

*На правах рукописи*



**БУХАНОВА ДАРЬЯ СЕРГЕЕВНА**

**Минералого-геохимические особенности Малмыжского золото-медно-порфирирового месторождения, Хабаровский край**

**Специальность 25.00.11 — Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата геолого-минералогических наук**

Петропавловск-Камчатский  
2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВиС ДВО РАН), г. Петропавловск-Камчатский.

Научный руководитель:

**Сидоров Евгений Геннадьевич**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории минералогии Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский.

Официальные оппоненты:

**Дамдинов Булат Батуевич**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ФГБУН Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ).

**Плотинская Ольга Юрьевна**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (г. Москва).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ ЦНИГРИ), г. Москва.

Защита состоится 17 марта 2021 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 005.006.01 при ФГБУН Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН).

Адрес: 690022, г. Владивосток, проспект 100-летия Владивостоку, 159.

E-mail: elenavalper@yandex.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ДВО РАН и на сайте ДВГИ ДВО РАН <http://www.fegi.ru>.

Автореферат разослан «    » января 2021 года

Ученый секретарь диссертационного совета Д 005.006.01, к.г.-м.н.



Е.В. Перевозникова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Золото-медно-порфировые месторождения – важнейший источник меди, молибдена и золота на мировом рынке. Они составляют основу добывающей промышленности США, Канады, Чили, Перу, Индонезии и других стран. В России пока практически нет известных крупных действующих объектов данного типа. Тем не менее, перспективы открытия крупных золото-медно-порфировых систем на территории России велики при проведении целенаправленных работ.

Малмыжское золото-медно-порфировое месторождение было выявлено в 2005–2007 гг. на основе анализа геологических отчетов советских и российских геологов и в результате проведенных полевых работ. На сегодняшний день, по утвержденным в 2015 году ГКЗ Роснедра запасам, оно является одним из крупнейших месторождений золото-медно-порфирового типа на территории России. Несмотря на высокую значимость такого крупного месторождения для экономики страны, на сегодняшний день недостаточно данных о типоморфных особенностях минералов его руд и условиях их формирования, поэтому исследование является важным и актуальным.

### **Цель работы:**

Определение генетических и минералого-геохимических особенностей руд Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения.

### **Основные задачи:**

1. Установить возраст формирования интрузивных порфировых пород диорит-гранодиоритового состава и околорудных метасоматитов с использованием изотопно-геохимических методов исследования.
2. Изучить минеральный состав руд и типоморфные особенности минералов, установить последовательность рудообразования на месторождении.
3. Установить физико-химические параметры формирования месторождения на основе современных термобарогеохимических методов исследования включений в минералах.

**Научная новизна.** Получены новые данные о минералогических особенностях руд и генезисе Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения:

- определены особенности химического состава и распределения рудных минералов месторождения. Установлены формы нахождения меди, золота, серебра, элементов платиновой группы (ЭПГ) и редкоземельных элементов (РЗЭ) в рудах;
- выделены парагенезисы минералов, формировавшиеся в различных условиях в процессе отложения золото-медно-порфировых руд;

- впервые охарактеризованы минералы платиновой группы в рудах Малмыжского месторождения;
- изучены флюидные включения в кварце из прожилков, что позволило создать модель формирования Центрального участка месторождения, включающую источник рудоносных флюидов, температуры и глубины при которых происходило накопление рудной минерализации;
- получены результаты U–Pb датирования (SHRIMP II) цирконов из рудоносных интрузивных пород и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования калиевого полевого шпата из метасоматитов по интрузивным и осадочным породам.

**Практическая значимость работы.** Данные о генетических и минералого-геохимических особенностях руд позволили определить последовательность рудообразования, а также описать наиболее благоприятные условия отложения минералов Au, Ag, Cu, ЭПГ, РЗЭ. Полученные данные можно использовать в качестве поисковых критериев для эффективной оперативной оценки конкретных перспективных объектов, что будет способствовать наращиванию минерально-сырьевой базы страны.

Исследование имеет фундаментальное и теоретическое значение, так как позволяет лучше понимать процессы, связанные с миграцией химических элементов, протекавшие при рудообразовании в медно-порфириновых месторождениях.

#### **Личный вклад, фактический материал и методы исследований.**

В основу работы положен материал, собранный автором в ходе полевых работ 2011–2012 г на Малмыжском месторождении, проводимых компанией ООО «Амур Минералс». Автор принимала участие в литогеохимическом опробовании по вторичным ореолам рассеяния, вела полевую документацию керн геологоразведочных скважин и отбирала образцы для самостоятельных исследований.

Детально изучен керн нескольких скважин участков Центральный, Свобода, Долина и Равнина. В полевых условиях проводился экспресс анализ керн с использованием рентгенофлуоресцентного анализатора Niton XL3t GOLD, что совместно с первичным описанием позволило отобрать наиболее представительные образцы для коллекции. Рабочая коллекция автора представляет более 200 образцов пород и руд из керн геологоразведочных скважин.

В Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН были подготовлены аншлифы, прозрачно-полированные шлифы и полированные пластинки для исследования газово-жидких включений. Для изотопных исследований автором были выделены монофракции циркона, калиевого полевого шпата и халькопирита.

U–Pb датирование цирконов проводилось на ионном зонде SHRIMP II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ имени А.П. Карпинского,

аналитики Е.В. Лепехина и А.В. Антонов (47 анализов в 4 пробах). Каменный материал для выделения цирконов был отобран автором из керна скважин. Предварительно были изучены разрезы участков Центральный, Долина и Свобода и выбраны наиболее представительные интервалы. Зерна цирконов были вмонтированы в эпоксидную смолу вместе со стандартами зерен цирконов TEMORA и 91500. U–Pb анализы на SHRIMP II проведены по методике, описанной в статье (Williams, 1998). Интенсивность первичного пучка отрицательных молекулярных ионов кислорода составляла 4 нА, диаметр (на поверхности образца) – менее 30 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программ SQUID 1.02 и ISOPLOT/EX (Ludwig, 1999, 2001).

<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar геохронологические исследования методом ступенчатого прогрева проводились по методике, описанной в работе А.В. Травина (Травин и др., 2009). Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре «Noble Gas 5400» (Аналитический центр ИГМ СО РАН). Каменный материал для выделения монофракций калиевого полевого шпата (3 образца) был отобран автором из керна скважин на участке Долина, где наиболее интенсивно проявлены кварц-калиево-полевошпатовые метасоматические изменения.

Химический состав образцов пород, представляющих наиболее типичные разности метасоматитов, определен мультиэлементным атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) анализом на 36 элементов (ООО «АЛС Чита-Лаборатория»).

Детальное исследование руд и вмещающих их метасоматитов проведено автором в ИВиС ДВО РАН с применением оптической аппаратуры и сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega-3 (~5000 анализов), оснащенного энергодисперсионным спектрометром (ЭДС X-MAX с площадью 80 мм<sup>2</sup>) с фирменным программным обеспечением Aztec под руководством аналитика В.М. Чубарова. Часть анализов была продублирована с использованием микронзонда Camebax №244, укомплектованного четырьмя волновыми спектрометрами (с фирменным ПО ZAF-коррекции фирмы CAMECA, модернизированным и перенесённым на ПЭВМ В.М. Чубаровым) и энергодисперсионным спектрометром X-MAX 50 с фирменным ПО INCA. Для обеспечения необходимой электропроводности непроводящих участков поверхности использовалось углеродное напыление. Минимальный предел определения связанный с чувствительностью ЭДС-анализа составляет около 0.1 мас. % Определение величин изотопного отношения <sup>65</sup>Cu/<sup>63</sup>Cu в халькопирите из руд Малмыжского месторождения проведено в ИСО ИГГ УрО РАН на мультиколлекторном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой – Neptune Plus (аналитики Зайцева М.В., Карпова С.В.). Пробоподготовка образцов для определения величины изотопного отношения <sup>65</sup>Cu/<sup>63</sup>Cu

проводилась согласно методике, описанной в работе М.В. Стрелецкой (Стрелецкая и д.р., 2018). Предварительное изучение химического состава халькопирита проведено автором в ИВиС ДВО РАН.

Для исследования флюидных включений было отобрано 10 образцов из керна скважин Центрального участка. Около 100 газово-жидких включений были исследованы и проанализированы микротермометрически автором на кафедре петрологии геологического факультета МГУ на установках Linkam THMS 600 и Linkam THMSG 1500. Для экспериментов с замораживанием использовалась установка Linkam THMS 600 с охлаждением жидким азотом. Для определения минералов-узников и летучих веществ во включениях, образцы анализировались с использованием автоматического рамановского спектрометра XPIoRA (Horiba Scientific) с арговым лазером с длиной волны 532 нм (аналитики: Щербakov В.Д., Буханова Д.С.). Для определения элементарного состава многофазных включений использовался электронный микронзонд JEOL JXA-8530F, оснащенный пятью WDS спектрометрами (метод дисперсионной рентгеновской спектроскопии по длине волны) и системой Thermo System 7 SDD-EDS, в Университете Аляски Фэрбенкс (аналитики: К. Северин, Д.С. Буханова).

Концентрация солей во флюидных включениях, содержащих галит, определена по уравнению Стернера (Sternner et al., 1988), а для трехфазных и более композитных включений, содержащих галит и сильвин, использовались диаграммы Реддера (Roedder, 1984). Давления рассчитаны на основе системы  $H_2O-NaCl$  (Driesner, Heinrich, 2007).

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследования были представлены на 17-ти научных конференциях, из которых 8 молодежных, 3 всероссийских и 6 международных.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на: Всероссийской конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит», Владивосток, 2016; Юбилейном съезде Российского минералогического общества «200 лет РМО», СПб, 2017; I Всероссийской конференции по петрологии и геохимии зон перехода «океан-континент», посвященной памяти Олега Назаровича Волынца, ИВиС ДВО РАН, 2018; «Society of Economic Geologists 2014 conference: Building Exploration Capability for the 21st Century», USA, 2014; «Moscow International School of Earth Sciences – 2016», GEOKHI RAS, Moscow, 2016; «Society of Economic Geologists 2017 conference: Ore Deposits of Asia: China and Beyond», China, 2017; «Society of Economic Geologists 2018 conference: Metals, Minerals, and Society», USA, 2018; «Society of Economic Geologists 2019 conference: South American Metallogeny: Sierra to Craton», Chile, 2019.

По теме диссертации опубликованы 22 научные работы, в том числе 4 статьи в журналах рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет 200 страниц. Она содержит 30 таблиц, 96 рисунков; список литературы включает 242 наименования. Защищаемое положение № 1 раскрыто в главе 2, положения № 2 – в главе 3, а положение № 3 – в главе 4.

**Первая глава** содержит обзор современных публикаций об особенностях и основных характеристиках медно-порфировых месторождений и систем. **Во второй главе** собраны общие сведения о геологическом строении и истории геологического изучения площади месторождения. Рассматриваются результаты изотопно-геохронологического U-Pb исследования цирконов из интрузивных пород Малмыжского месторождения и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  изотопного датирования метасоматического калиевого полевого шпата. **В третьей главе** изложены результаты минералогических и минераграфических исследований руд. Описаны основные особенности руд и охарактеризованы формы нахождения полезных ископаемых. Изложены результаты минералого-петрографических и петрохимических исследований рудовмещающих метасоматитов. Подробно рассмотрены главные и второстепенные рудные минералы. Представлены результаты изучения стабильных изотопов меди в халькопирите. Охарактеризованы состав и типоморфные особенности минералов содержащих редкоземельные элементы. Выделены парагенетические ассоциации минералов и обоснована стадийность рудообразования. **В четвертой главе** приводятся результаты изучения флюидных включений в кварце из руд Центрального участка Малмыжского месторождения. Оценены глубина и температура формирования руд.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Е.Г. Сидорову за всестороннюю помощь, внимание и поддержку. Автор благодарит директора Минералогического Музея им. А.Е. Ферсмана РАН профессора РАН П.Ю. Плечова и член-корр. РАН, профессора МГУ И.В. Пекова за ценные советы и положительное влияние на исследовательскую деятельность автора. Отдельную благодарность соискатель выражает к.г.-м.н. В.М. Округину за поддержку и помощь на ранних этапах выполнения работы.

Автор признателен руководству и сотрудникам ООО «Амур Минералс» Т.Э. Боуэнсу, Г. Коллинсу, Е.К. Игнатьеву, В.Н. Мраморнову, А.Ф. Атнаулову, А.С. Кадешу за совместную работу, дружескую помощь и возможность отбора фактического материала для проведения исследований. При подготовке образцов для исследований большую помощь оказали сотрудники ИВиС ДВО РАН: Л.П. Аникин, Р.Н. Куликова

и А.В. Кутырев. За выполнение аналитических определений и обсуждение результатов автор выражает признательность В.М. Чубарову, А.А. Антонову, В.Д. Щербакову, Д.А. Ханину, М.В. Зайцевой, С.В. Карповой.

Работа была выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (в рамках научного проекта 18-35-00520, руководитель Д.С. Буханова) и темы НИР ИВиС ДВО РАН №0282-2018-0008 (руководитель Е.Г. Сидоров).

### **Описание объекта исследований**

Золото-медно-порфировое месторождение Малмыжское расположено в северо-восточной части Средне-Амурской депрессии на останцовых горных грядках – Малмыжских высотах, вытянутых в северо-восточном направлении на 25 км вдоль правого берега р. Амур (рис. 1). Малмыжская порфировая система является частью Нижнеамурского рудного района, обладающего потенциалом обнаружения крупных и гигантских месторождений, и приурочена к узлу пересечения региональных зон тектонической проницаемости (Читалин и др., 2013).

На площади Малмыжских высот в разные годы работали: Маак (1859); Лопатин (1897); Анерт (1928); Воларович (1931); Логинов, Венус (1955); Рябков, Усанов (1961); Колчина, Тухас (1970); Чернявский, Шавкунов (1977); Девянин (1986); Кузьменко (1989); Ловягин и др. (1991); Кондратьева (1992); Онихимовский (1996); Головинина и др. (1999); Малышев (2004); Васькин и др. (2009); Петров и др. (2015). Месторождение было выявлено в 2007-2015 гг. по результатам работ, проведенных компанией ООО «Амур Минералс». В апреле 2015 г. в ГКЗ Роснедра были утверждены запасы меди и золота (по категориям  $C_1+C_2$ ): руды – 1.39 млрд. т; меди – 5.6 млн. т, при среднем содержании – 0.41%; золота – 298 т, при среднем содержании – 0.21 г/т. По ресурсному потенциалу оно сопоставимо с гигантскими золото-медно-порфировыми системами мирового класса, такими как Оюу Толгой (Монголия, Южная Гоби), Пebbл (США, Аляска) и др.

В геологическом строении площади Малмыжского месторождения принимают участие осадочные терригенные отложения раннемелового возраста (Кузьменко, 1989; Васькин и др.; 2009), прорванные интрузивными породами диорит-гранодиоритового состава (рис. 1б). Рудовмещающие породы перекрыты четвертичными рыхлыми образованиями преимущественно аллювиального, озерно-аллювиального и пролювиального генезисов (Чернявский, Шавкунов, 1977). Терригенные образования, слагающие площадь Малмыжских высот, отнесены к горнопротокской свите  $K_2gr$  (Васькин и др., 2009).

Интрузивные образования на Малмыжском рудном поле занимают до 20-25% его площади и относятся к Мяочанскому интрузивному комплексу



(Васькин и др., 2009). Размещение их четко контролируется Малмыжской зоной разломов северо-восточного простирания. Морфология выходов интрузивных пород весьма разнообразна: от крупных штокообразных массивов различной формы до мелких изометричных штоков и дайкоподобных трещинных тел (Игнатьев и др., 2015, ф.).

Интрузивные тела на площади месторождения нередко окружены ореолами метасоматитов. Наиболее распространены калиевые, кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые и пропилитовые метасоматиты.

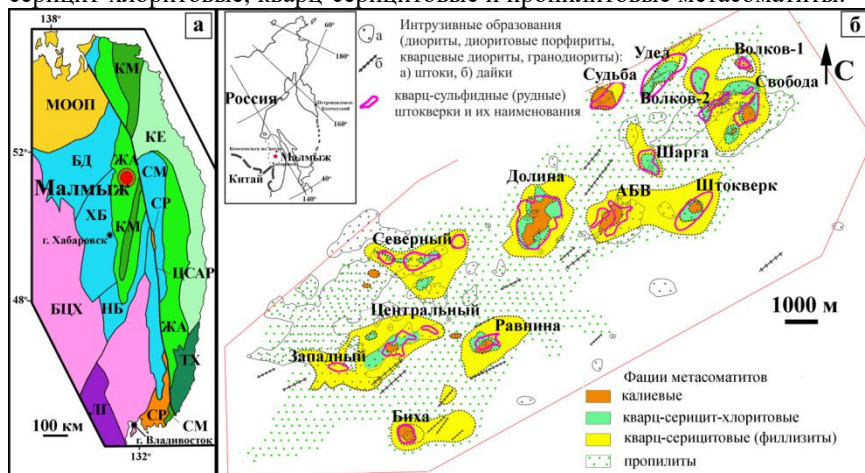


Рис. 1. *а* – Тектоническая схема Сихотэ-Алиня с местом расположения Малмыжского месторождения (по Khanchuk, 2016; Ханчук, 2019); *б* – Схема геологического строения Малмыжского месторождения с рудными участками (по Е.К. Игнатьеву и др., 2015, ф., с дополнениями). Условные обозначения: готерив-раннеальбская аккреционная призма (КМ – Киселевско-Маноминский) и островная дуга (КЕ – Кемский); раннемеловой турбидитовый бассейн (ЖА – Журавлёвско-Амурский); раннемеловая аккреционная призма (ТХ – Таухинский); юрская аккреционная призма (БД – Баджалский, НБ – Наданьхада-Бикинский, СМ – Самаркинский и ХБ – Хабаровский); коллаж террейнов неокомского орогенного пояса (МООП – Монголо-Охотский); триасовый орогенный пояс (ЛГ – Лаоелин-Гродековский); тектонические пластины палеозойского орогенного пояса на юрской аккреционной призме (СР – Сергеевский); раннепалеозойский орогенный пояс (БЦХ – Баджало-Цзямуси-Ханкайский); ЦСАР – Центральный Сихотэ-Алинский разлом.

Рудная минерализация носит прожилково-вкрапленный, вкрапленный и реже гнездово-вкрапленный характер, и представлена минерализованным штокверком сопровождающим метасоматиты.

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

**Первое защищаемое положение.** *Малмыжское золото-медно-порфировое месторождение формировалось во временном интервале от 101.4 до 94.3 млн лет, что подтверждается U-Pb определениями возраста (по цирконам) рудоносных штоков диорит-гранодиоритового состава и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  определениями времени возникновения калиевого полевого шпата в ореолах метасоматических преобразований, сопровождающих такие штоки.*

Ранее изотопное датирование пород Малмыжского месторождения не проводилось, а его возраст предполагался на основании геологических наблюдений. Отсутствие надёжных датировок побудило автора к проведению изотопно-геохимических исследований, результаты которых представлены в настоящей работе.

Малмыжское месторождение состоит из 14 золото-медно-порфировых участков («порфировых центров»), каждый из которых связан с порфировыми штоками различных диаметров (рис. 1б), либо апикальными частями более крупных штоков порфировых пород диорит-гранодиоритового состава. Такие порфировые центры формируют вокруг себя обширные поля метасоматитов развитых, как в пределах самих штоков, так и во вмещающих осадочных породах.

Золото-медно-порфировое оруденение генетически связано с формированием порфировых штоков (Sillitoe, 2010). U-Pb датирование пород Малмыжского месторождения по цирконам было проведено для штоков кварцевых диоритовых порфиритов (участки Центральный и Свобода), даек гранодиорит-порфиритов (участок Долина);  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование метасоматитов проводилось по калиевому полевному шпату (участок Долина).

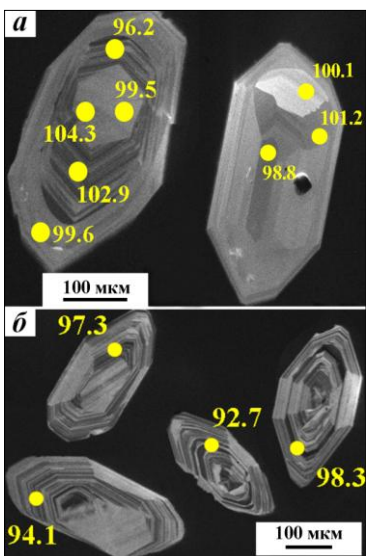


Рис. 2. Католюминесцентные изображения кристаллов циркона из штока кварцевых диоритовых порфиритов участка Свобода (а) и даек гранодиорит-порфиритов участка Долина (б) с U-Pb датировками возраста.

Цирконы из исследуемых интрузивных тел по морфологии и окраске преимущественно одноиппны и схожи между собой (рис. 2). Доминируют хорошо ограниченные, идиоморфные прозрачные желто-коричневые кристаллы короткопризматического, и,

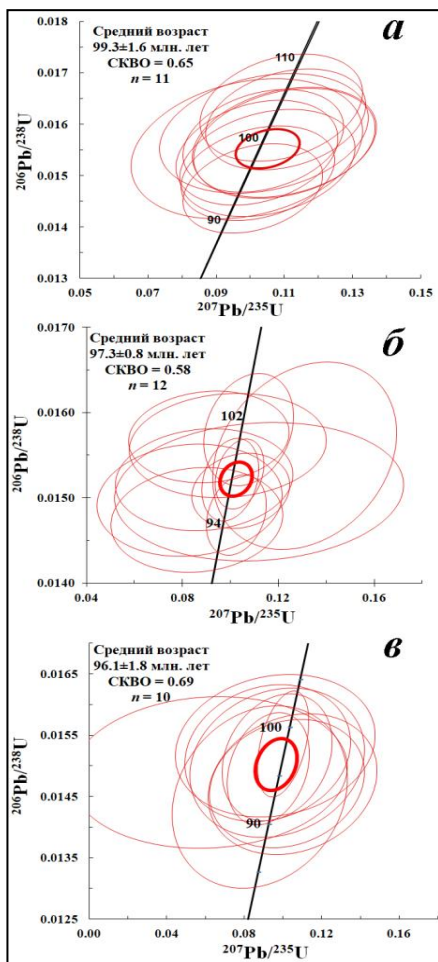


Рис. 3. Средневзвешенные значения U-Pb возраста (SHRIMP) для цирконов из интрузивных пород Малмыжского рудного месторождения: шток кварцевых диоритовых порфиритов участка Свобода (а); дайки гранодиорит-порфиритов участка Долина (б, в).

(рис. 4б). Первое – высокотемпературное плато (875-1130°C) характеризуется 65.7 % выделенного  $^{39}\text{Ar}$  и значением возраста  $100.46\pm 0.61$  млн лет. Второе плато со значением возраста  $91.75\pm 6.84$  млн

реже, игольчатого габитуса.

Катодоллюминесцентные изображения кристаллов циркона из гранитоидов месторождения показывают наличие в них тонкой ритмичной зональности, параллельной граням, характерной для цирконов магматического генезиса. Это подтверждение магматической природы циркона доказывает тождество полученных результатов времени внедрения (и кристаллизации) расплавов.

Установлено, что возраст штока кварцевых диоритовых порфиритов участка Свобода составляет  $99\pm 2$  млн лет (рис. 3а). На участке Долина проанализированы две пробы из рудоносных даек гранодиорит-порфиритового состава. Величина их изотопного возраста рассчитана по десяти зернам циркона из каждой пробы и составляет  $96\pm 2$  млн лет (рис. 3б, в).

В  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  спектрах калиевого полевого шпата из метасоматитов по ороговикованным песчаникам (рис. 4а) и алевролитам (рис. 4в) участка Долина выделяются плато с возрастaми  $100.1\pm 1.05$  и  $99.11\pm 1.97$  млн лет.

Эти возраста соответствуют 100% выделенного  $^{39}\text{Ar}$  в каждом из образцов. В  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  спектре калиевого полевого шпата из калиевых метасоматитов по кварцевым диоритовым порфиритам выделяется два плато

лет формируется на низкотемпературных ступенях (600-775°C), ему соответствует 34.3 % выделенного  $^{39}\text{Ar}$ .

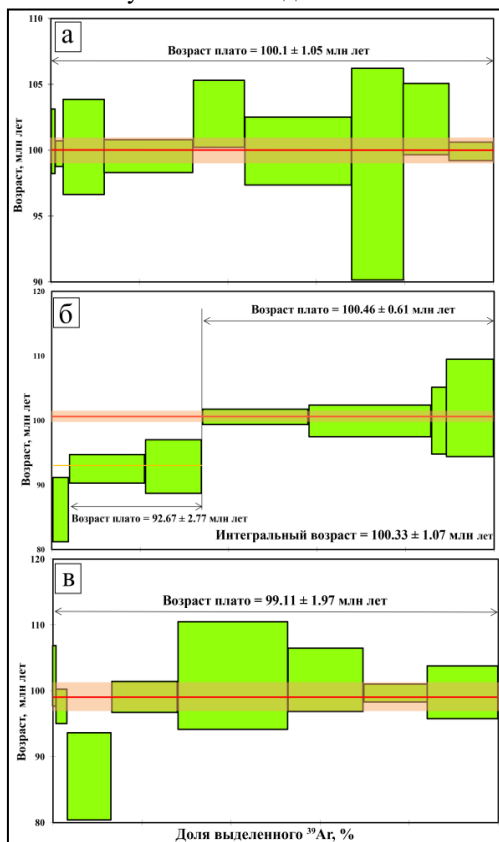


Рис. 4. Возрастные спектры  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  изотопного датирования калиевого полевого шпата из: ороговикованных песчаников MD140-348 (а), кварцевых диоритовых порфиров MD79-288 (б), алевролитов с калиевыми вторичными изменениями MD158-283 (в).

Полученные значения возраста перекрываются в пределах ошибки измерения, соответственно, изотопный возраст метасоматического калиевого полевого шпата составляет  $99.27 \pm 2.13$  млн лет.

Результаты U-Pb датирования по цирконам и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  по калиевому полевому шпату подтверждают, что участки Долина и Свобода Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения сходны по времени формирования. Внедрение рудоносных интрузивных тел происходило в интервалах от  $99.27 \pm 2.13$  (для интрузивных пород первой фазы) и до  $96.2 \pm 1.9$  млн лет (для интрузивных пород второй фазы). Эти значения совпадают со временем формирования складчатой системы Сихотэ-Алиня (Khanchuk et al., 2016), предполагая синорогенную природу рудогенерирующих штоков кварцевых диоритовых порфиров.

**Второе защищаемое положение.** На месторождении выделяются три стадии рудообразования. Первая характеризуется окварцеванием и калиевым метасоматозом с отложением халькопирит-магнетит-пиритовой минерализации. Во вторую стадию происходило развитие кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов с отложением основной массы пирит-халькопиритовых руд. Третья стадия представляет собой

*наложение минералов эпитермального генезиса на сформированную ранее пирит-халькопиритовую минерализацию, и связана с кварц-серицитовым метасоматозом и накоплением благороднометаллических минералов, сульфосолей, теллуридов, селенидов, а также поздних генераций пирита, халькопирита, борнита и халькозина.*

Основные рудные минералы представлены пиритом и халькопиритом, реже встречаются галенит, сфалерит, борнит и халькозин. Они наблюдаются в виде тонкодисперсной рассеянной вкрапленности в метасоматитах, образуют скопления и гнезда в местах замещения темноцветных силикатов, а также формируют сульфидные и кварц-сульфидные прожилки.

На Малмыжском месторождении прослеживается последовательная смена генераций метасоматитов, для каждой из которых установлена типичная сопутствующая рудная минерализация. На основании этого, выделены четыре основных стадии минералообразования, три из которых, непосредственно, связаны с осаждением рудных минералов. Рудные стадии разделяются по типам ассоциирующих метасоматитов на калиевую, кварц-серицит-хлоритовую и кварц-серицитовую (рис. 5).

Первая рудная стадия, связанная с калиевым метасоматозом характеризуется окварцеванием, биотитизацией и калишпатизацией пород. Здесь выделяется несколько характерных парагенетических минеральных ассоциаций: биотит-магнетитовая ± апатит, кварц-магнетитовая, кварц-калиевый полевой шпат-халькопиритовая, кварц-халькопирит-борнитовая.

Вторая стадия рудообразования связана с кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами на начальном этапе и кварц-хлорит-серицитовыми на завершающем. Здесь широко развиты минеральные ассоциации: кварц-хлоритовая ± магнетит/гематит, кварц-хлорит-пирит-халькопиритовая; кварц-хлорит-серицитовая + сфалерит + галенит ± молибденит.

Завершающая рудная стадия связана с развитием кварц-серицитовых ± пирит метасоматитов (филлизитов). Продукты кварц-серицитовой стадии – вторичные кварциты с пиритом, где развита серицит-иллит ± халькозиновая (± каолинит) ассоциация с халькопиритом, сульфосолями, теллуридами и селенидами, минералами платиновой группы, высокопробным самородным золотом. Рудные минералы кварц-серицитовой стадии часто образуют включения в пирите или халькопирите ранних стадий, заполняя каверны и пустоты. На основании минеральных парагенезисов характерных для кварц-серицитовой стадии ее минерализацию можно отнести к эпитермальному этапу формирования месторождения.

Детальное исследование руд Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения выявило в них присутствие минералов класса сульфосолей (рис. 6): теннантит  $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$  – тетраэдрит  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , полибазит



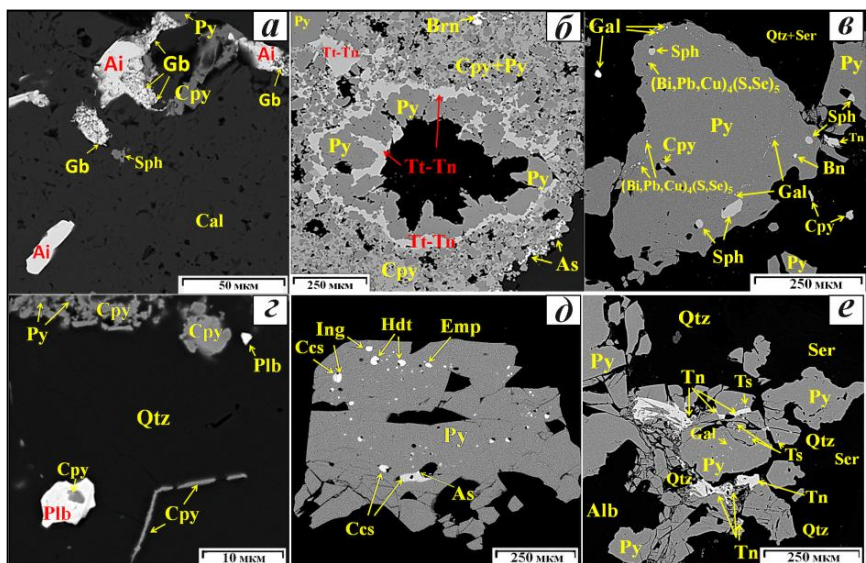


Рис. 6. Формы нахождения и ассоциации сульфоселей в рудах: теннантит (Tn), тетраэдрит (Tt), айкинит (Ai), бурнонит (Bn), полибазит (Plb), эмплектит (Emp), ходрушит (Hdt), галеносимутит (Gb).

Примечание: пирит (Py), халькопирит (Cpy), борнит (Bn), халькозин (Ces), сфалерит (Sph), галенит (Gal), цумоит (Ts), ингодит (Ing), кварц (Qtz), кальцит (Cal), серицит (Ser), альбит (Alb), самородный мышьяк (As).

Благороднометалльное оруденение (Au, Ag, ЭПГ) типично для месторождений порфирирового типа (Sillitoe, 2010). В рудах Малмыжского месторождения на всех исследуемых участках установлено самородное золото. Значительно реже золото встречается в теллуридной форме (калаверит).

Размеры зерен самородного золота в рудах месторождения обычно варьируют от первых до 20 микрон (редко до 7 мм). Включения самородного золота встречается редко. Они, преимущественно, находится в тонкодисперсном самородном состоянии (до 2 мкм) в качестве включений в пирите, халькопирите и борните (рис. 7 а, д). По составу это преимущественно низкопробное золото. Пробность золота варьирует в пределах 500–750‰, редко достигая 900‰. По результатам изучения химического состава самородного золота, помимо постоянной примеси Ag (до 48 мас. %), встречается Hg (до 4.2 мас. %), Te (до 0.4 мас. %) и Cu. Высокопробное золото (970-990‰; рис. 7 б, в, е) отмечается на участке Равнина и ассоциирует с кварц-серицитовыми метасоматитами и, возможно, «наложенными» на них аргиллизитами (локально установлено присутствие кальцита, иллита и каолинита в образцах).

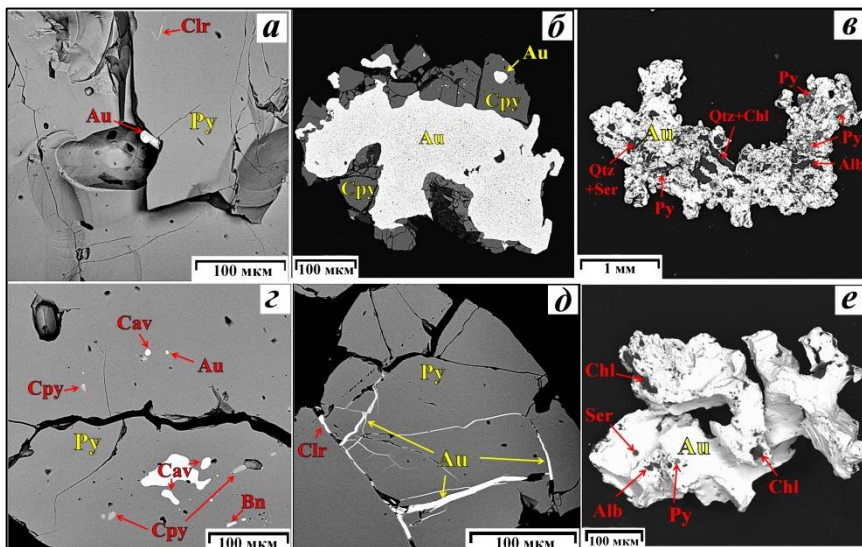


Рис. 7. Формы нахождения золота: *a, d* – самородное золото (Au) представленное включениями в пирите (Py) в ассоциации с колорадоитом (Clr); *б, в, е* – высокопробное самородное золото из кварцевого штокверка в кварц-серицитовых (Qtz+Ser) метасоматитах; *г* – пирит с включениями калаверита (Cav), самородного золота, халькопирита и борнита (Bn). Примечание: Chl – хлорит, Alb – альбит.

Корреляция между содержанием в самородном золоте Au и Ag показывает четыре различных кластера отношений Au/Ag (рис. 8), что, вероятно, свидетельствует о разновременном отложении золота при формировании руд. С увеличением пробы золота в большинстве случаев увеличивается и количество золота в образцах, и размеры зерен. Это можно интерпретировать как результат дополнительной мобилизации золота флюидом поздних стадий формирования руд, что приводит к потере серебра в процессе ремобилизации.

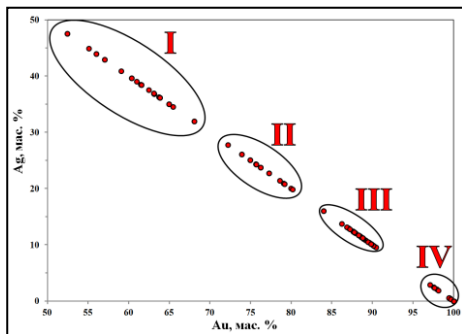


Рис. 8. Корреляционная диаграмма содержаний Au и Ag в самородном золоте (в нормализованных мас. %); I-IV – кластеры, фиксирующие изменение пробыности Au.

В последние годы, повышенные содержания элементов платиновой группы (ЭПГ), в частности, Pd и Pt, были зарегистрированы в минерализации, связанной с



некоторыми из порфировых месторождений (Economou-Eliopoulos, 2009). В России минералы платиновой группы установлены в рудах порфировых месторождений: Кирганик (Сидоров и др., 2017), Михеевское (Plotinskaya et al., 2018), Ак-Сугское, Сорское и Жирекенское.

Впервые, присутствие соединений теллура с палладием в рудах Малмыжского месторождения отмечено Ивановым В.В. с соавторами (Иванов и др., 2013). При детальном исследовании минерального состава руд, проведенных автором, в пирит-халькопиритовых прожилках были установлены и другие минералы платиновой группы (МПГ): сопчеит  $Ag_4Pd_3Te_4$  (рис. 9), котульскит  $PdTe$ , меренскит  $PdTe_2$ , арсенопалладинит  $Pd_3(AsSb)_3$  и надретит  $Pd_2Sb$ .

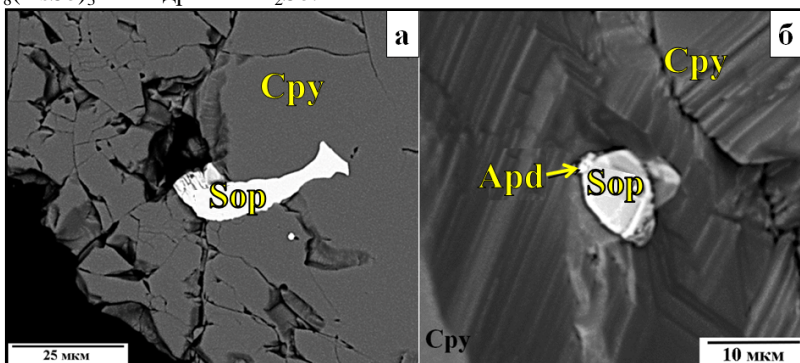


Рис. 9. Включения (а) сопчеита (Sop) в халькопирите (Cpy), включение (б) в халькопирите в ассоциации с арсенопалладинитом (Apd).

Взаимоотношения между основными рудными минералами меди, МПГ, самородным золотом и теллуридами Au-Ag в рудах, указывают на то, что благородные металлы тесно связаны с прожилковым халькопиритом, но их отложение происходило на завершающих отрезках формирования руд (Буханова и др., 2020).

**Третье защищаемое положение.** *Начало формирования месторождения с появлением ранних кварцевых прожилков происходило при температурах от 730 до 670°C на глубине 2.5–3 км. Золото-медно-порфировые руды формировались в постмагматической гидротермальной обстановке в диапазоне температур от 580 до 330°C на глубине 1–2 км.*

Для расшифровки условий рудообразования в порфировых системах большое значение имеет изучение флюидных включений. Множество теоретических и экспериментальных исследований описывают процессы при гидротермально-магматическом переходе, приводящие или не приводящие к рудообразованию (например, Candela, 1991; Cline и Bodnar, 1991; Candela и Piccoli, 1995). Насыщение пара при низком давлении (<1 кбар) и высокой температуре (до 700°C) приводит к мгновенному

разделению между высокоплотным рассолом (содержащим NaCl) и паром низкой плотности (содержащим H<sub>2</sub>O-SO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S), которые вместе способствуют образованию трещиноватости и метасоматических изменений, а также отложению рудных минералов (Campos et al., 2002).

Большинство порфировых месторождений и их глубинных магматических источников заложены на глубине от 1 до 6 км (Seedorff et al., 2005). Дегазация магмы на таких глубинах, как правило, формирует несмешивающиеся рассолы и отдельную газовую составляющую (Henley, McNabb, 1978; Nash, 1976). Но, вероятно, источник основной части флюида и металлов порфировых месторождений – магмы батолитовых комплексов больших объемов в средних и верхних частях коры на более глубоких уровнях (Candela, Piccoli, 2005; Cloos, 2001; Damon, 1986; John, 1991; Richards, 2003; Shinohara, Hedenquist, 1997). В таких условиях, на глубинах около 5-10 км, флюиды отделяются в сверхкритическом состоянии и поднимаются в близповерхностные зоны.

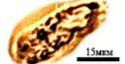


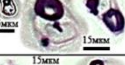



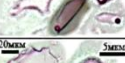

Тип включений	Фото включений	Кол-во включений	Размер, мкм	T <sub>гом.</sub> , °C	T <sub>плав.</sub> , °C	NaCl <sub>экв.</sub> , мас. %	Давление, бар
M		5	15–40	≈ 1100 (Ж)	–	–	–
MS <sub>2</sub>		13	15–30	850–995 (Ж)	590–720	68–80	680–830
MS <sub>1</sub>		7	≤ 10	670–730 (Ж)	530–660	58–73	550–710
B <sub>3</sub>		6	≤ 20	542–580 (Ж, Г)	430–505	53–60	460–550
B <sub>2</sub>		19	≤ 15	405–503 (Ж, Г)	320–520	35–58	200–400
B <sub>1</sub>		8	≤ 20	331–409 (Ж, Г)	180–330	27–37	100–210
G		8	≤ 10	430–466 (Г)	–	≤ 4 (T <sub>плав. льда</sub> ≤ -2.5°C)*	≈ 200–300
W <sub>2</sub>		15	≤ 10	220–305 (Ж)	–	≤ 6 (T <sub>плав. льда</sub> ≤ -5°C)	40–180
W <sub>1</sub>		12	10–100	100–196 (Ж)	–	≤ 4	≤ 50

Рис. 10. Классификация включений Малмыжского месторождения.

Примечание: Ж – гомогенизируют в жидкую фазу; Г – гомогенизируют в газовую фазу; \* температуры плавления льда измерены только для двух включений.

В соответствии с классификацией флюидных включений (Campos et al., 2002), в исследованных образцах выделены следующие типы включений (рис. 10, 11): М-тип (расплавные включения в кварце), MS-тип

(многофазные, содержащие несколько растворимых полупрозрачных кристаллов, а также небольшое количество жидких и газовых фаз), G-тип (преимущественно газовые включения), B-тип (включения с высокой концентрацией солей) и W-тип (преимущественно жидкие включения) (Буханова, Плечов, 2017).

Включения М типа – расплавные включения в кварце, содержащие как захваченные силикаты, так и рудные минералы (преимущественно оксиды железа). Вероятно, они представляют собой первичные включения в магматическом кварце, захваченном растущими кварцевыми прожилками при последующих гидротермально-метасоматических процессах.

Включения MS типа – чрезвычайно концентрированные, практически не содержат каких-либо жидких фаз при комнатной температуре (до 10% от общего объема включения). Размер включений MS не превышает 30 мкм. Кроме дефицита жидкости и относительно постоянного объема газовой фазы, такие включения содержат четко определенные, постоянные минеральные вещества: галит, сильвин, хлорид железа и небольшой рудный минерал.

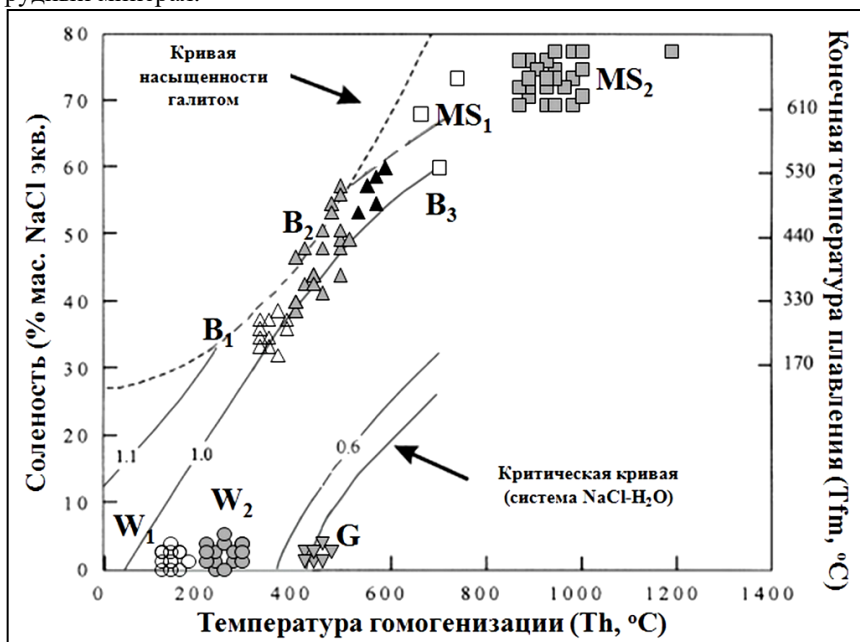


Рис. 11. Эволюция температуры гомогенизации включений и концентрации солей.

Включения типа В, как правило, на 30-50% состоят из жидкой фазы, на 20-40% из газовой фазы и на 20-50% из минеральной. Минеральная фаза

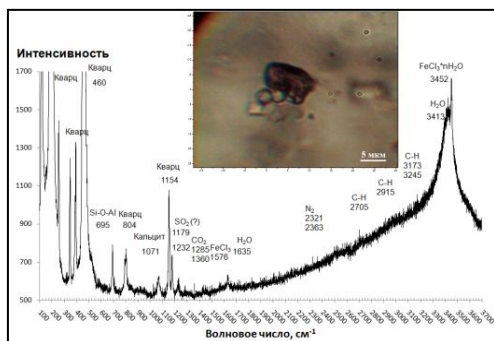
зачастую представлена бесцветными кристаллами; в основном, это хорошо сформировавшиеся кубики галита.

Среди включений В типа выделяется три подтипа. Включения подтипа  $V_1$  – двухфазные, твердых фаз в них не наблюдается. Во включениях подтипов  $V_2$  и  $V_3$  кубики галита сопровождается более округлыми прозрачными кристалликами сильвина. Иногда, так же, как и во включениях типа MS, наблюдается хлорид железа. Включения В типа распределены вдоль растущих граней в кристалле-хозяине. Их размеры варьируют от нескольких микрон до 15-20 мкм. Гомогенизация включений В происходит как в жидкую, так и в газовую фазу, что свидетельствует о связи данных включений с основными событиями вскипания гидротермального рудного раствора.

Включения типа G – преимущественно сложены газовой фазой, низко соленые и низкоплотные. Газовая фаза в таких включениях занимает более 80% от объема вакуоли, а водная фаза образует тонкий ободок вокруг пузырька. Размер этих включений колеблется от первых до 10 мкм. Часто такие включения пространственно тесно связаны с включениями В типа. Для нескольких включений типа G были измерены температуры плавления льда (около  $-2.5^{\circ}\text{C}$  и менее) и соответствуют  $< 4 \text{ мас.}\% \text{ NaCl экв.}$

Включения W типа – преимущественно жидкие. Их легко отличить от включений В по значительно меньшему объему газового пузырька при комнатной температуре и отсутствию каких-либо дочерних минералов. Они всегда гомогенизируются в жидкость при более низкой температуре – от  $220$  до  $305^{\circ}\text{C}$  ( $W_2$ ) и от  $100$  и до  $196^{\circ}\text{C}$  ( $W_1$ ).

На рисунке 13 для включений подтипа  $MS_2$  приняты температуры гомогенизации около  $700-850^{\circ}\text{C}$  с учетом поправки, принятой из-за содержащихся кристаллогидратов (Перетяжко, Савина, 2010). Присутствие кристаллогидратных соединений железа, для которых характерно переменное количество молекулярно-связанной воды установлено во включениях рассолов методами рамановской спектроскопии (рис. 12).



Давления в таких включениях оцениваются в 600-750 бар (Driesner, Heinrich, 2007), что соответствует глубине около 2.5 км (Hedenquist, Richards, 1998; Richards, 2011).

Рис. 12. Рамановский спектр содержащего кристаллогидратные соединения железа флюидного включения  $MS_2$  типа.

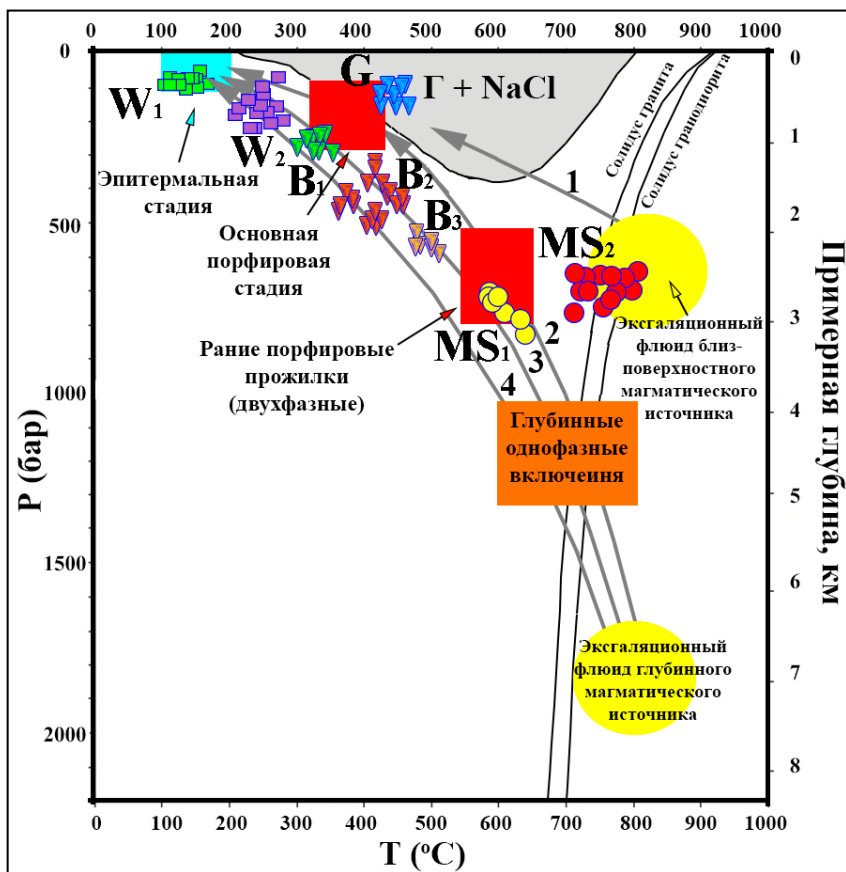


Рис. 13. Флюидные включения Малмыжского месторождения на фазовой диаграмме  $H_2O-NaCl$  с давлениями (глубинами) и температурами (поля по Richards, 2011). Пути движения флюида: 1. кипение близповерхностного высокотемпературного магматического источника ( $G+NaCl$ ); 2. типичные для порфировой минерализации; 3. сокращенный с незначительными конденсациями рассола (Heinrich et al., 2004); 4. глубокий сокращенный путь (Hedenquist et al., 1998).

При дегазации близповерхностного магматического источника отделяется флюид в условиях давлений и температур, характерных для формирования несмешиваемых преимущественно газовых включений и включений с очень высокими концентрациями солей (Richards, 2011), такими как подтип  $MS_2$  (рис. 13, путь 1). По модели Хейнрих К.А. (Heinrich et al., 2004) этап конденсации железа в рассолах является существенным для удержания золота и меди в газовой фазе. Такой

механизм, вероятно, описывает формирование золото-медно-порфировых месторождений (рис. 13, путь 3). Флюидные включения В типа попадают в области подъема флюида по характерному для типичной порфировой минерализации пути (рис. 13, путь 3; Richards, 2011). Вероятно, включения подтипа MS<sub>1</sub> соответствуют флюиду глубинного магматического источника и попадают в поле характерное для ранних порфировых прожилков (Richards, 2011). Более «нормальный» или ранний путь 2 описывает подъем флюида более или менее энтальпически вдоль крутого P-T-градиента (Hemley, Hunt, 1992; Henley, Hughes, 2000; Wood, Spera, 1984). Такой путь прохождения флюида может соответствовать широко распространенным и интенсивным кислотным вторичным изменениям.

Изучение флюидных включений в кварце показывает, что Малмыжское месторождение начинает формироваться из расплава, сосуществующего с водяным паром – согласно включениям типа MS<sub>2</sub>. Для образования такого флюида требовался магматический источник диоритового состава, богатый железом и хлороводородом, заложенный на малой ( $\leq 3$  км) глубине, деггазирующий и выделяющий гипер-минерализованную жидкость и пар при высокой (~800-900°C) температуре. При охлаждении до температур около 670-730°C, создаются условия для открытия первых трещин, чему, вероятно, соответствуют включения типа MS<sub>1</sub>. При дальнейшем охлаждении в постмагматической гидротермальной обстановке, на глубине 1-2 км и при температурах от 580 до 330°C происходил захват включений типа В и G, сингенетичных основной стадии формирования руд месторождения. Слабоминерализованные, преимущественно жидкие, включения W типа захватывались при температурах менее 305°C и соответствуют завершающей стадии притока флюида в систему.

### **Заключение**

В результате проведенной работы получены новые данные о минералого-геохимических и генетических особенностях формирования руд Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения. Установлен возраст формирования интрузивных порфировых пород диорит-гранодиоритового состава и околорудных метасоматитов с использованием изотопно-геохимических методов исследования. Проведено изучение минерального состава руд, выделены типоморфные особенности рудных минералов, установлена последовательность рудообразования на месторождении. На основе современных термобарогеохимических методов исследования флюидных включений в кварце обоснованы физико-химические параметры формирования месторождения.

Результаты U-Pb датирования по цирконам и <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar по калиевому полевому шпату подтверждают, что участки Долина и Свобода

Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения близки по возрасту формирования. Внедрение рудоносных интрузивных тел происходило в интервалах от  $99 \pm 2$  (для интрузивных пород первой фазы) и до  $96 \pm 2$  млн лет (для интрузивных пород второй фазы). Эти результаты указывают на синхронность внедрения рудогенерирующих штоков кварцевых диоритовых порфиров в период формирования складчатой системы Сихотэ-Алиня (Khanchuk et al., 2016).

На месторождении выделены парагенезисы минералов, соответствующих различным отрезкам формирования золото-медно-порфировых руд и гидротермально-метасоматических изменений. Выделены три последовательные стадии рудообразования. Наиболее ранняя стадия характеризуется окварцеванием и калиевым метасоматозом с отложением халькопирит-магнетит-пиритовой минерализации. При дальнейшем развитии порфировой системы происходило формирование кварц-серицит-хлоритовых метасоматитов с отложением основных пирит-халькопиритовых руд. Завершающая стадия рудообразования связана с развитием кварц-серицитовых метасоматитов и накоплением сульфосолей, теллуридов и селенидов, а также поздних генераций пирита, халькопирита, борнита и халькозина. Благороднометальная минерализация, отлагавшаяся на завершающей стадии минералообразования, наряду с теллуридами и селенидами представляет собой наложение эпитермального этапа на сформированные ранее порфировые пирит-халькопиритовые руды.

Впервые в рудах месторождения установлены и охарактеризованы МППГ и минералы редкоземельных элементов. Установлено, что происходило перераспределение РЗЭ с формированием новых генераций редкоземельных минералов в зонах с более поздними вторичными изменениями.

Исследования флюидных включений в кварце позволили проследить эволюцию рудообразующих флюидов от раннего магматического отрезка до завершающего притока слабоминерализованного флюида в систему. Установлено, что формирование месторождения началось при температурах от  $730$  до  $670^\circ\text{C}$  на глубине  $2.5\text{--}3$  км с появления ранних кварцевых прожилков. Золото-медно-порфировые руды формировались в постмагматической гидротермальной обстановке в диапазоне температур от  $580$  до  $330^\circ\text{C}$  на глубине  $1\text{--}2$  км.

Результаты исследования позволили получить пригодные для технологов детальные минералого-геохимические характеристики и выявить основные закономерности формирования руд на одном из крупных месторождений золото-медно-порфирового типа на территории России.

## Список публикаций по теме диссертации

### *В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:*

1. **Буханова Д.С.**, Плечов П.Ю. Условия формирования Au-Cu-порфирового месторождения Малмыжское, Хабаровский край (по данным исследования флюидных включений). Вестник КРАУНЦ: Науки о Земле. 34(2). 2017. С. 61-71.
2. **Буханова Д.С.** Чубаров В.М. Редкоземельные минералы в рудах Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения (Хабаровский край) // Записки РМО. 148(1). 2019. С. 54-64.
3. Трушин С.И., Кириллов В.Е., **Буханова Д.С.**, Чубаров В.М. Минералогические особенности золотых руд Албазинского и Ульбанского рудных районов (Хабаровский край). Региональная геология и металлогения. 2019. №78. С. 91-97.
4. **Буханова Д.С.**, Кутырев А.В., Сидоров Е.Г., Чубаров В.М. Первая находка минералов платиновой группы в рудах Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения, Хабаровский край, Россия // Записки РМО. 2020. Т. 149. № 2. С. 12-21.

### *В других изданиях:*

5. **Буханова Д.С.** Типоморфные характеристики меднопорфирового оруденения // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 5-18.
6. **Буханова Д.С.** Вторичные изменения вмещающих пород медно-порфирового месторождения Малмыж, Дальний Восток России // Материалы XII региональной молодежной научной конференции "Природная среда Камчатки". Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2013. С. 15-28.
7. **Буханова Д.С.** Высокотемпературные газово-жидкие включения в жильном кварце медно-порфирового месторождения Малмыж, Дальний Восток России // Материалы XIII региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2014. С. 69–80.
8. **Bukhanova D.S.**, Plechov P.Yu. High-temperature fluid inclusions from quartz veinlets at the Malmyzh porphyry copper–gold deposit, Far East of Russia // Proceedings of the Society of Economic Geologists 2014 conference: Building Exploration Capability for the 21st Century conference, USA, 2014 (online publication).
9. **Буханова Д.С.** Малмыжское Au-Cu-порфировое месторождение (Хабаровский край): условия формирования Центрального участка по данным исследования флюидных включений // Материалы XIII региональной молодежной научной конференции «Исследования в



области наук о Земле». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2015. С. 4–16.

**10. Буханова Д.С.** Особенности формирования Au-Cu-порфирового месторождения Малмыж (по данным исследования флюидных включений) // Материалы конференции «Новое в познании процессов рудообразования». Москва: ИГЕМ РАН. 2015. С. 45-48.

**11. Буханова Д.С.** Минералогические особенности руд золото-меднопорфирового месторождения Малмыжское, Нижнее Приамурье // Материалы III Всероссийской конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». Владивосток. 2016. С. 281-284.

**12. Bukhanova D.S., Chubarov V.M.** REE Mineralogy of the Malmyzh Cu-Au porphyry deposit, Russian Far East // Abstracts of International conference "Moscow International School of Earth Sciences - 2016", Editor-in-chief L.N. Kogarko. M: GEOKNI RAS. 2016. P. 37-38.

**13. Буханова Д.С.** Минералогические особенности руд Au-Cu-порфирового месторождения Малмыжское, Нижнее Приамурье. Материалы Юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО». СПб. Т.2. 2017. С. 193-194.

**14. D.S. Bukhanova, V.M. Chubarov** Mineralogy and ore formation conditions of the Malmyzh copper-gold porphyry deposit, Far East of Russia // Proceedings of the International conference SEG 2017 «Ore Deposits of Asia: China and Beyond». 2017. P. 149.

**15. Sidorov E.G., Bukhanova D.S., Ignatiev K.E.** Porphyry Cu-Au-Mo potential of the Kamchatka Peninsula, Far East of Russia // Proceedings of the International conference SEG 2017 «Ore Deposits of Asia: China and Beyond». 2017. P. 140.

**16. Буханова Д.С.** Чубаров В.М. Сульфосоли в рудах Малмыжского Cu-Au порфирового месторождения, Хабаровский край // Материалы I Всероссийской конференции по петрологии и геохимии зон перехода «океан-континент» «Волинцовские чтения». 2018. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. С. 71-72.

**17. Bukhanova D.S., Collins G.** Zircon U–Pb and Molybdenite Re–Os Ages of the Malmyzh Porphyry Cu-Au Deposit, Far East of Russia // Proceedings of the International conference SEG 2018: Metals, Minerals, and Society (online publication).

**18. Буханова Д.С.** Теллуриды в рудах Малмыжского золото-меднопорфирового месторождения, Нижнее Приамурье // Материалы IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск. 2018. С. 90-93.

**19. Буханова Д.С.** Первые данные о возрасте Малмыжского золото-меднопорфирового месторождения, Хабаровский край // Материалы

конференции «Новое в познании процессов рудообразования». ИГЕМ РАН. Москва. 2018. С. 81-82.

**20. Буханова Д.С.,** Ханин Д.А., Зайцева М.В., Карпова С.В. Стабильные изотопы меди в халькопирите порфировых месторождений, на примере Малмыжского золото-меднопорфирового месторождения (Хабаровский край) // Материалы конференции «Новое в познании процессов рудообразования». ИГЕМ РАН, Москва. 2018. С. 83-85.

**21. Bukhanova D.S.** Metal-Carrier Accessory Minerals Associated with Malmyzh Cu-Au Porphyry Ores, Far East of Russia // Proceedings of the Society of Economic Geologists 2019 conference: South American Metallogeny: Sierra to Craton. Chile. 2019 (online publication).

**22. Буханова Д.С.** Первые данные о минералах ЭПГ в рудах Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения // Материалы конференции «Новое в познании процессов рудообразования». Москва: ИГЕМ РАН. 2019. С. 79-80.