

УДК 553.46

ТАМИРСКОЕ МОЛИБДЕНОВОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ФОРМИРОВАНИЯ

© 2022 г. Л. Б. Дамдинова^а, *, А. Л. Елбаев^а, **

^аГеологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Сахьяновой, ба, Улан-Удэ, 670047 Россия

*e-mail: ludamdinova@mail.ru,

**e-mail: elbaev@ginst.ru

Поступила в редакцию 15.07.2021 г.

После доработки 20.04.2022 г.

Принята к публикации 08.06.2022 г.

Тамирское молибденовое проявление является одним из перспективных объектов Селенгинского рудного района Западного Забайкалья. Рудопоявление представляет собой зону кварц-молибденитовых (с бериллом) жил и прожилков в лейкогранитах и гранит-порфирах. Термобарогеохимическими методами изучения индивидуальных флюидных включений в кварце и берилле были получены первые данные об условиях формирования и солевом составе рудообразующих флюидов, сформировавших кварц-молибденитовые руды Тамирского рудопоявления. Установлено, что руды Тамирского проявления сформировались из относительно слабосоленых (~3.4–11.2 мас. % экв. NaCl) CO₂-содержащих растворов, при понижении температуры в диапазоне от 336 до 215°C, основными солевыми компонентами рудообразующих растворов были хлориды Ca, Na и K.

Ключевые слова: кварц-молибденитовые жилы, прожилки, гранит-порфиры, Селенгинский рудный район, Западное Забайкалье, флюидные включения

DOI: 10.31857/S001677702206003X

ВВЕДЕНИЕ

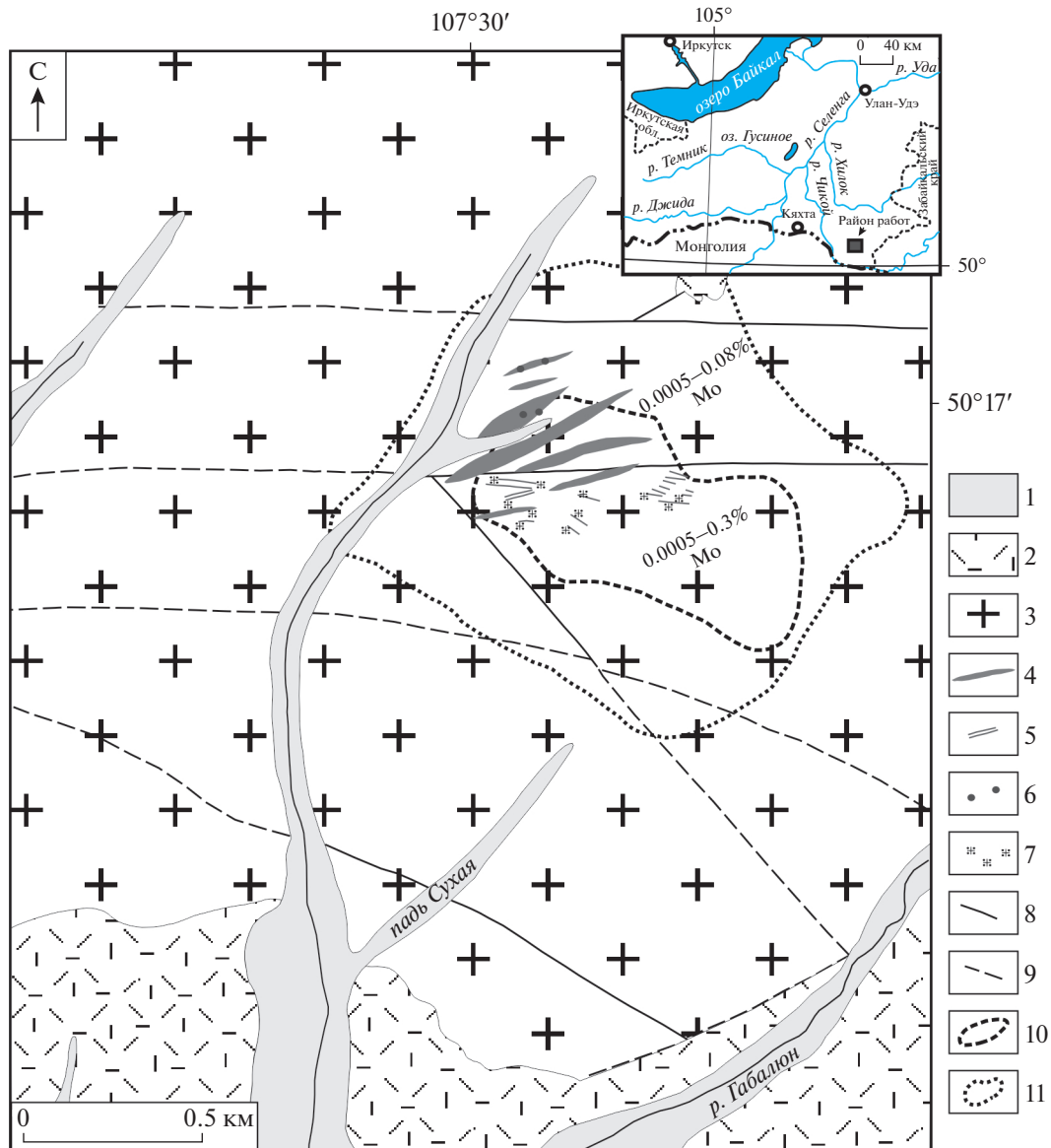
Западное Забайкалье – территория с разнообразным комплексом полезных ископаемых, среди которых значительная роль принадлежит молибдену, так как по количеству выявленных рудопоявлений он занимает первое место. При этом установлено, что крупные объекты, пригодные к промышленному освоению, составляют 1%, средние по запасам – около 2.5, мелкие месторождения – порядка 5, а 91.5% – мелкие рудопоявления (Батурина, Рипп, 1984).

Одним из перспективных объектов со значительными прогнозными ресурсами молибдена считается Тамирское рудопоявление (P₂ = 185 тыс. т), расположенное в пределах Селенгинского рудного района в Чикой-Ингодинской структурно-минералогической зоне Западного Забайкалья, в южной части одноименного (Тамирского) гранитоидного массива (Кошкин и др., 2003ф¹; Гордиенко и др., 2019). Считается, что оно требует дальнейшей детальной разведки и доизучения, с целью перевода его в разряд месторождения (Гордиенко и др., 2019). Рудовмещающими породами

являются биотитовые среднезернистые граниты и лейкограниты преимущественно позднепермского возраста, прорванные дайками гранит-порфиров, реже аплитовидных гранитов (фиг. 1). Дайки имеют выдержанное субширотное простирание с углами падения близкими к вертикальным (80°–90°) и протяженностью до 500 м при мощности от нескольких сантиметров до 6 м. К дайкам гранит-порфиров пространственно тяготеют кварцевые жилы и прожилки, в которых локализуется молибденовые руды (Яблоков и др., 1956ф; Новиков и др., 1973ф).

Особенностью проявления является то, что помимо молибденовой минерализации на участке широко проявлена кварцево-жильная бериллиевая минерализация, что позволяет сопоставить этот объект с крупнейшим в регионе Первомайским молибденовым месторождением (Джидинское рудное поле), где на одном из этапов развивается кварц-молибденит-берилловая прожилковая минерализация (Damdinova et al., 2019). Результатам изучения состава руд и рудообразующих растворов, а также определению физико-химических условий формирования минерализации Тамирского молибденового проявления, посвящено данное исследование.

¹ Здесь и далее буквой “ф” обозначены неопубликованные фондовые материалы и производственные отчеты.



Фиг. 1. Схематическая геологическая карта Тамирского рудопроявления молибдена, по данным Тамирской геолого-поисковой партии, с изменениями. 1 – четвертичные отложения; 2 – позднепермские вулканиты тамирской свиты; 3 – позднепермские гранитоиды бичурского комплекса; 4 – гранит-порфиры, аплитовидные граниты; 5 – кварцевые жилы с молибденитом; 6 – вкрапленность молибденита в гранит-порфирах; 7 – грейзенизация; 8 – разрывные нарушения; 9 – предполагаемые разрывные нарушения; 10 – первичные ореолы молибдена (до 0.3%), 11 – вторичные ореолы рассеяния молибдена (до 0.08%).

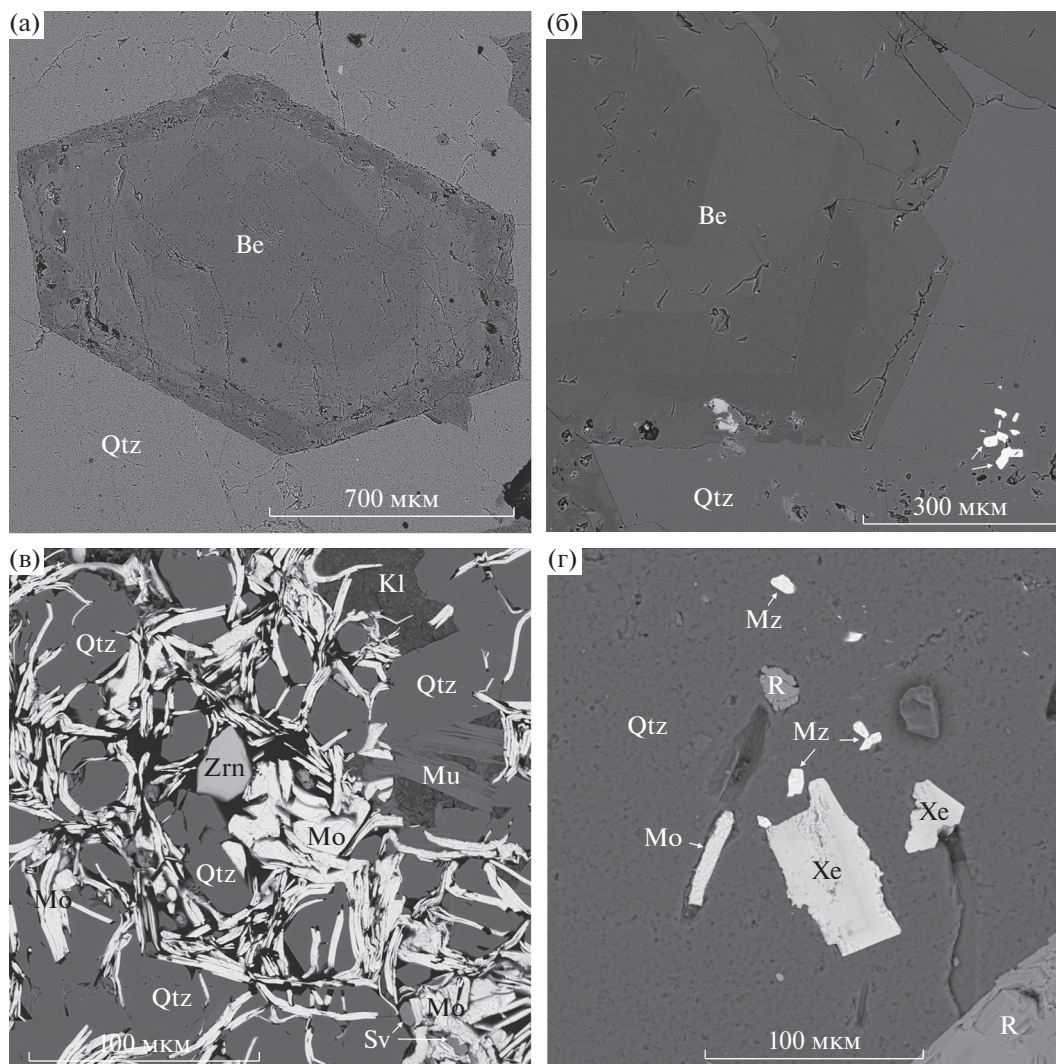
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами было проведено изучение минерального состава руд Тамирского проявления методом сканирующей электронной микроскопии и исследование флюидных включений в жильных минералах: кварце и берилле.

Исследование препаратов, изготовленных из образцов “молибденоносного” кварца, проводилось методом оптической спектроскопии в Центре коллективного пользования “Геоспектр”

ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) на электронном сканирующем микроскопе с энергодисперсионным спектрометром (EDS) LEO-1430 (система микроанализатора IncaEnergy-300). Условия EDS-анализатора: ускорение напряжения – 20 кВ, ток электронного пучка – 1.5 нА, время набора спектров – 20–40 с.

Кварцевые жилы имеют сближенное кулисообразное расположение и образуют три жильные зоны, разделенные интервалами 150 м. Жилы имеют пологое падение (не более 12°), протяженность 30–40 м, при мощности 10–30 см, единич-



Фиг. 2. Минеральная ассоциация в кварцевых прожилках Тамирского рудопроявления.

Qtz – кварц, Mo – молибденит, Mu – мусковит, Xe – ксенотим, Mz – монацит, R – рутил, Zrn – циркон, Be – берилл, Kl – каолинит, Sv – сванбергит.

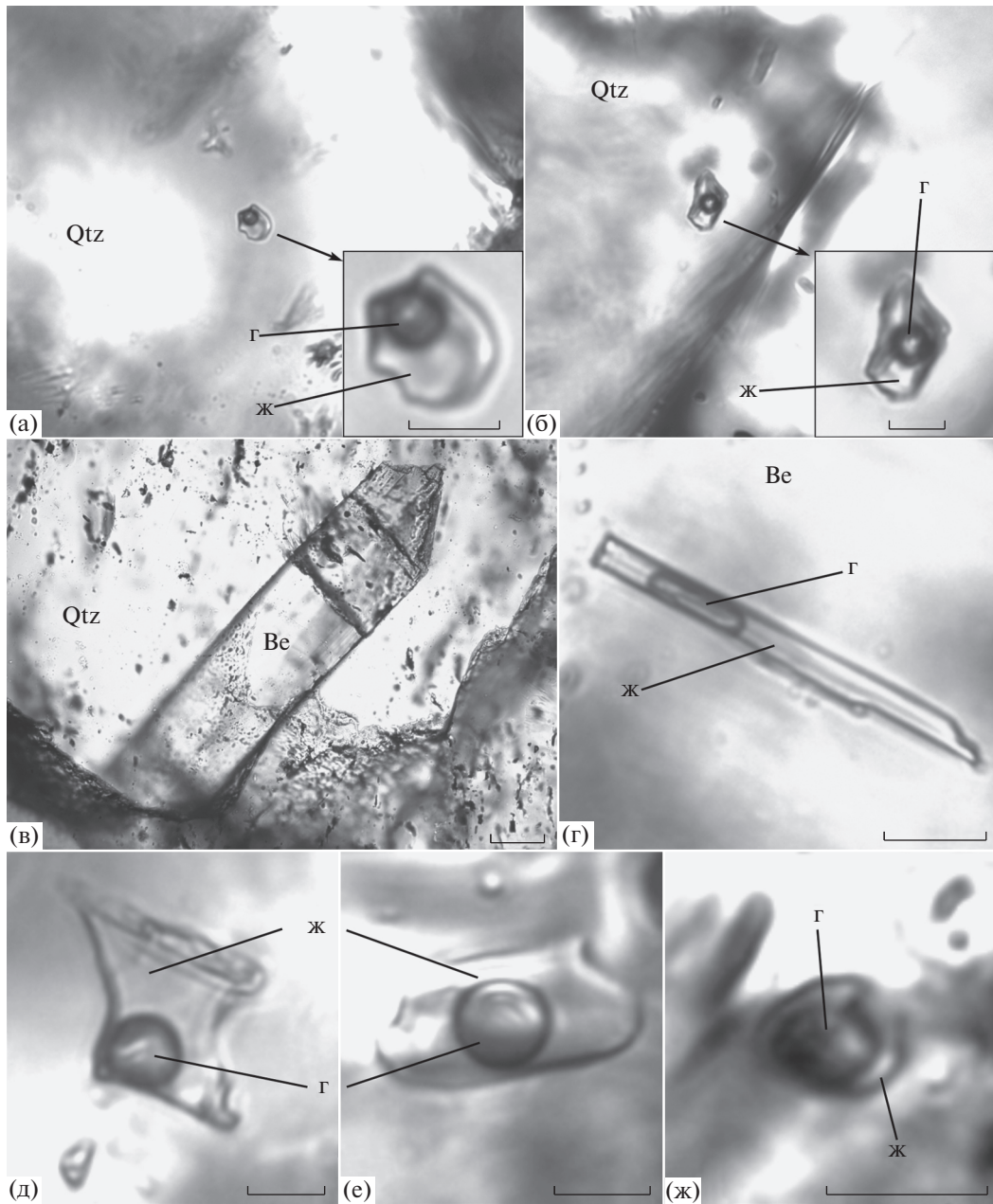
ные жилы прослежены на 80–150 м. Такие жилы сложены молочно-белым, светло-серым мелко-среднезернистым кварцем, содержащим пустоты со щетками горного хрусталя. Изученные нами кварц-молибденитовые прожилки имеют мощность от 0.5–1 до 8–10 см, границы с вмещающими породами ровные, резкие. Главный минерал в прожилках представлен серым кварцем (~30–80%), который является сквозным минералом, присутствующим как в виде идиоморфных округлых зерен, так и в виде агрегатов неправильной формы.

Берилл из прожилков, как правило, образует скопления кристаллов или одиночные идиоморфные кристаллы шестоватой формы, часто растущие от стенок, что свидетельствует об его отложении на более ранних этапах формирова-

ния прожилков. Кристаллы берилла характеризуются концентрически-зональным строением (фиг. 2а, б), скорее всего обусловленным значительным увеличением с центра к краевым частям содержания FeO (1.25–2.17 мас. %) и уменьшением Al₂O₃ (16.85–15.68 мас. %).

Кроме этого, в прожилках в незначительных количествах присутствуют зерна калиевого полевого шпата и чешуйки мусковита с содержанием F до 1.87–2.04 мас. %.

Главный рудный минерал – молибденит – имеет весьма неравномерное распределение и образует скопления мелкочешуйчатых агрегатов, нередко приуроченных к краевым участкам зерен кварца (фиг. 2в). Молибденит в зальбандах прожилков образует гнезда и прожилковидные скопления. Концентрация молибдена в кварцевых жилах и



Фиг. 3. Фотографии первичных флюидных включений в зернах кварца и берилла.

а, б — одиночные ФВ в зернах кварца на удалении от трещин и шлейфов вторичных ФВ; в — шестоватый кристалл берилла в зерне кварца; г — удлиненное ФВ в зерне берилла; д–ж — ФВ в зернах берилла. Сокращения: Г — газ, Ж — жидкость. Длина масштабной линейки — 10 мкм, на фиг. в — 50 мкм.

прожилках колеблется от 0.003 до 0.3 мас. %. Вблизи кварцевых жил (10–20 см) вмещающие породы грейзенизированы, в них молибденит присутствует в виде тонкой рассеянной вкрапленности.

Кроме молибденита в прожилках в незначительном количестве отмечаются рутил, монацит-(Ce), ксенотим, циркон, титанбетафит $((Ca,U)_2(Ti,Nb,Ta)_2(O,OH)_7)$ и гипергенные минералы: ярозит $(KFe_3^+[SO_4]_2[OH]_6)$, сванбергит

$(SrAl_3(SO_4)(PO_4)(OH)_6)$, каолинит (фиг. 3в, г). Рутил по составу не выдержан и содержит в качестве примесей (мас. %): Nb_2O_5 (1.89–12.29), FeO (1.64–6.42), WO_3 (1.93–3.16), SnO_2 (0.39–1.37), V_2O_5 (0.9–1.07).

Исследование индивидуальных флюидных включений (ФВ) выполнялось методами термометрии, криометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР-спектроскопии). Для определения температур общей гомогениза-

ции, температур эвтектики и плавления льда водных растворов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур от -196 до $+600^{\circ}\text{C}$. Стандартная аппаратная ошибка измерений составляет ± 0.1 в отрицательной и $\pm 5^{\circ}\text{C}$ в положительной области температур. Оценку содержания солей во включениях находили по температуре плавления льда, используя двухкомпонентную водно-солевую систему ($\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$) через эквивалент NaCl (Bodnar, Vityk, 1994). Преобладающая соль в водном растворе включений определялась по температуре эвтектики, характеризующей водно-солевую систему (Борисенко, 1977).

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 $4000-100\text{ см}^{-1}$. Источником возбуждения служил аргоновый лазер 514.5 нм с мощностью $1-50\text{ мВт}$. Калибровка прибора осуществлялась по Si-эталоноу (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.

Данные об условиях формирования и солевом составе рудоносных растворов молибденового оруденения были получены в результате изучения индивидуальных флюидных включений из кварца и берилла кварц-молибденитовых прожилков. В этих минералах найдены включения с наиболее пригодными размерами ($\geq 10\text{ мкм}$) для микротермометрических исследований. К категории первичных ФВ, согласно известным критериям (Реддер, 1987), отнесены ФВ, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста, на удалении от залеченных трещин и шлейфов вторичных ФВ. Всего было изучено около 50 включений. В данном сообщении представлены результаты по 32 первичным включениям.

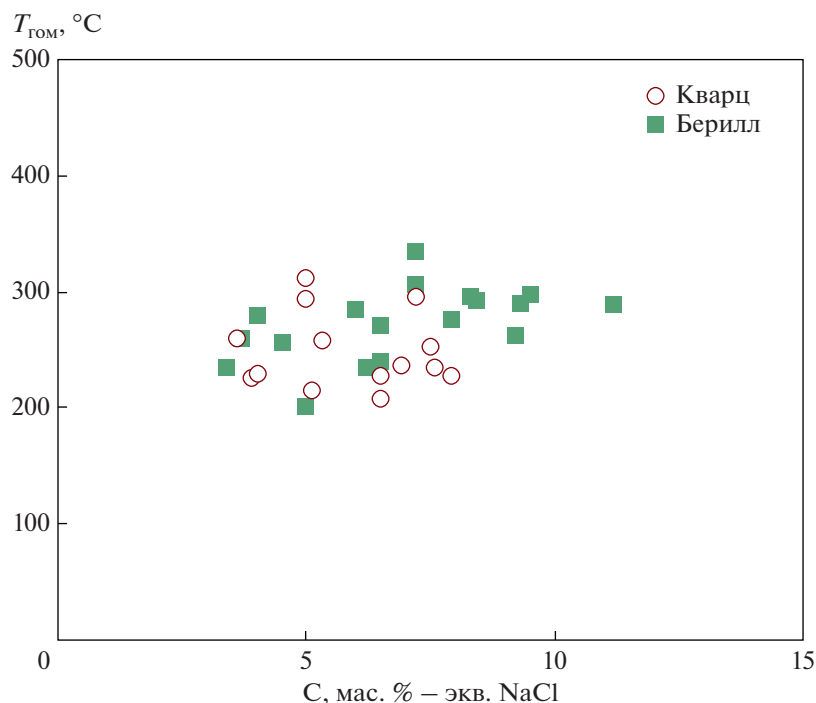
Участками в зернах кварца встречаются относительно редкие одиночные первичные двухфазовые ($\text{Ж} > \text{Г}$) ФВ (фиг. 3а, б) размером от 10 мкм , редко до $30-35\text{ мкм}$, которые имеют вытянутую или овальную форму. Изученные ФВ находятся на удалении от трещин и шлейфов с более мелкими вторичными включениями (фиг. 3а, б). Температуры гомогенизации этих ФВ находятся в интервале от 312 до 208°C . Температуры плавления льда менялись от -2.1 до -5°C , соответственно соленость варьировала в диапазоне 3.6 до $7.9\text{ мас. \% экв. NaCl}$. Температуры эвтектики соответствуют двум диапазонам $-23...-23.4$ и $-47...-49^{\circ}\text{C}$, эти значения наиболее близки солевым системам $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$.

В кристаллах берилла (фиг. 3в) нередко встречаются первичные ФВ, приуроченные к зонам роста минерала-хозяина. Крупные ФВ встречаются значительно чаще, чем в зернах кварца и варьируют от первых мкм до 70 мкм . Такие ФВ являются двухфазовыми ($\text{Ж} > \text{Г}$), имеют вытянутую форму (фиг. 3г), либо чаще близкую к таблитчатой (фиг. 3д, е). Кроме этого, в одном зерне берилла найдено одно мелкое ФВ ($\leq 7\text{ мкм}$) округлой формы с относительно крупной газовой фазой $\text{Г} > \text{Ж}$, температура гомогенизации этого ФВ 500°C , но поскольку подобные ФВ больше не найдены, оно отнесено к категории аномальных. Общий диапазон температур гомогенизации ФВ из берилла варьирует от 336 до 200°C . Температуры плавления льда менялись от -2 до -7.6°C , соответственно соленость — 3.4 до $11.2\text{ мас. \% экв. NaCl}$. Температуры эвтектики находятся в интервале $-47.5...-49.7^{\circ}\text{C}$, что более соответствует солевой системе $\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$.

На диаграмме температура–соленость, точки составов изученных включений из кварца и берилла образуют компактное поле, что свидетельствует о том, что отложение обоих минералов происходило из единого гидротермального флюида (фиг. 4). Хотя в некоторых ФВ из берилла общая соленость выше, чем в ФВ из кварца.

По данным КР-спектроскопии индивидуальных ФВ из кварца и берилла прожилков установлено, что во всех проанализированных включениях присутствует CO_2 , тогда как визуально и методом криометрии жидкая CO_2 не обнаружена. Присутствие углекислоты во включениях значительно снижает влияние давления на температуру гомогенизации (Реддер, 1987) и позволяет считать, что измеренные температуры близко соответствуют условиям минералообразования.

Таким образом, руды Тамирского проявления сформировались из относительно слабосоленых ($\sim 3.4-11.2\text{ мас. \% экв. NaCl}$) CO_2 -содержащих растворов, при понижении температуры в диапазоне от 336 до 215°C , основными солевыми компонентами рудообразующих растворов были хлориды Са и в меньшей степени Na, К и Mg. Необходимо отметить, что по геологическому положению, минеральному составу рудных прожилков, солевому составу растворов и температуре формирования Тамирское рудопроявление может быть сопоставлено с крупнейшим в регионе Первомайским месторождением молибдена (Damdinova et al., 2019). Это подтверждает перспективность проведения дальнейших геологоразведочных работ на данном объекте с целью перевода его в разряд месторождения. Возможно, что изученные относительно короткие и маломощные, пологопадающие жилы и прожилки являются апофизами крупных крутопадающих жил, содержащих более масштабную молибденовую минерализацию.



Фиг. 4. Диаграмма температура–соленость для ФВ из руд Тамирского проявления. $T_{\text{гом}}$ – температура гомогенизации ФВ, C – общая соленость флюида.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-030002 р_а 2018) и в рамках государственного задания ГИН СО РАН (проекты ГИН СО РАН № гос. рег. АААА-А21-121011390003-9, № ААА-А21-121011890029-4). Работы выполнены с использованием оборудования ЦКП “Геоспектр” ГИН СО РАН (Улан-Удэ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Батурина Е.Е., Рунн Г.С.* Молибденовые и вольфрамовые месторождения Западного Забайкалья (основные черты металлогении и геохимии). М.: Наука, 1984. 152 с.
- Борисенко А.С.* Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
- Гордиенко И.В., Бадмацыренова Р.А., Ланцева В.С., Елбаев А.Л.* Селенгинский рудный район Западного Забайкалья: структурно-минерагеническое районирование, генетические типы месторождений и геодинамические условия их образования // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 5. С. 3-36.
- Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. Т. 1. 560 с. Т. 2. 632 с.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications / eds. B. De Vivo, M.L. Frezzotti. Blacksburg: Virginia Tech, 1994. P. 117–130.
- Damdinova L.B., Damdinov B.B., Huang X.-W., Bryansky N.V., Khubanov V. B., Yudin D. S.* Age, conditions of formation, and fluid composition of the Pervomaiskoe molybdenum deposit (Dzhidinskoe ore field, South-Western Transbaikalia, Russia) // Minerals. 2019. Vol. 9. 572. <https://doi.org/10.3390/min9100572>