

На правах рукописи



Извекова Александра Дмитриевна

**ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-КВАРЦЕВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ДОКЕМБРИЙСКИХ КОМПЛЕКСАХ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ
СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ ПИОНЕРСКОГО И КЕДРОВСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЙ)**

1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Улан-Удэ – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте им. Н.Л. Дobreцова Сибирского Отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ.

Научный руководитель:

Булат Батуевич Дамдинов, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора, заведующий лабораторией металлогении и рудообразования Геологического института им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, г. Улан-Удэ.

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Александрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений и методики разведки Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

Неволько Петр Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва

Защита диссертации состоится 5 октября 2023 г., в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.1.053.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН).

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а
e-mail: amosova@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, адрес сайта: <http://www.igc.irk.ru/ru/zashchita>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.х.н.



А. А. Амосова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Золото-кварцевые месторождения широко распространены и составляют значительную долю мировых запасов золота. Крупные объекты этого типа известны в США, Австралии, Канаде, России, Китае, Казахстане и других регионах мира. Согласно современной классификации они относятся к орогенным месторождениям, однако мнение об источниках вещества и физико-химических условиях образования являются предметом дискуссий. Это обусловлено формированием золото-кварцевых месторождений в различных геологических обстановках. Такие месторождения часто возникают вне видимой связи с магматическими процессами, при этом состав руд золото-кварцевых месторождений зачастую не зависит от состава вмещающих пород. Традиционные геолого-структурные и минералого-геохимические методы исследования не позволяют окончательно прояснить генезис золото-кварцевых месторождений, поскольку близкие по морфологии и составу руды могут формироваться в различных геолого-тектонических условиях, за счет различных источников. Поэтому, одной из главных проблем является выявление источников рудообразующих гидротермальных растворов, а также золота и элементов-спутников. Кроме того, к существующим генетическим моделям золото-кварцевых месторождений добавляются все новые. Рассматриваемые в работе Пионерское и Кедровское месторождения относятся к золото-кварцевому типу, а также схожи по геолого-структурным признакам: оба залегают в крупных фрагментах фундамента микроконтинентов (Гарганская и Муйская глыбы), у них близки по составу вмещающие породные комплексы и характер околожильных изменений, однако минералого-геохимические характеристики руд и некоторые другие характеристики – отличаются, что вызвало необходимость комплексного исследования руд этих месторождений для сравнительного анализа и создания модели их формирования.

Цель исследований: создание генетической модели золото-кварцевых месторождений, локализованных в кристаллическом фундаменте докембрийских микроконтинентов Саяно-Байкальской складчатой области, на примере Пионерского и Кедровского месторождений

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Изучение геологического положения золотоносных кварцевожильных зон Пионерского и Кедровского месторождений;
2. Минералого-геохимическое изучение руд и вмещающих пород рассматриваемых месторождений;
3. Термобарогеохимические исследования флюидных включений в жильных минералах;
4. Изотопные и термобарометрические исследования;
5. Обобщение и интерпретация полученных данных, создание геолого-генетической модели формирования изученных золото-кварцевых месторождений.

Научная новизна

Впервые охарактеризованы особенности химического состава рудных минералов и самородного золота Пионерского и Кедровского месторождений, обнаружены минеральные виды, ранее не диагностированные в рудах изученных месторождений. Установлена общая последовательность отложения рудных минералов в кварцевых жилах. Впервые, на основе термобарогеохимии, изотопной и минеральной геотермобарометрии, определены физико-химические параметры рудоотложения. Исследования изотопного состава S, O, Pb и C позволили сделать выводы об источниках вещества и происхождении рудообразующих флюидов. Предложена новая модель формирования Пионерского и Кедровского золото-кварцевых месторождений.

Практическая значимость

Предложенные геолого-генетические модели золото-кварцевых месторождений могут быть использованы в прогнозно-металлогенических исследованиях на золото в складчатых областях. Полученные новые данные по минеральному составу руд могут найти применение при модернизации методик обогащения руд, а также позволяют предусмотреть возможность извлечения из руд, помимо золота и серебра, примесных компонентов (Co, Ni, Bi, Sb, Sn, Te).

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах работ. Проведен сбор и анализ фондовой и опубликованной литературы по геологическому строению изучаемых и сопряженных территорий. В ходе полевых работ на рассматриваемых месторождениях проводились геологические наблюдения взаимоотношений кварцевых жил с вмещающими породами, сопровождающиеся отбором образцов руд штучным способом в поверхностных и подземных горных выработках. На основе полученного каменного материала была изучена коллекция шлифов и аншлифов, обработаны и интерпретированы результаты химико-аналитических исследований и изотопного анализа S, O, Pb, C. Автором проведены термобарогеохимические исследования флюидных включений, изотопная и минеральная термобарометрия. Полученный в ходе исследований материал, позволил автору сделать выводы об условиях образования и предложить новую модель образования изученных месторождений.

Фактический материал и методы исследования

В ходе полевых работ (2018-2020 г) на рассматриваемых месторождениях проводились геологические наблюдения взаимоотношений кварцевых жил с вмещающими породами, сопровождающиеся отбором образцов штучным способом. Исследования и пробоотбор проводились в поверхностных и подземных горных выработках. На основе образцов была просмотрена коллекция шлифов (56 шт.) и аншлифов (152 шт.). Также была использована коллекция образцов, предоставленная ООО «Артель старателей западная» в количестве 12 обр. На Пионерском месторождении опробование проводилось в карьерах на участках Пионерском и

Надежда, часть образцов с уч. Надежда была отобрана из штольни №1. На Кедровском месторождении геологические наблюдения и отбор проб каменного материала проводились по жилам Осинвая, Баргузинская из штолен на разных гипсометрических горизонтах (гор. 960, 937, 890, 862, 814, 812, 750, 382,5, 273, 236), что позволило изучить минералогическую и геохимическую зональность. Всего с двух месторождений было отобрано 203 пробы, по которым были проведены минералого-петрографические и химико-аналитические исследования.

Изучение петрографических шлифов и аншлифов проводилось на поляризационных микроскопах Olympus BX51 и Полар-3. Химический состав рудных минералов исследовался в ГИН СО РАН на сканирующем электронном микроскопе ЭДС-PCMA Leo-1430 с энергодисперсионной приставкой для рентгеноспектрального анализа Inca-Energy, (аналитики С. В. Канакин и Е. А. Хромова). Содержания петрогенных компонентов определены силикатным методом, примесных элементов с помощью рентгено-флюоресцентного анализа. Содержания золота и серебра в породах и рудах определялись методами химико-спектрального анализа в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ (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), а также методом РФА-СИ в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск (аналитик Колмогоров Ю. П.).

Изотопный состав серы определен в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН с использованием газового масс-спектрометра Finnigan MAT Delta в режиме двойного напуска (г. Новосибирск, аналитик В.Н. Реутский.). Значения $\delta^{34}\text{S}$ приведены в промилле (‰) относительно стандарта CDT.

Изотопный состав кислорода в кварце и углерода в карбонате определен в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (аналитик В.Ф. Посохов). Кислород из кварца был выделен методом лазерного фторирования. Калибровка анализов осуществлялась по международным стандартам NBS-28 (кварц). Воспроизводимость анализов составляла $\pm 0.1-0.3\%$ при 95% доверительном уровне.

Измерения изотопного состава Pb проводились на 9-коллекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (MC-ICP-MS) NEPTUNE, аналитик Чугаев А.В. подробное описание методики дано в работе (Чугаев и др., 2019).

Исследование индивидуальных флюидных включений (ФВ) выполнялось методами термометрии, криометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР-спектроскопии). Для определения температур общей гомогенизации, температур эвтектики и плавления льда водных растворов и гомогенизации сжиженных газов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур от -196 до $+600^\circ\text{C}$. Стандартная аппаратурная ошибка измерений составляет ± 0.1 в отрицательной и $\pm 5^\circ\text{C}$ в положительной области температур. Приблизительную оценку содержания солей во включениях

определяли по температуре плавления льда, используя двухкомпонентную водно-солевую систему (NaCl-H₂O) через эквивалент хлорида натрия (Реддер, 1987). Преобладающая соль в водном растворе включений определялась по температуре эвтектики, характеризующей водно-солевую систему (Bodnar, Vityk, 1994).

Состав газовой фазы индивидуальных ФВ определен на рамановском спектрометре Horiba LabRam HR800 в РЦ «Геомодель», НП СПбГУ, аналитик В.Н. Бочаров, при 50- кратном увеличении объектива. Регистрация спектров комбинационного рассеяния выполнена в спектральном диапазоне 4000-100 см⁻¹. Источником возбуждения служил аргоновый лазер 514.5 нм с мощностью 1-50 мВт. Калибровка прибора осуществлялась по Si-эталону (520.7 см⁻¹). Использовалась дифракционная решетка 1800 ш/мм, диаметр конфокального отверстия 300 мкм. Время накопления данных от 2 до 10 сек с количеством повторов от 2 до 15.

Микропримеси в пиритах определялись в Имин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс) методом лазерной абляции на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700x и лазерной приставкой New Wave Research UP-213 (аналитик Артемьев Д.А.)

Публикации и апробация работы

По теме диссертации автором опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

Материалы диссертационной работы докладывались автором лично на следующих конференциях:

V Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике, ГИН СО РАН, Улан-Удэ, 2019, 2021 г, Новое в познании процессов рудообразования», ИГЕМ РАН, Москва, 2020, 2021 г, Строение литосферы и геодинамика, ИЗК СО РАН Иркутск, 2021 г, II Молодежная научно-образовательная конференция ФГБУ "ЦНИГРИ" минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов - от прогноза к добыче, ЦНИГРИ, Москва, 2022, X International Siberian Early Career Geo Scientists Conference, Новосибирск, 2022.

Защищаемые положения:

1. Пионерское золото-кварцевое месторождение характеризуется широким развитием теллуридных минералов в ассоциации с высокопробным самородным золотом, которые формировались в относительно низкотемпературных (225 – 227°C) близповерхностных условиях P ~115 бар;
2. Кедровское золоторудное месторождение формировалось в среднетемпературных (306-396°C) и относительно высокобарических (P=1044 – 2856 бар) условиях. Осинская и Баргузинская жилы Кедровского месторождения различаются по минеральному составу, пробности самородного золота и P-T условиям рудоотложения, вследствие разной глубинности формирования жил.

3. Золото-кварцевые месторождения в докембрийских комплексах Саяно-Байкальской складчатой области формировались за счет магматогенного флюида с частичным заимствованием компонентов вмещающих пород с отложением жильного вещества в трещинах и зонах дробления.

В первой главе рассматривается классификация месторождений золота согласно современной и частным систематикам. Приводятся имеющиеся на сегодняшний день модели образования золото-кварцевых месторождений.

Во второй главе рассмотрено геологическое строение Окинского и Муйского рудных районов с указанием основных геодинамических единиц.

В третьей главе излагаются результаты изучения геологического строения, минералогическо-геохимических характеристик и термометрических исследований руд Пионерского месторождения. На основе изучения минералогии руд предлагается последовательность минералообразования. Рассмотрены результаты изотопных исследований, с применением изотопной термобарометрии уточнены Р-Т параметры рудообразования.

В четвертой главе рассмотрены особенности геологического строения Кедровского месторождения, приводятся результаты минералогических, геохимических и изотопных исследований Осиновой и Баргузинской жил. Установлена последовательность образования рудных минералов и Р-Т параметры рудообразования.

В пятой главе рассмотрены геохимические особенности пиритов Кедровского и Пионерского месторождений на основе LA-ICP-MS анализа микропримесей, сделаны выводы о возможных источниках вещества для изученных месторождений.

В шестой главе на основе обобщения полученных результатов сделаны выводы о генетическом и рудно-формационном типе рассматриваемых месторождений. Приведен сравнительный анализ, а также выдвинуты геолого-генетические модели образования формирования Пионерского и Кедровского месторождений.

Обоснование первого защищаемого положения дано в главе 3, второго в главе 4, третьего в главе 6.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Содержит 135 страниц печатного текста, 13 таблиц, 34 рисунка и 4 приложения. Список литературы включает 132 источника.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Дамдинову Б. Б., за всестороннюю помощь при написании данной диссертации, аналитикам, перечисленным в разделе «Методы исследований», к.г.-м.н. Дамдиновой Л.Б., Москвитиной М. Л., Ташлыкову

В.С., Бунаеву А.Е, главному геологу ПАО «Бурятзолото» Г. Б. Шуляку. Автор признателен артели старателей Западная, в частности главному геологу А. А. Хромову за предоставленные материалы. Особая благодарность д.г.-м.н. А. А. Цыганкову, академику РАН д.г.-м.н. Н. А. Горячеву, д.г.-м.н. И. В. Викентьеву, к.г.-м.н. А. В. Чугаеву и д.г.-м.н. Жмодику С. М. за конструктивные замечания в процессе написания данной работы. Исследования выполнены в рамках государственного задания ГИН СО РАН при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № АААА-А17-117011650012-7), при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-00489а.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение

Пионерское золото-кварцевое месторождение характеризуется широким развитием теллуридных минералов в ассоциации с высокопробным самородным золотом, которые формировались в относительно низкотемпературных (225 – 227°C) близповерхностных условиях $P \sim 115$ бар;

Пионерское золото-кварцевое месторождение залегает в краевой части Гарганской глыбы архейско-протерозойского возраста и входит в состав Урик-Китойской золоторудной зоны Окинского рудного района (юго-восточная часть Восточного Саяна). В Пионерском месторождении выделяется два участка – Пионерский и Надежда, разделенные покровом карбонатных пород. Они расположены на разных гипсометрических уровнях, причем участок Надежда ниже примерно на 250 м и представляет собой более глубинную часть золотоносной жильной зоны. В геологическом строении месторождения принимают участие архейские породы фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (Гарганский комплекс) и интрузивные образования сумсунурского комплекса протерозойского возраста, в небольшом количестве присутствуют терригенно-карбонатные венд-кембрийские отложения иркутской свиты (рис. 1). На участке Надежда среди гранитогнейсов присутствуют редкие линзовидные тела лиственитов, являющихся продуктами преобразования базит-ультрабазитов. В рудном поле Пионерского месторождения обнаружены также редкие дайки основного состава, отнесенные к барунхолбинскому вулcano-плутоническому комплексу, представленные в основном сильно изменёнными (хлоритизированными, реже лиственитизированными) базитовыми породами. Возраст оруденения, определенный Ar/Ar датированием мусковита из рудных жил, составляет 420 млн. лет (Дамдинов и др., 2018). Такое значение изотопного возраста опровергает архейский возраст оруденения, а также значительно отличается от возраста пространственно ассоциирующих гранитоидов сумсунурского комплекса.

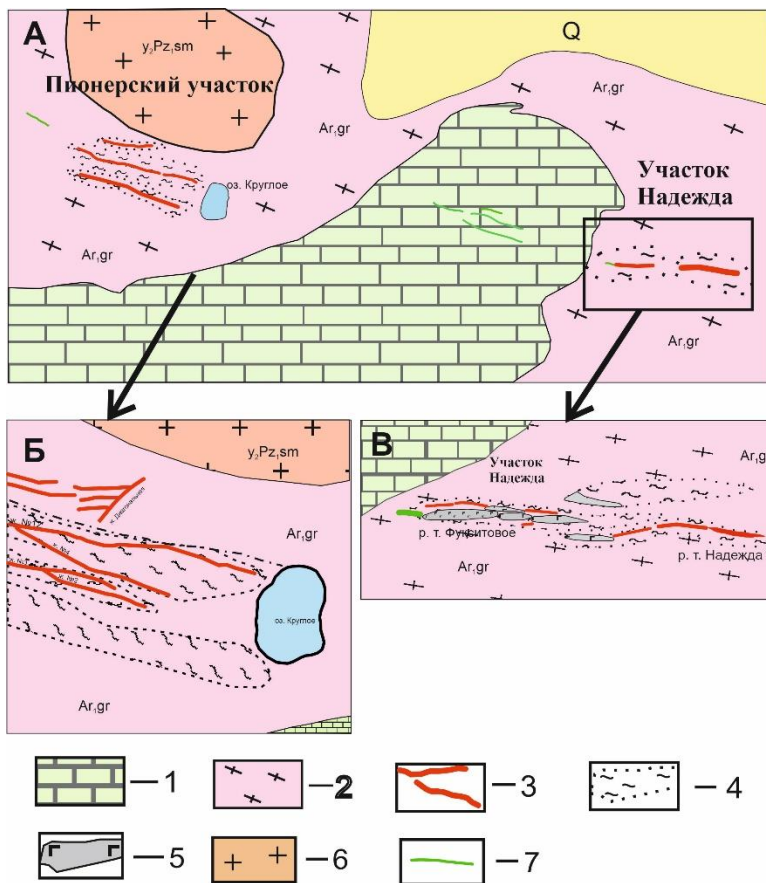


Рис. 1 – Схематичная геологическая карта участка Надежда и Пионерского месторождения. Составлена по материалам ОАО Бурятзолото М 1:5000; Б – Схематичная геологическая карта Пионерского месторождения; В – Схематичная геологическая карта уч. Надежда. р. т. – рудное тело.

1 – терригенно-карбонатные отложения иркутской свиты венд-кембрийского возраста; 2 – плагиогнейсограниты Гарганского метаморфического комплекса архейско-протерозойского возраста; 3 – рудные жилы и прожилки; 4 – зоны беззитизации; 5 – тела лиственитов; 6 – плагиограниты Сумсунурского комплекса; 7 – дайки основного состава.

Рудные тела Пионерского месторождения представляют собой малосульфидные пирит-кварцевые и карбонат-пирит-кварцевые прожилки и жилы, которые залегают в зонах дробления, милонитизации и рассланцевания в беззитизированных породах Гарганской глыбы. В среднем мощность жил составляет 0,3-0,6 м. Руды характеризуются сильно неравномерным распределением и относительно низкими содержаниями главных рудообразующих элементов. Главными элементами рудных тел Пионерского месторождения являются Au, Te, Cu, Pb, Zn. Также повышены содержания Co, As, Ni и Sr – они составляют десятки г/т в Пионерском участке, на участке Надежда отмечается высокое содержание Sr, оно достигает 735 г/т. Следует отметить, что на месторождении отмечается большое количество минералов висмута, однако содержания Bi невысоки, что связано с низким пределом обнаружения.

Характерной особенностью руд Пионерского золото-кварцевого месторождения является наличие большого количества минеральных видов теллуридов, среди которых диагностированы следующие минеральные фазы: алтаит (PbTe), петцит (Ag₃AuTe₂), калаверит (AuTe₂), мелонит (NiTe₂), теллуrowисмутит (Bi₂Te₃), пильзенит (Bi₄Te₃), колорадоит (HgTe), раклиджит (PbBi₂Te₄), волинскит (AgBiTe₂), цумоит (BiTe). Теллуриды выделяются по трещинкам, в пустотах и по краям зерен пирита, а также в виде мелких выделений изометричной формы в кварце в ассоциации с кальцитом и самородным золотом (рис. 2). Среди рудных минералов в кварцевых жилах преобладает пирит, реже встречается халькопирит, пирротин, галенит и блеклая руда и сульфиды никеля (кобальтин, герсдорфит, пентландит, аллоклазит). В рудах

установлены три разновременные минеральные ассоциации, соответствующие разным стадиям рудообразующего процесса: кварц-пиритовая, кварц-полисульфидная и золото-теллуридная. Самородное золото на данном месторождении встречается в виде двух генераций. Формы выделения самородного золота в основном крючковатые, пластинчатые, прожилковидные и округлые. Количественно преобладающее в рудах высокопробное золото II с пробностью 940 - 970‰, ассоциирует с теллуридными минералами, тогда как редко встречающееся низкопробное золото I, (пробность около 700‰), которое связано с сульфидами кварц-полисульфидной ассоциации.

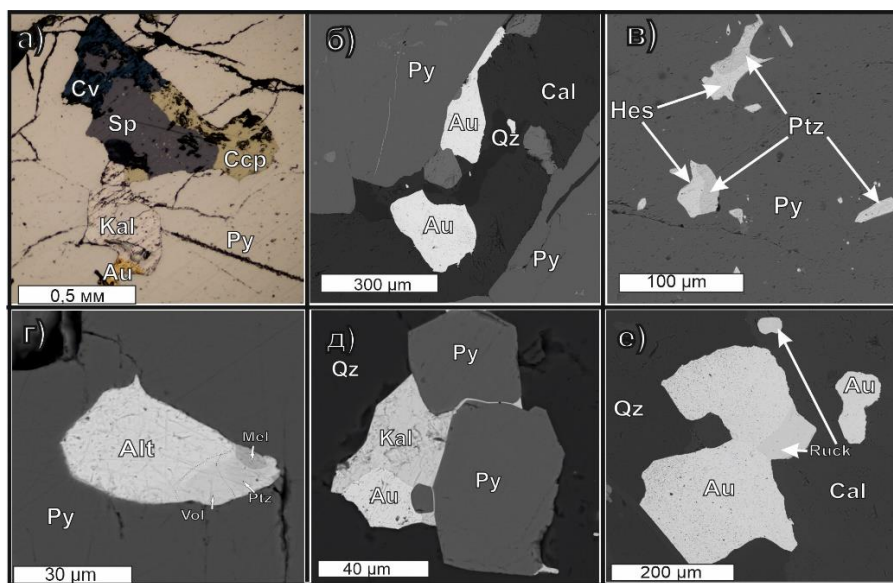


Рис. 2 – Взаимоотношения теллуридных минералов в рудах Пионерского месторождения. Общий вид сростаний рудных минералов в отраженном свете и обратно отраженных электронах. а – зерно сфалерита в пирите частично замещенное ковеллином, которое обрастает халькопирит; б – кальцитовый прожилок с зернами золота и реликтами кварца; в – зерна петцита в ассоциации с гесситом в пирите; г – полифазное включение теллуридов: мелонит-петцит-вольнскит-алтаит; д – зерно калаверита обрастает золото и пирит по краям; е – Зерна золота на контакте кварца и кальцита.

Список сокращений: Py - пирит, Au - золото, Qz - кварц, Sp - сфалерит, Ptz - петцит, Kal - калаверит, Hes - гессит, Alt - алтаит, Cal - кальцит, Ccp - халькопирит, Cv – ковелин, Mel – мелонит, Vol – вольнскит, Ruck – раклиджит.

Наблюдаемые структурные взаимоотношения рудных минералов показывают, что в рудах Пионерского месторождения присутствуют три последовательных рудных минеральных ассоциации: ранняя кварц-пиритовая, кварц -полисульфидная и золото-теллуридная.

Вмещающие породы были подвергнуты динамометаморфизму, хлоритизации и мусковитизации, лиственитизации и березитизации. Одновременно с этими процессами происходило формирование кварцевых жил и отложение минералов ранней кварц-пиритовой ассоциации. Образовался кварц I, мусковит, хлорит и пирит I. Далее в имеющиеся трещины, пустоты и межзерновые пространства в агрегатах кварца I начали отлагаться минералы полисульфидной ассоциации: кварц II, пирит II, мусковит и другие сульфидные минералы, содержащие небольшие количества низкопробного самородного золота (золота I). Завершала

отложение рудных минералов золото-теллуридная ассоциация, формирующаяся совместно с кальцитом.

Было изучено 9 первичных флюидных включений (ФВ) из кварца I и карбоната (кальцита) золотоносных жил Пионерского месторождения. Методами криометрии и КР-спектроскопии углекислота в газовой фазе включений не идентифицирована. Кроме этого, обнаружены сингенетичные мелкие существенно-водные и существенно-газовые включения, располагающиеся в пределах одной зоны роста минерала-хозяина (рис. 3, д). Такие сингенетичные ФВ обнаружены как в кварце, так и в кальците что свидетельствует об эпизодическом вскипании минералообразующих флюидов.

Общий интервал температур гомогенизации ФВ в кварце составляет 326–255°C. Общая соленость растворов во включениях в кварце соответствует 7.2 – 9.9 мас. % экв. NaCl. Измеренные температуры эвтектики (-35...-38°C) соответствуют водным растворам хлоридов Mg и Fe, с примесью Na и K.

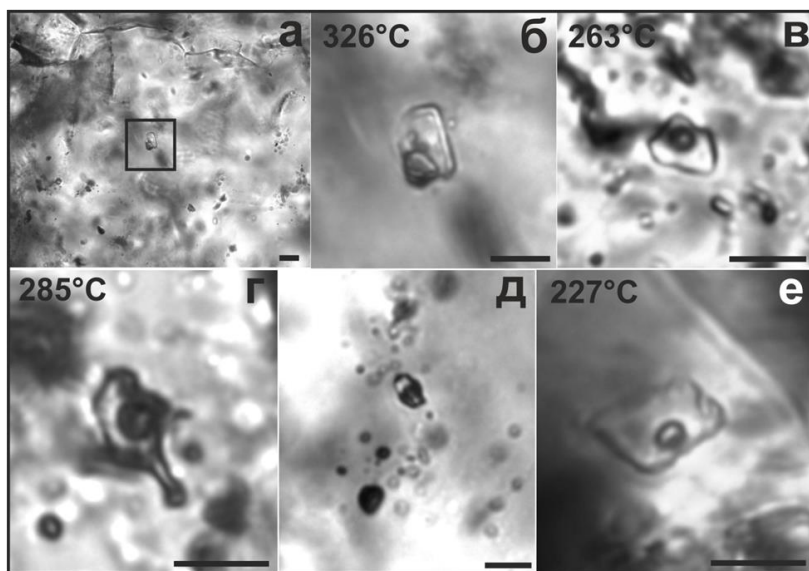


Рис. 3 – Первичные флюидные включения Пионерского месторождения. а – газожидкое двухфазовое включение на удалении от трещин и шлейфов вторичных ФВ в центре зерна кварца; б – увеличенный снимок первичного ФВ на фото, а; в, г – двухфазовые ФВ в зернах кварца; д – группа сингенетичных существенно-водных и существенно-газовых ФВ в кварце; е – ФВ в зерне карбоната. Цифрами показаны температуры гомогенизации. Длина линейки - 10 мкм.

Расчет температур по хлоритовому геотермометру (Котельников и др., 2003) на основе 5 анализов хлоритов, ассоциирующих с Ni-содержащими минералами, показал значения температур 258-277°C, что согласуется с данными термобарогеохимических исследований ФВ в кварце.

Флюидные включения из кальцита, имеют более узкий интервал температур гомогенизации (225 – 227°C). В ФВ из карбонатов, формирование которых происходило позднее кварца I, фиксируется более низкая соленость (3.2 – 3.4 мас. %) и температуры эвтектики (-44...-48°C).

Наличие сингенетичных ФВ свидетельствует о том, что температура гомогенизации близка к истинной температуре захвата включений (температуре образования карбоната). Поскольку кальцит непосредственно ассоциирует с золото-теллуридной минерализацией, можно

сделать вывод, что теллуриды образовались при похожих температурах. В дальнейшем, для расчета изотопного состава серы в H_2S равновесного флюида используется значение $-225^{\circ}C$, как наиболее вероятная температура образования золото-теллуридной ассоциации.

Согласно фазовой диаграмме $H_2O-NaCl$ (Bodnar, Vityk, 1994), учитывая, что в процессе минералообразования происходила гетерогенизация флюида, максимальное значение температуры формирования кварца ($326^{\circ}C$) соответствует давлению 115 бар. Это значение принято, как гидростатическое давление при образовании жил Пионерского месторождения. Полученные P-T параметры свидетельствуют о малой глубине рудоотложения, порядка 300 – 350 м от палеоповерхности, согласно усредненному геобарическому градиенту (300 бар на 1 км).

Второе защищаемое положение

Кедровское золоторудное месторождение формировалось в среднетемпературных ($306-396^{\circ}C$) и относительно высокobarических ($P=1044 - 2856$ бар) условиях. Осинская и Баргузинская жилы Кедровского месторождения различаются по минеральному составу, пробыности самородного золота и P-T условиям рудоотложения, вследствие разной глубинности формирования жил.

Кедровское золоторудное месторождение расположено в пределах северо-восточной окраины Муйского террейна (Северное Прибайкалье), где оно входит в состав Ирокиндинского рудного узла. В Кедровском рудном поле известно несколько кварцево-жильных тел, ранее выделяемых в качестве отдельных мелких месторождений, которые в настоящее время объединены в Кедровское месторождение. Рудовмещающими являются осадочно-метаморфические породы кедровской свиты протерозойского возраста, неопротерозойские габброиды Кедровского массива и палеозойские гранитоиды конкудеро-мамаканского (витимского) интрузивного комплекса (рис. 4). Однако сведения о возрасте и, соответственно, формационной принадлежности интрузивных пород, присутствующих в рудном поле месторождения неоднозначны. Гидротермально-метасоматические образования на территории Кедровского рудного поля представлены многочисленными кварцево-жильными образованиями, пропилитизированными, березитизированными и карбонатизированными породами. Возраст руд Кедровского месторождения, определенный Rb-Sr методом по околорудным метасоматитам, обоснован как раннепермский (273 ± 4 млн лет) (Чугаев и др., 2017).

Рудные тела Кедровского месторождения представляют собой многочисленные кварцево-жильные образования, локализованные в пропилитизированных, березитизированных и карбонатизированных вмещающих породах. В основном рудные тела представлены малосульфидными пирит-кварцевыми, галенит-пирит-кварцевыми и пирротин-кварцевыми

жилами, прожилками, расположенными в зонах дробления, дислокации, расланцевания и разрывных нарушений. Мощность рудных тел колеблется от 0,1 м до 5,0 м.

Главными рудообразующими элементами месторождения являются Au, Fe, Cu, Pb, Zn. Также в рудах в умеренных концентрациях присутствуют As и Sb. С увеличением глубины наблюдается снижение средних содержаний Pb и Bi. Отношения Pb с другими элементами соответственно меняются с изменением глубины, например, отношения Pb/As, Pb/Ag, тогда как остальные рудообразующие элементы не показывают закономерностей изменения содержаний в зависимости от глубины.

Исследование особенностей состава и генезиса руд Кедровского месторождения основано на результатах изучения двух промышленно разрабатываемых в настоящее время жил – Баргузинской (опробовано 3 горизонта) и Осиновой (опробовано 7 горизонтов). Изученные жилы пересекают различные по составу и генезису породы: метаморфические породы кедровской свиты, габброиды Кедровского массива, гранитоиды конкудеро-мамаканского интрузивного комплекса, причем состав оруденения не зависит от состава вмещающих пород.

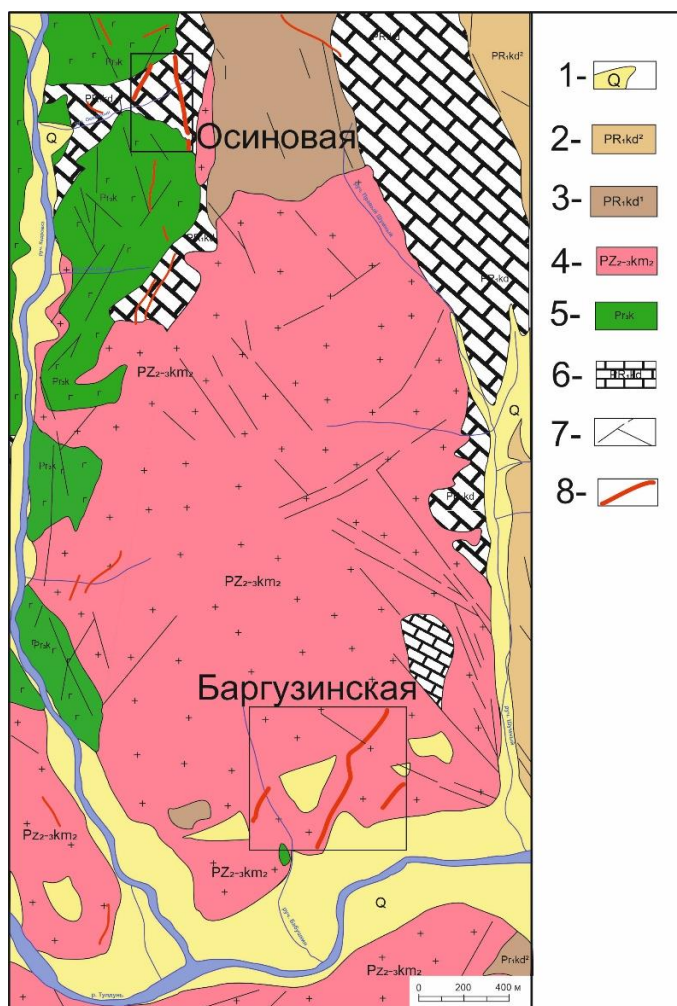


Рис. 4 – Схема геологического строения месторождения Кедровское, масштаб 1:10000 (составлена по материалам ООО «Артель старателей Западная»): 1 - Аллювиальные отложения русла, поймы и низких надпойменных террас; 2 - Метаосадочные породы кедровской свиты неопротерозойского возраста. Средняя пачка: мелко-среднезернистые песчаники с прослоями и горизонтами биотитовых сланцев, кварцитов, серицит-хлоритовых сланцев; 3 - Кедровская свита. Нижняя пачка: мелко-среднезернистые биотитовые сланцы интенсивно мигматизированные с горизонтами кварц-полевошпатовых песчаников, кварцитов, известняков; 4 - Гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса средне палеозойского возраста (301 млн. лет) I-II фаза: диориты, гранодиориты, биотит-амфиболовые граниты, кварцевые диориты, гранитоиды краевых фаций, плагиограниты; 5 - Габброиды муйского комплекса протерозойского возраста. Габбро, габбро-диориты, габбро-диабазы, габбро-нориты, оливиновые габбро, пироксениты; 6 - Известняки, мраморизованные с прослоями черных алевросланцев, кварцитов, песчаников. Нерасчлененные черные углеродисто-сланцевые сланцы, алевросланцы, алевропесчаники, ороговикованные, черные сульфизированные кварциты (в т.ч. расланцованные). Слюдисто-кварц-полевошпатовые сланцы, песчаники; 7 - Разрывные нарушения; 8 - Золотоносные кварцевые жилы.

Установлено, что жилы Баргузинская и Осиновая различаются по минеральному составу. Для Осиновой жилы характерно наличие большого количества пирита и галенита, к которым

приурочены выделения самородного золота (рис. 5). Реже встречаются, халькопирит, сфалерит, пирротин, тетраэдрит, станнин, касситерит, гессит. Пробность самородного золота варьирует от 490 до 944. При этом пробность неоднородна: на отдельных горизонтах присутствуют как высокопробное самородное золото, так и зерна с низкой пробностью, кроме того пробность самородного золота не зависит от состава ассоциирующих с ним минералов. В целом наблюдается увеличение пробности с глубиной.

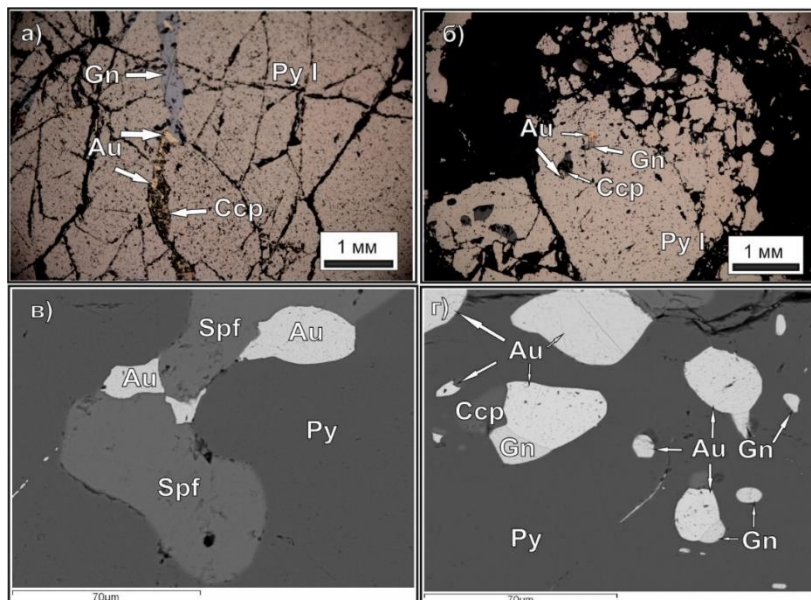


Рис. 5 – А. Характер распределения самородного золота в прожилках галенита Осиновой жилы. Б. Редкие мелкие овальные включения самородного золота Осиновой жилы в пирите в срастании с галенитом и халькопиритом. В. Агрегаты самородного золота в срастании со сфалеритом. Г. Характер распределения самородного золота в пирите: Золото образует срастания с халькопиритом и галенитом.

Список сокращений: Ccp - халькопирит, Sd – сидерит, Vi – висмутин, Au – золото, Py - пирит, Gn- галенит, Spf – сфалерит.

Баргузинская жила отличается преобладанием пирротина над пиритом. Из рудных минералов в небольших количествах также присутствуют пирит, марказит, халькопирит, сфалерит, магнетит, гематит, телуровисмутит, висмутин, джонасонит ($AuBi_5S_4$), мальдонит. Самородное золото присутствует в виде округлых зерен и редких прожилков в пирротине и марказите, а также часто ассоциирует с сидеритом (рис. 6). Пробность самородного золота Баргузинской жилы относительно высокая и варьирует в среднем от 919 до 944%. Она в целом однородна и не зависит от вмещающего его минерала.

На основе проведенных минералогических исследований жил Осиновой и Баргузинской Кедровского месторождения были выявлены следующие минеральные ассоциации: ранняя кварц-пиритовая, золото-сульфидная и гипергенная ассоциации. В трещинах и разломах беризитизированных, мусковитизированных, пропицитизированных и милонитизированных пород происходило выделение минералов ранней ассоциации: в имеющиеся трещины и разломы вмещающих пород отлагались кварцевые жилы и прожилки с пиритом I, а также небольшим количеством карбонатов (доломит, сидерит), марказита и золота I. На глубоких горизонтах месторождения преобладает пирротин.

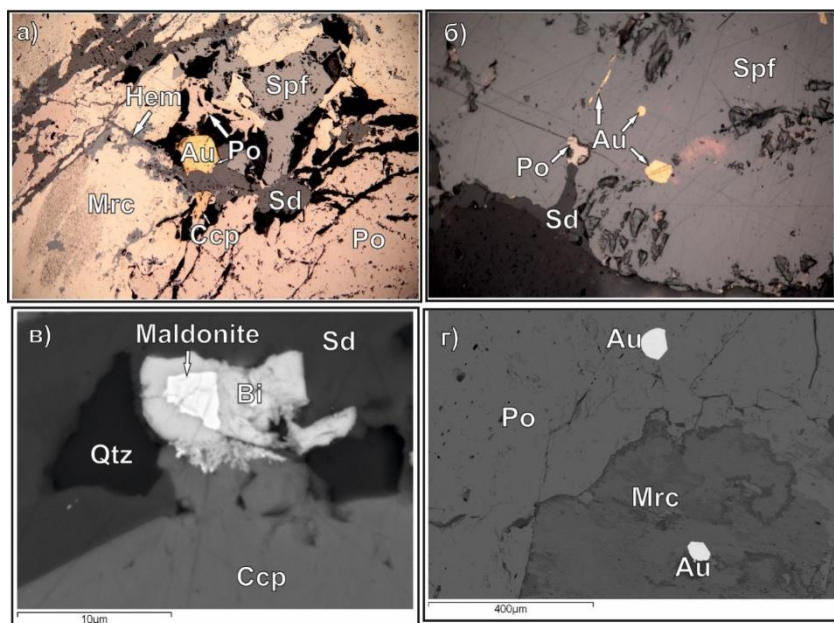


Рис. 6 – Морфология самородного золота Баргузинский жилы. а Самородное золото в сростании с пирротинном. б Округлые включения самородного золота в сфалерите. в Распад мальдонита с образованием теллуровисмутита. г Округлые зерна самородного золота в марказите и пирротине. *Po* – пирротин, *Qtz* – кварц, *Mrc* – марказит, *Ccp* – халькопирит, *Sd* – сидерит, *Bi* – висмутин, *Au* – золото, *Spf* – сфалерит, *Hem* – гематит.

Позднее происходило отложение золото-сульфидной ассоциации: пирита II, а также прожилков галенита, в который отлагались основная часть золота II, висмутин, и теллуровисмутит, а в кварце отлагался самородный теллур, гессит, мальдонит, джонасонит и магнетит. В гипергенную ассоциацию продолжалось отложение позднего карбоната (доломита), а также образование вторичных англезита и ковеллина.

Для определения физико-химических условий минералообразования были изучены 18 первичных включений из кварца Кедровского месторождения. Исследованные включения отличаются небольшими размерами, от 8 до 15 мкм в поперечнике, имеют двухфазовый состав: водный раствор – газовый пузырь (рис. 7). Интервал температур гомогенизации для ФВ Осиновой жилы Кедровского месторождения варьирует 280 – 306°C. Температуры плавления клатратов (газогидратов) варьируют от +3,2 до +14,4 °C. Температуры эвтектики изменяются от -33 до -39,4°C, что соответствует водно-солевым системам хлоридов Mg, K, Na, Fe.

Для ФВ из кварца Баргузинской жилы характерно относительно повышенное количество углекислоты, по этой причине не удалось достоверно определить температуры гомогенизации, поскольку ФВ декрипитировали в диапазоне температур от +153 до +288°C. Температуры плавления клатратов (газогидратов) из данной жилы составили от +5,1 до +14,6°C. Температуры эвтектики Баргузинской жилы имеют более низкие значения по сравнению с Осиновой жилой (-40,5 до -48,4°C), что соответствует водно-солевым системам $\text{CaCl}_2\text{-FeCl}_2\text{-H}_2\text{O}$. Плавление жидкой CO_2 во включениях фиксируется в диапазоне температур -58,3 – -57°C. По данным раман-спектроскопии во всех проанализированных флюидных включениях кроме CO_2 фиксируется CH_4 , иногда N_2 .

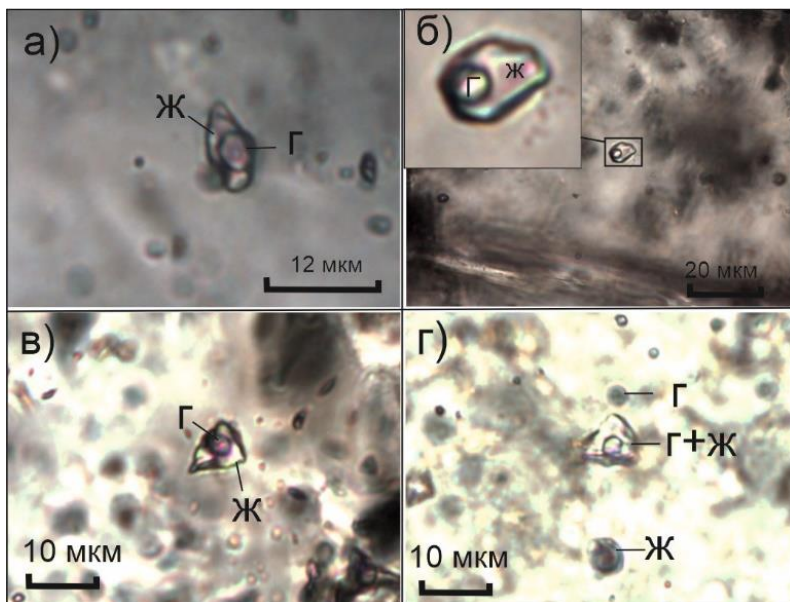


Рис. 7 – Первичные флюидные включения в кварце Кедровского месторождения. А. Газово-жидкое двухфазное включение в центре зерна кварца из Осиновой жилы. Б. Одиночное газово-жидкое двухфазное включение Осиновой жилы в центре зерна кварца на удалении от вторичных ФВ; В. Газово-жидкое включение в зерне кварца из Баргузинской жилы. Г. Сингенетичные существенно-водное и существенно-газовое включения, расположенные в одном зерне кварца. ж- жидкая фаза, г- газовая фаза.

Для верхних горизонтов Осиновой жилы, температура, рассчитанная по паре сосуществующих сфалерита и галенита (Кд-33-1 и Кд-33-2) составляет $+306^{\circ}\text{C}$. (гор. 890). Для нижних горизонтов (гор. 812) температура образования рассчитана по парам галенит халькопирит (обр. Кд-69-3) и составляет 345°C . Значения рассчитывались по уравнениям, опубликованным в работах (Ohmoto, Rye, 1979). Для Баргузинской жилы расчетная температура, полученная по изотопному термометру на основе данных по изотопному составу углерода сосуществующих кварца и доломита, составила 396°C (Sharp Z. D. et al, 2016).

Давление минералообразования было рассчитано по мусковитовому геобарометру по пробам Кд-13, Кд-47 Осиновой жилы, и Кд-78 Баргузинской жилы (Caddick, Thompson, 2008). Для верхних горизонтов Осиновой жилы расчетное давление относительно низкое и составляет 1044 бар, тогда как нижние горизонты отличаются повышенным давлением (1457-1607 бар). Баргузинская жила имеет более высокое давление минералообразования (2849 бар). Это также подтверждается наличием углекислоты и метана в ФВ Баргузинской жилы и более низкими температурами декрипитации.

Третье защищаемое положение

Золото-кварцевые месторождения в докембрийских комплексах Саяно-Байкальской складчатой области формировались за счет магматогенного флюида с частичным заимствованием компонентов вмещающих пород с отложением жильного вещества в трещинах и зонах дробления.

Для определения возможных источников вещества были проведены изотопные исследования руд изученных месторождений. Для Кедровского месторождения значения изотопного состава составляют $\delta^{18}\text{O} = +12.2 - +14.5 \text{ ‰}$, для Пионерского месторождения

характерны значения изотопного состава в пределах $\delta^{18}\text{O}$ от +12.5 до +13.6 ‰. Значения изотопного состава кислорода в кварце обоих месторождений соответствует таковому для золото-кварцевых орогенных месторождений с теллуридами (рис. 8 а). Изотопные составы кислорода для обоих месторождений имеют практически идентичные значения, также они близки с Ирокиндинским и месторождением Golden Mile. Изотопные составы кислорода орогенных месторождений - Зун-Холбинского, Нежданинского, Сухой Лог отличаются относительно повышенными значениями $\delta^{18}\text{O}$.

Расчет равновесного изотопного состава флюида Пионерского месторождения для температуры 285°C, согласно уравнению (Sharp et al., 2016), показывает значения $\delta^{18}\text{O}$ в равные +5.0 – +6.1‰, которые близки величинам $\delta^{18}\text{O}$ +5.0 до + 9.5‰, типичных для магматогенного флюида (Hoefs et al., 2009). Расчетные значения $\delta^{18}\text{O}$ равновесного флюида для Кедровского месторождения варьируют от +7.8 до +11.8‰, что свидетельствует о примеси флюида метаморфогенного происхождения (Hoefs, 2009).

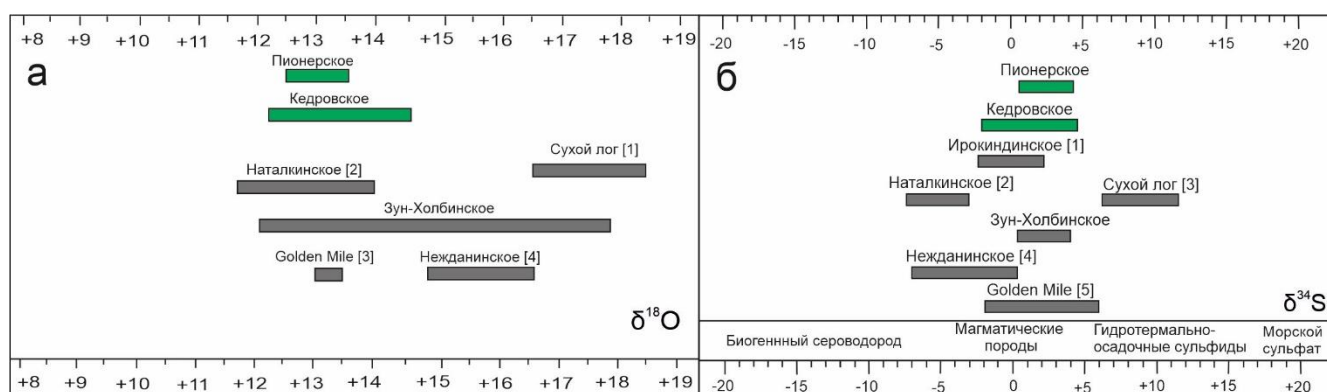


Рис. 8 – а. Изотопные составы кислорода в кварце Пионерского и Кедровского месторождений в сравнении с Зун-Холбинским месторождением, а также крупными месторождениями. 1 – Иконникова и др., 2009, 2 – Горячев и др., 2008; 3 – Vielreicher et al., 2016; 4 – Бортников и др., 2007; **б.** Изотопные составы серы Кедровского и Пионерского месторождений в сравнении с крупными золоторудными объектами. 1 – Чугаев и др, 2020; 2 – Степанов и др, 2001; 3 – Кряжев, 2017; 4 – Гамянин и др, 2000; 5 – Vielreicher et al., 2016.

Величины $\delta^{34}\text{S}$, равные +0.9 – +4.5‰, в сульфидах из руд Пионерского месторождения близки к значениям, характерным для магматической, или мантийной серы (Seal, 2006). Изотопный состав серы в сульфидах Кедровского месторождения варьирует от -3.9 до 4.8‰. Такой интервал также близок к значениям, характерным для серы мантийного или магматического происхождения. Это свидетельствует о близком по составу источнике серы для обоих изученных месторождений, которым, по-видимому, явились глубинные породы магматического происхождения. Расчет изотопного состава серы в равновесном флюиде для Баргузинской жилы показал околонулевые значения от -1.9 до +0,0‰, характерные для глубинной или магматической серы, для Осиновой жилы расчет показал большой разброс

значений (-4,6 - +4,6‰), указывающий на возможный привнос серы из других источников (метеорные воды, вмещающие породы и т.д.).

Изотопные составы серы сульфидов Кедровского месторождения почти идентичны составам сульфидов Пионерского месторождения. Составы серы для обоих месторождений имеют практически идентичные отношения с Ирокиндинским месторождением, также они близки с изотопным составом серы золото-теллуридного месторождения Golden Mile, происхождение которого связано с поступлением смешанных магматогенно-метаморфогенных флюидов. Следует отметить что составы серы для Пионерского имеют схожие значения с Зун-Холбинским месторождением (рис. 8 б). Типичные орогенные месторождения (Наталкинское, Сухой Лог, Нежданинское), локализованные в черносланцевых толщах, значительно отличаются по изотопному составу серы.

Свинцово-изотопные диаграммы для Кедровского месторождения были построены А. В. Чугаевым на основе сопоставления Pb–Pb данных, полученных по галениту, и кривых, описывающих эволюцию изотопного состава Pb в некоторых модельных геохимических резервуарах Земли. Положение на диаграмме точек Кедровского месторождения позволяет предположить, что источником рудного вещества, поступавшего в минералообразующую систему месторождения, вероятней всего, выступал геохимический резервуар мантийного типа. (Чугаев и др., 2017). Здесь следует отметить, что точки составов галенита из руд Кедровского месторождения значительно удалены от точек составов Пионерского месторождения, что указывает на различный возраст вмещающего субстрата, хотя они оба сформированы за счет нижнекоровых источников.

По данным изучения элементов примесей в пиритах Кедровского и Пионерского месторождений установлено, что пириты изученных месторождений различаются по концентрациям элементов-примесей, что обусловлено разными геохимическими условиями функционирования рудообразующих систем. Пириты Кедровского месторождения характеризуются повышенными содержаниями As, Te и Au, но обеднены Ag, Ni и Co. Пириты Пионерского месторождения характеризуются наличием повышенного количества Ag, Co, Ni и Sb, при относительно низких содержаниях Te и Au.

Рассматриваемые в работе Пионерское и Кедровское месторождения схожи по геолого-структурным признакам: оба залегают в крупных фрагментах древней континентальной коры (Гарганская и Муйская глыбы). Оба изученных месторождения залегают в метаморфических породах фрагментов фундамента древних континентов, на обоих месторождениях околожильные изменения представлены березитизацией, реже карбонатизацией. У обоих месторождений также схожая морфология рудных тел, они представляют собой малосульфидные кварцевые жилы, прожилки и линзы. В то же время, сравнительный анализ минералого-геохимических

характеристик показал значительные различия. В первую очередь, значительно отличается минеральный состав руд на изученных месторождениях. Так, Пионерское месторождение характеризуется широким развитием минералов теллуридной ассоциации и преобладанием пирита, тогда как Кедровское содержит большое количество пирротина, пирита и галенита; теллуриды же встречаются в виде единичных мелких зерен. Эти отличия могут быть связаны с разницей в глубинах образования месторождений и разным уровнем эрозионного среза. Так, Пионерское месторождение образовалось на сравнительно небольшой глубине, что подтверждается P-T параметрами образования руд. Это обусловило широкое развитие теллуридов и высокую пробность самородного золота на Пионерском месторождении. Для Кедровского месторождения P-T параметры образования указывают на более глубокие условия. Этим может быть обусловлена низкая распространенность теллуридов, преобладание пирротина, относительно низкая пробность самородного золота (по сравнению с Пионерским месторождением) и отсутствие сульфосольных ассоциаций в рудах. Золото на Пионерском месторождении ассоциирует с пиритом и поздним кварцем, тогда как золото Кедровского тесно связано с галенистыми прожилками и пирротинном. Пробность золота также различается – Пионерское месторождение характеризуется преобладанием высокой пробности золота, при наличии редких зерен относительно низкопробного самородного золота, тогда как Кедровское отличается неравномерным распределением пробности, но в целом пробность самородного золота ниже чем в Пионерском месторождении.

Изотопный состав серы и кислорода в обоих месторождениях схож, однако значительно различаются изотопные составы свинца. Температура образования для данных месторождений различна, Пионерское имеет низкотемпературные условия образования (225-227°C), тогда как Кедровское более высокотемпературное, при этом верхние горизонты Осиновой жилы характеризуются относительно низкими температурами (до 306°C), а для более глубоких горизонтов температура образования жил составляет около 345°C. Для Баргузинской жилы температура рудоотложения оценена в ~ 396°C. Расчетные значения давления минералообразования для Кедровского месторождения сильно отличаются: для верхних горизонтов Осиновой жилы давление составляет 1044 бар, тогда как на нижних горизонтах значения давления выше и составляют 1457-1607 бар. Баргузинская жила имеет существенно более высокое давление минералообразования (2849 бар), что указывает большую глубину образования этой жилы.

Изученные месторождения по геолого-тектоническим условиям формирования соответствуют орогенным золото-кварцевым месторождениям, поскольку оба сформированы в аккреционно-коллизийных геодинамических обстановках (Дамдинов и др., 2018; Чугаев и др., 2017). Различия в минеральном составе руд Пионерского и Кедровского месторождений, а также

разных жил (Осиновой и Баргузинской) обусловлены разными уровнями глубинности рудоотложения и различиями в источниках вещества. Руды Пионерского месторождения, обогащенные теллуридами образовались в близповерхностных условиях за счет магматического источника, тогда как руды Кедровского месторождения образовались на относительно больших глубинах, а источник флюидов смешанный – метаморфогенно-магматогенный (рис. 9). Месторождения характеризуются выраженной геохимической зональностью, обусловленной снижением содержаний Pb, Bi и Te с глубиной.

Одним из основных факторов рудоотложения, вероятно, является изменение химического состава флюидов в ходе взаимодействия флюид-порода, а также смешение флюида с метеорными водами, что привело к падению температур и давлений в рудообразующих растворах и повышению фугитивности теллура. Рудоотложение происходило в зонах тектонических деформаций в краевых частях континентальных блоков.

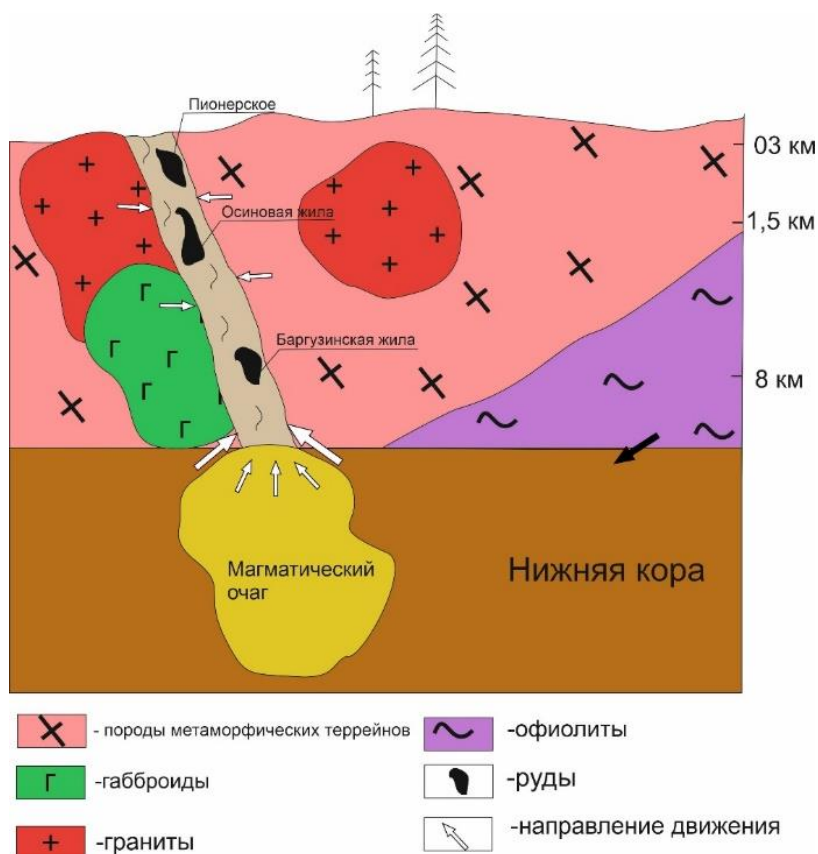


Рис. 9 – Принципиальная схема формирования Пионерского месторождения. Флюид, образовавший руды месторождения, формировался в пределах магматического резервуара, и, проникая через вмещающие породы по зонам разлома, отлагался в имеющихся трещинах, пустотах во вмещающих породах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании комплексных геолого-геохимических, термобарогеохимических и изотопных исследований изучены Кедровское и Пионерское золото-кварцевые месторождения. На основе минералогических исследований выделены рудные минеральные ассоциации и установлена последовательность отложения рудных минералов в кварцевых жилах Пионерского и Кедровского месторождений. Охарактеризованы особенности

химического состава рудных минералов и самородного золота, установлены минеральные виды, ранее не диагностированные в рудах изученных месторождений. Проведены исследования флюидных включений в жильных минералах руд, что позволило определить физико-химические параметры рудоотложения, которые также были уточнены с применением изотопной и минеральной геотермометрии. На основе изучения изотопного состава S, O, Pb и C сделаны выводы об источниках вещества и происхождении рудообразующих флюидов. Установлено, что Пионерское и Кедровское месторождения схожи по морфологическим признакам и тектонической позиции, характеризуются близкими изотопными отношениями серы и кислорода в рудных и жильных минералах, но имеют множество отличий, среди которых можно выделить особенности минерального состава, физико-химические параметры рудообразования и возраст образования. Полученные данные позволили предложить модели формирования Пионерского и Кедровского золото-кварцевых месторождений.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи в рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК РФ:

1. Извекова, А. Д., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Москвитина М. Л. Минералогическо-геохимические особенности золоторудного проявления Надежда (Восточный Саян) // Науки о Земле и недропользование. – 2019. – Т. 42, № 4. – С. 413-424.
2. Москвитина, М. Л., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Извекова А. Д. Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, восточный Саян // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 33-46.
3. Извекова, А. Д., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Москвитина М. Л. Золото-теллуридная минерализация в рудах пионерского золото-кварцевого месторождения (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 6. – С. 498-519.
4. Damdinov B. B., Goryachev N.A., Moskvitina M.L., Damdinova L.B., Izvekova A.D., Reutsky V.N., Posokhov V.F., Artemyev D.A. Zun-Kholba Orogenic Gold Deposit, Eastern Sayan, Russia: Geology and Genesis. Minerals. – 2022. – № 12, 395.

Публикации в материалах конференций:

1. Извекова А.Д., Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б. Минералогическо-геохимические особенности золоторудного проявления Надежда (Восточный Саян) // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике. Материалы V Всероссийской молодежной научной конференции. Улан-Удэ. 2019. С. 41-42.
2. А. Д. Извекова, Б. Б. Дамдинов, М. Л. Москвитина. Особенности теллуридной минерализации Пионерского золоторудного месторождения (Восточный Саян) // Новое в

познании процессов рудообразования: Труды молодых учёных, посвящённые 90-летию ИГЕМ РАН. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, 2020. – С. 46-49.

3. А. Д. Извекова, Б. Б. Дамдинов, М. Л. Москвитина, Л. Б. Дамдинова. Генезис Пионерского золоторудного месторождения // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ - Горячинск, 23–27 августа 2021 года. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2021. – С. 52-54. – DOI 10.31554/978-5-7925-0604-6-2021-52-54.

4. А. Д. Извекова, Б. Б. Дамдинов. Изотопно-геохимические особенности руд Пионерского золоторудного месторождения // Строение Литосферы и Геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 11–16 мая 2021 года. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. – С. 114-116. – EDN NAKSCO.

5. М. Л. Москвитина, Б. Б. Дамдинов, А. Д. Извекова, Л. Б. Дамдинова. Минеральный состав и геохимические особенности кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ - Горячинск, 23–27 августа 2021 года. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2021. – С. 68-70.

6. A. D. Izvekova, B. B. Damdinov. Telluride mineralization in the Pionerskoe gold-quartz deposit (Eastern Sayan, Russia) // X International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference, Novosibirsk, 13–17 июня 2022 года. – Novosibirsk State University: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2022. – P. 67-68.