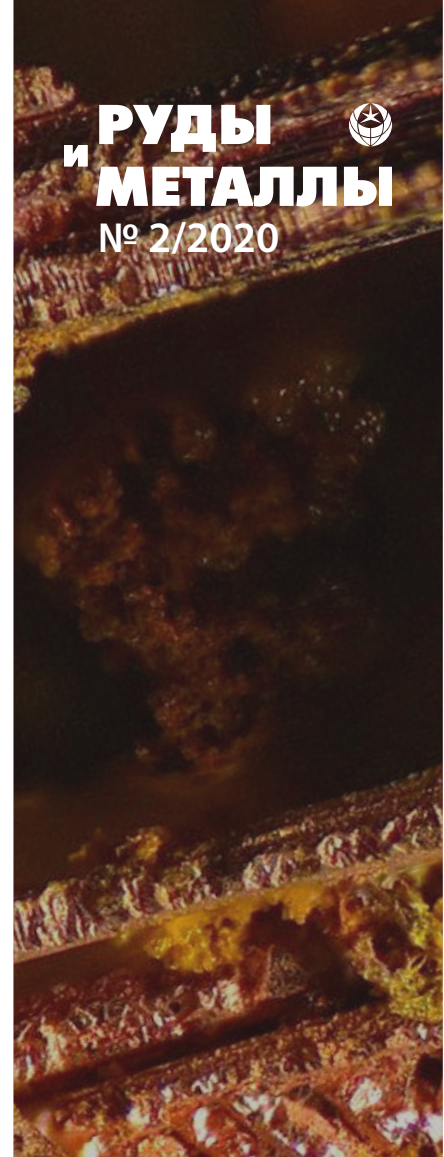
Приведены результаты исследования минерального состава кварц-сульфидных руд крупнейшего в Восточном Саяне Зун-Холбинского золоторудного месторождения. Выделены три минеральных типа руд: сливные пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные и кварц-полиметаллические. Самородное золото встречается в виде выделений в пирите-2 по трещинам или краям, а также отлагается совместно с другими рудными минералами (халькопиритом, сфалеритом, галенитом). Золото отлагается не только в пирите-2, но и в пирротине и кварц-карбонатной массе. Золото, отлагавшееся в кварц-карбонат-сульфидную стадию, имеет пробы от 634 до 926 ‰, в полиметаллическую – от 467 до 860 ‰, в Vi-теллуридную – от 327 до 693 ‰. Кроме того, выявлена зависимость состава примесных минеральных ассоциаций от рудовмещающих породных комплексов. Источником Vi могла послужить лампрофировая дайка, а минералы Ni появляются в рудах на участках развития блоков лиственитизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов. По взаимоотношениям минералов установлены четыре рудные ассоциации: пирит-пирротиновая, кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полисульфидная и Vi-теллуридная, соответствующие дорудному этапу и трём последовательным стадиям рудообразующего процесса.

Ключевые слова: Восточный Саян, Зун-Холбинское золоторудное месторождение, минеральные ассоциации, золото.

Зун-Холбинское золоторудное месторождение, открытое в 1955 г. геологами О. Ф. Горнаковым и А. Г. Лакиным, размещается в юго-восточной части Восточного Саяна в пределах Боксон-Гарганской структурно-металлогенической зоны [6].

Оно имеет длительную историю изучения и разведки. Многие известные учёные и исследователи описывали геологическое строение, состав вмещающих пород и руд месторождения, выдвигали мнения о генезисе золотого оруденения [2, 3, 5, 8, 14]. Но, несмотря на это, многие вопросы, касающиеся особенностей минерального состава руд, условий рудоотложения, источников рудного вещества, последовательности минералообразования, а также генезиса золотого оруденения остаются дискуссионными.

Рудные тела на месторождении не имеют чётких геологических границ и представляют собой тектонически нарушенные и гидротермально изменённые породы разного состава. В целом на объекте выделяются два типа рудных тел: минерализованные зоны и жилообразные рудные тела [4, 13]. Главные минералы руд (пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит и др.) определены достаточно давно. Кроме того, все исследователи отмечали наличие в рудах минеральных фаз примесных компонентов:



**Москвитина
Мария Леонидовна**

магистрант²
homashca@mail.ru

**Дамдинов
Булат Батуевич**

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник¹
damdinov@mail.ru

**Дамдинова
Людмила Борисовна**

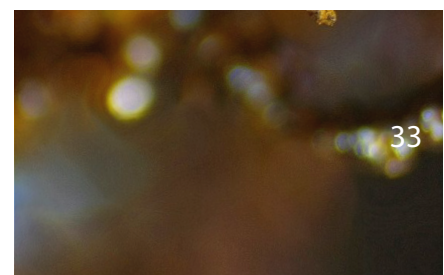
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник¹
ludamdinova@mail.ru

**Извекова
Александра Дмитриевна**

аспирант¹
boxjer@mail.ru

¹ ФГБУН Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ

² ФГБОУ ВО «Бурятский государственный
университет имени Доржи Банзарова»,
г. Улан-Удэ



Bi, Te, As и др. Однако их место в общей последовательности минералообразования так и не было установлено. В большинстве опубликованных работ эти минералы лишь перечислены как редкие или второстепенные и не отнесены к определённой минеральной ассоциации. Проведённые нами минералогические исследования кварц-сульфидных руд месторождения позволили выявить последовательность отложения рудных минералов и выделить стадии рудообразующего процесса.

В ходе экспедиционных работ на Зун-Холбинском месторождении авторы исследовали девять горизонтов (1290, 1340, 1390, 1440, 1490, 1740, 2032, 2082, 2300) в подземных и поверхностных горных выработках. Изучались геолого-структурные особенности рудных тел (Северное-1, 2, 3, Вавиловское, Сульфидное, Дорожное) и их взаимоотношения с вмещающими породами.

Состав пород и руд анализировался по шлифам и аншлифам с использованием рудно-петрографических микроскопов марок Полам и *Olympus BX-51*. Химический состав рудных минералов исследовался в ЦКП «Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований» ГИН СО РАН на сканирующем электронном микроскопе *Leo-1430* с энергодисперсионной приставкой для количественного анализа *Inca-Energy* (аналитики С. В. Канакин, Е. А. Хромова).

Зун-Холбинское золоторудное месторождение приурочено к Урик-Китойской золоторудной зоне и располагается в пределах Самарта-Холбинской зоны разломов северо-западного простирания. В строении Холбинского рудного поля участвуют породы Гарганской глыбы, сланцево-карбонатные отложения, породы офиолитовой ассоциации, гранитоиды сумсунурского комплекса и единичные дайки лампрофиров (рис. 1).

Гарганская глыба, представляющая собой выступ кристаллического фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента, сложена гнейсогранитами, гранодиоритами, плагиогранитами, кварцевыми диоритами. Породы выступа являются самыми древними в Восточном Саяне. По изотопным датировкам, значения возраста соответствуют интервалу 2000–3240 млн лет. Согласно последней U-Pb датировке возраст пород основания Гарганской глыбы – архейский (2900 млн лет) [1, 10].

Сланцево-карбонатные отложения относятся к иркутской свите и представляют собой неоптерозойские отложения чехла Тувино-Монгольского

микроконтинента. Иркутская свита сложена песчанистыми и кварцевыми тонкослоистыми известняками с прослоями углеродисто-карбонатно-терригенных отложений. Возраст отложений данной свиты оценивается в 1250 млн лет [9].

Породы офиолитовой ассоциации представлены метасоматически изменёнными ультрабазитами, которые превращены в листвениты и тальк-карбонатные породы, а также метаэффузивами и сланцами ильчирской толщи (оспинская свита).

В минеральном составе кварц-тальк-карбонатного лиственита преобладает карбонат (до 50 об. %), содержатся мелкие чешуйки талька (до 40 об. %), а оставшиеся 10 % приходятся на долю кварца, слагающего как отдельные зёрна, так и мелкие скопления зёрен в виде глазок углеродистого вещества, а также рудного минерала, представленного мелкими округлыми выделениями и агрегатами неправильной формы.

Породы ильчирской толщи (оспинская свита) на месторождении представлены метаморфизованными базальтами и андезитами, которые тесно ассоциируют с углеродисто-глинисто-кремнистыми сланцами, чередующимися с песчаниками. Среди сланцев присутствуют тела сливных сульфидных руд, местами золотоносные [11].

Сумсунурский комплекс включает биотитовые и амфибол-биотитовые гранодиориты, плагиограниты, биотит-роговообманковые диориты и роговообманковые эпидотизированные полевошпатовые граниты. Породы комплекса вблизи рудных тел подвержены тектоно-метасоматическим изменениям и превращены в березиты, милониты, катклазиты.

Дайки лампрофиров встречаются в виде единичных тел. Как и другие породы на месторождении, они претерпели интенсивные тектонические деформации, в результате чего были разбиты на серию линзовидных тел (рис. 2), что свидетельствует об их дорудной или внутрирудной природе. Лампрофиры представляют собой тёмно-зелёные мелкозернистые породы с порфиroidной структурой. Около 60 % объёма породы слагают вкрапленники оливина, пироксена (авгит, диопсид) и биотита. Размер вкрапленников варьирует от 1 до 2,5 мм. Основная масса – плагиоклаз, клинопироксен, биотит, магнетит.

Все породы месторождения подвержены интенсивным тектоническим деформациям и входят в Самарта-Холбинскую сдвиговую зону. Разломы

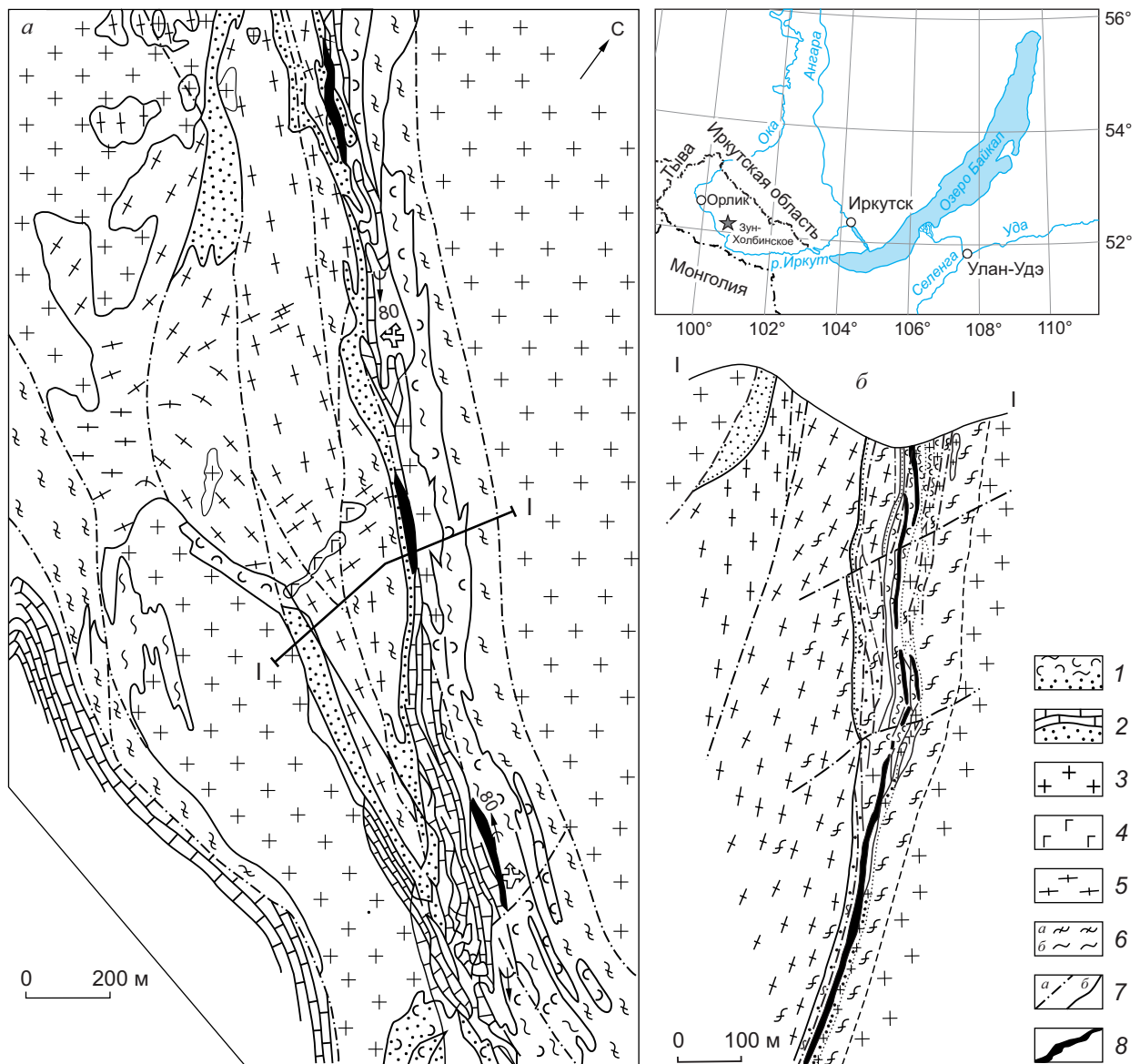


Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗУН-ХОЛБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (а – ПЛАН, б – РАЗРЕЗ ПО РАЗВЕДОЧНОМУ ПРОФИЛЮ I-I) [12]:

1 – углеродистые сланцы, вулканиты и туфотурбидиты ильчирской толщи (PR₃); 2 – терригенно-кремнисто-карбонатные отложения иркутской свиты (PR₃); 3 – плагиограниты и гранодиориты сумсунурского комплекса (PR₃); 4 – дайки габбро и габбродиабазов (PR₃); 5 – гнейсы и гранитогнейсы Гарганской глыбы (AR₂); 6 – зоны катаклаза (а) и милонитизации (б); 7 – разрывные нарушения (а), геологические границы (б); 8 – золоторудные тела

состоят из серии линзующихся и ветвящихся субпараллельных разрывов северо-западного простирания, пересекающих Самарта-Холбинскую структуру вдоль осевой поверхности [12]. Эти разрывы в сланцах и карбонатных породах чехла Гарганской глыбы проявляются как крутопадающие зоны расланцевания пород мощностью до 10–30 м,

а в гнейсогранитах её основания образуют мощные зоны милонитизации и катаклаза, сопровождающиеся березитизацией, окварцеванием и сульфидизацией пород [12]. Таким образом, рудовмещающий субстрат представляет собой крупноблоковый меланж, вследствие чего рудные тела часто имеют линзовидную и ячеистую морфологию.

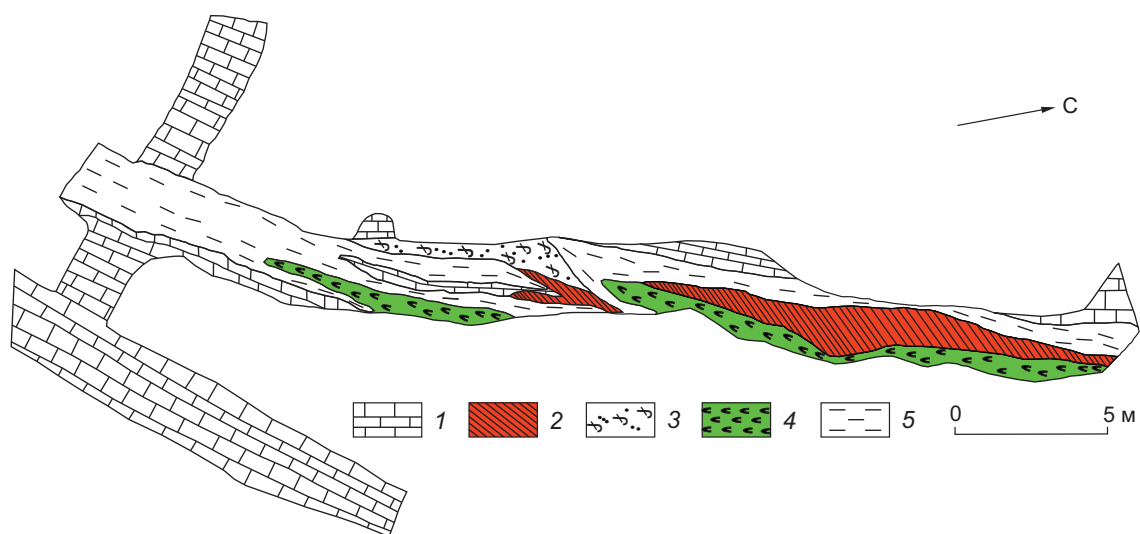


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН ГОР. 1440:

1 – известняки; 2 – рудное тело; 3 – околорудные метасоматиты (березиты); 4 – дайка лампрофиров; 5 – углеродистые сланцы

Как уже отмечалось, Зун-Холбинское месторождение неоднократно изучалось, и каждый исследователь предлагал свою типизацию его руд. Самая известная типизация основана на текстурно-структурных особенностях и включает четыре типа руд [12, 15]: слоисто-полосчатые с послойной сульфидной минерализацией; массивные колчеданные, колчеданно-полиметаллические и линзовидно-полосчатые метасоматические кварц-сульфидные; кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы; зоны прожилкования и прожилково-вкрапленные руды.

А. В. Бражник выделил четыре продуктивных минеральных комплекса, которые характеризуются определёнными возрастными взаимоотношениями. Комплексы были диагностированы по текстурно-структурным особенностям и типоморфным признакам основных рудных минералов [2]: пиритовый, пирит-пирротиновый, пирит-полисульфидный, полисульфидный.

Нами изучены наиболее промышленно значимые кварц-сульфидные руды, в которых, согласно преобладающим рудным минералам, были выделены следующие минеральные типы: сливные пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные (пиритовые), кварц-полиметаллические (пирит-сфалерит-галенитовые).

Сливные пирит-пирротиновые руды сложены сплошным агрегатом сульфидных минералов, со-

держание которых достигает 90 % (рис. 3, з). Главные сульфидные минералы – пирротин (60–70 %) и пирит (25–30 %), второстепенные (5–7 %) – халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит. Сливные пирит-пирротиновые руды слагают небольшие (до первых метров по длинной оси) линзовидные тела в рудоконтролирующих зонах дробления преимущественно на нижних горизонтах месторождения.

Кварц-карбонат-сульфидные руды – самый распространённый тип руд, слагающий практически все главные рудные тела на месторождении (см. рис. 3, а, б). Такие руды макроскопически представляют собой чередование полос серого, тёмно-серого, белого и почти прозрачного кварца, окварцованного серовато-белого карбоната и сульфидных прослоев. Сульфидные участки наблюдаются также в виде гнёзд, линз, прожилков и вкрапленности. Текстуры руд полосчатые, пятнистые, реже прожилково-вкрапленные. Содержание сульфидов варьирует от 2 до 40 %. Основная их часть приходится на пирит (70–80 %), в подчинённом количестве присутствуют халькопирит, сфалерит, галенит и др.

Кварц-полиметаллические руды залегают только на верхних горизонтах месторождения и представлены системами кварц-полисульфидных жил и прожилков (см. рис. 3, в). Сульфиды слагают гнёзда, прожилки и вкрапленность в кварце, а их содержания могут достигать 70 %, хотя чаще жилы отно-



Рис. 3. ТИПЫ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

а – полосчатая кварц-сульфидная руда в тектонической зоне; б – типичная кварц-карбонат-сульфидная руда; в – кварц-полиметаллическая руда; г – выход линзы пирротиновых руд в тектонической зоне

сительно малосульфидные. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит, халькопирит.

В целом среди рудных минералов Зун-Холбинского месторождения установлены 13 минеральных видов, главными из которых являются пирит, пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит. Среди второстепенных и редких минералов диагностированы арсенопирит, самородный висмут, гессит, тетраэдрит, тетрадимит, шеелит, викингит, а также самородное золото.

Пирит представлен тремя генерациями. Пирит первой генерации (пирит-1) образует округлые выделения наподобие конкреций размером от 10 до 50 мкм, которые сцементированы между собой ксеноморфным пирротиновым агрегатом (рис. 4, а). Пирит второй генерации (пирит-2) слагает гипидиоморфные зёрна размером от 10 мкм до 1 мм ромбической, прямоугольной, квадратной и неправильной форм, иногда со сглаженными углами (см. рис. 4, г, д). Пирит третьей генерации (пирит-3) отлагается в меньших количествах по сравнению с двумя первыми генерациями и слагает редкие выделения с извилистыми очертаниями, которые совместно с другими рудными минералами образуют единую ксеноморфную массу (рис. 5, в, е).

Пирротин слагает крупнозернистый ксеноморфный агрегат, который цементирует округлые зёрна пирита-1, встречается в составе небольших линзовидных тел сливных руд (см. рис. 4, а).

Сфалерит присутствует в двух генерациях. Сфалерит первой генерации (сфалерит-1) находится в виде редких выделений в ксеноморфном пирротиновом агрегате (см. рис. 4, б). Выделения имеют неправильную форму с извилистыми очертаниями, а их границы с пирротиновым агрегатом слегка размыты. Сфалерит второй генерации (сфалерит-2) слагает выделения, которые по краям, трещинам и в виде включений замещают пирит-2 (см. рис. 4, г). Участками сфалерит-2 совместно с пиритом-3 и галенитом-2 образуют единые аллотриоморфнозернистые агрегаты.

Галенит представлен двумя генерациями. Галенит первой генерации (галенит-1) слагает мелкие единичные выделения неправильной формы в ксеноморфном пирротиновом агрегате (см. рис. 4, б). Галенит второй генерации (галенит-2) образует выделения, которые по краям, трещинам и в виде включений в центральных частях замещают пирит-2 и арсенопирит (см. рис. 4, в, г). Совместно с пиритом-3 и сфалеритом-2 в некоторых местах руды формируют единый аллотриоморфнозернистый агрегат.

Халькопирит также встречается в двух генерациях. Первая генерация (халькопирит-1) присутствует в виде выделений неправильной формы с извилистыми очертаниями в ксеноморфной основной массе пирротинового агрегата (см. рис. 4, б). Границы между выделениями халькопирита-1 и пирро-

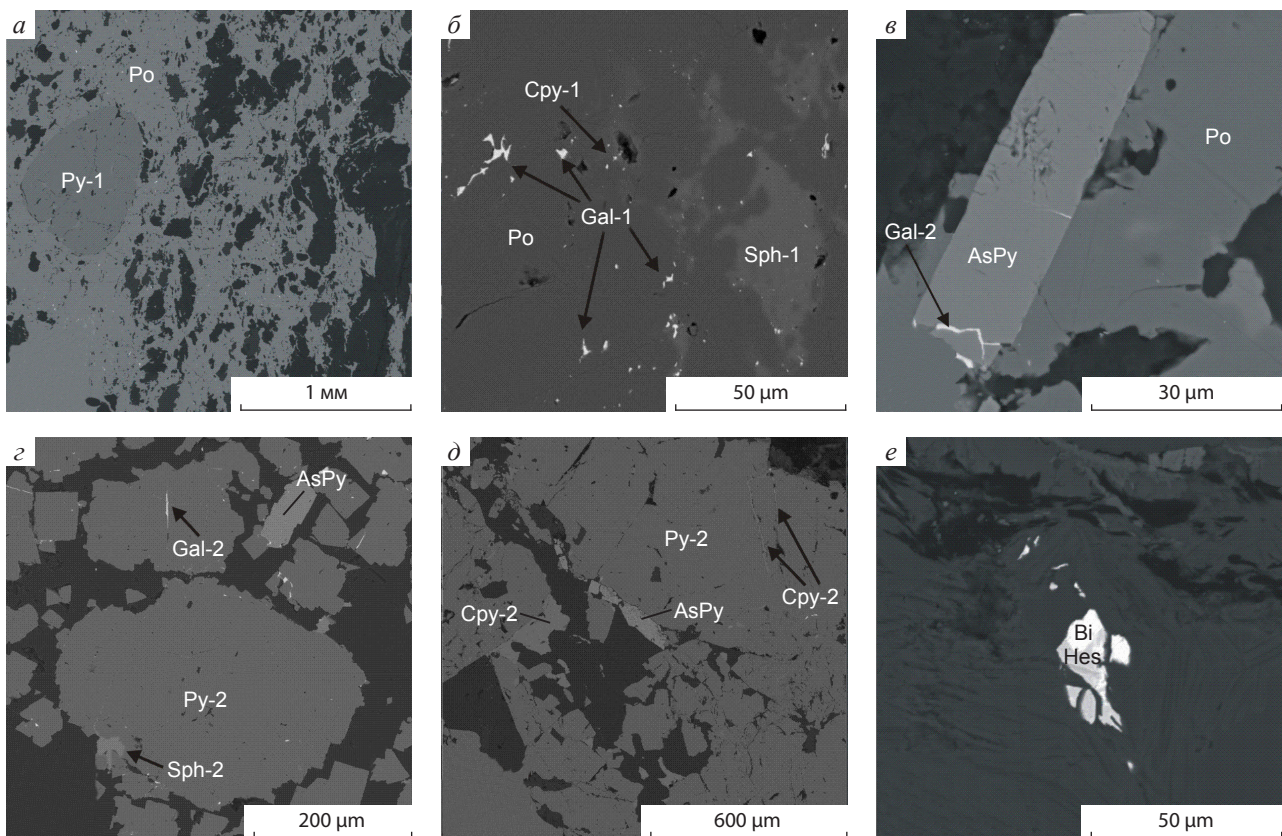


Рис. 4. МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ. ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:

a – округлые выделения пирита-1 сцементированы ксеноморфным пирротинном; *б* – халькопирит-1, сфалерит-1, галенит-1 «сидят» в пирротинном агрегате; *в* – кристалл арсенопирита по трещинам замещается галенитом-2; *г* – пирит-2 по трещинам замещается сфалеритом-2 и галенитом-2; *д* – прожилки халькопирита-2 замещают пирит-2; *е* – сросток самородного висмута и гессита образует самостоятельное выделение в кварц-карбонатной массе; Py – пирит, Po – пирротин, Cpy – халькопирит, Sph – сфалерит, Gal – галенит, AsPy – арсенопирит, Bi – самородный висмут, Hes – гессит

тином слегка размыты, как и у сфалерита-1. Халькопирит второй генерации (халькопирит-2) является продуктом замещения пирита-2 и развивается по краям и трещинам (см. рис. 4, *д*). Кроме того, халькопирит-2 слагает самостоятельные выделения небольшого размера в нерудной матрице.

Арсенопирит слагает идиоморфные зёрна таблитчатой и ромбической форм, иногда со сглаженными краями. Чаще всего образует кристаллические включения в пирротине и кварце. По трещинам замещается галенитом-2 (см. рис. 4, *в*).

Единые агрегаты самородного висмута, гессита ($\text{Ag}_{1,99}\text{Te}_{1,01}$) и *викингита* ($\text{Pb}_{6,63}\text{Ag}_{5,69}\text{Bi}_{4,11}\text{S}_{29,57}$) образуют ксеноморфные выделения удлинённой, округлой и неправильной форм (см. рис. 4, *е*; рис. 5, *а*). Эти выделения чаще всего отлагаются в пирри-

те-3 (см. рис. 5, *в*) и халькопирите-2, реже образуют секущие прожилки в галените-2. Иногда встречаются в нерудной массе.

Тетрадимит ($\text{Bi}_{1,99}\text{Te}_{1,88}\text{S}_{1,13}$) в виде единичных зёрен отлагается в пирите-2 по трещинам. Имеет неправильную форму с извилистыми очертаниями (см. рис. 5, *б*).

Ag-тетраэдрит отлагается в ассоциации с галенитом-2, пиритом-3, сфалеритом-2, образуя выделения неправильной формы с округлыми или заострёнными краями (см. рис. 5, *е*). Средний состав минерала рассчитывается на формулу $(\text{Cu}_{6,70}\text{Ag}_{3,12}\text{Au}_{0,15})_{9,97}(\text{Zn}_{0,32}\text{Fe}_{1,71})_{2,03}(\text{Sb})_{4,05}(\text{S})_{12,95}$.

Шеелит ($\text{Ca}_{1,12}\text{W}_{1,13}\text{O}_{3,75}$) диагностирован в виде единичного зерна ромбической формы в нерудной кварц-карбонатной массе (см. рис. 5, *д*).

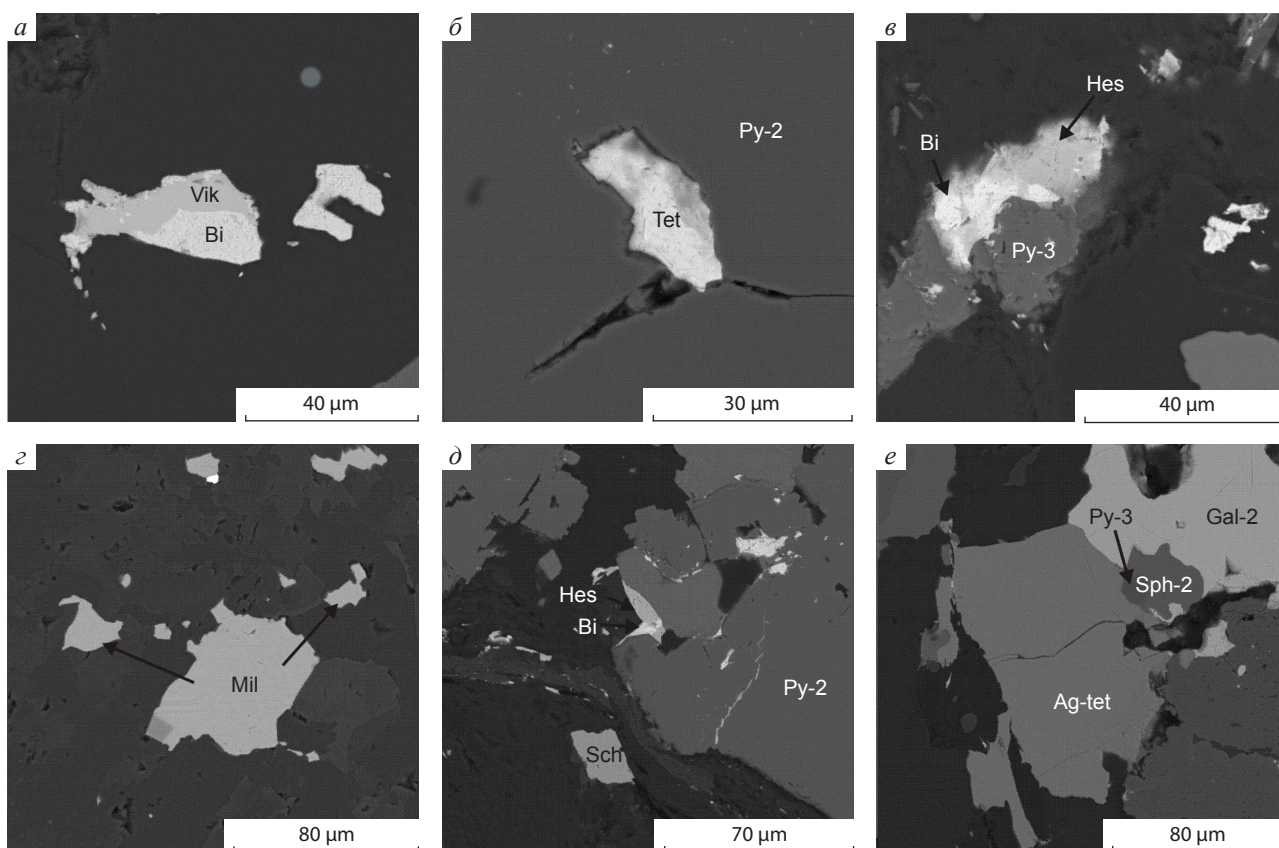


Рис. 5. МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ. ИЗОБРАЖЕНИЕ В ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:

a – самостоятельное выделение самородного висмута и викингита в кварц-карбонатной массе; *б* – зерно тетрадимита развивается по трещине в пирите-2; *в* – единое выделение самородного висмута и гессита замещает пирит-3; *г* – выделения миллерита в кварц-карбонатной массе; *д* – идиоморфное зерно шеелита со сглаженными углами в кварц-карбонатной массе; *е* – Ag-тетраэдрит совместно со сфалеритом-2, галенитом-2, пиритом-3 образуют единые гипидиоморфные выделения; Bi – самородный висмут, Vik – викингит, Tet – тетрадимит, Hes – гессит, Mil – миллерит, Sch – шеелит, Ag-tet – Ag-тетраэдрит, Py – пирит, Sph – сфалерит, Gal – галенит

Миллерит диагностирован в виде единичных выделений в кварц-карбонатной массе (см. рис. 5, *г*).

В таблице приведён химический состав редких минералов и минералов переменного состава.

В ходе исследований была сделана попытка выяснить закономерности изменения пробыности золота в зависимости от гипсометрического уровня, типа руды, а также от состава золотосодержащего минерального парагенезиса. Для упрощения изложения материала термин «самородное золото» употребляется для всего ряда золотосеребряных минералов – электрума, кюстелита и собственно самородного золота.

По морфологии диагностированы разнообразные формы выделения *самородного золота*: округлые, каплевидные, столбчатые, вытянутые с округ-

лыми краями, амёбообразные, прожилковидные, серповидные золотины, а также выделения неправильной формы. Однако установлено, что пробаность золота не зависит от его морфологии.

Большинство обнаруженных выделений самородного золота пространственно приурочены к агрегатам пирита-2. Выделяются три его разновидности: мономинеральные включения золота в пирите; золото, приуроченное к трещинам, порам и границам зёрен пирита-2; полиминеральные сростания золота с другими рудными минералами – халькопиритом, сфалеритом, галенитом.

Золото первой разновидности встречается реже, чем остальные. Слагает округлые, столбчатые, каплевидные включения в пирите-2 (рис. 6, *а*), что может свидетельствовать о его сингенетичности

СРЕДНИЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Минералы	Сумма	Fe	Ca	Cu	Zn	Au	Ag	Cd	W	Pb	Bi	Sb	As	Te	S	O
Арсенопирит (n = 14)	100,23	35,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,65	-	22,04	-
Викингит (n = 1)	100,04	-	-	-	-	-	10,45	-	-	23,34	50,13	-	-	-	16,12	-
Гессит (n = 12)	100,39	0,64	-	-	-	-	61,67	-	-	-	-	-	-	36,81	1,07	-
Самородный Bi (n = 14)	99,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,93	-	-	-	-	-
Сфалерит (n = 24)	100,29	6,28	-	-	59,68	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	33,49	-
Ag-тетраэдрит (n = 7)	100,79	5,30	-	23,64	1,15	1,62	18,69	-	-	-	-	27,36	-	-	23,04	-
Тетрадимит (n = 3)	100,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,34	-	-	34,66	5,24	-
Шеелит (n = 2)	100,14	1,27	14,12	-	-	-	-	-	65,84	-	-	-	-	-	-	18,93

с пиритом. Пробность золота варьирует от 646 до 926 %.

Минералы золота второй разновидности встречаются чаще других и представляют собой прожилки, а также округлые, серповидные, каплевидные и неправильной формы выделения с извилистыми очертаниями, которые отлагаются по трещинам, порам и располагаются на границах зёрен пирита-2 (см. рис. 6, б). Золото этой группы отлагалось после образования пирита-2. Пробность золота – от 467 до 860 %.

К третьей разновидности относятся выделения золота, которые ассоциируют с халькопиритом, галенитом и сфалеритом и образуют полиминеральные агрегаты, слагающие выделения неправильной формы в пирите-2 (см. рис. 6, в). Морфология золота и ассоциирующих минералов свидетельствует об их появлении позже пирита-2. Пробность золота – от 469 до 821 %.

Самородное золото отмечается в виде включений округлой и каплевидной форм не только в пирите-2, но и непосредственно в кварце и карбонате (см. рис. 6, г). Взаимоотношения зёрен золота с кварцем и карбонатными минералами может указывать на их синхронное образование. Пробность золота – от 634 до 813 %.

В пирротиновом агрегате самородное золото присутствует в виде ксеноморфных вытянутых и прожилковидных золотин, а также выделений неправильной формы с извилистыми очертаниями (см. рис. 6, д). Местами оно замещает краевые части

зёрен пирротина. Такие соотношения говорят об эпигенетическом характере золота по отношению к пирротину. Пробность золота – от 693 до 732 %.

Следует отметить, что интервалы значений пробности золота во всех перечисленных вариантах его соотношений с другими рудными минералами перекрываются.

Золото, находящееся в ассоциации с самородным висмутом, имеет низкую пробность и отвечает по составу кюстелиту (см. рис. 6, е).

Исследования показали, что химический состав самородного золота не зависит от глубины залегания руд, интервалы пробности золота на разных гипсометрических уровнях перекрываются.

Рудная минерализация Зун-Холбинского золоторудного месторождения отличается высокой степенью сложности, отражающей многостадийное рудообразование. Геологическими наблюдениями установлено, что появление некоторых второстепенных минералов связано с изменениями характера рудовмещающего субстрата. Так, источником висмута могла служить лампрофировая дайка, поскольку все Bi-содержащие минералы в рудах диагностированы только вблизи её выхода (см. рис. 2), тогда как на других участках месторождения Bi-минерализация отсутствует. В пределах развития блоков лиственизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов – в рудах появляются минералы никеля (миллерит), а шеелит формируется в рудах, развитых по зонам тектоно-метасоматических пре-

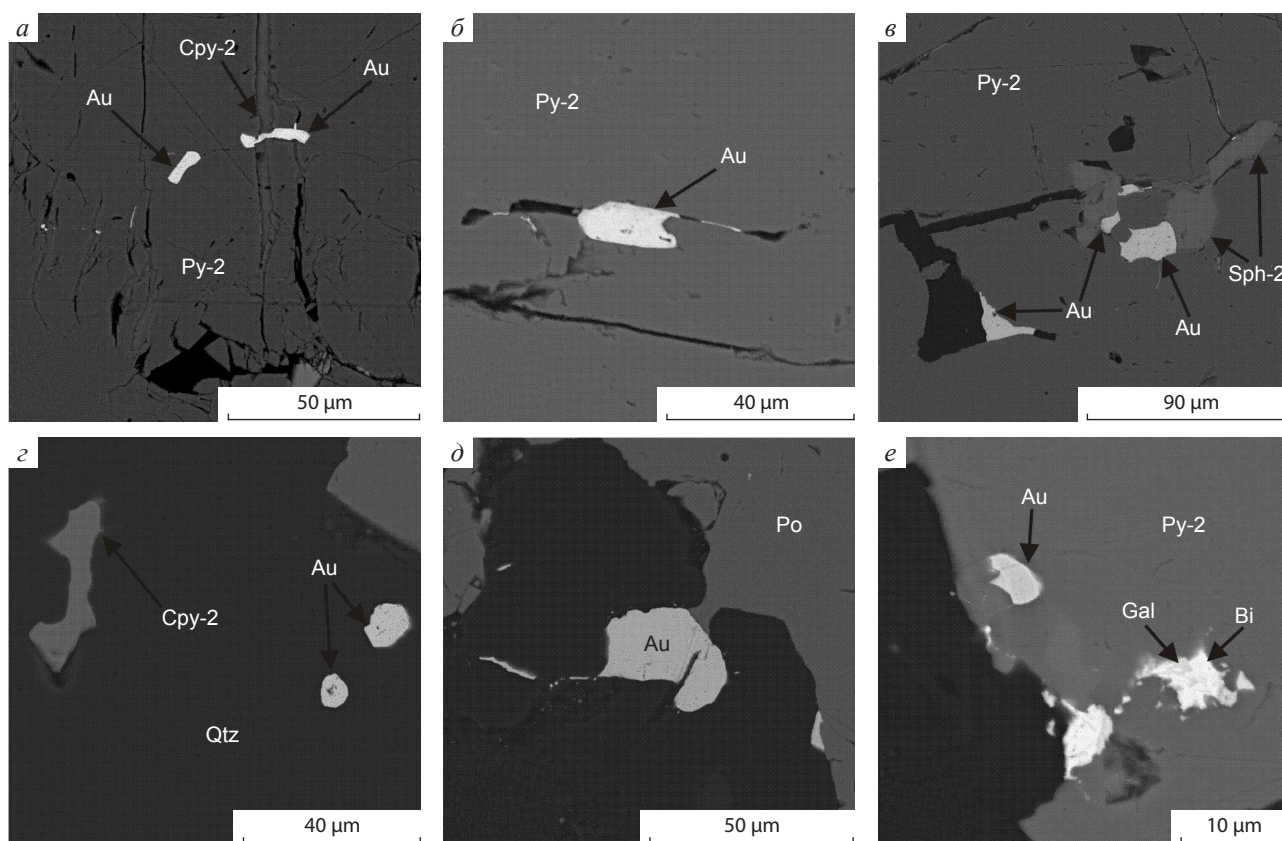


Рис. 6. ВАРИАЦИИ МОРФОЛОГИИ ЗОЛОТА. ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОБРАТНОРАССЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:

a – вытянутое мономинеральное выделение золота в пирите-2; *б* – выделение самородного золота в трещине пирита-2; *в* – сростки золота с сфалеритом-2; *г* – мономинеральные выделения золота в кварце; *д* – выделение золота с извилистыми очертаниями замещает пирротин; *е* – выделения кюстелита в ассоциации с самородным висмутом; Au – золото, Py – пирит, Sph – сфалерит, Qtz – кварц, Po – пирротин, Bi – самородный висмут

образований в гранитоидах. Такое распределение минералов – результат поступления, по крайней мере, части рудообразующих компонентов из рудовмещающих пород.

Пирит-пирротиновые тела, которые относятся к одноимённому типу руды, фиксируются в виде линз среди околорудных тектонитов и совместно с вмещающими литокомплексами (фрагменты известняков, сланцев, гранитоидов, гранитогнейсов, ультрабазитов и т. д.) входят в состав образований зоны рудовмещающего меланжа. Следовательно, их формирование связано с дорудным этапом развития Зун-Холбинского месторождения. Тела аналогичных пирротиновых руд достаточно широко распространены в пределах юго-восточной части Восточного Саяна [7]. Опираясь на данные предшественников [8, 11], можно сделать вывод о том, что наблюдаемые в настоящее время в рудном поле

месторождения тела пирит-пирротинового состава представляют собой реликты первичных субмаринных гидротермально-осадочных сульфидных руд. Их формирование происходило до появления главных кварц-сульфидных руд месторождения.

На дорудном этапе образовались рудные минералы, слагающие вышеописанные сульфидные тела и отнесённые к *пирит-пирротиновой ассоциации*: пирит-1 и цементирующий его пирротиновый материал с выделениями сфалерита-1 и халькопирита-1. Неправильная форма выделений и размытая граница с агрегатом пирротина могут свидетельствовать о принадлежности сфалерита-1 и халькопирита-1 к реликтам первичных гидротермально-осадочных сульфидных руд.

Позднее сформировались минералы главной *кварц-карбонат-сульфидной ассоциации*. Их образование обусловлено воздействием флюидов,

приведшим к появлению околорудных кварц-серицитовых метасоматитов, послойной сульфидизации и окварцеванию известняков, формированию кварц-карбонат-сульфидных минерализованных зон по известнякам и тектонитам. Эта стадия характеризуется формированием основного количества кварца, а также массовым отложением пирита-2. Пирит-пирротиновые руды по трещинам и порам подвергаются замещению минералами более поздних стадий (галенит-1 и др.). В небольших количествах отложились арсенопирит, шеелит и миллерит. Вместе с минералами этой же стадии происходило отложение самородного золота, которое замещает краевые части пирротиновых руд, а также присутствует в виде каплевидных включений в пирите-2 и самостоятельных выделений в кварц-карбонатной матрице. Руды данной стадии количественно преобладают на месторождении.

На следующей стадии отлагались минералы *кварц-полиметаллической ассоциации*. Корродированные участки пирита-2 по краям, трещинам и в виде включений в центральных частях залечиваются массово отлагающимися сульфидными минералами: галенитом-2, сфалеритом-2, халькопиритом-2, пиритом-3. Также в ассоциации с упомянутыми рудными минералами образуется Ag-тетраэдрит. Соотношение этих минералов (наличие индукционных граней и участков с субграфической структурой) говорит об их синхронном отложении. На этой стадии продолжало отлагаться самородное золото, образующее мономинеральные прожилки и неправильные ксеноморфные выделения в пирите-2, а также совместные агрегаты с минералами полиметаллической ассоциации – халькопиритом-2, галенитом-2 и сфалеритом-2, развивающиеся по краям и трещинам пирита-2.

Редкие минералы – тетрадимит, гессит, викингит, самородный висмут в виде моно- или полиминеральных агрегатов – корродируют пирит-3 или присутствуют в виде секущих прожилков в минералах предыдущей кварц-полиметаллической ассоциации. Морфология зёрен и характер выделений редких минералов свидетельствуют об их отложении после всех вышеперечисленных минеральных ассоциаций, что позволяет выделить позднюю *Vi-теллуридную ассоциацию*. Минералы золота этой ассоциации характеризуются низкой пробностью по сравнению с самородным золотом, отложившимся в предыдущие стадии. Некоторые выделе-

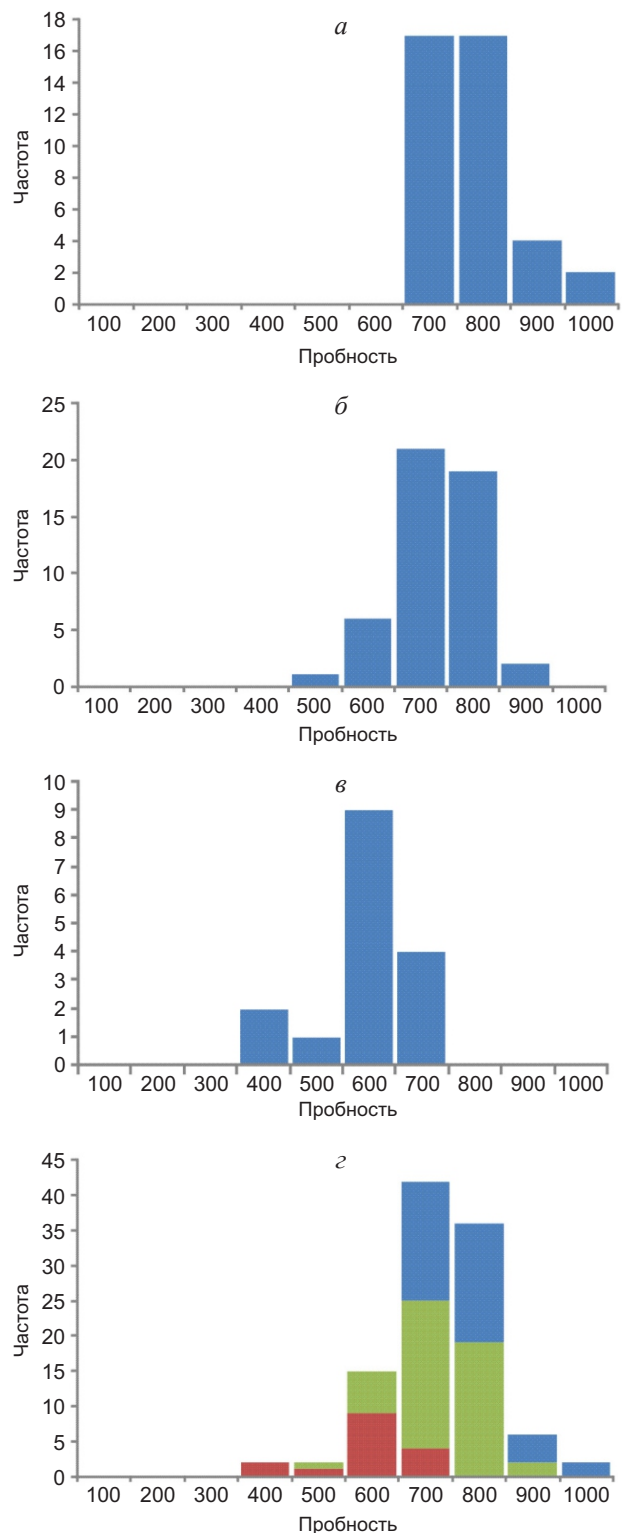


Рис. 7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНОСТИ ЗОЛота:

а – кварц-карбонат-сульфидная ассоциация; б – полиметаллическая ассоциация; в – Vi-теллуридная ассоциация; г – общая гистограмма распределения золота для минеральных ассоциаций

Минералы	Дорудный этап	Ассоциации рудного этапа		
	Пирит-пирротиновая ассоциация	Кварц-карбонат-сульфидная	Кварц-полиметаллическая	Vi-теллуридная
Кварц	■	■	■	
Карбонат	■	■	■	
Пирит-1	■			
Пирит-2		■		
Пирит-3			■	
Пирротин	■			
Галенит-1		■		
Галенит-2			■	
Сфалерит-1	■			
Сфалерит-2			■	
Халькопирит-1	■			
Халькопирит-2			■	
Арсенопирит		■		
Самородный Vi				■
Гессит				■
Шеелит		■		
Тетрадимит				■
Викингит				■
Ag-тетраэдрит			■	
Миллерит			■	
Золото		■	■	■

Рис. 8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОТЛОЖЕНИЯ МИНЕРАЛОВ КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

чёрный цвет – главные минералы, оранжевый – второстепенные, голубой – редкие, жёлтый – золото

ния соответствуют по составу кюстелиту, который отмечается в рудах в небольшом количестве.

Изучение самородного золота разных минеральных ассоциаций показывает, что интервалы его пробности в разных типах руд перекрываются (рис. 7, а–в). Лишь золото, отлагающееся в составе поздней ассоциации, отличается относительно низкой пробностью. В то же время общее распределение пробности самородного золота для всех рассмотренных типов кварц-сульфидных руд – одномодальное. Характер гистограммы отвечает нормальному закону распределения с модальным значением пробности в интервале 600–700 ‰ и примерно равными отклонениями в обе стороны. Такое распределение может свидетельствовать о едином источнике золота для всех типов кварц-сульфидных руд.

Таким образом, в рудах Зун-Холбинского месторождения установлены четыре последовательные минеральные ассоциации, отвечающие дорудно-

му этапу и трём стадиям рудообразующего процесса (рис. 8). Причём в большинстве случаев в одних и тех же образцах могут быть признаки наложения минеральных парагенезисов разных стадий, что усложняет картину распределения рудных минералов и самородного золота в кварц-сульфидных рудах.

Выводы:

- В ходе исследования на Зун-Холбинском месторождении выделены три основных типа кварц-сульфидных руд, различающихся по составу: пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные и кварц-полиметаллические.
- Самородное золото встречается в виде выделений различной формы в пирите-2, развиваясь по трещинам и краям или отлагаясь совместно с другими рудными минералами (халькопиритом, сфалеритом и галенитом). Кроме того, золото отлагается в пирротине и кварц-карбонатной основной массе.

- Пробность золота не зависит от морфологии его выделений и глубины залегания руд. Золото, отлагавшееся в кварц-карбонат-сульфидную стадию, имеет пробность от 634 до 926, полиметаллическую – 467–860, Ви-теллуридную – 327–693 ‰.
- Выявлена зависимость состава примесных минеральных ассоциаций от рудовмещающих породных комплексов. Источником висмута могла служить лампрофировая дайка, а минералы никеля появляются в рудах на участках развития листовитизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов.

- Помимо пирит-пирротиновых тел, которые образовались в дорудный этап формирования Зун-Холбинского месторождения, установлено три последовательные стадии минералообразования: кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полиметаллическая и Ви-теллуридная.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ГИН СО РАН при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № АААА-А17-117011650012-7), частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-00489а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисимова И. В.* Возраст фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян): результаты U-Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. – СПб., 2009. – Т. 1. – С. 35–36.
2. *Бражник А. В.* Золоторудное месторождение Зун-Холба (Бурятия) // Руды и металлы. – 1993. – № 3–6. – С. 80–90.
3. *Бражник А. В.* Условия локализации золотого оруденения Зун-Холбинского месторождения (Восточный Саян) : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Бражник Андрей Валентинович. – М., 1995. – 26 с.
4. *Гордиенко И. В., Роцектаев П. А., Гороховский Д. В.* Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2016. – № 5. – С. 405–429.
5. *Гребенщикова В. И., Шмотов А. П.* Этапы формирования Зун-Холбинского золоторудного месторождения (Восточный Саян) // Геология и геофизика. – 1997. – № 4. – С. 756–764.
6. *Дамдинов Б. Б.* Типы благороднометалльного оруденения юго-восточной части Восточного Саяна: состав, условия формирования и генезис : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Дамдинов Булат Батуевич. – Улан-Удэ, 2018. – 52 с.
7. *Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Жмодик С. М., Миронов А. Г.* Состав и условия формирования золотоносных пирротиновых руд Восточного Саяна (на примере рудопроявления Ольгинское) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 5. – С. 666–687.
8. *Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С.* Золотоцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). – Новосибирск : Академическое изд-во «ГЕО», 2008. – 304 с.
9. *Кузнецов А. Б.* Sr-хемостратиграфия карбонатных отложений осадочного чехла Тувино-Монгольского микроконтинента // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 432, № 3. – С. 350–355.
10. *Кузьмичев А. Б.* Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонские этапы. – М. : Пробел-2000, 2004. – 192 с.
11. *Миронов А. Г., Жмодик С. М.* Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 1. – С. 54–69.
12. *Миронов А. Г., Роцектаев П. А., Жмодик С. М., Куликов А. А., Карманов Н. С.* Зун-Холбинское золоторудное месторождение // Месторождения Забайкалья. – Чита-Москва, 1995. – С. 56–66.
13. *Роцектаев П. А., Миронов А. Г., Дорошкевич Г. И.* [и др.]. Золото Бурятии / под ред. А. Г. Миронова. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2000. – 463 с.
14. *Феофилактов А. Г.* О механизме структурного контроля золотого оруденения Зун-Холбинского месторождения (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. – 1992. – № 4. – С. 100–106.
15. *Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Karmanov N. S., Kulikov A. A., Nemirovskaya N. A., Ochirov Y. C.* Mineralogical and geochemical signatures of hydrothermal-sedimentary origin of gold ore formations of the Kholba deposits, Eastern Sayan, Russia // Resource geology. – 1993. – Special issue, № 17. – pp. 287–313.

REFERENCES

- Anisimova I. V. Vozrast fundamenta Garganskoi glyby (Vostochnyi Sayan): rezul'taty U-Pb geokhronologicheskikh issledovaniy [Foundation age of the Gargana block (East Sayan): results of U-Pb geochronological studies], *Izotopnye sistemy i vremya geologicheskikh protsessov: materialy IV Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii* [Isotope systems and the time of geological processes: proceedings of the IV Russian Conference on Isotope Geochronology], St. Petersburg, 2009, V. 1, pp. 35–36. (In Russ.).
- Brazhnik A. V. Zolotorudnoe mestorozhdenie Zun-Kholba (Buryatiya) [Zun-Kholba gold ore deposit (Buryatia)], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1993, No 3–6, pp. 80–90. (In Russ.).
- Brazhnik A. V. Usloviya lokalizatsii zolotogo orudneniya Zun-Kholbinskogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) : spetsial'nost' 04.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii, metallogeniya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. kand. geol.-mineral. nauk [Localization conditions for gold mineralization of the Zun-Kholbinsky deposit (East Sayan): Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, 1995, 26 p.
- Gordienko I. V., Roshchektaev P. A., Gorokhovskii D. V. Okinskii rudnyi raion Vostochnogo Sayana: geologicheskoe stroenie, strukturno-metallogenicheskoe raionirovanie geneticheskie tipy rudnykh mestorozhdenii, geodinamicheskie usloviya ikh obrazovaniya i perspektivy osvoeniya [Okinsk ore district of East Sayan: geological structure, structural and metallogenic zoning, genetic types of ore deposits, geodynamic conditions of their formation and development prospects], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2016, No 5, pp. 405–429. (In Russ.).
- Grebenshchikova V. I., Shmotov A. P. Etapy formirovaniya Zun-Kholbinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) [Stages of the formation of the Zun-Kholbinsky gold ore deposit (East Sayan)], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1997, No 4, pp. 756–764. (In Russ.).
- Damdinov B. B. Tipy blagorodnometall'nogo orudneniya yugo-vostochnoi chasti Vostochnogo Sayana: sostav, usloviya formirovaniya i genesis : spetsial'nost' 25.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka tverdykh poleznykh iskopaemykh, minerageniya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. d-ra geol.-mineral. nauk [Types of noble metal mineralization in the southeastern part of the East Sayan: composition, formation conditions and genesis: Extended abstract of Doctor's thesis], Ulan-Ude, 2018, 52 p.
- Damdinov B. B., Damdinova L. B., Zhmodik S. M., Mironov A. G. Sostav i usloviya formirovaniya zolotonosnykh pirrotinovykh rud Vostochnogo Sayana (na primere rudoproyavleniya Ol'ginskoe) [Composition and conditions for the formation of gold-bearing pyrrhotite ores of the East Sayan (by the example of the Olginsky ore occurrence)], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 5, pp. 666–687. (In Russ.).
- Zhmodik S. M., Mironov A. G., Zhmodik A. S. Zolotokontsentriruyushchie sistemy ofiolitovykh poyasov (na primere Sayano-Baikalo-Muiskogo poyasa) [Gold-concentrating systems of ophiolite belts (on the example of the Sayan-Baikal-Muy belt)], Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "GEO" Publ., 2008, 304 p.
- Kuznetsov A. B. Sr-khemostratigrafiya karbonatnykh otlozhenii osadochnogo chekhla Tuvino-Mongol'skogo mikrokontinenta [Sr-chemostratigraphy of the carbonate deposits of the sedimentary cover of the Tuva-Mongolian microcontinent], *Doklady akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2010, V. 432, No 3, pp. 350–355. (In Russ.).
- Kuz'michev A. B. Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongol'skogo massiva: rannebaikal'skii, pozdnebaikal'skii i rannekaledonskie etapy [The tectonic history of the Tuva-Mongolian massif: Early Baikalsk, Late Baikalsk and Early Caledonian stages], Moscow, Probel-2000 Publ., 2004, 192 p.
- Mironov A. G., Zhmodik S. M. Zolotorudnye mestorozhdeniya Urik-Kitoiskoi metallogenicheskoi zony (Vostochnyi Sayan, Rossiya) [Gold deposits of the Urik-Kitoisk metallogenic zone (East Sayan, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1999, V. 41, No 1, pp. 54–69. (In Russ.).
- Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Zhmodik S. M., Kulikov A. A., Karmanov N. S. Zun-Kholbinskoe zolotorudnoe mestorozhdenie [Zun-Kholbinskoye gold ore deposit], *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Transbaikalia deposits], Chita and Moscow, 1995, pp. 56–66.
- Roshchektaev P. A., Mironov A. G., Doroshkevich G. I., et al. Zoloto Buryatii [Gold of Buryatia], ed. Mironov A. G., Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 2000, 463 p.
- Feofilaktov A. G. O mekhanizme strukturnogo kontrolya zolotogo orudneniya Zun-Kholbinskogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) [On the mechanism of structural control of gold mineralization of the Zun-Kholbinsky deposit (East Sayan)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1992, No 4, pp. 100–106. (In Russ.).
- Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Karmanov N. S., Kulikov A. A., Nemirovskaya N. A., Ochirov Y. C. Mineralogical and geochemical signatures of hydrothermal-sedimentary origin of gold ore formations of the Kholba deposits, Eastern Sayan, Russia, *Resource geology*, 1993, Special issue, No 17, pp. 287–313.

MINERAL ASSOCIATIONS OF QUARTZ-SULFIDE ORES, ZUN-KHOLBA GOLD DEPOSIT, EASTERN SAYANY

Moskvitina M. L. (undergraduate²)

Damdinov B. B. (PhD, leading researcher¹)

Damdinova L. B. (PhD, senior researcher¹)

Izvekova A. D. (postgraduate¹)

¹ FSBSI Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude (Russia)

² FSBEI D. Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude (Russia)

The paper presents study results of mineral composition for the main quartz-sulfide ores within Zun-Kholba gold deposit, the largest in Eastern Sayany. Three mineral ore types are revealed: compact pyrite-pyrrhotite, quartz-carbonate-sulfide and quartz-polymetallic. Native gold is represented by four morphological types: rounded and drop-like inclusions in nonmetalliferous mass; irregular intergrowths with other ore minerals (galena, sphalerite, chalcopyrite); angular ingrowths of gold grains in quartz and pyrite; veinlet-like gold discharge along fractures in pyrite. However, no dependence of native gold composition on morphology as well as ore occurrence depth is noted. The general fineness values range varies from 350‰ to 950‰. In terms of mineral relationships, four ore associations are established: pyrite-pyrrhotite, quartz-carbonate-sulfide, quartz-polysulfide and sulfosalt corresponding to the pre-ore stage and three successive ore formation stages.

Keywords: Eastern Sayany, Zun-Kholba gold deposit, mineral associations, gold.

