

Возраст вмещающих гранитов, минеральный состав и условия формирования молибденит-кварцевого оруденения Жарчихинского месторождения (Западное Забайкалье)

Дамдинова Л. Б.¹, Дамдинов Б. Б.², Хубанов В. Б.³, Бадмажапов Б. Б.¹,
Мунконов Э. Ч.-Д.¹

¹ ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия; ² ЦНИГРИ, г. Москва, Россия; ³ ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются результаты исследования минерального состава главной продуктивной молибденит-кварцевой ассоциации Жарчихинского молибденового месторождения, а также приводятся новые данные о времени кристаллизации гранитов, вмещающих рудную минерализацию. Получены две U-Pb изотопные датировки (LA-ICP-MS метод) цирконов из брекчированных и массивных гранитов: 282 ± 3 и 281 ± 3 млн лет. Главным рудным минералом является молибденит, в гипергенных условиях образуются вторичные минералы молибдена – вульфенит, повеллит, ферримолибдит. Установлено, что руды рассматриваемого месторождения характеризуются отсутствием вольфрамовых минералов и наличием непромышленной бериллиевой, полисульфидной и алюмофторидной минерализации. По данным изучения флюидных включений в кварце и флюорите установлены значения температур гомогенизации в интервале 245–402 °С. С учётом данных по давлению, составляющим 1255–1372 бар, интервал расчётных температур захвата ФВ – 538–554 °С. Рудообразующие растворы имели относительно низкую солёность, порядка 5,7–11,7 мас. % экв. NaCl, основные солевые компоненты представлены хлоридами железа и магния.

Ключевые слова: Западное Забайкалье, Жарчихинское месторождение, U-Pb датирование, цирконы, молибденовые руды, штокверк, флюидные включения.

Для цитирования: Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б., Хубанов В. Б., Бадмажапов Б. Б., Мунконов Э. Ч.-Д. Возраст вмещающих гранитов, минеральный состав и условия формирования молибденит-кварцевого оруденения Жарчихинского месторождения (Западное Забайкалье). Руды и металлы. 2025. № 4. С. 33–52. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10011.

Age of the host granites, mineral composition, and formation conditions of quartz-molybdenite mineralization at the Zharchikhinskoye deposit (Western Transbaikalia)

Damdinova L. B.¹, Damdinov B. B.², Khubanov V. B.³, Badmazhapov B. B.¹, Munkonov E. Ch.-D.¹

¹ Dobrešov Geological Institute of the SB RAS, Ulan-Ude, Russia;

² Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia;

³ Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow, Russia

Abstract. This article considers the results of a study of the mineral composition of the main productive molybdenite-quartz association of the Zharchikhinskoye molybdenum deposit and presents new data on the crystallization time of the granites hosting the ore mineralization. Two U-Pb isotope dates (LA-ICP-MS method) were obtained for zircons from the brecciated and massive granites: 282 ± 3 Ma and 281 ± 3 Ma. The main ore mineral is molybdenite; secondary molybdenum minerals wulfenite, powellite, and ferrimolybdenite form under supergene conditions. It was established that the ores of the deposit are characterized by the absence of tungsten minerals and the presence of non-commercial beryllium, polysulfide, and aluminum fluoride mineralization. Based on the study of fluid inclusions in quartz and fluorite, homogenization temperatures were established in the range from 245 to 402 °C. Taking into account the pressure data of 1255–1372 bar, the range of calculated temperatures for the FI capture is 538–554 °C. The ore-forming solutions had relatively low salinity, on the order of ~5.7–11.7 wt. % NaCl equiv. The main salt components are represented by iron and magnesium chlorides.

Keywords: Western Transbaikalia, Zharchikhinskoye deposit, U-Pb dating, zircons, molybdenum ores, stockwork, fluid inclusions.

For citation: Damdinova L. B., Damdinov B. B., Khubanov V. B., Badmazhapov B. B., Munkonov E. Ch.-D. Age of the host granites, mineral composition and formation conditions of quartz-molybdenite mineralization at the Zharchikhinskoye deposit (Western Transbaikalia). Ores and metals. 2025. No. 4. pp. 33–52. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10011.



Введение

Западное Забайкалье, территорию которого в административном плане занимает Республика Бурятия, отличается ярко выраженной молибденовой специализацией: известны десятки месторождений и более ста проявлений молибдена и вольфрама различного генезиса и формационной принадлежности. Эти месторождения сформировались в позднепротерозойскую, палеозойскую и мезозойскую эпохи и неравномерно распределены на изучаемой площади. Всего на территории Республики Бурятия сосредоточено 26,89 % общероссийских балансовых запасов молибдена [7]. Промышленные месторождения и проявления этого элемента приурочены к областям распространения гранитоидного магматизма. Оруденение представлено главным образом гидротермальными месторождениями, а также мелкими и непромышленными объектами грейзенового и скарнового типов. В пределах республики разведано три крупных по запасам молибденовых месторождения штокверкового типа Первомайское (Джидинское рудное поле), Орехитканское и Мало-Ойногорское, а также среднее по запасам Жарчихинское месторождение.

Молибденовая специализация региона характеризуется также многообразием его формационных типов. Кроме молибденовой формации, на этой территории Бурятии известны объекты молибденит-шеелитовой (Малый Ойногор), молибденит-вольфрамитовой (Джидинский РУ (Первомайское, Инкурское, Холтосонское); Булуктаевское), грейзеновой (Гуджертуйское, Грейзеновое, Семёновское, Талинское, Мохейское, Хасуртинское, Гонгота) и скарновой (Чемуртайское, Верхне-Улетуйское, Верхнеундинское, Холунукатское) формаций. Кроме этого, молибденит в числе сопутствующих минералов отмечается на фтор-бериллиевых месторождениях (Ермаковское, Ауникское, Оротское), нередко образует вкрапленность и скопления в гранитных пегматитах (рудопроявления Барун-Хаил, Онохой-Шибирь), а также эпимагматическую вкрапленность в лейкократовых гранитах и аплитах (рудопроявления Зун-Гольское, Урт-Улентуйское).

Изучением молибденовых и молибден-вольфрамовых месторождений региона занималась большая группа исследователей. В основном работы были посвящены исследованиям геологического строения, структурных особенностей месторождения и вещественного состава руд. Результаты изучения месторождений Жарчихинское, Малый Ойногор, Орехиткан и Джидинского рудного поля приведены в различных публикациях [8, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 22, 23 и др.].

На некоторых наиболее крупных месторождениях проведён небольшой объём термобарогеохимических исследований [11, 16, 20]. Были определены температурные интервалы формирования грейзенов, ассоциаций молибденового и вольфрамового этапов, состав флюидных включений. Главные черты металлогении и геохимии молибденовых и вольфрамовых месторождений региона обобщены в монографической работе [1]. Однако в числе характеристик месторождений, мало затронутых детальными исследованиями, остались оценка источников вещества и флюидов, минералогия руд, физико-химические параметры минералообразования и продуктивности рудообразующих гидротермальных флюидов.

Одним из перспективных объектов минерально-сырьевой базы молибдена Республики Бурятия является среднее по запасам Жарчихинское молибденовое месторождение, имеющее выгодное географическое положение [6]. Административно оно расположено в Тарбагатайском районе Республики Бурятия в 40 км от г. Улан-Удэ, вблизи железной дороги и в 2,5 км от судоходной реки Селенги и автомагистрали Улан-Удэ – Чита.

Жарчихинское месторождение молибдена было открыто в 1978 г. в процессе геологической съёмки масштаба 1 : 50 000. Месторождение входит в состав Куналейского рудного узла Селенгино-Витимской структурно-минералогической зоны [6]. Помимо Жарчихинского месторождения в пределах рудного узла известно ещё несколько рудопроявлений молибдена (Колобковское, Куналейское, Хардебанское, Надеинское, Право-Куйтунское и др.),



которые свидетельствуют о возможных перспективах расширения минерально-сырьевой базы молибдена в регионе.

Предшественниками [5, 15] были установлены особенности геологического строения месторождения, определены основные минеральные парагенезисы и последовательность их формирования. В то же время сведения о времени формирования, минеральном составе наиболее продуктивных молибденит-кварцевых руд и физико-химических условиях их формирования в открытой печати практически отсутствуют.

В данной работе рассматриваются результаты исследования и уточнения минерального состава главной продуктивной молибденит-кварцевой ассоциации, а также сведения о физико-химических условиях рудообразования, полученные по данным изучения флюидных включений в жильном кварце.

Методы исследований

Петрографические и минераграфические исследования проводились с использованием рудно-петрографических микроскопов марок Olympus BX-51 и «Полар-3». Большинство аналитических исследований выполнены в ЦКП «Геоспектр» (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ). Химический состав минералов определялся Е. В. Ходыревой, Е. А. Хромовой и С. В. Канакиным методом рентгеноспектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430VP с энерго-дисперсионным спектрометром INCA Energy 350. Химический состав пород и руд исследован методом РФА; аналитики Б. Ж. Жалсараев, С. В. Бартанова.

U-Pb изотопный анализ циркона выполнен методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединённом с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research). Инструментальные параметры приборов и методика измерений и расчёта описаны в [4, 24].

Исследование индивидуальных флюидных включений (ФВ) в кварце выполнялось методами термометрии, криометрии и спектроско-

пии комбинационного рассеяния света (КР-спектроскопии). Для определения температур общей гомогенизации, температур эвтектики и плавления льда водных растворов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур от -196 до +600 °С (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ). Стандартная аппаратная ошибка измерений составляет $\pm 0,1$ °С в отрицательной и ± 5 °С в положительной области температур. Оценку содержания солей во включениях находили по температуре плавления льда с использованием двухкомпонентной водно-солевой системы (NaCl-H₂O) через эквивалент NaCl [25]. Преобладающая соль в водном растворе включений определялась по температуре эвтектики, характеризующей водно-солевую систему [3].

Состав газовой фазы индивидуальных ФВ определён на рамановском спектрометре Noriba LabRam HR800 в РЦ «Геомодель» (аналитик В. Н. Бочаров, НП СПбГУ, г. Санкт-Петербург) 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-эталоноу (520,7 см⁻¹). Использовалась дифракционная решётка 1800 ш/мм, диаметр конфокального отверстия 300 мкм. Время накопления данных от 2 до 10 секунд с количеством повторов от 2 до 15. Часть включений была проанализирована в ЦКП «Геодинамика и геохронология» (ИЗК СО РАН, г. Иркутск) на конфокальном рамановском спектрометре WITec alpha300R (WITec GmbH, Германия).

Геологическое строение месторождения

Информация по геологическому строению и вещественному составу руд Жарчихинского месторождения приведена в небольшом числе публикаций [1, 15, 21 и др.]. В них представлены, помимо данных о геологическом строении, сведения о последовательности формирования и составе минеральных парагенезисов.

Участок месторождения занимает небольшую площадь около 0,2 км² (~ 650 × 300 м),

расположенную на водоразделе падей Жарчиха и Егорова в районе высоты с отметкой 962,0 м (рис. 1).

Рудное поле Жарчихинского месторождения на 90 % сложено гранитоидами (гранитами, сиенитами и граносиенитами), отнесёнными к бичурскому и куналейскому интрузивным комплексам [12, 15]. Гранитоиды прорваны дайками гранит-порфиров.

Породы бичурского комплекса представлены крупно- и среднезернистыми биотит-амфиболовыми кварцевыми сиенитами (ранняя фаза), средне- и мелкозернистыми двуполовошпатовыми лейкократовыми гранитами (поздняя фаза). Кварцевые сиениты отмечаются в центральной части рудного поля; граниты слагают его северную и северо-восточную часть. В гранитоидах встречаются ксенолиты ороговикованных диоритов, микродиоритов, гибридных сиенито-диоритов. Граниты характеризуются неравномернозернистой, реже порфировидной структурами, где порфировые вкрапленники сложены кварцем. Кроме кварца в породах присутствуют вытянутые или таблитчатые зёрна калиевого полевого шпата или калишпат-пертита, иногда с оторочками плагиоклаза. Участками отмечаются чешуйки биотита. Акцессорные минералы представлены цирконом, рутилом, монацитом и апатитом, рудные минералы – магнетитом, пиритом, сфалеритом.

Около 50 % объёма пород в пределах рудного поля занимают субщелочные сиениты куналейского комплекса, представленные среднезернистыми порфировидными биотит-амфиболовыми разностями. Они распространены на северо-западе, западе и юго-западе описываемой площади, а также на флангах месторождения в виде апофиз среди гранитоидов бичурского комплекса. Сиениты также содержат ксенолиты диоритов, микродиоритов, гибридных сиенит-диоритов джидинского комплекса. Эти ксенолиты, как правило, ороговиканы.

Сиениты и граносиениты представляют собой среднезернистые порфировидные биотит-амфиболовые разновидности. От гранитов они отличаются пониженным содержанием кварца и резким преобладанием калиевого

полевого шпата над плагиоклазом. Также в породах присутствуют такие минералы, как флюорит, сфен, рутил, циркон. Структура пород преимущественно гипидиоморфнозернистая, участками графическая. Нередко к краевым участкам зёрен кварца приурочены чешуйки рудного молибденита с размерами до 0,05–0,3 мм.

Монзониты и монцодиориты встречаются в виде останцов и ксенолитов среди гранитоидов и в обломках брекчий. Микроструктура пород гипидиоморфнозернистая, монзонитовая. Породы изменённые, состоят из агрегата призматических зёрен плагиоклаза с оторочкой калишпат-пертита, ксеноморфных зёрен калишпат-пертита, мелких зёрен и скопления зёрен темноцветных минералов в интерстициях. Темноцветные минералы в шлифе представлены мелкими зёрнами зелёного амфибола, чешуйками интенсивно хлоритизированного бурого биотита, изометричными и идиоморфными зёрнами чёрного рудного минерала, призмочками и изометричными зёрнами сфена. Участками в интерстициях зёрен в ассоциации с рудными минералами отмечаются выделения флюорита ксеноморфного облика.

Жарчихинская рудно-эксплозивная структура представлена трубообразным телом эруптивных брекчий (рис. 1). Это тело расположено в центральной части рудного поля и представляет собой концентрически-зональную постройку, выполненную полимиктовыми и мономиктовыми брекчиями, вмещающими кольцевые и конические дайки сиенитов, гранит-порфиров, структурно связанные с брекчиевым сооружением. Выход брекчиевых пород на поверхность (около 500 × 300 м) имеет в плане вытянутую эллипсоидную форму (рис. 1). Часть даек выполняют кольцевые трещины, обрамляющие трубообразное тело.

Жарчихинское молибденовое месторождение относится к штокверковому типу и связано с трубообразным телом эруптивных брекчий. Становление этого тела происходило в три этапа:

1) эксплозивные, существенно мономиктовые брекчии по граносиенитам и сиенитам калишпатизированным;

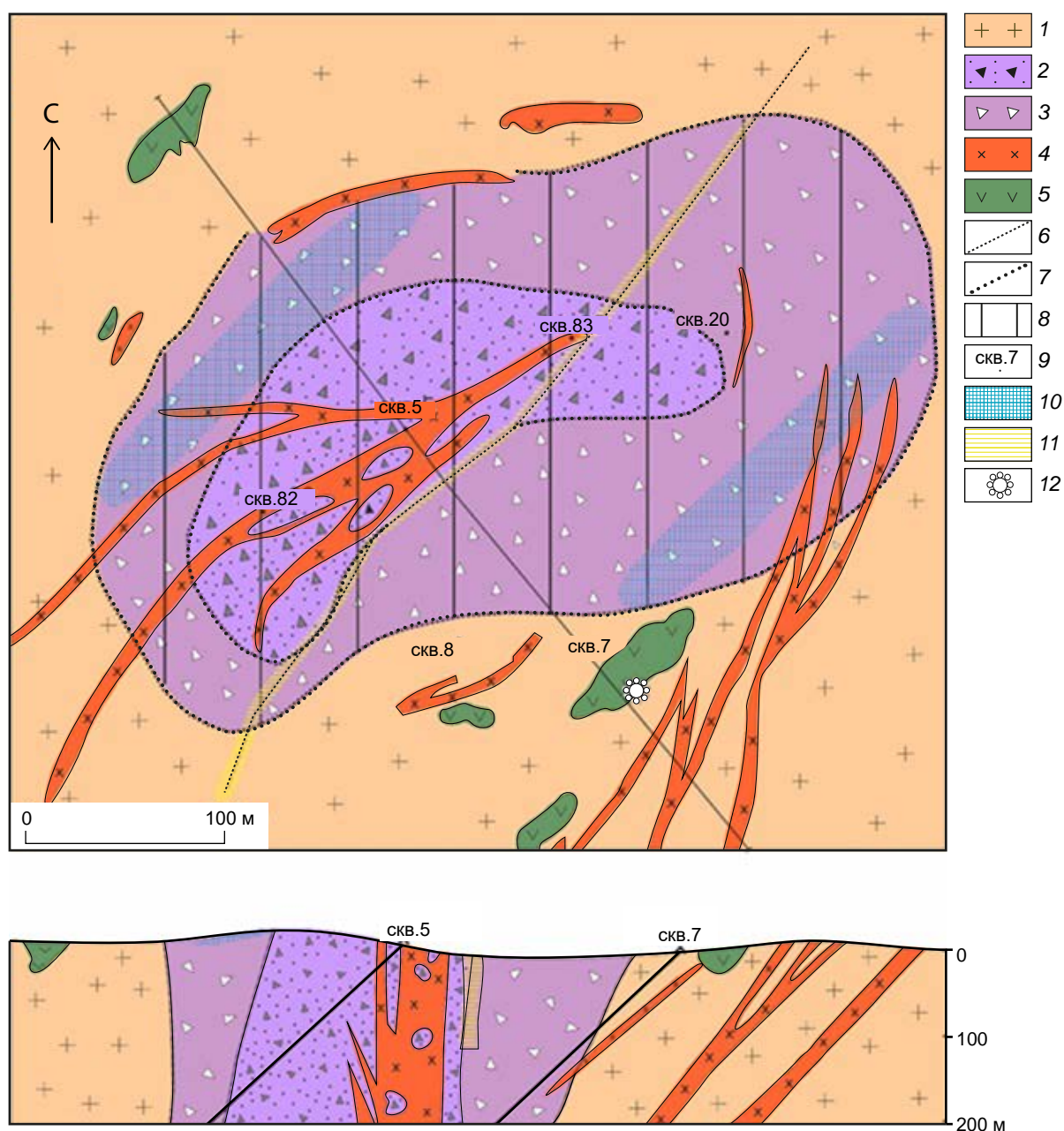


Рис. 1. Схема геологического строения и разрез Жарчихинского месторождения по [5]:

1 – гранитоиды; 2 – внутренняя зона брекчий (граниты, сиениты, микродиориты, трахиты); 3 – внешняя зона брекчий (граниты, сиениты); 4 – дайки гранитов; 5 – ксенолиты монзонитов и диоритов; 6 – линия тектонического нарушения; 7 – границы распространения брекчий; 8 – поле распространения молибденовой минерализации; 9 – номера скважин; 10 – зоны распространения фтор-бериллиевой минерализации; 11 – зона распространения алюмофторидной минерализации, 12 – проявление карбонатитов

Fig. 1. Schematic geological map and cross-section of the Zharchikhinskoye deposit [5]:

1 – granitoids; 2 – inner zone of breccias (granites, sienites, microdiorites, trachytes); 3 – outer zone of breccias (granites, sienites); 4 – granite dikes; 5 – monzonite and diorites xenoliths; 6 – tectonic fault line; 7 – breccias borders; 8 – area of the molybdenum mineralization; 9 – drill-holes numbers; 10 – zones of the fluorine-beryllium mineralization; 11 – zone of the aluminum-fluoride mineralization; 12 – carbonatite occurrence

2) периферические брекчии по боковым породам, дайки трахириолитов, трахитов, микросиенитов;

3) эруптивные, существенно полимиктовые брекчии по гранитам, кварцевым сиенитам, альбитизированным сиенитам [6].

Месторождение представляет собой штокверк столбообразной формы, оконтуренный по бортовому содержанию 0,02 % Мо. Молибденовое оруденение практически совпадает с телом брекчий (рис. 2). Минерализованные брекчии, дайки и небольшая (шириной от 5 до 20 м) экзоконтактовая полоса гидротермально-изменённых вмещающих пород, содержащих прожилково-вкрапленную кварц-молибденитовую минерализацию, образуют контур промышленных молибденовых руд.

Рудные минералы слагают рассеянную вкрапленность, агрегатные скопления в интенсивно дроблёных породах и прожилки молибденитового, молибденит-кварцевого и кварц-сульфидного составов, которые образуют рудный штокверк (рис. 2, а, б, с). Общай минеральный состав молибденит-кварцевых руд Жарчихинского месторождения представлен в таблице 1.

Для U-Pb изотопного LA-ICP-MS датирования были опробованы брекчированные граниты (проба ЗН-01-15) из обнажения, показанного на рис. 2-а, а также массивные среднезернистые граниты (ЗН-01-2-15), отобранные в нескольких десятках метров севернее данной точки. Значительное количество цирконов из этих проб имеют U-Pb изотопный состав с дискордантным положением относительно конкордии (рис. 3, табл. 2), что предполагает наличие нерадиогенного свинца в их изотопной системе. Поэтому оценка возраста проводилась методом пересечения средней линии, образуемой точками изотопного состава цирконов, с конкордией.

Кроме того, для каждой пробы был рассчитан средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на нерадиогенный свинец с помощью ^{207}Pb -поправки с использованием изотопного состава нерадиогенного свинца по модели Стейси-Крамерса [28]. При этом сред-

невзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст с ^{207}Pb -коррекцией для цирконов фанерозойского возраста представляется наиболее точным [4]. Для пробы ЗН-01-15 брекчированного гранита по 24 определениям возраст оценён в 282 ± 3 млн лет; для пробы ЗН-01-2-15 среднезернистого гранита по 26 точкам – 281 ± 3 млн лет.

Кроме главного штокверка на месторождении установлена линейная зона флюорит-кварц-полевошпатовых прожилков с бериллийсодержащими минералами, которые в небольшом количестве встречаются в гранитах и сиенитах периферических частей месторождения, а также в центральной брекчии (рис. 1). Эти прожилки имеют неровные границы со вмещающими породами, характеризуются малой мощностью (до 1,5–2 см). Нередко они слагают цемент в участках раздробленных пород. Иногда в прожилках отмечается редкая вкрапленность пирита и мусковита. Полевые шпаты представлены микроклином и альбитом. Последний развивается по калиевому полевошпату, иногда полностью замещая его. Среди бериллиевых минералов установлены берtrandит и фенакит. Первый в основном отмечается в ассоциации с агрегатами флюорита и калиевого полевого шпата, второй преимущественно тяготеет к существенно кварцевым и флюорит-кварцевым выделениям. Установлено, что формирование таких флюорит-кварц-полевошпатовых прожилков происходило при температурах, достигавших 450–490 °С [14].

Молибденовая минерализация

На месторождении наиболее широко распространено вкрапленное оруденение. Оно представлено очень мелким (дисперсным) молибденитом, приуроченным преимущественно к цементу взрывчатой брекчии, которая за счёт этого имеет выраженную серую окраску. Такой молибденит макроскопически практически невидим. Кроме этого, молибденит в рудах присутствует в составе молибденит-кварцевых и «сухих» молибденитовых прожилков, где образует мелкие чешуйки или

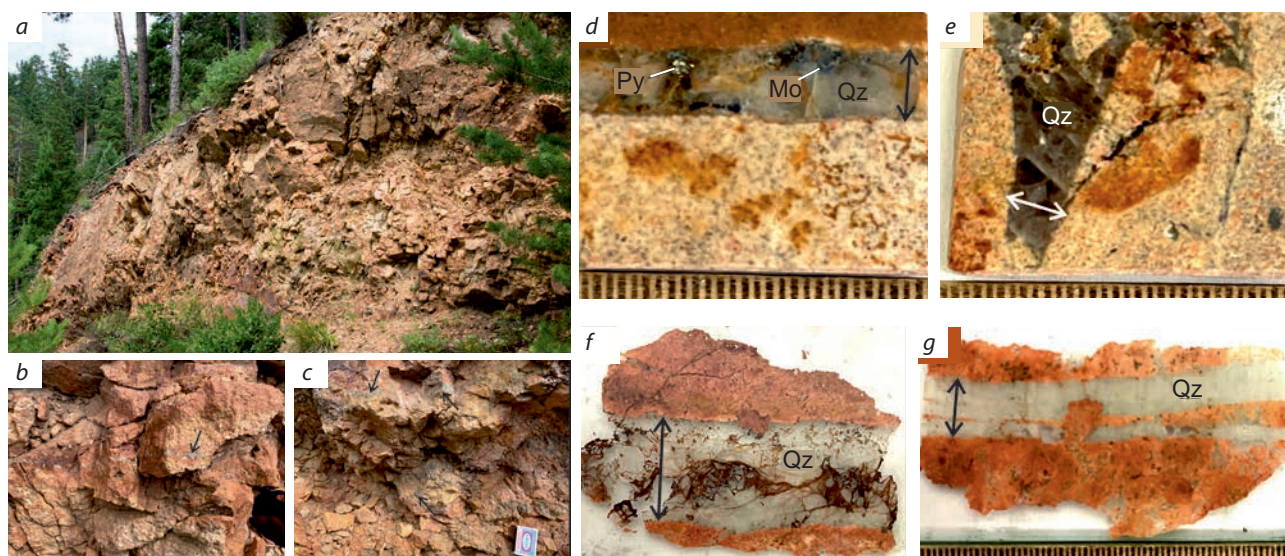


Рис. 2. Молибденит-кварцевые прожилки Жарчихинского месторождения:

a – фото обнажения, вскрывающего штокверк кварц-молибденитовых прожилков; *b, c* – сеть маломощных кварц-молибденитовых прожилков в брекчированных гранитоидах; *d, e* – фотографии аншлифов кварцевых прожилков с гнездами рудных минералов; *f, g* – фотографии полированных пластин кварц-молибденитовых прожилков: *f* – кварцевый прожилок с множеством микротрещин и зонами интенсивной лимонитизации. Стрелками показаны прожилки (*b, c*) и мощность прожилков (*d–g*). Qz – кварц, Mo – молибденит, Py – пирит

Fig. 2. Molybdenite-quartz veinlets at the Zharchikhinskoye deposit:

a – photo of an outcrop exposing a stockwork of quartz-molybdenite veinlets; *b, c* – network of thin quartz-molybdenite veinlets in brecciated granitoids; *d, e* – microphotographs of polished sections of quartz veinlets with nests of sulfide minerals; *f, g* – photographs of polished plates of quartz-molybdenite veinlets; *f* – quartz veinlet with numerous microcracks and zones of intense limonitization. Arrows indicate veinlets (*b, c*) and veinlet thicknesses (*d–g*). Abbreviations: Qz – quartz, Mo – molybdenite, Py – pyrite

Табл. 1. Общий минеральный состав рудных прожилков

Table 1. General mineral composition of ore-forming veinlets

Главные	Второстепенные	Редкие	Гипергенные
кварц	пирит	рутил	ферримолибдит $Fe_2(MoO_4)_3 \cdot nH_2O$
молибденит	сфалерит	циркон	вulfенит $PbMoO_4$
микроклин	халькопирит	ксенотим	повеллит $Ca[MoO_4]$
	пирротин	монацит	лимонит
	магнетит	фенакит Be_2SiO_4	гётит
	ильменит	флоренсит $CeAl_3(PO_4)_2(OH)_6$	англезит $PbSO_4$
	анатаз	барит	церуссит $PbCO_3$
	флюорит	каолинит	гидроокислы марганца
	альбит	хлорит	
	сидерит	алюмофториды	
	кальцит		
	мусковит		

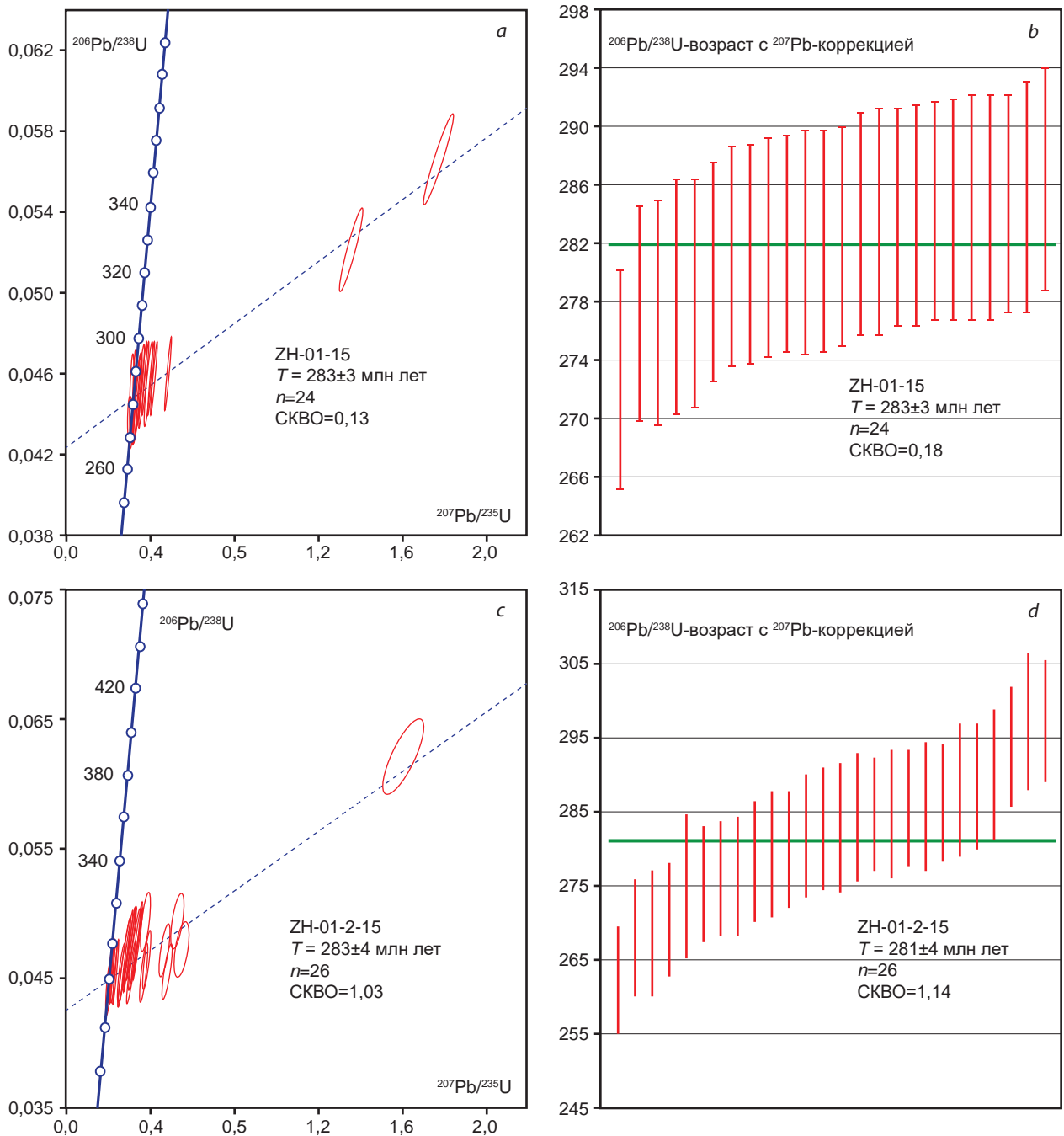


Рис. 3. Результаты U-Pb датирования цирконов:

a – диаграмма с конкордией по обр. ZH-01-15; *b* – средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на нерадиоогенный свинец, по обр. ZH-01-15; *c* – диаграмма с конкордией по обр. ZH-01-2-15; *d* – средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на нерадиоогенный свинец, по обр. ZH-01-2-15

Fig. 3. Results of U-Pb dating of zircons:

a – concordia diagram for sample Zh-01-15; *b* – weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age corrected for non-radiogenic lead for sample $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; *c* – concordia diagram for sample Zh-01-2-15; *d* – weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age corrected for non-radiogenic lead for sample Zh-01-2-15



их скопления. Также на месторождении отмечается вкрапленность пирита, флюорита, анатаза, в более редких случаях сфалерита, галенита и магнетита.

Молибденит-кварцевые прожилки имеют основное практическое значение и наиболее распространены на месторождении. Мощность таких прожилков варьирует от первых миллиметров до ~ 1–2 см (рис. 2, *b–g*), в среднем около 5 мм. Контакты прожилков с вмещающими породами отчётливые, чаще неровные, в некоторых участках в прожилках отмечаются ксенолиты вмещающих пород.

Основной жильный минерал – кварц, содержание его в прожилках – до 90 %. Зёрна кварца образуют сплошные скопления, окраска меняется от молочной до тёмно-серой. Помимо кварца среди жильных минералов присутствует калиевый полевой шпат (до 5–10 %), который находится в тесном сростании с зёрнами кварца (рис. 4, *a, c, g*), кроме него идентифицированы относительно редкие агрегаты барита (рис. 4, *f*), альбита (рис. 4, *g*), флюорита (рис. 4, *f, h*) и мусковита.

Барит в прожилках и околопрожилковых оторочках слагает небольшие агрегаты (рис. 4, *f*) или скопления либо встречается в виде маломощных прожилков. Он относится к числу поздних минералов. Участками барит характеризуется зональным строением, относительно однородным составом, невысоким содержанием стронция и свинца (до 2 мас. %). Зональность в барите обусловлена присутствием тонкой вкрапленности глинистых минералов. Кроме этого, в некоторых рудных прожилках были также идентифицированы арфведсонит, топаз и кальцит.

Главный рудный минерал месторождения – молибденит, он сохранился только в образцах из керна. В прожилках, отобранных нами из коренных обнажений, из минералов молибдена встречаются вульфенит ($PbMoO_4$), ферримолибдит ($Fe_2(MoO_4)_3 \cdot nH_2O$) и редко повеллит ($Ca[MoO_4]$) – продукты зоны окисления, которые, по всей видимости, сформировались по молибдениту.

Молибденит представлен тонкодисперсными агрегатами с размером чешуек менее

0,01–0,05 мм. В прожилках молибденит характеризуется весьма неравномерным распределением, встречается в виде мелких одиночных чешуек либо в виде гнездовидных или пучковидных скоплений (рис. 4, *a*), а также просечек. Доминирующая часть агрегатов молибденита находится в тесной ассоциации с кварцем и приурочена к интерстициям и микротрещинкам (рис. 4, *a, f*), образуя относительно обогащённые участки мощностью от первых миллиметров 0,3–0,5 см.

Чаще всего скопления мелкочешуйчатого молибденита приурочены к зальбандам прожилков (рис. 2, *d*), что свидетельствует об его отложении на более ранних этапах формирования прожилков. Из рудных минералов в сростках с молибденитом иногда встречается пирит.

В некоторых прожилках из образцов, отобранных из коренных обнажений штоковерка, основной минерал молибдена представлен вульфенитом (рис. 4, *d*), который слагает скопления относительно мелких (до 1–2 мм) агрегатов неправильной формы или заполняет микротрещины (рис. 4, *e*). Вульфенит, по всей видимости, образовался по агрегатам молибденита.

В качестве второстепенных минералов в зальбандах прожилков и в околопрожилковых оторочках нами были идентифицированы пирит (рис. 2, *d*; рис. 4, *b*), галенит, сфалерит, фенакит (рис. 4, *g*), флоренсит (рис. 4, *c*), единичные зёрна халькопирита, пирротина и магнетита.

Среди аксессуарных минералов в прожилках и околопрожилковых оторочках доминирующим является рутил (рис. 4, *a, f*), в меньшей степени присутствуют зёрна циркона (рис. 4, *c*), монацита (рис. 4, *g*) и ксенотима (рис. 4, *c*).

В околопрожилковых диффузионно-метасоматических оторочках, кроме вышеперечисленных минералов, появляются редкие ильменит, хлорит.

Вторичные минералы представлены сидеритом (рис. 4, *b*), каолинитом и хлоритом, гипергенные – ферримолибдитом, вульфенитом, повеллитом, англезитом, церусситом.

Табл. 2. Результаты U-Pb изотопного LA-ICP-MS датирования брекчированных и массивных среднезернистых гранитов Жарчихинского месторождения

Table 2. Results of U-Pb isotope LA-ICP-MS dating of brecciated and massive medium-grained granites of the Zharchikhinskoye deposit

№	Th/U	Отношение				RHO	Возраст								
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
ZH-01-15, брекчированный гранит															
1	0,63	0,00522	1,36098	0,03835	0,05211	0,00139	0,94663	2739	45	328	9	872	16	273	7
2	0,21	0,05191	0,00145	0,32172	0,00923	0,04500	0,92175	281	62	284	7	283	7	284	7
3	2,32	0,05727	0,00185	0,35526	0,01159	0,04504	0,83028	502	70	284	8	309	9	282	8
4	0,25	0,05716	0,00155	0,35976	0,01006	0,04570	0,94686	497	59	288	7	312	8	286	7
5	1,43	0,05161	0,00155	0,31818	0,00975	0,04477	0,87471	268	67	282	7	281	8	282	7
6	1,94	0,05329	0,00190	0,32314	0,01154	0,04403	0,76952	341	79	278	7	284	9	277	8
7	1,57	0,04987	0,00185	0,30889	0,01146	0,04498	0,74306	189	84	284	8	273	9	284	8
8	1,54	0,05287	0,00156	0,32032	0,00965	0,04399	0,88285	323	66	278	7	282	7	277	7
9	1,06	0,05896	0,00168	0,36575	0,01070	0,04504	0,91072	565	61	284	7	317	8	282	7
10	1,94	0,05295	0,00193	0,32825	0,01199	0,04501	0,75422	327	81	284	8	288	9	283	8
11	0,49	0,05253	0,00146	0,32374	0,00925	0,04475	0,93070	308	62	282	7	285	7	282	7
12	0,81	0,05895	0,00166	0,36989	0,01068	0,04556	0,91982	565	60	287	7	320	8	285	7
13	1,08	0,06446	0,00203	0,40529	0,01290	0,04565	0,84653	757	65	288	8	346	9	283	8
14	0,21	0,05228	0,00142	0,32462	0,00911	0,04509	0,94042	298	61	284	7	286	7	284	7
15	0,44	0,05567	0,00206	0,34831	0,01287	0,04543	0,75061	439	80	286	8	303	10	285	8
16	0,72	0,06376	0,00186	0,39746	0,01187	0,04526	0,89519	734	61	285	7	340	9	281	7
17	0,92	0,06159	0,00196	0,38738	0,01246	0,04566	0,84432	660	67	288	8	333	9	284	8
18	0,41	0,06512	0,00184	0,41106	0,01189	0,04583	0,92031	778	58	289	8	350	9	284	7
19	0,98	0,22811	0,00614	1,77407	0,04918	0,05647	0,95820	3039	42	354	9	1036	18	278	8
20	0,97	0,05270	0,00159	0,32248	0,00994	0,04443	0,86893	316	67	280	7	284	8	280	7
21	0,60	0,05285	0,00150	0,32796	0,00956	0,04506	0,91359	322	63	284	7	288	7	284	7
22	1,85	0,05489	0,00198	0,33937	0,01223	0,04489	0,76033	408	78	283	8	297	9	282	8
23	1,14	0,05364	0,00257	0,32663	0,01538	0,04421	0,61968	356	104	279	8	287	12	278	8
24	0,48	0,07588	0,00208	0,48023	0,01359	0,04595	0,93822	1092	54	290	8	398	9	281	7



Продолжение таблицы 2

№	Th/U	Отношение				RHO	Возраст									
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	σ		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	σ				
ZH-01-2-15, массивный среднернзистый гранит																
1	0,38	0,08064	0,00279	0,53729	0,01859	0,04834	0,00135	0,80715	1213	66	304	8	437	12	294	8
2	0,13	0,08040	0,00284	0,54250	0,01913	0,04895	0,00137	0,79369	1207	68	308	8	440	13	298	8
3	0,99	0,09271	0,00332	0,57732	0,02064	0,04518	0,00128	0,79245	1482	67	285	8	463	13	271	8
4	0,52	0,11955	0,00408	0,74777	0,02564	0,04538	0,00127	0,81619	1950	60	286	8	567	15	262	7
5	0,11	0,05300	0,00179	0,33022	0,01127	0,04521	0,00126	0,81661	329	75	285	8	290	9	285	8
6	0,41	0,05155	0,00178	0,32188	0,01119	0,04530	0,00127	0,80644	266	77	286	8	283	9	286	8
7	0,47	0,09249	0,00325	0,59611	0,02107	0,04676	0,00132	0,79866	1477	65	295	8	475	13	280	8
8	0,19	0,11940	0,00435	0,76325	0,02778	0,04638	0,00133	0,78787	1947	64	292	8	576	16	268	8
9	0,11	0,11316	0,00403	0,73689	0,02637	0,04725	0,00135	0,79841	1851	63	298	8	561	15	275	8
10	0,53	0,12169	0,00508	0,82944	0,03389	0,04945	0,00150	0,74240	1981	73	311	9	613	19	285	9
11	0,17	0,07589	0,00272	0,47197	0,01706	0,04512	0,00129	0,79096	1092	70	285	8	393	12	276	8
12	0,15	0,05445	0,00204	0,33772	0,01272	0,04500	0,00130	0,76701	390	81	284	8	295	10	283	8
13	0,24	0,06851	0,00251	0,43781	0,01617	0,04637	0,00134	0,78243	884	74	292	8	369	11	286	8
14	1,39	0,05271	0,00230	0,32486	0,01410	0,04472	0,00134	0,69037	316	96	282	8	286	11	282	8
15	0,39	0,07135	0,00289	0,46108	0,01871	0,04690	0,00140	0,73563	967	81	295	9	385	13	289	9
16	0,16	0,06498	0,00250	0,40201	0,01562	0,04489	0,00132	0,75680	774	79	283	8	343	11	279	8
17	0,55	0,09418	0,00364	0,60046	0,02343	0,04627	0,00137	0,75881	1512	71	292	8	478	15	277	8
18	0,66	0,29462	0,01154	2,52692	0,09939	0,06224	0,00187	0,76387	3442	60	389	11	1280	29	275	10
19	1,24	0,05625	0,00246	0,35336	0,01551	0,04559	0,00140	0,69962	461	95	287	9	307	12	286	9
20	0,10	0,05377	0,00226	0,34150	0,01446	0,04610	0,00141	0,72234	361	92	291	9	298	11	290	9
21	0,25	0,07315	0,00305	0,46683	0,01963	0,04632	0,00142	0,72905	1018	82	292	9	389	14	284	9
22	0,41	0,13292	0,00581	0,86700	0,03808	0,04735	0,00148	0,71165	2137	75	298	9	634	21	269	9
23	0,41	0,05221	0,00229	0,32280	0,01427	0,04489	0,00140	0,70549	294	97	283	9	284	11	283	9
24	0,17	0,05092	0,00223	0,31036	0,01375	0,04425	0,00138	0,70393	237	98	279	9	275	11	279	9
25	0,43	0,05672	0,00260	0,35906	0,01654	0,04596	0,00146	0,68961	480	99	290	9	312	12	288	9
26	0,26	0,08657	0,00387	0,58781	0,02654	0,04930	0,00156	0,70083	1351	84	310	10	470	17	297	9

Примечание. RHO – коэффициент корреляции ошибок отношений $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ –возраст, скорректированный на радиогенный свинец.

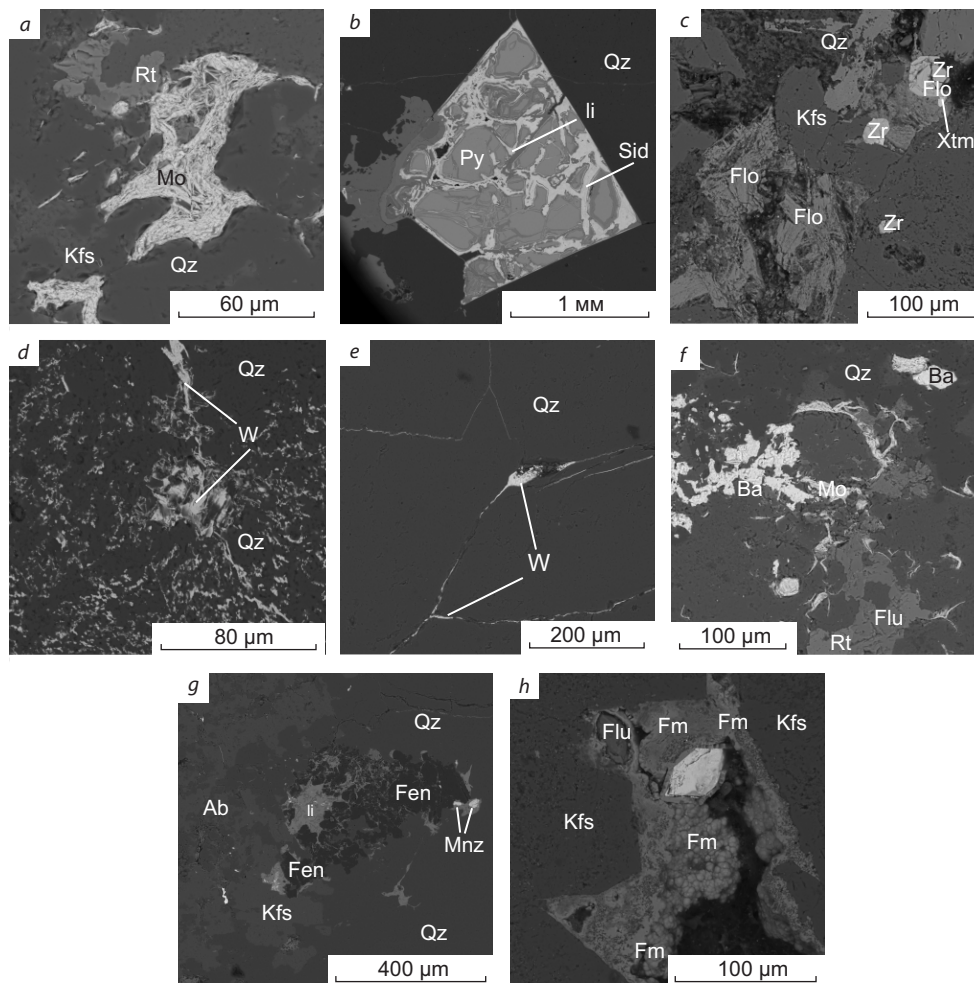


Рис. 4. Взаимоотношения минералов в кварц-молибденитовых прожилках и околопрожилковых зонах Жарчихинского месторождения (фотографии в обратно-рассеянных электронах):

a – гнездовидное скопление молибденита на контакте с кварцем, калиевым полевым шпатом и рутилом в прожилке; *b* – зерно пирита, частично замещённое агрегатами лимонита и сидерита в прожилке; *c* – агрегаты флоренсита на контакте с зёрнами калиевого полевого шпата, циркона и ксенотима в прожилке; *d* – скопления вольфенита среди зёрен кварца; *e* – микротрещины, заполненные вольфенитом; *f* – участок околопрожилковой оторочки с редким молибденитом, флюоритом и зёрнами барита; *g* – зона контакта прожилка со вмещающей породой, агрегаты фенакита на контакте с кварцем и монацитом; *h* – плёнка натёчных агрегатов ферримольбдита. Qz – кварц, Kfs – калиевый полевой шпат, Sid – сидерит, Flu – флюорит, Ba – барит, Fen – фенакит, Mo – молибденит, W – вольфенит, Py – пирит, Fm – ферримольбдит, li – лимонит, Flo – флоренсит, Rt – рутил, Zr – циркон, Xtm – ксенотим, Mnz – монацит

Fig. 4. Mineral relationships in quartz-molybdenite veinlets and near-veinlet zones of the Zharchikhinskoye deposit. Backscattered electron photographs:

a – nest-shaped molybdenite cluster at the contact with quartz, K-feldspar, and rutile in the veinlet; *b* – pyrite grain partially replaced by limonite and siderite aggregates in the veinlet; *c* – florencite aggregates at the contact with K-feldspar, zircon, and xenotime grains in the veinlet; *d* – wulfenite cluster among quartz grains; *e* – microcracks filled with wulfenite; *f* – a fragment of the near-veinlet rim with rare molybdenite, fluorite, and barite grains; *g* – contact zone of the veinlet with the host rock; phenakite aggregates at the contact with quartz and monazite; *h* – film of ferrimolybdenite aggregates. Abbreviations: Qz – quartz, Kfs – potassium feldspar, Sid – siderite, Flu – fluorite, Ba – barite, Fen – phenakite, Mo – molybdenite, W – wulfenite, Py – pyrite, Fm – ferrimolybdenite, li – limonite, Flo – florencite, Rt – rutile, Zr – zircon, Xtm – xenotime, Mnz – monazite



Ферримолибдит отмечается в виде поздних шаровидных натёчных агрегатов, образующих плёнки в пустотах выщелачивания (рис. 4, *h*). Кроме этого, в прожилках интенсивно развиты гидроокислы железа и марганца (рис. 2, *f*).

«Сухие» молибденитовые прожилки состоят практически полностью из молибденита (до 90–95 об. %), помимо которого в небольших количествах могут присутствовать кварц, пирит, флюорит, тяготеющие в основном к осевой части прожилков. Такие прожилки, как правило, имеют небольшую мощность (до 1–2 мм), часто ветвящееся строение, неровные извилистые границы со вмещающими породами. В относительно слабонарушенных породах они обычно прямолинейные. Мономинеральные агрегаты молибденита иногда встречаются также в межзерновых пространствах вмещающих гранитов в виде гнездообразных или неправильных обособлений.

Также на Жарчихинском месторождении в небольших количествах присутствуют более поздние кварц-пиритовые, кварц-пирит-флюоритовые и кварц-флюорит-полисульфидные прожилки. Минеральный состав прожилков существенно кварцевый (до 90 об. %) с переменными количествами агрегатов пирита, галенита, флюорита, сфалерита. В качестве редких минералов в них присутствуют зёрна пирротина, халькопирита и карбонатов. Такие прожилки относятся к пострудному этапу и не содержат молибденовой минерализации. Они имеют неправильную извилистую или ветвящуюся форму, резкие границы со вмещающими породами. Мощность прожилков варьирует от 0,2–0,3 см и в редких случаях достигает 0,6–1 см.

Кроме этого, на заключительном этапе гидротермальной деятельности Жарчихинской рудообразующей системы формировалась алюмофторидная и алюмофосфатная минерализация [21]. В её составе установлены редкие минералы: прозопит $\text{CaAl}_2\text{F}_6(\text{OH})_2$, ральстонит $(\text{Na}_{0,5}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{F},\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O})$, геарксутит $(\text{CaAl}(\text{OH},\text{F})_5 \cdot \text{H}_2\text{O})$, жарчихит $(\text{AlF}(\text{OH})_2)$ [2], чёрчит $(\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ и минерал группы плюмбогуммита $(\text{PbAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6)$ с промежуточным составом гоацит-горсейксит-

флоренсит. С алюмофторидами также ассоциируют кварц, флюорит, барит, сидерит, каолинит. Эта минерализация развита в центральной части Жарчихинского месторождения, где слагает несколько зон редкого прожилкования, вытянутых параллельно дайке гранитов, и прослеживается до глубины ~ 500 м, ширина зон достигает десятков метров. Такие прожилки имеют мощность до первых сантиметров, неправильную форму, часто ветвящееся строение; также они цементируют дроблённые граниты. Завершается этот этап процессами аргиллизации и окварцевания пород.

Термобарогеохимические исследования

С целью реконструкции физико-химических условий и определения солевого состава рудообразующих растворов, ответственных за формирование молибденового оруденения, были проведены термобарогеохимические исследования. Были изучены первичные и первично-вторичные флюидные включения в зёрнах кварца (рис. 5) из молибденит-кварцевых прожилков, слагающих главную продуктивную минерализацию на Жарчихинском месторождении.

В ходе исследований были идентифицированы вторичные, псевдовторичные и первичные флюидные включения. Всего было изучено около 40 флюидных включений. Большая часть ФВ представлена мелкими (до ~ 1–5 мкм) вторичными ($\Gamma < \text{Ж}$), среди которых отмечаются редкие одиночные включения с относительно крупной газовой фазой. Последние идентифицированы нами как первичные, так как соответствуют критериям первичности [18]. Поскольку зоны роста минерала-хозяина визуальным образом никак не проявляются, основным критерием первичности ФВ являлось их одиночное расположение в зёрнах (рис. 5, *a–d*) на удалении от систем микротрещин в кварце и от шлейфов вторичных ФВ.

Первичные включения имеют небольшие размеры от первых микрон до ~ 7–9 мкм, в редких случаях достигают ~ 11–15 мкм. Включения имеют разную форму: овальную, округлую, прямоугольную, изометричную, вытянутую и др. По фазовому составу все первичные

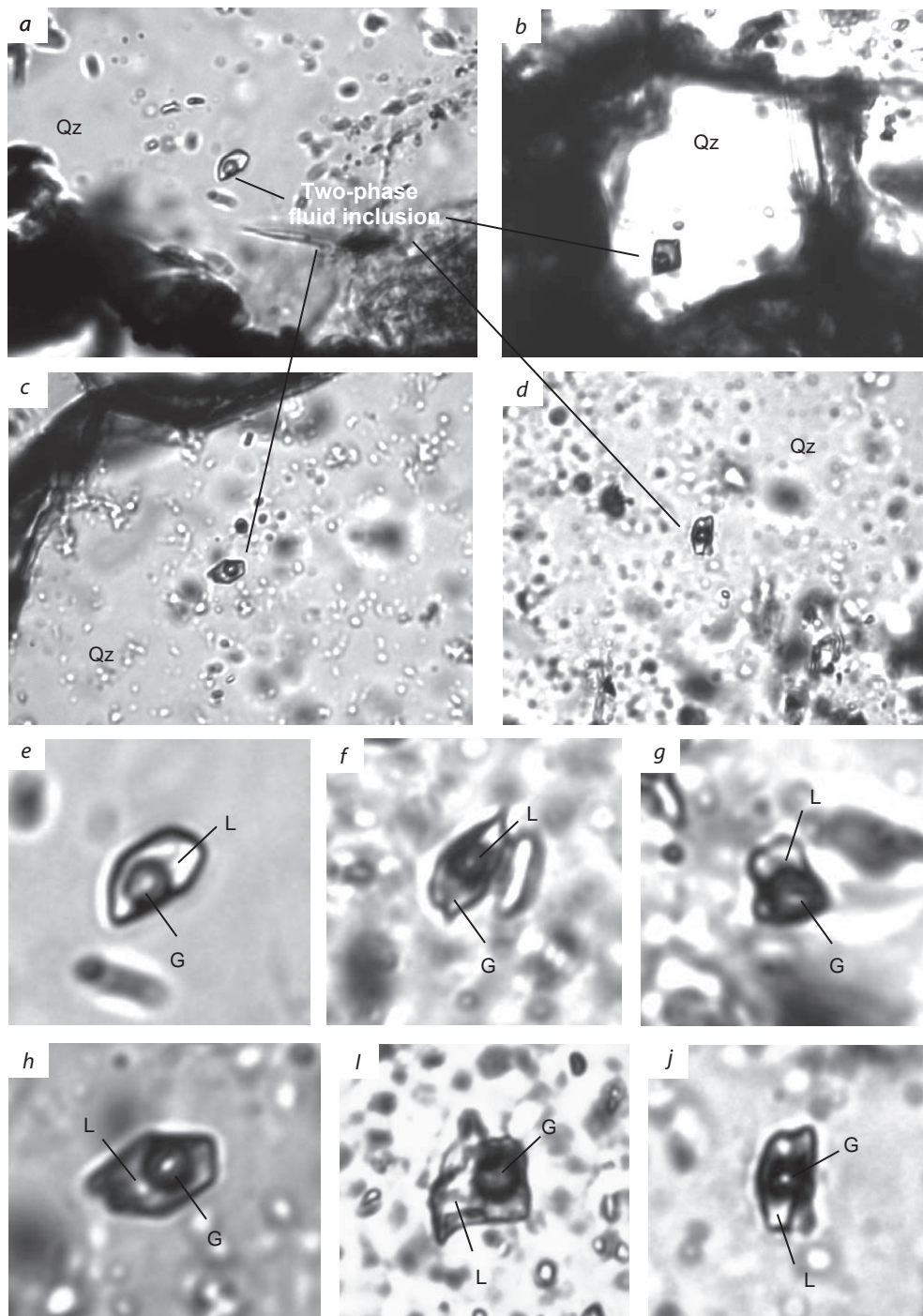


Рис. 5. Флюидные включения из зёрен кварца рудных молибденит-кварцевых жил месторождения Жарчихинское: *a-d* – одиночные первичные включения на удалении от «шлейфов» вторичных включений, общий вид; *e-j* – двухфазовые флюидные включения крупным планом (L+G). Qz – кварц, L – жидкость, G – газовая фаза

Fig. 5. Fluid inclusions from quartz grains in molybdenite-quartz veins of the Zharchikhinskoye deposit: single primary inclusions at a distance from trails of secondary inclusion, general view (*a-d*); *e-j* – close-up of two-phase fluid inclusions (L+G). Abbreviations: Qz – quartz, L – liquid, G – gas phase



включения представлены двухфазовыми – жидкость \geq газ, пузырь газа достаточно крупный, занимает до 40–60 об. % (рис. 5, e–j).

По данным криометрических исследований и КР-спектроскопического изучения, в газовой фазе изученных включений углекислота и другие газы не идентифицированы.

Температуры гомогенизации в большинстве изученных ФВ варьируют в интервале от ~ 402 до 320 °С, и лишь в единичных включениях зафиксированы относительно низкие значения в более узком диапазоне – 265 – 245 °С.

Температуры эвтектики имеют значения в интервале -36 и -33 °С, в некоторых первичных включениях отмечается отчётливое усиление таяния льда при температуре -23 °С. Таким образом, основные солевые компоненты рудообразующих растворов представлены хлоридами железа и магния с небольшой примесью натрия и калия.

Температуры плавления льда во включениях варьируют в интервале от -8 до $-4,3$ °С, что соответствует относительно слабой общей солёности рудообразующих растворов $\sim 5,7$ – $11,7$ мас. % экв. NaCl.

Ранее предшественниками [14] было установлено, что наиболее высокотемпературными образованиями являются дорудный флюорит и кварц с реликтами микроклина с максимальными температурами гомогенизации ~ 420 – 490 °С. Значения температур гомогенизации флюидных включений в кварце и флюорите были определены в широком температурном интервале от ~ 268 до 390 °С. Давление, рассчитанное по данным изучения таких включений в кварце, соответствовало интервалу 1280 – 1400 кг/см² (1255 – 1372 бар).

Обсуждение результатов

С помощью U–Pb LA-ICP-MS датирования было оценено время кристаллизации цирконов из брекчированных гранитов и массивных среднезернистых гранитов, которые показали близкие значения возраста: 282 ± 3 и 281 ± 3 млн лет соответственно. Такие значения отвечают позднепалеозойскому времени и близки к возрасту Ангаро-Витимского батолита (арал-плутона). С учётом того, что молибденовая

минерализация имеет наложенный характер и приурочена к телу эруптивных брекчий, формирование которых синхронно с мезозойскими дайками, в данном случае позднепалеозойские граниты являются дорудными. Брекчия сложена преимущественно обломками этих же гранитов. Следовательно, вопрос о времени рудообразования остаётся открытым. Предположительно рудообразующие процессы обусловлены проявлением мезозойских тектономагматических событий, поскольку известные крупные W–Mo месторождения Джидинского рудного поля также имеют мезозойский возраст [26].

По особенностям вещественного состава руд Жарчихинское месторождение отличается от известных в регионе крупных W–Mo объектов отсутствием вольфрамового оруденения, а также наличием непромышленной бериллиевой, полисульфидной и алюмофторидной минерализации, что свидетельствует о специфике рудообразующих флюидов. В частности, в солевом составе минералообразующих гидротермальных растворов, кроме хлоридов, можно предполагать наличие незначительного количества фторидов. Фтор, по всей видимости, накапливался в остаточном флюиде, что обусловило отложение алюмо-фторидных минералов в ассоциации с флюоритом и другими фторсодержащими минералами на позднем этапе эволюции Жарчихинской рудно-магматической системы.

Полученные нами данные по температурам гомогенизации ФВ сопоставимы с ранее известными, но показывают более высокотемпературные условия минералообразования на главной продуктивной (кварц-молибденитовой) стадии. Максимальное измеренное нами значение температуры гомогенизации ФВ, которое показывает минимальную температуру захвата ФВ, составляет 402 °С, что соответствует среднетемпературным условиям отложения молибденовой минерализации. При этом в ряде включений температуры гомогенизации ниже и попадают в интервал 265 – 245 °С. Такие ФВ, по-видимому, относятся к более позднему относительно низкотемпературному кварцу.

С учётом ранее полученных значений давлений минералообразования (1255–1372 бар), расчёт истинной температуры захвата ФВ в программе NokieFlincs_{H₂O-NaCl} [29] показывает значения 538–554 °С. Однако следует иметь в виду, что цитируемая программа основана на уравнениях, разработанных для системы H₂O–NaCl, тогда как в данном случае мы имеем дело с Fe–Mg-хлоридной солевой системой с примесью F, что должно влиять на расчётные значения истинной температуры.

Для процесса рудообразования установлены относительно повышенные давления минералообразования – более 1,2 кбар, соответствующие глубине порядка 4 км согласно геобарическому градиенту. Учитывая, что оруденение приурочено к телу эруптивных брекчий, можно предполагать, что такие повышенные давления в близповерхностных условиях обусловили проявление эксплозивных процессов и формирование трубообразного тела брекчий. В таком случае рудоотложение на месторождении происходило на фоне резкого понижения *P-T* параметров. Поскольку растворимость молибдена в силикатном расплаве возрастает с увеличением давления и температуры [27], то вышеуказанный процесс резкого снижения названных параметров приводил к осаждению молибденита в прожилках. При этом ведущим фактором отложения молибдена в трещинах, по всей видимости, было понижение температурных условий, поскольку сингенетичные существенно-водные и существенно-газовые включения, являющиеся признаком вскипания растворов за счёт падения давления, нами не были обнаружены. Также необходимо учитывать, что Fe–Mg-хлоридные флюиды обладают повышенной плотностью и могут не демонстрировать кипения даже при резком снижении давления. Поэтому можно предполагать, что снижение давления также способствовало отложению молибдена в трещинах.

Рудообразующие флюиды, формировавшие молибденовую минерализацию Жарчихинского месторождения, по данным изучения ФВ, имели относительно низкую солёность

порядка ~ 5,7–11,7 мас. % экв. NaCl, что соответствует значениям общей солёности флюидов крупного Первомайского молибденового месторождения [26]. Это также в целом отвечает относительно низким солёностям флюидов большинства молибденовых месторождений согласно обширной базе данных, опубликованной в работе В. Б. Наумова и др. [9], в которой обобщены результаты исследований физико-химических параметров формирования гидротермальных месторождений и рудопроявлений вольфрама, молибдена и других металлов.

Заключение

Таким образом, методом U–Pb LA-ICP-MS датирования было оценено время кристаллизации цирконов из брекчированных гранитов и массивных среднезернистых гранитов, которые дали достаточно близкие значения возраста – 282±3 и 281±3 млн лет соответственно. Такие значения отвечают позднепалеозойскому времени и близки к возрасту Ангаро-Витимского батолита (ареал-плутона). Руды Жарчихинского месторождения характеризуются отсутствием вольфрамовых минералов (в отличие от многих известных молибденовых месторождений) и наличием непромышленной бериллиевой, полисульфидной и алюмофторидной минерализации. Главный рудный минерал месторождения – молибденит, в гипергенных условиях развиваются вторичные минералы молибдена – вульфенит, повеллит, ферримолибдит. Также в рудах установлены следующие рудные минералы: пирит, сфалерит, пирротин, халькопирит, магнетит, ильменит, анатаз, фенакит.

Значения температур гомогенизации флюидных включений в кварце и флюорите были определены в интервале от 245 до 402 °С. С учётом данных по давлениям, составляющим 1255–1372 бар, пересчёт максимального значения температуры гомогенизации показывает интервал расчётных температур захвата ФВ 538–554 °С. Ведущим фактором отложения молибденита в прожилках было снижение температуры. Рудообразующие растворы



имели относительно низкую солёность порядка 5,7–11,7 мас. % экв. NaCl; основные солевые компоненты рудообразующих растворов представлены хлоридами железа и магния с небольшой примесью натрия, калия и фторидов.

Авторы выражают благодарность А. А. Савченко и М. О. Рампилову за помощь и консультацию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект РФФ №24-27-20090).

Список литературы

1. Батурина Е. Е., Рипп Г. С. Молибденовые и вольфрамовые месторождения Западного Забайкалья (основные черты металлогении и геохимии). – М. : Наука, 1984. – 152 с.
2. Болохонцева С. В., Батурина С. В., Ильменев Е. С., Панова М. А., Пурусова С. П. Жарчихит $\text{AlF}(\text{OH})_2$ – новый минерал // Записки всеоюзного минералогического общества. – 1988. – Вып. 1. – С. 79–83.
3. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газозо-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – № 8. – С. 16–27.
4. Буянтуев М. Д., Хубанов В. Б., Врублевская Т. Т. U-Pb LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 2. – С. 369–384.
5. Верник В. Л. и др. Жарчихинское месторождение молибдена. Результаты предварительной разведки, с подсчетом запасов на 1 августа 1983 г. – Улан-Удэ : Бурятгеология, 1983. – Т. 1. – 207 с.
6. Гордиенко И. В., Ланцева В. С., Бадмацзыренова Р. А., Елбаев А. Л. Селенгинский рудный район Республики Бурятия: геологическое строение, минерагения, геодинамика, перспективы развития // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – 2018. – Т. 41, № 1. – С. 9–37.
7. Дондоков З. Б.-Д., Потапов Л. В., Кислов Е. В. Минерально-сырьевой комплекс Республики Бурятия: состояние и перспективы развития // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2015. – № 6. – С. 43–51.
8. Игнатович В. И. Молибденовые месторождения Западного Забайкалья и особенности их поиска // Советская геология. – 1980. – № 2. – С. 34–46.
9. Наумов В. Б., Дорофеева В. А., Миронова О. Ф. Физико-химические параметры формирования гидротермальных месторождений по данным исследований флюидных включений. IV. Месторождения меди и молибдена. // Геохимия. – 2017. – № 8. – С. 715–729.
10. Онтоев Д. О. Зональность Мало-Ойногорского молибден-вольфрамового месторождения (Джидинский рудный район) / Вертикальная зональность магматических рудных месторождений. – М. : Наука, 1984. – С. 102–115.
11. Онтоев Д. О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. – М. : Наука, 1974. – 244 с.
12. Платов В. С. и др. Объяснительная записка листа М-48-VI, серия Селенгинская. – СПб. – М. : Министерство природных ресурсов России, ВСЕГЕИ, 2000. – 156 с.
13. Повилайтис М. М. Основные черты минералогии Джидинского молибден-вольфрамового месторождения. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 165 с.
14. Покалов В. Т. Рудно-магматические системы гидротермальных месторождений. – М. : Недра, 1992. – 177 с.
15. Покалов В. Т., Болохонцева С. В., Васин В. В. Жарчихинское проявление молибдена в брекчиевой трубке в каледонидах Западного Забайкалья // Известия ВУЗов. Серия геологическая. – 1985. – № 7. – С. 99–107.
16. Покалов В. Т., Болохонцева С. В., Васин В. В. Термобарогеохимические условия формирования и стадийность вольфрам-молибденового месторождения Малый Ойногор / Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. – Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1979. – Т. 1. – С. 252–259.
17. Покалов В. Т., Васин В. В., Болохонцева С. В. Вольфрам-молибденовое месторождение Малый Ойногор // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1978. – № 12. – С. 96–108.

18. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. В 2 т. / Пер. с англ. Д. Н. Хитарова; под ред. Л. С. Бородина. – М.: Мир, 1987. – 1192 с.
19. Рейф Ф. Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. – М.: Наука, 1990. – 181 с.
20. Рейф Ф. Г. Условия и механизмы формирования гранитных рудно-магматических систем (по термобарогеохимическим данным). – М.: ИМГРЭ, 2009. – 498 с.
21. Савченко А. А., Рупп Г. С. Алюмофторидная и алюмофосфатная минерализация Жарчихинского молибденового месторождения (Западное Забайкалье) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2018. – № 1. – С. 92–101.
22. Ходанович П. Ю. Молибдено-вольфрамовые месторождения Джидинского рудного поля / Месторождения Забайкалья. Под ред. акад. Н. П. Лаверова (в 2 книгах). – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. Кн. 1. – С. 149–163.
23. Ходанович П. Ю., Смирнова О. К., Асташков Г. Ф. и др. Геология и полезные ископаемые Джидинского рудного района / Джидинский рудный район. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 21–35.
24. Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 241–258.
25. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions / Fluid inclusions in minerals: methods and applications: short course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals" (Pontignano-Siena, 1-4 September 1994). Ed. by Benedetto De Vivo, Maria Luce Frezzotti. – Blacksburg: Virginia Tech, 1994. – P. 117–130.
26. 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. – V. 9(10): 572.
27. Fang J., Audetat A. The effects of pressure, fO₂, fS₂ and melt composition on the fluid–melt partitioning of Mo: Implications for the Mo-mineralization potential of upper crustal granitic magmas // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2022. – V. 336, № 1. – P. 1–14.
28. Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth and Planetary Science Letters. – 1975. – № 26 (2). – P. 207–221.
29. Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R. J. HokieFlincs_H₂O-NaCl: A Microsoft excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl // Computers and Geosciences. – 2012. – V. 49. – P. 334–337.

References

1. Baturina E. E., Ripp G. S. Molibdenovye i volframovye mestorozhdeniya Zapadnogo Zabaykal'ya (osnovnye cherty metallogenii i geokhimii) [Molybdenum and tungsten deposits of Western Transbaikalia (main features of metallogeny and geochemistry)], Moscow, Nauka Publ., 1984, 152 p.
2. Bolokhontseva S. V., Baturin S. V., Il'menev E. S., Panova M. A., Purusova S. P. Zharchikhite AIF(OH)₂ – novyi mineral [Zharchikhite AIF(OH)₂ – a new mineral], *Zapiski vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva* [Notes of the All-Union Mineralogical Society], 1988, Issue 1, pp. 79–83. (In Russ.).
3. Borisenko A. S. Izuchenie solevogo sostava gazovozhidkikh vkluyuchenii v mineralakh metodom kriometrii [Study of the salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometry method], *Geologiya i geofizika* [Geology and geophysics], 1977, No 8, pp. 16–27. (In Russ.).
4. Buyantuev M. D., Khubanov V. B., Vrublevskaya T. T. U-Pb LA-ICP-MS datirovanie tsirkonov iz subvulkanitov bimodal'noi daikovoi serii Zapadnogo Zabaykal'ya: metodika, svidetel'stva pozdnepaleozoiskogo rastyazheniya zemnoi kory [U-Pb LA-ICP-MS dating of zircons from subvolcanics of the bimodal dike series of Western Transbaikalia: methodology, evidence of late Paleozoic crustal extension], *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics and tectonophysics], 2017, V. 8, No 2, pp. 369–384. (In Russ.).
5. Vernik V. L. et al. Zharchikhinskoe mestorozhdenie molibdena. Rezul'taty predvaritel'noi razvedki, s podschetom zapasov na 1 avgusta 1983 g. [The



- Zharchikhinskoye molybdenum deposit. Results of preliminary exploration, with reserve estimates as of August 1, 1983], Ulan-Ude, Buryatgeologiya Publ., 1983, V. 1, 207 p.
6. Gordienko I. V., Lantseva V. S., Badmatsyrenova R. A., Elbaev A. L. Selenginskii rudnyi raion Respubliki Buryatiya: geologicheskoe stroenie, minerageniya, geodinamika, perspektivy razvitiya [Selenginsky ore district of the Republic of Buryatia: geological structure, minerageny, geodynamics, development prospects], *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits]*, 2018, V. 41, No 1, pp. 9–37. (In Russ.).
 7. Dondokov Z. B.-D., Potapov L. V., Kislov E. V. Mineral'no-syr'evoi kompleks Respubliki Buryatiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Mineral resource complex of the Republic of Buryatia: state and development prospects], *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie [Mineral resources of Russia. Economy and management]*, 2015, No 6, pp. 43–51. (In Russ.).
 8. Ignatovich V. I. Molibdenovye mestorozhdeniya Zapadnogo Zabaikal'ya i osobennosti ikh poiska [Molybdenum deposits of Western Transbaikalia and features of their prospecting], *Sovetskaya geologiya [Soviet geology]*, 1980, No 2, pp. 34–46. (In Russ.).
 9. Naumov V. B., Dorofeeva V. A., Mironova O. F. Fiziko-khimicheskie parametry formirovaniya gidrotermal'nykh mestorozhdenii po dannym issledovaniyu flyuidnykh vklucheni. IV. Mestorozhdeniya medi i molibdena [Physicochemical parameters of the formation of hydrothermal deposits according to fluid inclusion studies. IV. Copper and molybdenum deposits], *Geokhimiya [Geochemistry]*, 2017, No 8, pp. 715–729. (In Russ.).
 10. Ontoev D. O. Zonal'nost' Malo-Oinogorskogo molibden-vol'framovogo mestorozhdeniya (Dzhidinskii rudnyi raion) [Zonality of the Malo-Oinogorskoye molybdenum-tungsten deposit (Dzhida ore district)]. In: *Vertikal'naya zonal'nost' magmaticheskikh rudnykh mestorozhdenii [Vertical zoning of igneous ore deposits]*, Moscow, Nauka Publ., 1984, pp. 102–115.
 11. Ontoev D. O. Stadiinost' mineralizatsii i zonal'nost' mestorozhdenii Zabaikal'ya [Mineralization stages and zoning of deposits in Transbaikalia], Moscow, Nauka Publ., 1974, 244 p.
 12. Platov V. S. et al. Ob"yasnitel'naya zapiska lista M-48-VI, seriya Selenginskaya [Explanatory note to sheet M-48-VI, Selenginskaya series], St. Petersburg – Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia, VSEGEI Publ., 2000, 156 p.
 13. Povilaitis M. M. Osnovnye cherty mineralogii Dzhidinskogo molibden-vol'framovogo mestorozhdeniya [Main features of the mineralogy of the Dzhida molybdenum-tungsten deposit], Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR [The USSR Academy of Sciences Publ.], 1960, 165 p.
 14. Pokalov V. T. Rudno-magmaticheskie sistemy gidrotermal'nykh mestorozhdenii [Ore-magmatic systems of hydrothermal deposits], Moscow, Nedra Publ., 1992, 177 p.
 15. Pokalov V. T., Bolokhontseva S. V., Vasin V. V. Zharchikhinskoe proyavlenie molibdena v brekchievoi trubke v kaledonidakh Zapadnogo Zabaikal'ya [Zharchikhinskoye molybdenum occurrence in a breccia pipe in the Caledonides of Western Transbaikalia], *Izvestiya VUZov. Seriya geologicheskaya [Bulletin of higher education institutions. Geological series]*, 1985, No 7, pp. 99–107. (In Russ.).
 16. Pokalov V. T., Bolokhontseva S. V., Vasin V. V. Termobarogeokhimicheskie usloviya formirovaniya i stadiinost' vol'fram-molibdenovogo mestorozhdeniya Malyi Oinogor [Thermobarogeochemical conditions of formation and staging of the Maly Oinogor tungsten-molybdenum deposit], Osnovnye parametry prirodnykh protsessov endogenno go rudoobrazovaniya [Main parameters of natural processes of endogenous ore formation], Novosibirsk, Nauka – Sibirskoye otdelenie [Siberian branch of Nauka Publ.], 1979, V. 1, pp. 252–259.
 17. Pokalov V. T., Vasin V. V., Bolokhontseva S. V. Vol'fram-molibdenovoe mestorozhdenie Malyi Oinogor [The Maly Oinogor Tungsten-Molybdenum Deposit], *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya [Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Geological Series]*, 1978, No 12, pp. 96–108. (In Russ.).
 18. Roedder E. Flyuidnye vklucheniya v mineralakh. V 2 t. [Fluid inclusions in minerals. In 2 volumes. Translated from English by D. N. Khitarov; ed. by L. S. Borodin], Moscow, Mir Publ., 1987, 1192 p.
 19. Reyf F. G. Rudoobrazuyushchii potentsial granitov i usloviya ego realizatsii [Ore-forming potential of granites and conditions for its realization], Moscow, Nauka Publ., 1990, 181 p.
 20. Reyf F. G. Usloviya i mekhanizmy formirovaniya granitnykh rudno-magmaticheskikh sistem (po

termobarogeokhimicheskim dannym) [Conditions and mechanisms of formation of granite ore magmatic systems (based on termobarogeochemical data)], Moscow, IMGRE, 2009, 498 p.

21. Savchenko A. A., Ripp G. S. Alyumofosfatnaya i alyumofosfatnaya mineralizatsiya Zharchikhinskogo molibdenovogo mestorozhdeniya (Zapadnoe Zabaikal'e) [Alumino-fluoride and aluminophosphate mineralization of the Zharchikhinskoye molybdenum deposit (Western Transbaikalia)], *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 2018, No 1, pp. 92–101. (In Russ.).
22. Khodanovich P. Yu. Molibdeno-vol'framovye mestorozhdeniya Dzhidinskogo rudnogo polya [Molybdenum-tungsten deposits of the Dzhida ore field]. In: *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya (v 2 knigakh)* [Deposits of Transbaikalia (in 2 books)], Moscow, Geoinformmark Publ., 1995, V. 1. Book 1, pp. 149–163.
23. Khodanovich P. Yu., Smirnova O. K., Astashkov G. F. et al. Geologiya i poleznye iskopaemye Dzhidinskogo rudnogo raiona [Geology and useful minerals of the Dzhida ore region]. In: *Dzhidinskii rudnyi raion* [Dzhida ore region], Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, pp. 21–35.
24. Khubanov V. B., Buyantuev M. D., Tsygankov A. A. U-Pb izotopnoe datirovanie tsirkonov iz PZ₃-MZ magmaticheskikh kompleksov Zabaikal'ya metodom magnitno-sekturnoi mass-spektrometrii s lazernym probotooborom: protsedura opredeleniya i sopostavlenie s SHRIMP dannymi [U-Pb isotope dating of zircons from PZ₃-MZ igneous complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: determination procedure and comparison with SHRIMP data], *Geologiya i geofizika* [Geology and geophysics], 2016, V. 57, No 1, pp. 241–258. (In Russ.).
25. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, Fluid inclusions in minerals: methods and applications: short course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals" (Pontignano-Siena, 1-4 September 1994). Ed. by Benedetto De Vivo, Maria Luce Frezzotti, Blacksburg, Virginia Tech, 1994, pp. 117–130.
26. 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, V. 9(10): 572.
27. Fang J., Audetat A. The effects of pressure, fO_2 , fS_2 and melt composition on the fluid–melt partitioning of Mo: Implications for the Mo-mineralization potential of upper crustal granitic magmas, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, V. 336, No 1, pp. 1–14.
28. Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model, *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, No 26 (2), pp. 207–221.
29. Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R. J. HokieFlincs_H₂O-NaCl: A Microsoft excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O–NaCl, *Computers and Geosciences*, 2012, V. 49, pp. 334–337.

Дамдинова Людмила Борисовна (ludamdinova@mail.ru)

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник¹

Дамдинов Булат Батуевич

доктор геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора²

Хубанов Валентин Борисович

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник³

Бадмажапов Бато Баторович

инженер¹

Мунконов Эрдэни Чимит-Доржиевич

аспирант¹

¹ Геологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Россия

³ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия