Оригинальная статья / Original article УДК 553.462 DOI: http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-4-37-49

СОСТАВ РАСТВОРОВ, ФОРМИРОВАВШИХ МОЛИБДЕНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ПЕРВОМАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ДЖИДИНСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ, ЮГО-ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© Л.Б. Дамдинова^а, Б.Б. Дамдинов^ь

^{а,b}Геологичекий институт СО РАН,

670047, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

РЕЗЮМЕ: Целью исследования является определение состава рудообразующих растворов и физико-химических условий формирования молибденового оруденения Первомайского штокверкового месторождения в пределах Джидинского рудного поля (Юго-Западное Забайкалье). На основе комплекса минералогопетрографических и геохимических исследований установлен вещественный состав рудных кварц-молибденовых жил и околопрожилковых зон. Методами крио- и термометрии, а также с помощью современных инструментальных микрозондовых методов исследования вещества (КР-спектроскопия и LA-ICP-MS) изучены флюидные включения в кварце богатых и бедных кварц-молибденитовых прожилков, определены состав газовой фазы и концентрации металлов в растворах, ответственных за формирование кварц-молибденитовых прожилков. Проведенные исследования показали, что кварц-молибденитовые жилы Первомайского месторождения формировались в интервале температур 314-186 °С при участии гомогенных флюидов с периодами гетерогенизации раствора с общей концентрацией солей 6,3-11,7 масс. % экв. NaCl. В составе газовой фазы установлены CO₂, CH₄ и N₂. Методом LA-ICP-MS были определены концентрации широкого спектра элементов: Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U. Содержания главного рудного элемента Мо в богатых кварц-молибденитовых прожилках достигают 559 г/т при среднем значении 182 г/т, тогда как в бедных они не превышают 85 г/т при среднем значении 13 г/т. Более богатые прожилки были сформированы околонейтральными растворами с большим содержанием Мо, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать рН растворов одним из факторов рудоносности.

Ключевые слова: Первомайское месторождение, молибден, флюидные включения, рудообразующие растворы, LA-ICP-MS, металлоносность

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-030002р_а.

Информация о статье: Дата поступления 1 ноября 2018 г.; дата принятия к печати 3 декабря 2018 г.; дата онлайн-размещения 28 декабря 2018 г.

Для цитирования: Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б. Состав растворов, формировавших молибденовое оруденение Первомайского месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное Забайкалье). Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018;41(4):37–49. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-37-49.

^аДамдинова Людмила Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории петрологии, e-mail: ludamdinova@mail.ru

Bulat B. Damdinov, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher of the Laboratory of Geochemistry and Ore Formation Processes, e-mail: damdinov@mail.ru

Lyudmila B. Damdinova, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher of the Petrology Laboratory, e-mail: ludamdinova@mail.ru

^ьДамдинов Булат Батуевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудообразующих процессов, e-mail: damdinov@mail.ru

COMPOSITION OF SOLUTIONS FORMING MOLYBDENUM MINERALIZATION OF PERVOMAISKOE DEPOSIT (DZHIDA ORE FIELD, SOUTH-WESTERN TRANSBAIKALIA)

© Lyudmila B. Damdinova, Bulat B. Damdinov

^{a,b}Geological Institute SB RAS,

6a Sakhyanova St., Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russian Federation

ABSTRACT: The purpose of this study is determination of the composition of ore-forming solutions and physicochemical formation conditions of molybdenum mineralization in the Pervomaiskoe stockwork deposit within the Dzhida ore field (South-Western Transbaikalia). A set of mineralogical, petrographic and geochemical studies allowed to identify the material composition of ore quartz-molybdenum veins and near-veinlet zones. The methods of cryometry and thermometry, as well as modern instrumental microprobe methods of matter study (Raman-spectroscopy and LA-ICP-MS) were used to examine fluid inclusions in guartz of bonanza and lean guartz-molybdenite veinlets. The composition of a gas phase and metal concentrations in the solutions forming guartz-molybdenite veinlets were determined. Conducted studies show that the quartz-molybdenite veins of the Pervomaiskoe deposit were formed in the temperature range of 314–186 °C under the participation of homogeneous fluids with solution heterogenization periods. Total salt concentrations are 6.3-11.7 wt.% eq. NaCl. The gas phase contains CO₂, CH4 and N₂. Using LA-ICP-MS method the concentrations of a wide range of elements including Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U were determined. The content of the main ore element Mo in bonanza quartz-molybdenite veinlets reaches up to 559 g/t, whereas the average value is 182 g/t. The content of Mo in lean veinlets does not exceed 85 g/t, whereas the average value is 13 g/t. Richer veinlets were formed by near-neutral solutions with a high content of Mo, S and F, while relatively poor veinlets were precipitated from high alkaline solutions. All these enable us to consider the pH of solutions as one of the factors of ore content.

Keywords: Pervomaiskoe deposit, molybdenum, fluid inclusions, ore-forming solutions, LA-ICP-MS, metal content

Acknowledgement: The study has been performed with the funding by the Russian Foundation for Basic Research grant No. 18-45-030002p_a.

Information about the article: Received November 1, 2018; accepted for publication December 3, 2018; available online December 28, 2018.

For citation: Damdinova L.B., Damdinov B.B. Composition of solutions forming molybdenum mineralization of Pervomaiskoe deposit (Dzhida ore field, South-Western Transbaikalia). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2018;41(4):37–49 (In Russ.). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-37-49.*

Введение

Информация об условиях и причинах формирования штокверковых (грейзеновых) W-Mo(Be) месторождений в настоящее время является неполной и отрывочной и требует дополнительных исследований для уточнения. В особенности это касается данных по флюидному режиму, газово-солевому составу, P-T-X-параметрам, а также эволюции и металлоносности растворов, продуцирующих жильно-штокверковое W-Mo(Be) оруденение. На территории Юго-Западного Забайкалья известны месторождения Джидинского рудного поля, характеризующегося высокой концентрацией оруденения на небольшой площади и включающего крупные промышленные месторождения: Первомайское, Инкурское и Холтосонское. Это уникальные геологические объекты и крупнейшие в регионе (и в стране) источники W и Mo. В качестве примесных компонентов в рудах присутствует также и ряд других полезных компонентов – Ве, Cd, Pb, Zn, Au и т. д.

Объектом исследования является Первомайское штокверковое Мо месторождение, относящееся к типу редкометалльных грейзеновых месторождений. Предшественниками установлено, что все три месторождения Джидинского рудного поля генетически связаны с единой гранитоидной интрузией [1, 2]. Формирование штокверковой Мо-W минерализации происходило в течение нескольких гидротермальных этапов, разделенных во времени периодами интрузивного магматизма. Сначала сформировался Мо штокверк, позже прожилки с Мо-Ве минерализацией, затем штокверк гюбнеритсодержащих прожилков. Поскольку кварцмолибденитовые прожилки являются самыми ранними среди рудных прожилков Джидинского Mo-W(Be) рудного поля, исследования Р-Т-Х-параметров их формирования и металлоносности позволят реконструировать ранние этапы эволюции Джидинской рудно-магматической системы.

Методы исследования

Для решения минералогических и петрографических задач использовались методы оптической микроскопии на поляризационном микроскопе OLYMPUS BX-51 с цифровой фотокамерой MicroPublisher 3.3 RTV. Химический состав минералов определен Е.В. Ходыревой и кандидатом геолого-минералогических наук С.В. Канакиным в Геологическом институте CO PAH (г. Улан-Удэ) методом рентгеноспектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430VP с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy 350.

Флюидные включения (ФВ) в минералах исследовались методами термометрии, криометрии, волюмометрии и КР-спектроскопии. Для определения температур общей гомогенизации, температур эвтектики и плавления льда водных растворов, температур растворения дочерних фаз и гомогенизации сжиженных газов использовалась микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений температур ОТ -196 до +600 °C. Стандартная аппаратурная ошибка измерений составляет ±0,1 в отрицательной и ±5 °C в положительной области температур. Приблизительную оценку содержания солей во включениях находили по температуре плавления льда, используя двухкомпонентную водно-солевую систему (NaCl-H2O) через эквивалент NaCl [3]. Преобладающая соль в водном растворе включений определялась по температуре эвтектики, характеризующей водно-солевую СИстему [4].

Состав газовой фазы индивидуальных ФВ определен методом КР-спектроскопии в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) на одноканальном КР-спектрометре LabRamHR 800 с полупроводниковым детектором Horiba Scientific Symphony II и конфокальным микроскопом Olympus BX-41. В качестве возбуждающего использовано излучение Ar лазера CVI Melles Girot с длиной волны 514 нм и выходной мощностью 50–30 мВт.

Вскрытие наиболее крупных ФВ и анализ металлоносности рудообразующих растворов проводились методом LA-ICP-MS на масс-спектрометре NexION 300D с платформой лазерной абляции NWR-213 в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск, аналитик – кандидат геолого-минералогических наук Н.В. Брянский). В качестве внешнего стандарта использовался стандартный образец NIST-610. Расчет содержаний элементов в рудообразующих растворах осуществлялся по методике, описанной в работе А.А. Боровикова и др. [5].

Краткая геологическая характеристика месторождения

Строение, минералого-геохимические особенности, а также последовательность формирования и происхождения оруденения Джидинского рудного поля изучались многими исследователями [6–16 и др.]. Особенностью Джидинского рудного поля, отмечаемой всеми исследователями, является то, что гидротермальное рудообразование имело пульсационный характер и неоднократно перемежалось с магматическими инъекциями в основном гранитного состава, а профиль рудной минерализации изменялся в последовательности $Mo \rightarrow Mo + Be \rightarrow Be + W \rightarrow W + Pb, Zn.$

Кварц-молибденовый штокверк Первомайского месторождения, образованный сетью различно ориентированных кварц-молибденитовых жил и прожилков, охватывает апикальную часть одноименного массива гранит-порфиров (рис. 1) и прилегающие к нему биотиткварцевые роговики. Массив образует лакколитообразное тело с апофизами, площадь его выхода на поверхность составляет ~0,35 км². Согласно результатам Rb-Sr изохронного датирования, возраст формирования Первомайского гранитного штока соответствует 124,3±1,6 млн лет [17].

Оруденение на месторождении представлено жилами и прожилками мощностью от первых сантиметров до 1– 1,5 м и более. Особо богатым является прожилковое оруденение с мощностью прожилков до ~5 см, участками сопровождающееся зонами вкрапленных молибденовых руд. Подавляющее большинство руд имеет содержание Мо ~0,1–0,15 масс. %.



Рис. 1. Геологический разрез Первомайского молибденового (А–В) штокверкового месторождения (составлен с использованием материалов П.Ю. Ходановича [16]): 1–4 – в пределах Первомайского молибденового месторождения: 1 – дайки аплитовидных гранитов, аплитов, 2 – биотитовые граниты альбитизированные, 3 – биотитовые граниты микроклинизированные и грейзенизированные, 4 – границы между метасоматическими изменениями гранитов; 5 – контуры штокверка; 6 – разведочные скважины Fig. 1. Geological section of the Pervomaiskoe molybdenum (A–B) stockwork deposit (composed by P.Yu. Khodanovich's materials [16]): 1–4 – within the Pervomaiskoe molybdenum deposit: 1 – dikes of aplite granites, aplites,

2 – albitized biotite granites, 3 – microclinized and greisenized biotite granites, 4 – boundaries between metasomatic changes of granites; 5 – stockwork contours; 6 – exploration wells

Минеральный состав

Породы, вмещающие оруденение, представлены порфировидными гранитами (рис. 2), которые имеют относительно выдержанный состав. Мелкозернистая основная масса пород сложена калиевым полевым шпатом, кварцем, плагиоклазом, а также биотитом и мусковитом, количество которых в разных шлифах варьирует от 5 до 10 %. Кроме того, отмечается редкая вкрапленность (1-2%) пирита, флюорита и апатита (< 1%). Порфировые вкрапленники, равномерно распределенные в основной массе, достигают в размерах 5 мм и представлены кварцем, калиевым полевым шпатом и реже плагиоклазом.

Авторами настоящей статьи было изучено два типа прожилков: обогащенные молибденит-кварцевые прожилки (первый тип) и бедные молибденом кварц-молибденитовые прожилки (второй тип). Молибденит-кварцевые прожилки обоих типов на 80–90 % сложены изометричными зернами кварца, участками отмечаются шестоватые зерна, растущие перпендикулярно стенкам прожилка. Это свидетельствует о том, что прожилки, вероятнее всего, формировались путем выполнения трещин. Мощность прожилков варьирует от 0,2 до 1,5 см, границы с вмещающими породами четкие, в большинстве случаев ровные. Молибденит образует скопления чешуек. иногда радиально-лучистые агрегаты, количество его – в среднем 5–10 %. Распределение молибденита неравномерное (см. рис. 2): в одних случаях он приурочен к центральной части, в других – к зальбандам прожилков или рассеян во всем объеме жильного кварца. Гораздо реже чешуйки молибденита выходят за пределы прожилка во вмещающие породы.

По данным минералого-петрографических исследований в составе прожилков кроме кварца были идентифицированы мусковит, калиевый полевой шпат, альбит и флюорит (табл. 1).



Puc. 2. Богатые молибденитом кварц-молибденитовые прожилки первого типа (A, B) и бедные молибденитом прожилки второго типа (C, D) Стрелками показаны прожилки Fig. 2. Molybdenite-rich quartz-molybdenite veinlets of type 1 (A, B) and molybdenite-poor veinlets of type 2 (C, D) The arrows show veinlets

Таблица 1

Минеральный состав кварц-молибденитовых прожилков

Table 1

Ac	социация	Минерал		
	Главные	Кварц		
		Мусковит		
жильные	Второотополинию	Калиевый полевой шпат		
мипералы	Бторостепенные	Альбит		
		Флюорит		
	Гпарица	Молибденит MoS ₂		
	ГЛАВНЫС	Пирит FeS ₂		
		Галенит PbS, сфалерит ZnS		
		Халькопирит CuFeS ₂		
Dynuu	Второстепенные	Берилл Al ₂ Be ₃ [Si ₆ O ₁₈]		
гудные		Колумбит (Fe,Mn±W, Sc)(Nb,Ta±Ti) ₂ O ₆		
мипералы		Айкинит PbCuBiS₃		
		Вульфенит Pb(MoO₄)		
		Висмутин Bi ₂ S ₃		
	Волино	Сакураит (Cu,Zn,Fe) ₃ (In,Sn)S ₄		
	Редкие	Зальцбургит Pb _{1,6} Cu _{1,6} Bi _{6,4} S ₁₂		
		Рутил ТіО₂		
Акь	цессорные	Монацит (Ce, La, Nd, Th)[PO₄]		
М	инералы	Апатит Са₅[РО₄]₃(F, CI, OH)		
		Циркон ZrSiO₄		
Bı	горичные	Англезит PbSO ₄		
минералы		Гетит ЕеО(ОН)		

Mineral composition of quartz-molybdenite veinlets

Из рудных минералов количественно преобладают молибденит и пирит. Среди второстепенных и редких диагностировано большое количество минеральных видов: сульфиды (пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, висмутин), а также колумбит, вульфенит, берилл, редкие сульфосоли представлены айкинитом, сакураитом и зальцбургитом. Акцессорные минералы представлены редкими зернами рутила, монацита, апатита и циркона, вторичные – англезитом и гетитом.

На основе анализа минерального состава прожилков можно сделать вывод о том, что в составе рудообразующих растворов присутствовали такие элементы, как Si, Na, K, Al, Ca, Fe, F, S, Mo, Pb, Zn, Cu, Ti, Be, Mn, Bi, Sc, Nb, Ta, Zr, P39, P, Cl, W.

Для выяснения масштабов и характера взаимодействия рудовмещающих гранитов с растворами, протекавшими по трешинам, образец гранита, содержащего прожилок, разрезался на серию параллельных прожилку пластин шириной 10 мм каждая. Полученные таким образом пробы массой 30-40 г измельчались и использовались для спектрального анализа. Исследовано распределение 16 рудных элементов (Mo, W, Sn, Be, Cu, Zn, Pb, Ag, Bi, Co, Ni, V, Mn, Fe) в гранитах непосредственно на контакте с прожилками и по мере удаления от них до 30 см. Из нескольких образцов таким же способом приготовлены пробы массой около 60 г для проведения силикатного анализа в лаборатории Геологического института СО РАН (11 петрогенных оксидов + S и F).

По результатам химического анализа, закономерное изменение состава вмещающих гранитов фиксируется в узких (1-3 см) зонах, примыкающих к рудным прожилкам, что говорит о диффузионно-метасоматической природе этих оторочек. Среди петрогенных компонентов только TiO₂, FeO, MnO, MgO не обнаруживают значимых отклонений от фоновых значений, характерных для неизмененных гранитов. По поведению других макроэлементов в околопрожилковых оторочках выделенные типы молибденит-кварцевых прожилков также заметно различаются. Для прожилков первого типа (богатых) десиликация гранитов и увеличение К2О в околопрожилковых оторочках не характерны, а их обеднение Na₂O и Al₂O₃ проявляется в случаях повышенного содержания флюорита в жильном материале. Для околопрожилковых оторочек этой группы характерна обогащенность F и S. Прожилки второго типа (бедные) сопровождаются оторочками с фоновым содержанием F, которые резко обеднены SiO₂ и Na₂O, обогащены K₂O, иногда Al₂O₃, Fe₂O₃ и S.

Содержание Мо в молибдениткварцевых прожилках второго типа (0,0*n*– 0,1 %), как правило, десятикратно ниже, чем в прожилках первого типа (0,*n*–*n*%). В то же время околорудные метасоматиты в бедных прожилках обычно обогащены Мо, W, Sn, Li, обеднены Zn, тогда как для оторочек богатых прожилков повышенные содержания Мо и Sn менее характерны, изменения содержаний Pb знакопеременны.

Термобарогеохимические исследования

Данные о составе рудообразующих растворов и условиях формирования богатых и бедных кварц-молибденитовых прожилков получены в результате изучения кристаллов кварца, ФВ в котором имеют пригодные размеры и подходят для изучения методами термометрии и криометрии. Наряду с доминирующими вторичными включениями в кварце обнаружены первичные относительно крупные ФВ размером 15–20 мкм и очень редко выше, удаленные от залеченных трещин и шлейфов вторичных включений. Визуально эти ФВ в разных прожилках практически однотипны (рис. 3) и относятся к ФВ гомогенного захвата, для них характерно отсутствие твердых фаз и наличие газового пузыря без видимой жидкой СО₂.

Результаты термометрического и криометрического изучения ФВ из разных типов прожилков обобщены в табл. 2.

Интервал температур гомогенизации изученных включений в жильном кварце богатых (~314–216 °C) и бедных (~312–186 °C) прожилков близок. По данным Ф.Г. Рейфа, Е.Д. Бажеева [1] и К.З. Стельмачонка [14], температуры гомогенизации большинства первичных ФВ в прожилках варьируют в узком интервале ~250–210 °C (см. табл. 2). Температуры эвтектики меняются от -36,1 до -39 °C, что наиболее соответствует системам MgCl₂–H₂O, MgCl₂–NaCl–H₂O, FeCl₂–H₂O.

Температуры плавления льда в богатых прожилках варьируют в пределах от -3,9 до -8 °C, что соответствует общей солености 6,3-11,7 масс. % экв. NaCl, в бедных прожилках – от -6 до -4 °C, что отвечает солености 6,5-9,2 масс. % экв. NaCl. В составе газовой фазы ФВ из обоих типов прожилков по данным КРспектроскопии идентифицированы СО₂, СН4 и в некоторых ФВ отмечается небольшой пик N₂. Кроме первичных ФВ гомогенного захвата в некоторых зернах кварца обоих типов обнаружены группы мелких (≤ 2-7 мкм) первичных сингенетичных существенно-водных и существенно-газовых включений, наличие которых свидетельствуют о периодах гетерогенизации (вскипания) рудообразующего раствора.



Рис. 3. Первичные флюидные включения гомогенного захвата в кварце из кварц-молибденитовых прожилков Первомайского месторождения Длина масштабной линейки – 10 мкм Fig. 3. Primary fluid inclusions of homogeneous capture in quartz from quartz-molybdenite veinlets of the Pervomaiskoe deposit Scale bar length is 10 microns

Таблица 2

Сводная таблица результатов микротермометрических исследований флюидных включений в кварце из рудных прожилков Первомайского месторождения

Table 2

Summary table of the results of micro thermometric studies of fluid inclusions in quartz from ore veinlets of the Pervomaiskoe deposit

Минерал- хозяин	<i>T₂,</i> °C	Т _{пл.льда} , °С	Т _{эвт} , °С	Соленость экв. NaCl, масс. % (по источнику [3])	Общая плотность	Тип солевой системы (по источ- нику [4])
Кварц (богатые кварц- молибденитовые прожилки)	≥+314+216	-83.9	-3738	6,3–11,7	0,85–0,94	NaCl-FeCl ₂ -H ₂ O MgCl ₂ -KCl-H ₂ O FeCl ₃ -H ₂ O
Кварц (бедные кварц- молибденитовые прожилки)	+312+186	-64	-36,139	6,5–9,2	0,89–0,94	NaCl-FeCl ₂ -H ₂ O MgCl ₂ -KCl-H ₂ O FeCl ₃ -H ₂ O
Кварц (по источникам [1, 14])	+250+210	-9.24.3	-2731			

*Примечание. Т*_г – температура гомогенизации, *Т*_{пл.льда} – температура плавления льда, *Т*_{эет} – температура эвтектики.

Note. T_e – homogenization temperature, $T_{nn,nb\partial a}$ – *ice* melting temperature, T_{3em} – eutectic temperature.

Металлоносность растворов

Методом LA-ICP-MS с вскрытием индивидуальных ФВ были определены концентрации широкого спектра элементов: Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U (табл. 3).

Двухфазные включения в кварце кварц-молибденитовых жил при колебании общей концентрации солей в составе их растворов от 6,3 до 11,7 масс. % экв. содержат в качестве главных компонентов Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, а также B, Li. Основными рудными элементами в богатых прожилках являются Cu, Zn, W, Mo, Be. В небольших концентрациях присутствуют Nb, Zr, Pb. Такие элементы, как Th, U, Sn, La определены в небольших количествах в составе ФВ из бедных прожилков. Содержания Mo в богатых прожилках достигают 559 г/т при среднем значении 182 г/т, тогда как в бедных они не превышают 85 г/т при среднем значении 13 г/т. По данным К.З. Стельмачонка, концентрации Мо в растворах, полученные методом АЭС-ЛВ, достигали 9,2 г/кг.

Заключение

Главным рудным минералом штокверкового Первомайского месторождения является молибденит. В качестве второстепенных и редких присутствуют следующие минеральные виды: сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, висмутин), сульфосоли (айкинит, зальцбургит, сакураит), сложные оксиды – молибдаты, ниобаты (вульфенит, колумбит), а также берилл и акцессорные минералы (рутил, монацит, апатит, циркон).

Изучение ФВ свидетельствует о периодах эпизодического вскипания флюида. Отложение кварц-молибденитовых прожилков происходило в интервале

Таблица 3

Содержание металлов в рудообразующих растворах Первомайского месторождения

Table 3

Metal content in ore-forming solutions of the Pervomaiskoe deposit

		Li	Be	В	Na	Mg	AI	К	Ca	Mn
1	<i>n</i> = 10	0–587	0–135	0–4163	6859–28176	0–1135	0–2650	28–13338	0–13139	0–1312
	Cp.	187	21	1037	12600	215	1003	4844	3353	493
2	<i>n</i> = 15	0–1352	0–4889	0–1526	749–31922	0–10551	0–12509	0–24056	0–41077	0–2437
	Ср.	309	122	239	13066	1136	1562	6693	9367	277
		Fe	Cu	Zn	Zr	Nb	Мо	Ag	Sn	La
1	<i>n</i> = 10	0–8241	0–2757	0-8615	0 - 216	0–62	0–559	0–13	Н.П.О.	Н.П.О
	Cp.	4025	388	1419	31	11	182	2	Н.П.О.	0
2	<i>n</i> = 15	0–33715	0–411	0–1642	0 - 314	0–54	0–85	0–17	0–69	0–21
	Cp.	5169	59	276	27	5	13	4	10	2
		Ce	Та	W	Au	Pb	Th	U		
1	<i>n</i> = 10	0–7,9	Н.П.О.	0–773	0–6,8	0–101	Н.П.О.	Н.П.О.		
	Cp.	1	Н.П.О.	100	0,7	18	Н.П.О.	Н.П.О.		
2	<i>n</i> = 15	0–179	0–1	0–18	0–95	0–86	0–68	0–1476		
	Cp.	13	0	3	12	18	7	117		

Примечание. 1 – богатые кварц-молибденитовые прожилки; 2 – бедные кварц-молибденитовые прожилки. Верхняя строка – разброс содержаний; нижняя строка – среднее значение. Н.п.о.– ниже предела обнаружения; *n* – количество анализов.

Note. 1 – bonanza quartz-molybdenite veinlets; 2 – lean quartz-molybdenite veinlets. Top line – content variance; bottom line – average value. H. π .o.– below the detection limit; n – number of tests.

температур 314–186 °С из относительно слабосоленых восстановленных растворов (6,3–11,7 масс. % экв. NaCl), содержащих CO₂, CH₄, N₂. В солевом составе растворов присутствуют хлориды NaCl, FeCl₂ и др.

В составе палеогидротерм методом LA-ICP-MS выше предела обнаружения установлены следующие элементы: Li, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, La, Ce, Ta, W, Au, Pb, Th, U, Be, B, Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn. Содержание Mo в ФВ варьирует от

1. Рейф Ф.Г., Бажеев Е.Д. Магматический процесс и вольфрамовое оруденение. Новосибирск: Наука, 1982. 158 с.

2. Рейф Ф.Г. Условия и механизмы формирования гранитных рудно-магматических систем (по термобарогеохимическим данным). М.: Изд-во ИМГРЭ, 2009. 498 с.

3. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application / ed. by B. De Vivo, M.L. Frezzotti. Pontignano, 1994. P. 117–130.

4. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. Т. 18. № 8. С. 16–27.

5. Боровиков А.А., Говердовский В.А., Борисенко А.С., Брянский Н.В., Шабалин С.И. Состав и металлоносность рудообразующих флюидов Мо-W(Ве) месторождения Калгутинское (Горный Алтай) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 4. С. 647–662.

6. Баянов В.Д. Позднемезозойская шашанит-латитовая серия Джидинского рудного района (Юго-Западное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 1994. Т. 339. № 3. С. 374–377.

7. Гордиенко И.В., Гороховский Д.В., Смирнова О.К., Ланцева В.С.,

0–559 ppm (среднее значение 182) в богатых кварц-молибденитовых прожилках, в более бедных – от 0–212 ppm (среднее значение 13).

Более богатые прожилки были сформированы околонейтральными растворами с большим содержанием Мо, S и F, тогда как из растворов повышенной щелочности отлагаются относительно бедные прожилки, что позволяет считать pH растворов одним из факторов рудоносности.

Библиографический список

Бадмацыренова Р.А., Орсоев Д.А. Джидинский рудный район: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования, прогнозы и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60. № 1. С. 3–37. https://doi.org/10.7868/S001677701801001X.

8. Игнатович В.И. Дайки и молибден-вольфрамовая минерализация Первомайской интрузии гранит-порфиров (Джидинское месторождение). Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1959. С. 29–47.

9. Малиновский Е.П. Определение пространственного положения источников рудообразующих флюидов Джидинских месторождений по данным структурного анализа // Джидинский рудный район (проблемы развития и освоения минеральных ресурсов): сб. стат. / под ред. М. Мохосоева. Новосибирск: Наука, 1984. С. 116–126.

10. Онтоев Д.О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М.: Наука, 1974. 241 с.

11. Повилайтис М.М. Основные черты минералогии Джидинского молибден-вольфрамового месторождения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 165 с.

12. Повилайтис М.М., Мозгова Н.Н., Сендерова В.М. Минералы висмута в Джидинском молибдено-вольфрамовом месторождении (Западное Забайкалье) // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1969. Ч. 98. Вып. 6. С. 655–664.

13. Стельмачонок К.З. О синхронности образования рудовмещающих трещин и формирования молибденовой минерализации на Первомайском штокверковом месторождении (Забайкалье) и причинах трещинообразования // Доклады Академии наук. 1994. Т. 337. № 3. С. 382–385.

14. Стельмачонок К.З. О близодновременном формировании односистемных прожилков в молибденитовом штокверковом рудном теле Джидинского месторождения (Забайкалье) // Доклады Академии наук. 1995. Т. 341. № 3. С. 399–402.

1. Reif F.G., Bazheev E.D. *Magmaticheskii protsess i vol'framovoe orudenenie* [Magmatic process and tungsten mineralization]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1982, 158 p. (In Russian).

2. Reif F.G. Usloviya i mekhanizmy formirovaniya granitnykh rudno-magmaticheskikh sistem (po termobarogeokhimicheskim dannym) [Conditions and formation mechanisms of granite ore-magmatic systems (according to thermobaric geochemical data)]. Moscow: Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystallochemistry of Rare Elements Publ., 2009, 498 p. (In Russian).

3. Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. Fluid inclusions in minerals: methods and application / ed. by B. De Vivo, M.L. Frezzotti. Pontignano, 1994, pp. 117– 130.

4. Borisenko A.S. Study of salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by the method of cryometry. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1977, vol. 18, no. 8, pp. 16–27. (In Russian). 15. Ходанович П.Ю., Смирнова О.К. Вольфрамоносные березиты и локальный прогноз оруденения. Новосибирск: Наука, 1991. 208 с.

16. Ходанович П.Ю. Молибденовольфрамовые месторождения Джидинского рудного поля // Месторождения Забайкалья. Т. І. Кн. 1. Чита – М.: Геоинформмарк, 1995. С. 149–163.

17. Чернышев И.В., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д., Иванова Г.Ф. Rb-Sr-геохронометрия процессов последовательного формирования гранитов, грейзенизации и гидротермальной минерализации: Джидинское W-Мо месторождение, Западное Забайкалье // Доклады Академии наук. 1998. Т. 360. № 4. С. 537–540.

References

5. Borovikov A.A., Goverdovskii V.A., Borisenko A.S., Bryanskii N.V., Shabalin S.I. Composition and metal contents of oreforming fluids of the Kalguty Mo-W(Be) deposit (Gorny Altai). *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2016, vol. 57, no. 4, pp. 647–662. (In Russian).

6. Bayanov V.D. Late Mesozoic shashanite-latite series of the Dzhida ore district (South-Western Transbaikalia). *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 1994, vol. 339, no. 3, pp. 374–377. (In Russian).

7. Gordienko I.V., Gorokhovskii D.V., Smirnova O.K., Lantseva V.S., Badmatsyrenova R.A., Orsoev D.A. Dzhida Ore District: Geology, Structural and Metallogenic Regionalization. Genetic Types of Ore Geodynamic Conditions Deposits, of Their Formation, Forecast, and Outlook for Development. Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits], 2018. vol. 60, no. 1, pp. 3-37. https://doi.org/10.7868/S001677701801001X. (In Russian).

8. Ignatovich V.I. *Daiki i molibdenvol'framovaya mineralizatsiya Pervomaiskoi intruzii granit-porfirov (Dzhidinskoe mestorozhdenie)* [Dykes and molybdenum-tungsten mineralization of the Pervomaiskaya intrusion of granite-porphyry (Dzhida deposit)]. Ulan-Ude: Buryatskoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1959, pp. 29–47. (In Russian).

9. Malinovskii E.P. Opredelenie prostranstvennogo polozheniya istochnikov rudoobrazuyushchikh flyuidov Dzhidinskikh mestorozhdenii po dannym strukturnogo analiza [Spatial localization of ore-forming fluid sources of Dzhida deposits by structural analysis data]. Dzhidinskii rudnyi raion (problemy razvitiya i osvoeniya mineral'nykh resursov) [Dzhida ore district (problems of mineral resources development and mining)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984, pp. 116–126. (In Russian).

10. Ontoev D.O. *Stadiinost' mineralizatsii i zonal'nost' mestorozhdenii Zabaikal'ya* [Mineralization staging and zoning of Transbaikalian deposits]. Moscow: Nauka Publ., 1974, 241 p. (In Russian).

11. Povilaitis M.M. Osnovnye cherty mineralogii Dzhidinskogo molibdenvol'framovogo mestorozhdeniya [Main features of the Dzhida molybdenum-tungsten deposit mineralogy]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1960, 165 p. (In Russian).

12. Povilaitis M.M., Mozgova N.N., Senderova V.M. Bismuth minerals in the Dzhida molybdenum-tungsten deposit (Western Transbaikalia). *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva* [Proceedings of the All-Union Mineralogical

Критерии авторства

Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат. Society], 1969, part 98, issue 6, pp. 655–664. (In Russian).

13. Stel'machonok K.Z. On formation synchronicity of ore-hosting faults and molybdenum mineralization formation in the Pervomaisky stockwork field (Transbaikalia) and the causes of faulting. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 1994, vol. 337, no. 3, pp. 382–385. (In Russian).

14. Stel'machonok K.Z. On the simultaneous formation of single-system veinlets in the molybdenite stockwork ore body of the Dzhida deposit (Transbaikalia). *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 1995, vol. 341, no. 3, pp. 399–402. (In Russian).

15. Khodanovich P.Yu., Smirnova O.K. Vol'framonosnye berezity i lokal'nyi prognoz orudeneniya [Tungsten beresites and local forecast of mineralization]. Novo-sibirsk: Nauka Publ., 1991, 208 p. (In Russian).

16. Khodanovich P.Yu. *Molibdenovol'framovye mestorozhdeniya Dzhidinskogo rudnogo polya* [Molybdenum-tungsten deposits of the Dzhida ore field]. *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Deposits of Transbaikalia]. Vol. I. Book 1. Chita – Moscow: Geoinformmark Publ., 1995, pp. 149–163. (In Russian).

17. Chernyshev I.V., Gol'tsman Yu.V., Bairova E.D., Ivanova G.F. Rb-Sr-geochronometry of sequential formation of granites, greysening and hydrothermal mineralization: Dzhida W-Mo deposit, Western Transbaikalia. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 1998, vol. 360, no. 4, pp. 537–540. (In Russian).

Authorship criteria

Damdinova L.B., Damdinov B.B. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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