



Оригинальная статья / Original article

УДК 553.411.07

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-413-424>

Минералого-геохимические особенности золоторудного проявления Надежда (Восточный Саян)

© А.Д. Извекова^a, Б.Б. Дамдинов^b, Л.Б. Дамдинова^c, М.Л. Москвитина^d

^{a,b,c}Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

^dБурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия

Резюме: Целью данного исследования являлось изучение особенностей вещественного состава и условий образования рудопроявления золота Надежда (Восточный Саян). Объектом исследования были рудные тела проявления, которые представляют собой малосульфидные кварцевые жилы. Были проведены минералогические, изотопные, геохимические и термобарогеохимические исследования данных рудных тел. В результате исследования было установлено, что из рудных минералов преобладает пирит, реже встречаются халькопирит, галенит, сфалерит, теллуриды (алтаит, петцит, калаверит, мелонит, креннерит, теллуросмугит, пильзенит, штютцит, волынскит). Самородное золото присутствует в рудах в виде мелких прожилков и неправильных выделений в кварце и в пирите. Кроме того, присутствуют комковидные, крючковидные формы золота. Золото часто образует сростания с теллуридными минералами. Исследования флюидных включений позволили установить интервал температур минералообразования (285–255 °С). Изотопные составы серы в пирите и равновесном флюиде имеют значения, характерные для мантийной серы. По геологическому положению и минералого-геохимическим характеристикам установлено, что участок Надежда является аналогом Пионерского золоторудного месторождения (его юго-восточным продолжением).

Ключевые слова: Восточный Саян, рудопроявление Надежда, флюидные включения, золото, теллуриды

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Геологического института СО РАН при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-00489а.

Информация о статье: Дата поступления 14 ноября 2019 г.; дата принятия к печати 9 декабря 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 декабря 2019 г.

Для цитирования: Извекова А.Д., Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Москвитина М.Л. Минералого-геохимические особенности золоторудного проявления Надежда (Восточный Саян). *Науки о Земле и недروпользование*. 2019. Т. 42. № 4. С. 413–424. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-413-424>

Mineralogical and geochemical characteristics of the Nadezhda gold ore prospect, Eastern Sayan

© Alexandra D. Izvekova^a, Bulat B. Damdinov^b, Lyudmila B. Damdinova^c, Maria L. Moskvitina^d

^{a,b,c}Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia

^dBuryat State University, Ulan-Ude, Russia

Abstract: The aim of the work has been to study the composition and formation conditions for the Nadezhda prospect, Eastern Sayan. The study has been conducted for the ore bodies represented by low-sulfide quartz veins. Mineralogical, isotopic, geochemical and fluid inclusion studies of the ore bodies have been carried out. It has been found that the prevailing mineral is pyrite, while chalcopyrite, galena, sphalerite, tellurides (altaite, petzite, calaverite, melonite, krennerite, telluriumbismuthite, pilzenite, stuetzite, and volynskite) are less frequent. Native gold is present as veinlets and irregular grains in quartz and pyrite, cloddy and hook-like gold forms occurring as well. Intergrowths of gold and telluride minerals are commonly occurring. The fluid inclusion study has defined the temperature range of mineral formation (285–255 °C). The values of the sulfur isotopic compositions in the pyrite and equilibrium fluid correspond to those of mantle sulfur. Based on the geological position and mineralogical-geochemical characteristics, it has been established that the Nadezhda prospect is an analog of the Pionersky gold field, i.e. its southeastern extension.

Keywords: Eastern Sayan, the Nadezhda prospect, fluid inclusions, gold, tellurides

Acknowledgements: The study has been conducted within the framework of the State assignment of Geological Institute, SB RAS with the partial financial support of the RFFR grant № 18-05-00489а.



Information about the article: Received November 14, 2019; accepted for publication December 9, 2019; available online December 30, 2019.

For citation: Izvekova AD, Damdinov BB, Damdinova LB, Moskvitina ML. Mineralogical and geochemical characteristics of the Nadezhda gold ore prospect, Eastern Sayan. *Earth sciences and subsoil use*. 2019;42(4): 413–424. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-413-424>

Введение

В юго-восточной части Восточного Саяна известно 15 коренных месторождений и множество рудопроявлений и пунктов минерализации золота. Промышленная значимость многих рудопроявлений до настоящего времени не оценена. Одно из них, рудопроявление Надежда, находится вблизи самого первого промышленного золоторудного месторождения региона – Пионерского, на площади действующего рудника (Холбинского). Однако отсутствие сведений о составе руд этого проявления и условиях их формирования не позволяет провести типизацию оруденения и, соответственно, оценить промышленную значимость объекта. Основной целью исследований является изучение вещественного состава и физико-химических условий образования рудопроявления Надежда.

Объект исследования

Участок Надежда расположен на территории Окинского района в 3,5 км на юго-восток от пос. Самарта. От Зун-Холбинского золоторудного месторождения он удален на 8,5 км, пространственно близок к Пионерскому месторождению, но отделен толщей карбонатных пород (рис. 1). Участок Надежда выделен В.И. Заболотниковым в 1958 г. В данный момент обрабатывается. Основная часть участка расположена на левом борту долины ручья Золотой.

Площадь рудопроявления сложена породами основания Гарганской «глыбы» – выступа фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента [1–4]. Породы представлены преимущественно плагиогнейсогранитами с прослоями амфиболитов и мигматитов. Плагиогнейсограниты представляют собой зеленовато-серые среднезернистые гнейсовидные породы, состоящие на 60 % из калиевого полевого шпата (60 %), плагиоклаза

(20 %), кварца (10–35 %). Акцессорные минералы представлены титанитом, вторичные – хлоритом, фукситом. Калиевый полевой шпат имеет выделения неправильной формы, наполненные включениями серицита, клиноцоизита и эпидота. Породы гарганского метаморфического комплекса – самые древние породы в Восточном Саяне. Их возраст оценивается в 2,9 млрд лет [5].

На архейских гнейсогранитах с тектоническим несогласием залегают породы иркутской свиты венд-кембрийского возраста. Они слагают западный фланг рудопроявления и представляют собой редуцированный разрез иркутской свиты, состоящий из терригенных и карбонатных пород: известняков с прослоями кварцитов и песчаников.

Породы рудопроявления Надежда в рудоконтролирующих зонах подвержены интенсивным динамометаморфическим и метасоматическим изменениям. Динамометаморфиты на участке представлены милонитами – серо-зелеными сланцеватыми породами, сложенными тонко-мелкочешуйчатым агрегатом кварц-серицит-хлоритового состава и катаклазированными березитами. Метасоматические образования представлены березитами и лиственитами. Березиты развиваются по гнейсогранитам и представлены светло-серыми тонко-мелкозернистыми породами, сложенными кварцем, серицитом и кальцитом. В породах регулярно отмечается вкрапленность мелкокристаллического пирита. Листвениты замещают тела базит-ультрабазитов и присутствуют в виде линзовидных блоков. Породы зеленовато-серого, зеленовато-розовато-серого цвета, среднезернистой структуры, сложены среднекристаллическим (1,5–2 мм) агрегатом доломит-анкеритового состава, кварцем и фукситом (рис. 2).

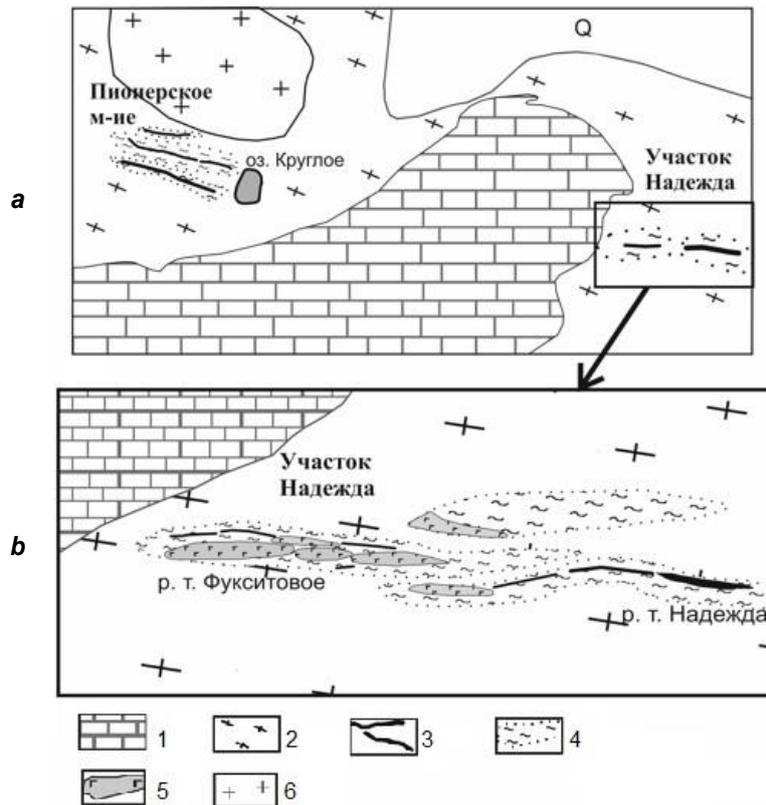


Рис. 1. Геологические карты, составленные по материалам ОАО «Бурятзолото»:
а – схематичная карта участка Надежда и Пионерского месторождения, масштаб 1:5000;
б – карта участка Надежда, масштаб 1:1000
1 – известково-терригенные отложения иркутской свиты венд-кембрийского возраста;
2 – плагиогнейсограниты Гарганского метаморфического комплекса архейско-протерозойского
возраста; 3 – рудные жилы и прожилки; 4 – зоны березитизации; 5 – тела лиственитов;
6 – плагиограниты Сумсунурского комплекса

Fig. 1. Geological maps compiled by the materials of JSC 'Buryatzoloto':
а – schematic map of the Nadezhda site and the Pionersky deposit, M 1:5000;
б – map of the Nadezhda prospect, M 1:1000

1 – lime-terrigenous sediments of the Vendian-Cambrian Irkutsk suite;
2 – plagiogneiss granites of the Gargan metamorphic complex, Archaean-Proterozoic age;
3 – ore veins and veinlets; 4 – beresite formation zones; 5 – listvenite bodies;
6 – plagiogranites of the Sumsunur complex

Рудоконтролирующие тектонические зоны имеют субширотную ориентировку, крутые углы падения ($65-75^\circ$). В узлах сочленения зон расщелачивания и милонитизации формируются раздувы кварцевых жил до 3 м.

Методы исследования

В ходе полевых работ на месторождении проводились геологические наблюдения взаимоотношений кварцевых жил с вмещающими породами (гранитоидными и лиственитами), сопровождающиеся отбором образцов.

Содержания породообразующих, примесных элементов, золота и серебра

в породах и рудах определялись методами силикатного, атомно-абсорбционного, рентгено-флуоресцентного, химико-спектрального и ICP-AES анализа в Геологическом институте СО РАН (аналитики Б.Ж. Жалсараев, А.А. Цыренова, Б.Б. Лыгденова, Л.А. Левантуева, Л.В. Митрофанова, О.В. Корсун, М.Г. Егорова, И.В. Звонцов). Изотопный состав серы определялся в Институте геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (аналитик В.Н. Реутский). Изучение петрографических шлифов и аншлифов проводилось на поляризационных микроскопах OLIMPUS BX51 и ПОЛАМ Р-312.

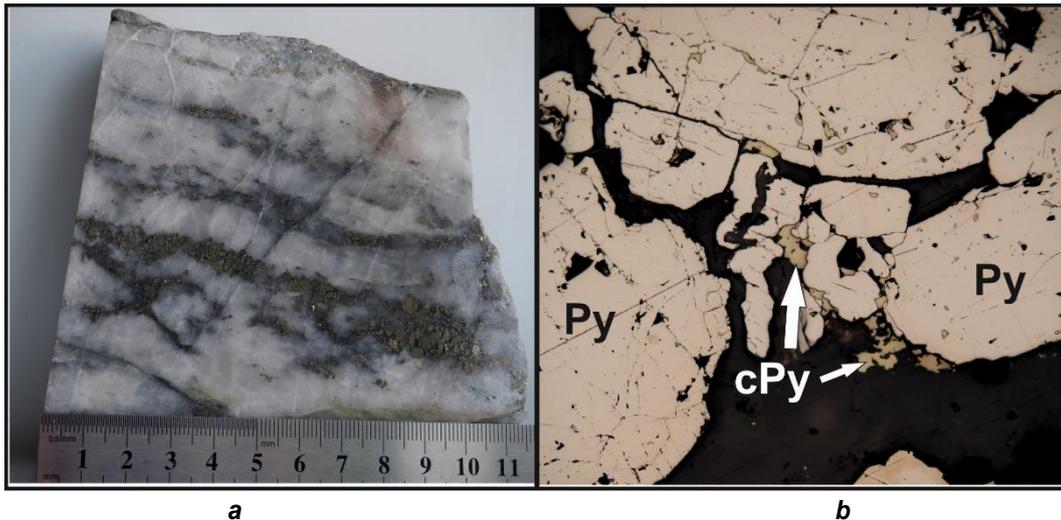


Рис. 2. Общий облик карбонат-пирит-кварцевой руды участка Надежда:

a – прожилковидные скопления пирита в кварцевой жиле;

b – зерна пирита, корродирующиеся халькопиритом

Фотографии анилифа в отраженном свете

Fig. 2. General view of the carbonate-pyrite-quartz ore of the Nadezhda prospect:

a – veinlet clusters of pyrite in a quartz vein;

b – pyrite grains corroded by chalcopyrite

Photographs of the polished section in reflected light

Химический состав рудных минералов исследовался в Геологическом институте СО РАН на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионной приставкой для количественного анализа Inca-Energy (аналитики С.В. Канакин и Е.А. Хромова).

Флюидные включения в кварце и сидерите изучались методами термометрии и криометрии. Для определения температуры общей гомогенизации, температур эвтектики и плавления льда водных растворов, температур частичной гомогенизации и плавления сжиженных газов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур от -196 до 600 °С. Стандартная аппаратная ошибка измерений составляет $\pm 0,1$ в отрицательной и ± 5 °С в положительной области температур. Общую соленость водных растворов во включениях находили по температуре плавления льда [6].

Результаты исследований

Строение и минеральный состав руд. Рудные тела участка Надежда представлены малосульфидными пирит-кварцевыми, карбонат-пирит-кварцевыми жи-

лами и прожилками (см. рис. 2, а), приуроченными к зонам дробления и милонитизации среди гнейсогранитов и блоков лиственитов. Контакты жил, линз и прожилков кварца резкие, в экзоконтактах жил породы интенсивно рассланцованы.

Жильный кварц кристаллический, темно-серый, серый до молочно-белого цвета. Мощность жильных тел в основном не превышает $0,4$ – $0,5$ м, в редких раздувах достигает 3 м. Из рудных минералов в кварцевых жилах преобладает пирит, реже встречается халькопирит, пирротин, галенит, теллуриды, самородное золото и единичные зерна блеклой руды. Также в рудных телах встречается хлорит. В кварцевых жилах, приуроченных к телам лиственитов, кроме перечисленных присутствуют минералы никеля и кобальта: кобальтин, алллоклазит, герсдорфит, пентландит (табл. 1).

Пирит встречается в виде вкрапленности или прожилковидных скоплений, образует гипидиоморфные зерна, часто ассоциирует с халькопиритом и пирротинном, в некоторых случаях корродируется халькопиритом (см. рис. 2, б).



Таблица 1

**Средний химический состав сульфидов
и минералов никеля и кобальта, масс. %**

Table 1

**Average chemical composition of the sulfides
and Ni-Co bearing minerals, wt. %**

Минерал	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	As	S	Сумма
Кобальтин	4,36	26,9	7,45	–	–	–	–	40,85	22	100,39
Герсдорфит	5,58	11,82	20,26	–	–	–	–	43,63	19,79	100,92
Пентландит	1,67	0,5	65,92	–	–	–	–	0	33,76	101,85
Аллоклазит	7,2	29,87	2,6	–	–	–	–	37,59	24,96	102,22
Халькопирит	31,15	0,1	–	34,53	–	–	–	–	34,9	100,61
Галенит	–	–	–	–	–	–	85,08	–	12,65	97,72
Пирит	46,67	5,08	7,08	2,18	13,91	1,13	5,00	9,84	32,89	99,98
Пирротин	61,64	0	0	0	0	0	0	0	39,06	100,7
Сфалерит	6,52	–	–	0	59,1	1,6	–	–	32,8	98,39
Кадмий- блеклая руда	–	–	–	37,08	0	12,88	–	15,64	26,03	97,37

Особенностью руд проявления Надежда является большое количество минералов теллуридной ассоциации, представленных широким набором минеральных видов, среди которых диагностированы теллуриды висмута, золота, серебра, свинца и никеля: алтаит, петцит, калаверит, мелонит, креннерит, теллуровисмутит, пильзенит, штютцит, волинскит, цумоит (табл. 2).

По соотношениям теллуридов можно сделать вывод о том, что

минералы этой ассоциации образовывались почти одновременно. Они слагают либо самостоятельные, либо полиминеральные агрегаты с близкой степенью идиоморфизма по отношению друг другу. Теллуридные минералы выделяются по трещинкам и по краям зерен пирита, в виде самостоятельных мелких выделений изометричной формы в кварце и кальците, часто в ассоциации с самородным золотом (рис. 3).

Таблица 2

**Средний химический состав теллуридных минералов
проявления Надежда, масс. %**

Table 2

**Average chemical composition of the telluride minerals
of the Nadezhda prospect, wt. %**

Минерал	Ni	Au	Ag	Pb	Bi	Te	Сумма
Алтаит	0	0	0	61,72	0	37,78	99,5
Калаверит	0	45,01	0,1	0	0	55,34	100,04
Креннерит	0	33,9	1,02	0	0	62,56	101,51
Мелонит	18,91	0	0	0	0	81,05	99,96
Петцит	0	24,88	41,4	0	0	32,63	98,91
Пильзенит	0	0	0	0	69,04	30,14	100,12
Гессит	0	0	56,57	0	0	42,95	99,52
Теллуровисмутит	0	0	0	0	50,95	49,14	100,58
Цумоит	0	0	0	0	62,93	36,49	99,41
Волинскит	0	0	18,87	0	36,39	46,66	101,92

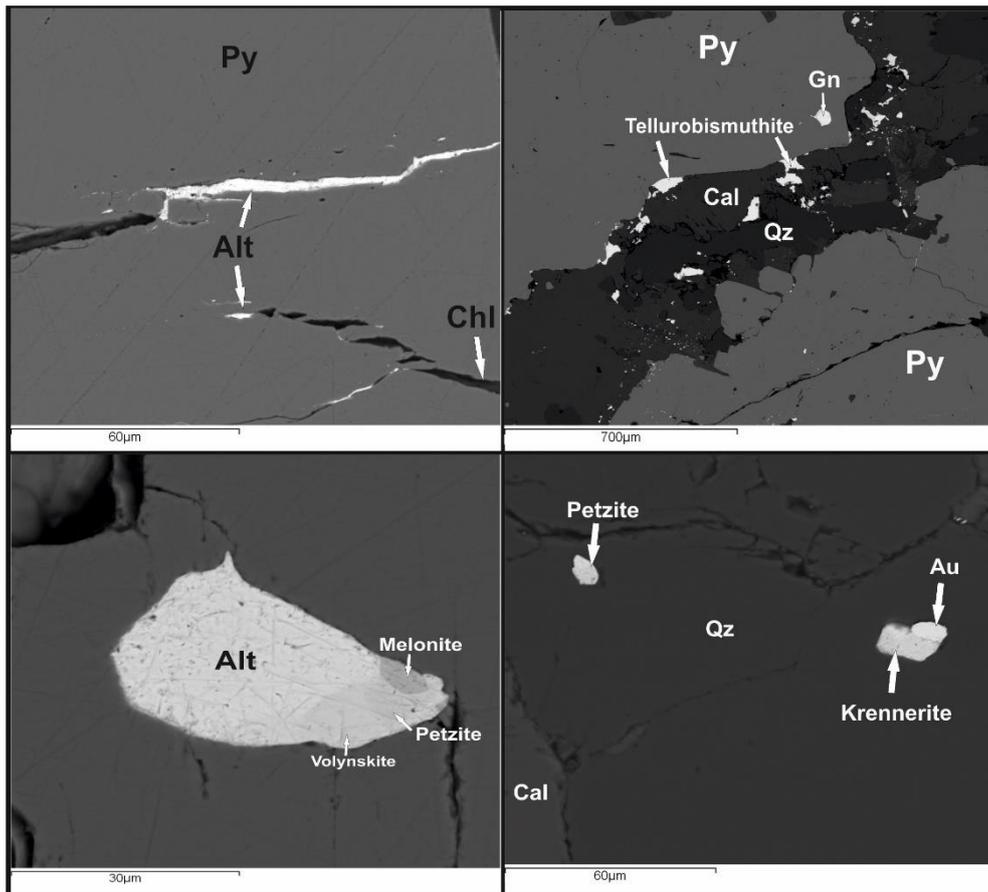


Рис. 3. Выделения различных теллуридных минералов в рудах:

Py – пирит; Alt – алтаит; Gn – галенит; Cal – кальцит; Qz – кварц

Снимок сделан в обратно отраженных электронах

Fig. 3. Telluride minerals in the ores:

Py – pyrite; Alt – altaite; Gn – galena; Cal – calcite; Qz – quartz

The photographs are taken in retro-reflected electrons

Средние содержания золота в рудах по данным химико-спектрального анализа образцов – 0,9 г/т, серебра – 4,6 г/т. Самородное золото (рис. 4) присутствует в рудах в виде мелких прожилков и неправильных выделений в пирите. Кроме того, присутствуют комковидные, крючковидные зерна золота в кварце. Золото часто образует срастания с теллуридными минералами.

Пробность золота высокая, значения варьируют от 916 до 959 ‰, максимум определений попадает в интервал 920–960 ‰.

Термобарогеохимические исследования. В рудном кварце участка Надежда были изучены флюидные включения в кварце и карбонате. Всего изучено семь включений. Они имеют двухфазовый

состав (жидкая фаза + газовый пузырь), не содержат твердых фаз. Участками отмечаются сингенетичные существенно-водные и существенно-газовые включения, которые располагаются в пределах одной зоны роста минерала-хозяина (рис. 5).

Общий интервал температур гомогенизации составляет 255–285 °С. Флюидные включения из карбонатов имеют более узкий интервал температур гомогенизации (225–227 °С). Соленость растворов во включениях из кварца – 7,7–9,9 масс. % экв. NaCl, тогда как в карбонатах, формирование которых происходит на более поздних стадиях, соленость относительно низкая – 3,2–3,4 масс. %. Измеренные температуры эвтектики (-35...-38 °С) соответствуют водным

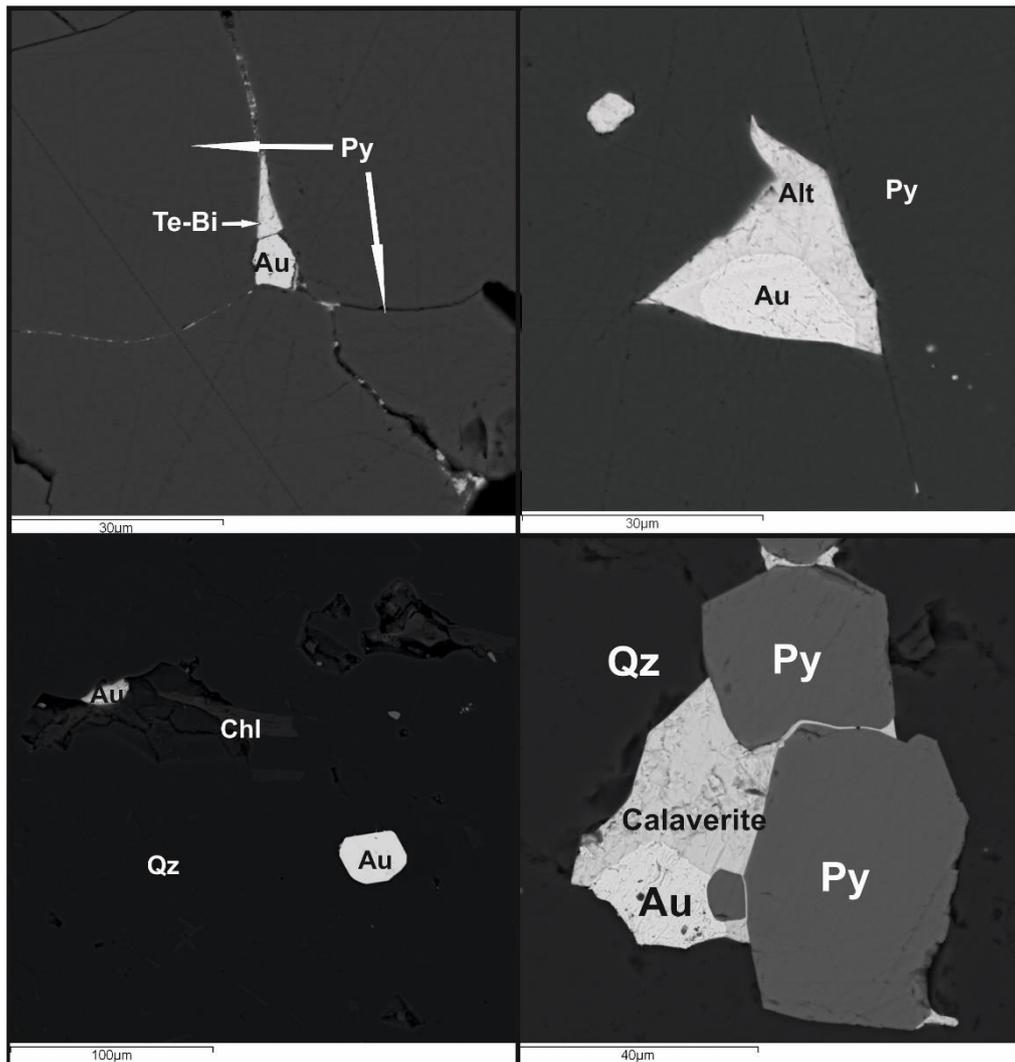


Рис. 4. Выделения золота и ассоциирующих с ним минералов в рудах:

Au, Py – пирит; Alt – алтаит; Cal – кальцит; Qz – кварц; Chl – хлорит

Снимок сделан в обратно отраженных электронах

Fig. 4. Gold and associated minerals in the ores:

Au, Py – pyrite; Alt – altaite; Cal – calcite; Qz – quartz; Chl – chlorite

The photographs are taken in retro-reflected electrons

растворам хлоридов магния и железа с примесью натрия и калия. В карбонатах температуры эвтектики ниже (-44...-48 °С), что может свидетельствовать о примеси хлорида кальция в солевом составе.

Расчет температур по хлоритовому геотермометру [7] на основе пяти анализов хлоритов, ассоциирующих с никелистыми минералами, показал значения температур 258–275 °С, что согласуется с данными термобарогеохимических исследований.

Изотопные составы серы в пирите имеют значения от 0,9 до 4,5 ‰,

характерные для серы мантийного происхождения. Расчет изотопного состава серы в сероводороде равновесного флюида для температуры 250 °С, проведенный согласно уравнению, опубликованному в работе [8], показывает значения от -0,6 до 3 ‰, также соответствующие ювенильной сере (табл. 3).

Обсуждение результатов

По соотношениям минералов на проявлении Надежда были установлены три последовательно отлагающихся минеральных ассоциации: кварц-пиритовая, полиметаллическая и золото-теллуридная. Широким распространением

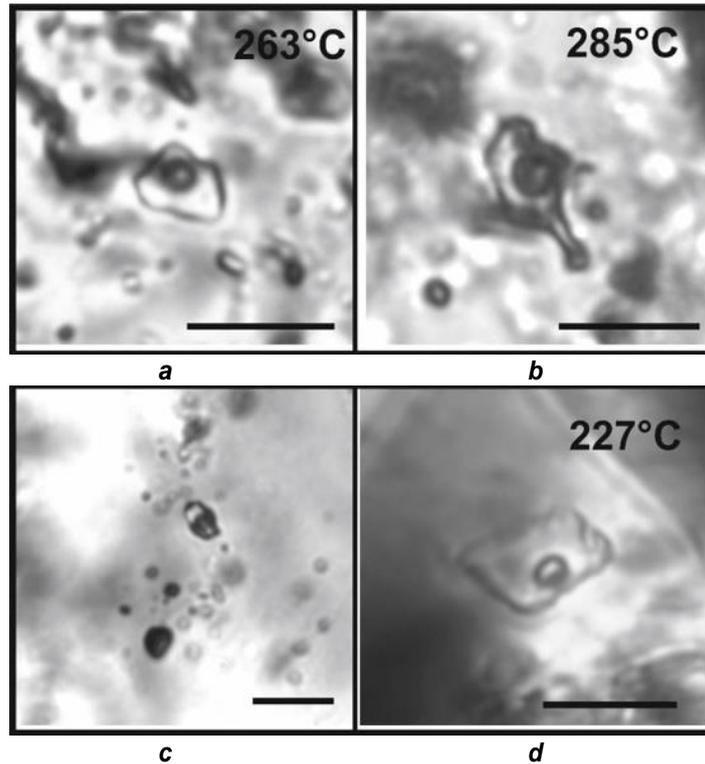


Рис. 5. Первичные флюидные включения участка Надежда:

a, b – двухфазовые флюидные включения в кварце; c – группа сингенетических существенно-водных и существенно-газовых флюидных включений в кварце; d – флюидные включения в зерне карбоната. Цифрами показаны температуры гомогенизации. Длина линейки – 10 мкм

Fig. 5. Primary fluid inclusions, the Nadezhda prospect:

a, b – two-phase fluid inclusions in quartz; c – a group of syngenetic substantially aqueous and substantially gas fluid inclusions in quartz; d – fluid inclusions in a carbonate grain. The numbers indicate homogenization temperatures. The ruler length is 10 microns

Таблица 3

**Изотопные составы серы в пирите рудопроявления Надежда
в сравнении с пиритами Пионерского месторождения**

Table 3

**Isotopic sulfur content in pyrite: comparison
of the Nadezhda prospect and the Pionersky deposit**

Номер пробы	Объект	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$, ‰	$\delta^{34}\text{S}_{\text{фл.}}$, ‰
Zk-20-2	Рудопроявление Надежда	Пирит	0,9	-0,6
Zk-32			1	-0,5
Нд-3			4,5	3
П-4	Пионерское месторождение	Пирит	1,5	0
П-3			1,5	0
Пк-10			1,5	0
Пн-7			2,2	0,7

Примечание: $\delta^{34}\text{S}_{\text{фл.}}$ – расчетный изотопный состав серы в сероводороде равновесного флюида для температуры 250 °С.

Note: $\delta^{34}\text{S}_{\text{фл.}}$ – calculated isotopic sulfur composition in H_2S of the equilibrium fluid, for a temperature of 250 °С.

пользуются теллуриды золота, серебра, свинца, висмута и никеля. Самородное золото представлено одной генерацией, имеющей высокую пробность (920–

959 ‰), и присутствует только в составе золото-теллуридной ассоциации. Следовательно, отложение золота происходило на поздней стадии совместно с



теллуридами. Наличие сингенетических газовых и жидких флюидных включений свидетельствует о гетерогенизации (вскипании) флюидов при минералообразовании. Следовательно, измеренные температуры гомогенизации (255–285 °С) флюидных включений соответствуют истинным температурам захвата включений, то есть формирования жильного кварца. Такие же температуры (258–275 °С) получены и по минеральной термометрии.

Проведенные изотопные исследования подтверждают мантийную природу сульфидной серы. Теллур считается мантийным элементом, а теллуриды являются типичными минералами эпитеpmальных и порфириновых месторождений, формирующихся преимущественно на конвергентных границах плит – активных континентальных окраинах островодужного и андийского типов, хотя могут встречаться и в орогенных месторождениях [8–10]. Все это позволяет считать, что золотое оруденение формировалось при взаимодействии мантийного вещества с породами архейского фундамента, содержащими блоки ультрабазитов. Согласно данным источника [11], породы Гарганской «глыбы» характеризуются повышенными концентрациями золота и могут являться одним из его источников. Минералогические исследования подтверждают участие вмещающих пород в процессе рудообразования. Так, в кварцевых жилах из лиственитов появляются никель-кобальт-содержащие минералы ультрабазитов – герсдорфит, пентландит, кобальтин, аллоклазит, тогда как в жилах, залегающих в гранитогнейсах, присутствуют молибденит и минералы висмута, то есть минералы, характерные для плутоногенных месторождений.

Геолого-структурное положение, минеральные, геохимические и изотопные характеристики руд проявления Надежда практически полностью соответствуют характеристикам руд Пионерского месторождения. Пионерское золоторудное месторождение также

приурочено к зонам дробления в гранитогнейсах, характеризуется небольшим количеством пирита при подчиненном количестве халькопирита, галенита, пирротина. Руды характеризуются наличием теллуридных минералов, среди которых диагностированы креннерит, калаверит, мелонит, алтаит, теллуриды висмута [12]. Указанные объекты имеют схожий изотопный состав сульфидной серы и близкие по давлению и температуре условия формирования оруденения. В результате можно сделать вывод, что проявление Надежда является юго-восточным продолжением Пионерского месторождения. Эти два объекта разделены толщей карбонатных пород, под которыми возможно продолжение рудной зоны.

Заключение

На основе всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Рудные тела проявления Надежда представляют собой малосульфидные кварцевые жилы, где главным рудным минералом является пирит, реже встречаются халькопирит, галенит, сфалерит. Характерной особенностью руд является наличие большого количества минеральных видов теллуридов: алтаита, петцита, калаверита, мелонита, креннерита, теллуровисмутита, пильзенита, штютцита, волинскита.

2. Самородное золото присутствует в рудах в виде мелких прожилков и неправильных выделений в кварце и в пирите. Кроме того, присутствуют комковидные, крючковидные формы золота. Золото часто образует сростания с теллуридными минералами. Пробность золота высокая, варьирует от 916 до 959 ‰, распределение одномодальное, с пиком в интервале 920–960 ‰.

3. Исследования флюидных включений и минеральная термометрия позволили установить интервал температур (285–255 °С). Общая соленость флюидов варьирует в пределах 7,7–9,9 масс. % экв. NaCl. В солевом составе преобладают хлориды магния, железа с примесью натрия и калия.



4. Изотопные составы серы в пирите и равновесном флюиде имеют значения, характерные для мантийной серы.

5. По геологическому положению, минералого-геохимическим и изотопным

характеристикам установлено, что рудопроявление Надежда является аналогом Пионерского золоторудного месторождения (его юго-восточным продолжением).

Библиографический список

1. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: Пробел-2000, 2004. 192 с.

2. Гордиенко И.В., Рошчектаев П.А., Горюховский 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. Т. 58. № 5. С. 405–429. <https://doi.org/10.7868/S001677701605004X>

3. Жмодик С.М., Миронов А.Г., Жмодик А.С. Золотоконцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). Новосибирск: Гео, 2008. 304 с.

4. Дамдинов Б.Б. Минеральные типы месторождений золота и закономерности их размещения в юго-восточной части Восточного Саяна // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 2. С. 23–38. <https://doi.org/10.31857/S0016777061223-38>

5. Анисимова И.В. Возраст фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян): результаты U-Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV Росс. конф. по изотопной геохронологии. Т. 1. СПб.: Изд-во ИГГД РАН, 2009. С. 35–36.

6. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions //

Fluid inclusions in minerals: methods and application / eds. B. De Vivo, M.L. Frezzotti. Pontignano – Siena, 1994. P. 117–130.

7. Котельников А.Р., Сук Н.И., Котельникова З.А., Щекина Т.И., Калинин Г.М. Минеральные геотермометры для низкотемпературных парагенезисов // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2012. Т. 4. NZ9001. https://doi.org/10.2205/2012NZ_ASEMPG

8. Lang J.R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. 2001. Vol. 36. Iss. 6. P. 477–489. <https://doi.org/10.1007/s001260100184>

9. Горячев Н.А., Волков А.В., Сидоров А.А., Гамянин Г.Н., Савва Н.Е., Округин В.М. Au-Ag оруденение вулканогенных поясов Северо-Востока Азии // Литосфера. 2010. № 3. С. 36–50.

10. Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis // Ore Geology Reviews. 2001. Vol. 18. Iss. 1–2. P. 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)

11. Гребенщикова В.И., Шмотов А.П. Этапы формирования Зун-Холбинского золоторудного месторождения (Восточный Саян) // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 4. С. 756–764.

12. Громова Е.И. Вещественный состав руд одного золоторудного месторождения в восточном Саяне // Материалы по геологии рудных месторождений Западного Забайкалья: сб. стат. Вып. 1. Иркутск: Иркутское книжное издательство, 1960. С. 79–144.

References

1. Kuz'michev A.B. *Tectonic history of the Tuva-Mongolian massif: the Early Baikal, Late Baikal, and Early Caledonian periods*. Moscow: Probel-2000; 2004. 192 p. (In Russ.)

2. Gordienko I.V., Roshchektaev P.A., Gorokhovskii D.V. The Okinsky ore district, Eastern Sayan: geological structure, structural-metallogenic zoning, genetic types of the ore deposits, geodynamic conditions of the deposit formation, and development prospects. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij*. 2016;58(5):405–429. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S001677701605004X>

3. Zhmodik S.M., Mironov A.G., Zhmodik A.S. *Gold-concentrating systems of ophiolite belts (a case study of the Sayan-Baikal-Muy belt)*. Novosibirsk: Geo; 2008. 304 p. (In Russ.)

4. Damdinov B.B. Mineral types of gold deposits and regularities of their distribution in south-

eastern part of the East Sayan. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij*. 2019;61(2):23–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0016777061223-38>

5. Anisimova I.V. Basement age of the Gargana block, Eastern Sayan: results of U-Pb geochronological studies. In: *Izotopnye sistemy i vremya geolo-gicheskikh protsessov: materialy IV Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii* = Isotope systems and geological processes dating: Proceedings of the 4th Russian Conference on Isotope Geochronology. Vol. 1. Saint Petersburg: Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences; 2009. p.35–36. (In Russ.)

6. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. In: De Vivo B, Frezzotti M.L. (eds.). *Fluid inclusions in minerals: methods and application*. Pontignano – Siena; 1994. p.117–130.



7. Kotelnikov AR, Suk NI, Kotelnikova ZA, Tschekina TI, Kalinin GM. Mineral geothermometers for low temperature paragenesis. *Vestnik Otdeleniya nauk o Zemle RAN*. 2012;4(NZ9001). https://doi.org/10.2205/2012NZ_ASEMPG (In Russ.)

8. Lang J.R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita*. 2001;36(6):477–489. <https://doi.org/10.1007/s001260100184>

9. Goryachev NA, Volkov AV, Sidorov AA, Gamyarin GN, Savva NE, Ocrugin VM. The epithermal Au-Ag-mineralization in volcanic belts of north-east Asia. *Litosfera = Lithosphere*. 2010;3:36–50. (In Russ.)

10. Goldfarb RJ, Groves DI, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*. 2001;18(1–2):1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)

11. Grebenshchikova VI, Shmotov AP. Stages of the formation of the Zun-Kholbinsky gold ore deposit (East Sayan). *Geologiya i geofizika*. 1997;38(4):756–764. (In Russ.)

12. Gromova EI. Ore composition of a gold ore deposit in East Sayan. In.: *Materialy po geologii rudnykh mestorozhdenii Zapadnogo Zabaikal'ya = Materials on the geology of the ore deposits in Western Transbaikalia*. Iss. 1. Irkutsk: Irkutskoe knizhnoe izdatel'stvo; 1960. p.79–144. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Извекова А.Д., Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Москвитина М.Л. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Alexandra D. Izvekova, Bulat B. Damdinov, Lyudmila B. Damdinova, Maria L. Moskvitina are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторах / Information about the authors



Извекова Александра Дмитриевна,

аспирант,
лаборатория геохимии и рудообразующих процессов,
Геологический институт СО РАН,
670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия,
✉ e-mail: boxjer@mail.ru

Alexandra D. Izvekova,

Postgraduate,
Laboratory of Geochemistry and Ore Formation Processes,
Geological Institute, SB RAS,
6a Sakhyanovoi St., Ulan-Ude 670047, Russia,
✉ e-mail: boxjer@mail.ru



Дамдинов Булат Батуевич,

доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии
и рудообразующих процессов,
Геологический институт СО РАН,
670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия,
e-mail: damdinov@mail.ru

Bulat B. Damdinov,

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Leading Researcher,
Laboratory of Geochemistry and Ore Formation Processes,
Geological Institute, SB RAS,
6a Sakhyanovoi St., Ulan-Ude 670047, Russia,
e-mail: damdinov@mail.ru



Дамдинова Людмила Борисовна,
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник лаборатории петрологии,
Геологический институт СО РАН,
670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия,
e-mail: ludamdinova@mail.ru

Lyudmila B. Damdinova,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Senior Researcher,
Petrology Laboratory,
Geological Institute, SB RAS,
6a Sakhyanovoi Stю, Ulan-Ude 670047, Russia,
e-mail: ludamdinova@mail.ru



Москвитина Мария Леонидовна,
магистрант,
Бурятский государственный университет,
670000, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 26, Россия,
e-mail: homashca@mail.ru

Maria L. Moskvitina,
Master of Science student,
Buryat State University,
26 Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia,
e-mail: homashca@mail.ru