



Научная статья

УДК 553.463

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-1-34-49>

Минералогия и условия формирования руд Холтосонского вольфрамового месторождения

Людмила Борисовна Дамдинова^a, Татьяна Ивановна Сажина^b, Булат Батуевич Дамдинов^c^{a-c}Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сажина Татьяна Ивановна, Skuratova.tatyana@list.ru

Резюме. Целью представленного исследования являлось выявление и изучение особенностей минерального состава и условий формирования руд Холтосонского вольфрамового месторождения, расположенного в пределах Джидинского молибден-вольфрамового рудного поля (Юго-Западное Забайкалье, Россия). В ходе исследования авторами был использован комплекс минералого-петрографических и термобарогеохимических методов. Молибденовое оруденение Джидинского рудного поля приурочено к апикальной части Первомайского штока (Первомайское месторождение), вольфрамовое – к многочисленным кварцевым жилам западной части рудного поля (Холтосонское жильное месторождение) и к штокеру в центральной части (Инкурское штокерное месторождение). Холтосонское месторождение занимает западную часть рудного поля и сложено многочисленными кварцевыми жилами, локализованными преимущественно в диоритах Модонкульского массива. В результате проведенных работ было установлено, что главный жильный минерал представлен кварцем, также присутствуют мусковит, калиевый полевой шпат и карбонаты. Главным рудным минералом Холтосонского месторождения является гюбнерит. В общей сложности было диагностировано более 20 минеральных видов, включающих сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, борнит и другие), сульфосоли (тетраэдрит, айкинит, станнин и другие), оксиды (шеелит, касситерит), теллуриды (гессит). По данным изучения флюидных включений в солевом составе преобладают хлориды кальция с примесью хлоридов натрия и калия. Минимальные температуры отложения кварца варьируют в интервале ~195–344 °С. Большинство определений ложится в интервал ~250–300 °С. Наличие сингенетических существенно водных и существенно газовых включений в кварце из руд Холтосонского месторождения позволяет оценить интервал температур захвата флюидных включений в 413–350 °С. Результаты проведенных авторами исследований свидетельствуют о том, что главными факторами осаждения гюбнерита из гидротермальных растворов являются изменение щелочности-кислотности и снижение температуры.

Ключевые слова: Холтосонское месторождение, вольфрам, минеральный состав, флюидные включения, рудообразующие растворы, условия образования

Финансирование: Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект Геологического института СО РАН № АААА-А21-121011390003-9) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-45-030002р_а.

Для цитирования: Дамдинова Л. Б., Сажина Т. И., Дамдинов Б. Б. Минералогия и условия формирования руд Холтосонского вольфрамового месторождения // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 1. С. 34–49. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-1-34-49>.

Original article

Mineralogy and formation conditions of Kholtoson tungsten deposit ores

Lyudmila B. Damdinova^a, Tatyana I. Sazhina^b, Bulat B. Damdinov^c,^{a-c}Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

Corresponding author: Tatyana I. Sazhina, Skuratova.tatyana@list.ru

Abstract. The purpose of the research is to identify and study the features of mineral composition and formation conditions of ores of the Kholtoson tungsten deposit located within the Dzhida molybdenum-tungsten ore field (South-West Transbaikalia, Russia). The study employs a complex of mineralogical-petrographic and thermobarogeochemical methods. The molybdenum mineralization of the Dzhida ore field is confined to the apical part of the Pervomaysky stock (Pervomayskoye deposit), the tungsten mineralization is confined to numerous quartz veins in the western part of the ore field (Kholtoson vein deposit) as well as to the stockwork in the central part (Inkur stockwork deposit). The Kholtoson deposit occupies the



western part of the ore field and is composed of numerous quartz veins localized mainly in the diorites of the Modonkul massif. Conducted works allowed to find out that the main gangue mineral is quartz; muscovite, potassium feldspar and carbonates are also present. Hubnerite is the main ore mineral of the Kholtoson deposit. In total, more than 20 mineral species have been identified including sulfides (pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, bornite, etc.), sulfosalts (tetrahedrite, aikinite, stannite, etc.), oxides (scheelite, cassiterite), tellurides (hessite). According to the data of fluid inclusions study, calcium chlorides with an admixture of sodium and potassium chlorides predominate in the salt composition of ore-forming fluids. The minimum temperatures of quartz deposition vary in the range of ~195–344 °C. Most of the homogenization temperatures determinations correspond to the range of ~250–300 °C. The presence of cogenetic fluid- and vapor-dominated inclusions in quartz from the ores of the Kholtoson deposit allows to estimate the fluid inclusion capture temperature range of 413–350 °C. The results of the studies carried out by the authors indicate that the main factors of hubnerite precipitation from hydrothermal solutions are changes in alkali-acid content and a temperature drop.

Keywords: Kholtoson deposit, tungsten, mineral composition, fluid inclusions, ore-forming solutions, formation conditions

Funding: The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project of the Geological Institute SB RAS no. AAAAAA-A21-121011390003-9) and the grant of the Russian Foundation for Basic Research no. 18-45-030002r_a.

For citation: Damdinova L. B., Sazhina T. I., Damdinov B. B. Mineralogy and formation conditions of Kholtoson tungsten deposit ores. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2022;45(1):34-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-1-34-49>.

Введение

Джидинское рудное поле представляет собой пример крупного комплексного молибден-вольфрамового оруденения с высокой концентрацией полезных элементов на сравнительно небольшой площади. Здесь расположены три крупных месторождения, которые являются крупнейшими в регионе и в стране источниками вольфрама и молибдена: это месторождения Первомайское молибденовое и Инкурское и Холтосонское вольфрамовые. Помимо вольфрама и молибдена на месторождениях также отмечаются примеси других полезных ископаемых: бериллия, кадмия, свинца, цинка, золота и так далее. Предшественниками установлено, что все три месторождения Джидинского рудного поля генетически связаны с единой гранитоидной интрузией. Считается, что сначала сформировался молибденовый штокверк (Первомайское месторождение), позже – прожилки с молибден-бериллиевой минерализацией, затем – штокверк гюбнеритсодержащих прожилков (Инкурское месторождение), а завершали процесс рудообразования кварц-гюбнеритовые жилы Холтосонского месторождения.

Ранее нами было проведено изучение Первомайского молибденового месторождения, считающегося самым ранним в ряду объектов Джидинского рудного поля [1], и Инкурского штокверкового вольфрамового месторождения [2]. Также был уточнен изотопный возраст молибденового оруденения и определены концентрации металлов в рудообразую-

щих растворах. Однако современная информация о минеральном составе и условиях формирования жильного вольфрамового оруденения Джидинского рудного поля практически отсутствует в мировой литературе. В особенности это касается газо-солевого состава гидротермальных флюидов, параметров давления и температурных параметров рудоотложения, а также металлоносности растворов, продуцирующих жильно-штокверковое вольфрамовое оруденение. Минералогия вольфрамовых руд была изучена предшественниками во второй половине XX века, но в связи с отсутствием на тот момент прецизионных методов микроанализа не все минеральные фазы были достоверно диагностированы. В целом для грейзеновых молибден-вольфрамовых (бериллиевых) месторождений физико-химические условия формирования до сих пор не исследовались достаточно детально для того, чтобы выявить различия физико-химических параметров рудообразующих флюидов, формирующих вольфрамовую и молибденовую минерализацию на молибден-вольфрамовых месторождениях.

Настоящее исследование посвящено изучению вольфрамового оруденения Джидинского рудного поля на примере Холтосонского жильного месторождения. Целью исследования является уточнение минерального состава руд, определение условий формирования и состава гидротермальных растворов, продуцирующих жильное вольфрамовое оруденение Джидинского рудного поля.



Материалы и методы исследования

Для решения минералогических и петрографических задач в ходе исследования авторами применялись методы оптической микроскопии с использованием поляризационного микроскопа 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 СО РАН (г. Улан-Удэ) методом рентгено-спектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430VP с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350.

Флюидные включения в минералах исследовались методами термометрии, криометрии, волюмометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (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 °С. Стандартная аппаратная ошибка измерений составляет $\pm 0,1$ в отрицательной и ± 5 °С в положительной области температур. Приблизительную оценку содержания солей во включениях находили по температуре плавления льда, используя двухкомпонентную водно-солевую систему (NaCl-H₂O) через эквивалент хлорида натрия [3]. Преобладающая соль в водном растворе включений определялась по температуре эвтектики, характеризующей водно-солевую систему [4].

Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений был определен методом КР-спектроскопии в Институте геологии и минералогии имени 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 аргонового лазера CVI Melles Girot с длиной волны 514 нм и выходной мощностью 30–50 мВт.

Результаты исследования

Краткая характеристика Джидинского рудного поля. Джидинское рудное поле расположено в юго-восточной части Западного Забайкалья, в пределах одноименной зоны палеозоид. Геология этого района изучалась многими исследователями и описана в работах Е. П. Малиновского [5], Д. О. Онтоева [6], Е. Е. Батуриной, Г. С. Риппа [7], И. В. Гордиенко и др. [8], А. Н. Дистановой [9], П. Ю. Ходановича, О. К. Смирновой [10], П. Ю. Ходановича и др. [11], И. В. Чернышева и др. [12], Ф. Г. Рейфа, Е. Д. Бажеева [13], Ф. Г. Рейфа [14], К. З. Стельмачонка [15, 16] и так далее.

Как уже отмечалось выше, в состав Джидинского рудного поля входят три крупных месторождения: Первомайское молибденовое, Инкурское штокверковое и Холтосонское жильное вольфрамовые. В геологическом строении рудного поля принимают участие хохюртовская осадочно-эффузивная свита, Модонкульский диоритовый массив и многофазная Гуджирская гранитоидная интрузия. Регион представляет собой сложнопостроенную покровно-складчатую область, геологическая структура которой определяется дислокациями позднепалеозойского этапа со значительной сдвиговой составляющей.

Через центральную часть рудного поля проходит Джидинский глубинный разлом, имеющий субмеридиональное простирание. Он трассируется зонами меланжа и бластомилонитизации общей мощностью 600–1000 м, содержащими небольшие линзовидные крутопадающие тела измененных гипербазитов цакирского комплекса. Хохюртовская свита занимает восточную часть данного рудного поля и сложена песчаниками, сланцами, известняками, а также вулканитами основного и среднего состава. Модонкульский интрузив является фрагментом крупного массива, вытянутого в северо-западном направлении, и сложен преимущественно кварцевыми диоритами [10].

В пределах контакта палеозойских кварцевых диоритов Модонкульского массива с эффузивно-осадочными толщами внедрилась Гуджирская интрузия, с которой связывается образование молибден-вольфрамового оруденения. Интрузия представлена на поверх-



ности многочисленными дайками кислого состава и Первомайским штоком гранит-порфиров (рис. 1). Среди пород дайкового комплекса выделяются также дайки серых сиенитов, серых кварцевых сиенит-порфиров, керсантитов, бостонитов и гранит-порфиров.

Первомайский шток гранит-порфиров является самым крупным выходом Гуджирской интрузии на поверхность. Площадь выхода Первомайского массива на дневную поверхность составляет 0,35 км². По данным буровых и геофизических работ, Первомайский массив представляет собой лакколитообразное тело с многочисленными апофизами, которое вытянуто в северо-западном направлении и погружается на юго-восток согласно кровле Модонкульского массива. В апикальной его части отмечаются ксенолиты гранитов и граносиенитов, а также ксенолиты пород

кровли, свидетельствующие о небольшой глубине эрозионного среза массива.

В апикальной части Первомайского гранитного массива локализовано одноименное молибденовое месторождение. Вольфрамовое оруденение представлено многочисленными кварцевыми жилами в западной части рудного поля (Холтосонское месторождение) и к штокверку в центральной части (Инкурский штокверк) (см. рис. 1). Последние изотопно-геохронологические данные о возрасте цирконов (124 ± 2 млн лет) из гранит-порфиров Первомайского штока, мусковита ($127,6 \pm 1,5$ млн лет) и молибденита ($118,5 \pm 1,6$ и $122,4 \pm 1$ млн лет) из рудных зон Первомайского молибденового месторождения свидетельствуют о генетической связи процессов гранитообразования и молибденового рудоотложения на рубеже 119–128 млн лет назад [1].

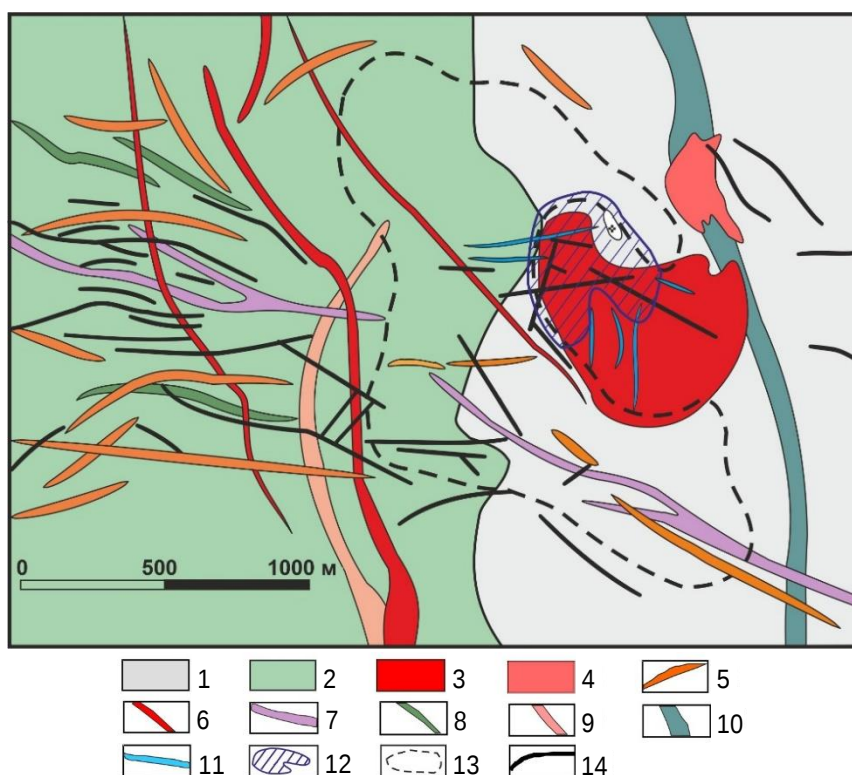


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Джидинского рудного поля (по В. И. Игнатовичу, 1975):

1 – хохюртовская свита: метаморфизованные осадочные породы, эффузивы; 2 – Модонкульский массив: диориты, кварцевые диориты; 3 – Первомайский массив: гранит-порфиры; 4 – Горкинский массив: граниты; 5 – серые сиениты; 6 – дайки гранит-порфиров; 7 – дайки бостонитов; 8 – микродиориты; 9 – плагиограниты; 10 – Джидинский глубинный разлом; 11 – кварц-молибденитовые жилы; 12 – Первомайский молибденовый штокверк; 13 – Инкурский вольфрамовый штокверк; 14 – кварц-сульфидно-гюбнеритовые жилы

Fig. 1. Schematic geological map of the Dzhdida ore field (according to V. I. Ignatovich, 1975):

1 – Khokhyurta suite: metamorphosed sediment rocks, effusives; 2 – Modonkul massif: diorites, quartz diorites; 3 – Pervomaisky massif: granite-porphyrates; 4 – Gorkinsky massif: granites; 5 – gray syenites; 6 – dykes of granite porphyry; 7 – dykes of bostonites; 8 – microdiorites; 9 – plagiogranites; 10 – Dzhdida deep fault; 11 – quartz-molybdenite veins; 12 – Pervomaisky molybdenum stockwork; 13 – Inkur tungsten stockwork; 14 – quartz-sulfide-hubnerite veins



Геологическое строение Холтосонского месторождения. Холтосонское месторождение расположено к западу от Инкурского штока в значительном удалении от Первомайского гранитного массива (см. рис. 1), в пределах контактовой части Модонкульского интрузива кварцевых диоритов. Модонкульский интрузив рассекается дайками гранит-граносиенитового состава верхнепалеозойского дабанского комплекса (рис. 2, а).

Месторождение разведано на глубину 700–1000 м от поверхности. Всего известно более 200 кварц-сульфидно-гюбнеритовых жил (рис. 3). Жилы залегают преимущественно в диоритах Модонкульского массива и имеют пологое падение на юг и юго-запад. Размеры промышленных жил по простиранию и падению колеблются в широких пределах при мощности от десятых долей до 3–4 м, в

раздувах – до 15 м при средней мощности ~0,7–0,9 м (см. рис. 3). Около 80 жил разведаны и характеризуются промышленными параметрами вольфрамового оруденения [10, 11]. Среднее содержание триоксида вольфрама составляет ~0,77 масс. %. Верхние горизонты основных промышленных жил в настоящее время отработаны.

Рудные тела Холтосонского месторождения представлены кварц-гюбнеритовыми жилами (рис. 2, b, d), а также участками, обогащенными другими рудными минералами (сульфидами и сульфосолями) (рис. 2, c).

Минеральный состав Холтосонского месторождения. Холтосонское месторождение представлено кварц-гюбнеритовыми жилами с сульфидной минерализацией. Минеральный состав Холтосонского месторождения практически идентичен минеральному составу руд

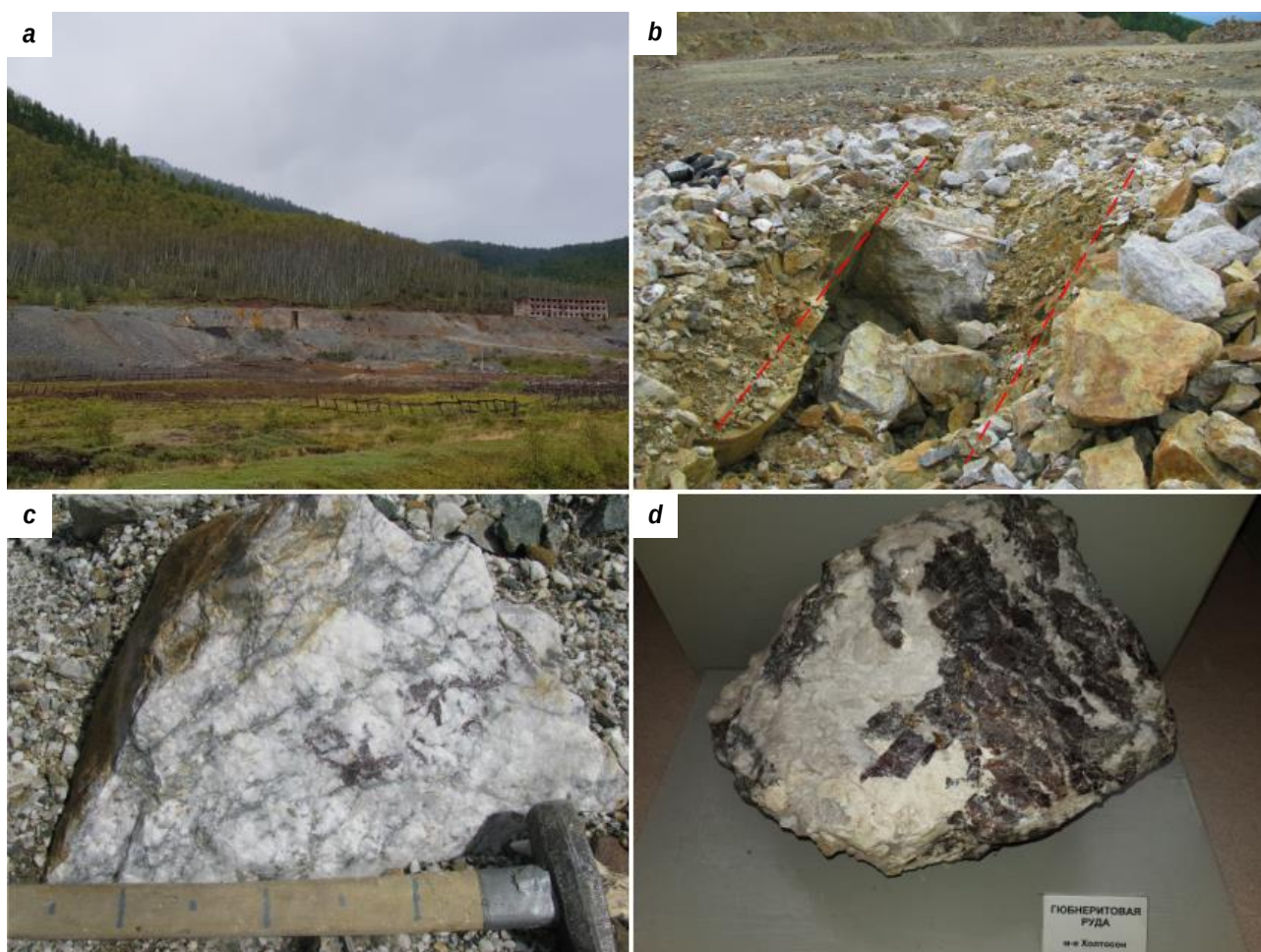


Рис. 2. Холтосонское месторождение:

a – карьер месторождения; b – кварц-гюбнеритовая жила (красный пунктир);
c – образец кварц-сульфидной жилы с гюбнеритом; d – богатая кварц-гюбнеритовая руда

Fig. 2. Kholtoson deposit:

a – deposit open-pit; b – quartz-hubnerite vein (red dotted line);
c – sample of quartz-sulphide vein with hubnerite; d – high-grade quartz-hubnerite ore

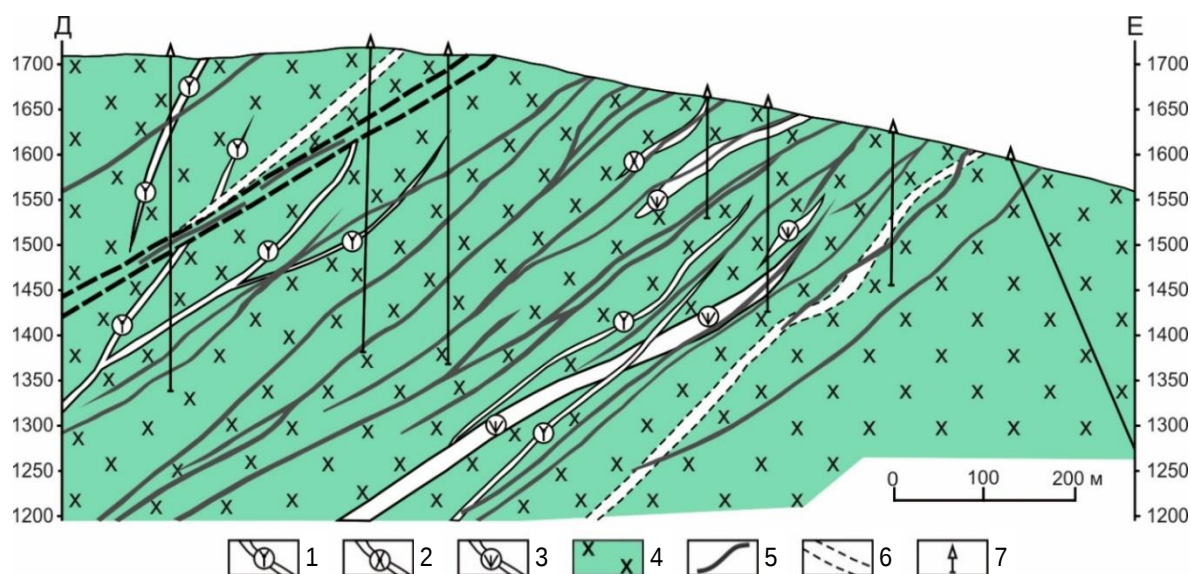


Рис. 3. Геологический разрез Холтосонского жильного вольфрамового месторождения по линии ДЕ (составлен с использованием материалов П. Ю. Ходановича (1995) и И. В. Гордиенко и др. (2019)):

1–3 – дайки: 1 – сиенитов и кварцевых сиенитов, 2 – сиенито-диоритов, 3 – бостонитов; 4 – диориты и кварцевые диориты джидинского комплекса; 5 – рудные жилы с вольфрамовым оруденением; 6 – зоны дробления по разрывным нарушениям; 7 – разведочные скважины

Fig. 3. Geological section of the Kholtoson vein tungsten deposit along the DE line (compiled using the materials of P. Y. Khodanovich (1995) and I. V. Gordienko et al. (2019)):

1–3 – dikes of: 1 – syenites and quartz syenites, 2 – syenites – diorites, 3 – bostonites; 4 – diorites and quartz diorites of the Dzhida complex; 5 – ore veins with tungsten mineralization; 6 – crushing areas by the faulting zone; 7 – exploration wells

Инкурского месторождения (табл. 1). Главный жильный минерал – кварц, в большом количестве присутствуют серицит, флюорит, из рудных минералов наблюдаются гюбнерит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, шеелит и др. Жильные минералы преимущественно представлены молочно-белым кварцем, в меньшей степени – калиевым полевым шпатом, слюдами и редкими флюоритом и бериллом. В шлифах для зерен кварца характерно волнистое или мозаичное погасание. В некоторых участках отмечается интенсивная серицитизация по полевым шпатам или в виде тонких прожилков в зернах кварца. На контактах рудных жил с вмещающими породами нередко отмечаются грейзенизированные участки, сложенные практически сплошными агрегатами мусковита. Мусковит, как и в прожилках Инкурского месторождения, характеризуется повышенными содержаниями фтора (1,66–4,04 масс. %).

Участками в рудных кварцевых жилах встречаются карбонаты, представленные родохрозитом и сидеритом (см. табл. 1), которые обнаружены преимущественно в виде ксеноморфных агрегатов неправильной фор-

мы. Они часто приурочены к контактам зерен кварца или присутствуют в виде тонких поздних прожилков, заполняющих мелкие трещинки.

Кварц является «сквозным» минералом, то есть образуется на всех стадиях минералообразования от ранней к поздней. Скопления калиевого полевого шпата находятся в тесном сростании с кварцем, что говорит об их близодновременном образовании.

Кварц-гюбнеритовые жилы преимущественно сложены зернами светлого, светло-серого или молочно-белого кварца с единичными кристаллами гюбнерита или обогащенными участками с более крупными скоплениями или агрегатами гюбнерита. Такие участки содержат мелко- крупнокристаллические агрегаты гюбнерита в ассоциации с другими рудными минералами, среди которых преобладают пирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит и второстепенные минералы.

Гюбнерит является главным рудным минералом месторождения, содержание марганца в нем достигает 17,86–19,34 масс. %. Большей частью он представлен вытянутыми шестоватыми кристаллами (см. рис. 2, d), реже



Таблица 1. Общий минеральный состав кварц-гюбнеритовых жил Холтосонского месторождения
Table 1. General mineral composition of quartz-hubnerite veins of the Kholtoson deposit

Холтосонское месторождение		
Жильные минералы	Главные	Кварц (SiO ₂)
	Второстепенные	Флюорит (CaF ₂)
		Калиевый полевой шпат (KAlSi ₃ O ₈)
		Мусковит (KAl ₂ [AlSi ₃ O ₁₀](OH) ₂)
Рудные минералы	Главные	Гюбнерит (MnWO ₄)
		Пирит (FeS ₂)
		Халькопирит (CuFeS ₂)
	Второстепенные	Сфалерит (ZnS)
		Галенит (PbS)
		Тетраэдрит (Cu ₃ SbS ₃)
		Айкинит (PbCuBiS ₃)
		Шеелит (CaWO ₄)
		Гессит (Ag ₂ Te)
		Станнин (Cu ₂ FeSnS ₄)
		Сидерит (FeCO ₃)
		Родохрозит (MnCO ₃)
		Редкие
	Борнит (Cu ₅ FeS ₄)	
	Матильдит (AgBiS ₂)	
	Неизвестные фазы (Cu ₂ PbS ₃ , Cu ₂ Pb ₃ S ₅)	
	Вторичные минералы	
Церрусит (PbCO ₃)		

агрегатами неправильной формы с характерной ярко-красной, коричневатой или бурой окраской. Выраженный идиоморфизм кристаллов гюбнерита и агрегаты неправильных зерен свидетельствуют о его отложении как на ранних, так и на более поздних этапах.

Кроме гюбнерита из вольфрамовых минералов в составе месторождения в меньших количествах присутствует шеелит (см. табл. 1). Он чаще слагает агрегаты неправильных форм и, по всей видимости, является более поздним по образованию минералом по сравнению с гюбнеритом.

Пирит нередко имеет наиболее идиоморфную форму, близкую к кубической (рис. 4, а), что говорит о его более раннем образовании. Нередко зерна пирита корродируются – как бы разъедаются другими рудными минералами, чаще галенитом. В некоторых образцах отмечаются сплошные скопления пирита.

Галенит в основном образует агрегаты неправильной формы с характерными треугольниками выкрашивания (рис. 4, а, б), чаще в сростании со сфалеритом, реже с халькопиритом и тетраэдритом. В некоторых участках он заполняет трещины в кристаллах гюбнерита. Галенит содержит примеси серебра до 2 масс. % и висмута до 4,6 масс. %.

Агрегаты сфалерита преимущественно неправильной формы (рис. 4, а, с) слагают тесные сростания с галенитом, что, по всей видимости, свидетельствует об их близодновременном формировании. В составе сфалеритов всегда отмечается примесь кадмия (от 0,48 до 1,34 масс. %), в некоторых зернах присутствует примесь железа (0,31–0,57 масс. %).

Халькопирит отмечается в виде агрегатов неправильной формы (см. рис. 4, с), а также нередко образует «оторочки» вокруг зерен пирита. Это говорит о том, что халькопирит является более поздним. В некоторых участках отмечается в виде мелких вкраплений или сыпи в агрегатах сфалерита.

Тетраэдрит образует относительно идиоморфные кристаллы кубической или неправильной формы в тесном сростании с агрегатами халькопирита и галенита. Это свидетельствует об их близодновременном отложении в жилах либо о том, что тетраэдрит является несколько более ранним из-за более выраженного идиоморфизма. Кроме этого, он отмечается в виде микровключений каплевидной формы (рис. 4, д). Содержание мышьяка в тетраэдрите варьирует в пределах 4,68–5,95 масс. %, цинка – 6,83–7,41 масс. %.

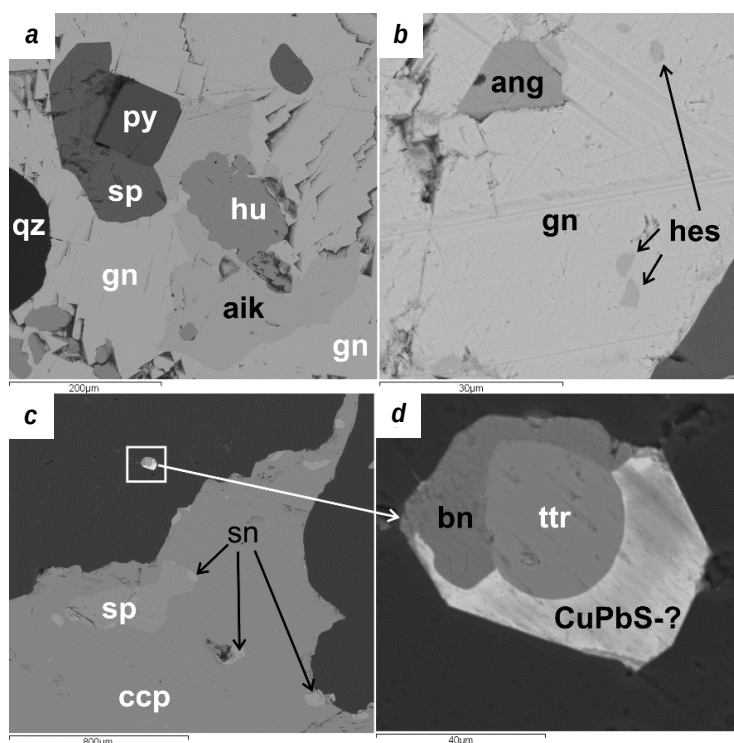


Рис. 4. Микрофотографии рудных минералов в обратно рассеянных электронах:

a – взаимоотношения гюбнерита, айкинита, сфалерита, пирита в агрегате галенита;
b – микровключения гессита (стрелки) в зерне галенита; *c* – сфалерит и станнин в агрегате халькопирита;
d – срастание борнита, тетраэдрита и неизвестной фазы CuPbS

hu – гюбнерит; *sp* – сфалерит; *py* – пирит; *gn* – галенит; *ccp* – халькопирит; *aik* – айкинит;
ttr – тетраэдрит; *qz* – кварц; *sn* – станнин; *hes* – гессит; *bn* – борнит; *ang* – англезит

Fig. 4. Micrographs of ore minerals in backscattered electrons:

a – relationships between hubnerite, aikinite, sphalerite, and pyrite in a galena aggregate;
b – hessite microinclusions (arrows) in a galena grain; *c* – sphalerite and stannite in a chalcopyrite aggregate;
d – intergrowth of bornite, tetrahedrite and an unknown CuPbS phase

hu – hubnerite; *sp* – sphalerite; *py* – pyrite; *gn* – galena; *ccp* – chalcopyrite; *aik* – aikinite;
ttr – tetrahedrite; *qz* – quartz; *sn* – stannite; *hes* – hessite; *bn* – bornite; *ang* – anglesite

Кроме вышеописанных минералов по результатам проведения электронной микроскопии в рудных жилах идентифицированы второстепенные и редкие минералы (см. табл. 1).

Айкинит присутствует в виде выделений неправильной формы в агрегатах галенита (см. рис. 4, а).

Станнин отмечается в виде мелких твердых включений в агрегатах халькопирита и сфалерита (см. рис. 4, с) и, кроме этого, в виде мелкой сыпи в зернах пирита. Особенностью химического состава станнина являются повышенные содержания цинка (4,5–12,4 масс. %) и меди (до 38,19 масс. %), а также пониженные содержания железа (до 10 масс. %) и олова (17,8–26,7 масс. %) по сравнению со стехиометрическим составом.

Борнит (см. рис 4, d) и гессит (см. рис 4, b) обнаружены в виде единичных зерен в кварце и микровключениях в галените.

Также в виде редких включений в галените отмечаются сульфовисмутит серебра и свинца шапбахит ($\text{Ag}_{0,4}\text{Pb}_{0,2}\text{Bi}_{0,4}\text{S}$) и сульфид висмута и серебра матильдит (AgBiS_2) в виде оторочек по галениту (см. табл. 1).

Кроме этого, в рудах идентифицированы неизвестные фазы с формулами, близкими к Cu_2PbS_3 и $\text{Cu}_2\text{Pb}_3\text{S}_5$ (см. рис. 4, d), образующие неоднородный агрегат в срастании с борнитом и тетраэдритом.

Вторичные гипергенные минералы представлены англезитом и церусситом, часто приуроченным к трещинкам и пустотам, что говорит об их позднем образовании.

На основе минералого-петрографического изучения авторами построена схематичная последовательность минералообразования в рудных жилах Холтосонского месторождения. Данная последовательность представлена на рис. 5.

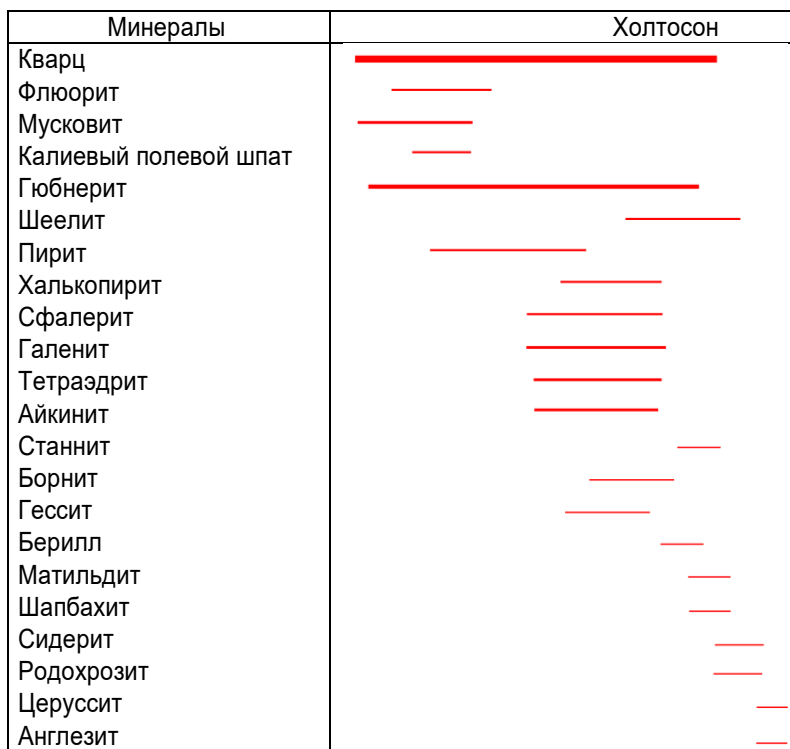


Рис. 5. Последовательность минералообразования в рудных жилах Холтосонского месторождения
Fig. 5. Sequence of mineral formation in the ore veins of the Kholtoson deposit

Термобарогеохимические исследования Холтосонского месторождения. Данные об условиях формирования и солевом составе рудообразующих растворов вольфрамового оруденения Холтосонского месторождения получены в результате изучения первичных флюидных включений из кварца, флюорита и гюбнерита кварц-сульфидно-гюбнеритовых жил. В этих минералах найдены включения с наиболее пригодными размерами для изучения методами термометрии, криометрии и КР-спектроскопии. В зернах кварца месторождения, как правило, доминируют вторичные включения, которые залечивают многочисленные трещины. К категории первичных флюидных включений, согласно известным критериям [17], отнесены флюидные включения, равномерно распределенные в объеме минерала-хозяина или приуроченные к зонам роста и располагающиеся на удалении от залеченных трещин и шлейфов вторичных включений.

В кварц-сульфидно-вольфрамитовых жилах Холтосонского месторождения главный жильный минерал также представлен кварцем. В нем первичные включения на удалении от залеченных трещин встречаются достаточно редко, они представлены одиночными

флюидными включениями или группами включений. Как правило, такие флюидные включения представлены двухфазовыми включениями (жидкость > газ) часто прямоугольной или ромбовидной формы размером в среднем от 10 до 20 мкм (рис. 6, а–с). Кроме этого, в зернах кварца обнаружены единичные флюидные включения (рис. 6, d) с достаточно крупной газовой фазой (жидкость = газ), природа таких включений недостаточно ясна. В зернах флюорита присутствуют также двухфазовые (жидкость > газ) редкие первичные включения (рис. 6, e–g), в некоторых из них отмечаются очень мелкие твердые фазы темного цвета (см. рис. 6, e), состав которых не удалось идентифицировать методом КР-спектроскопии. Эти включения в основном имеют округлую или изометричную форму, размеры их в среднем составляют 15–25 мкм. Подобные весьма редкие двухфазовые включения меньших размеров (≤ 10 мкм) обнаружены и в зернах гюбнерита (рис. 6, h).

Кроме этого, в некоторых зернах кварца отмечаются группы включений существенно водного и существенно газового состава (рис. 6, i, k, l), которые можно условно отнести к включениям гетерогенного захвата, поскольку они располагаются вблизи друг друга

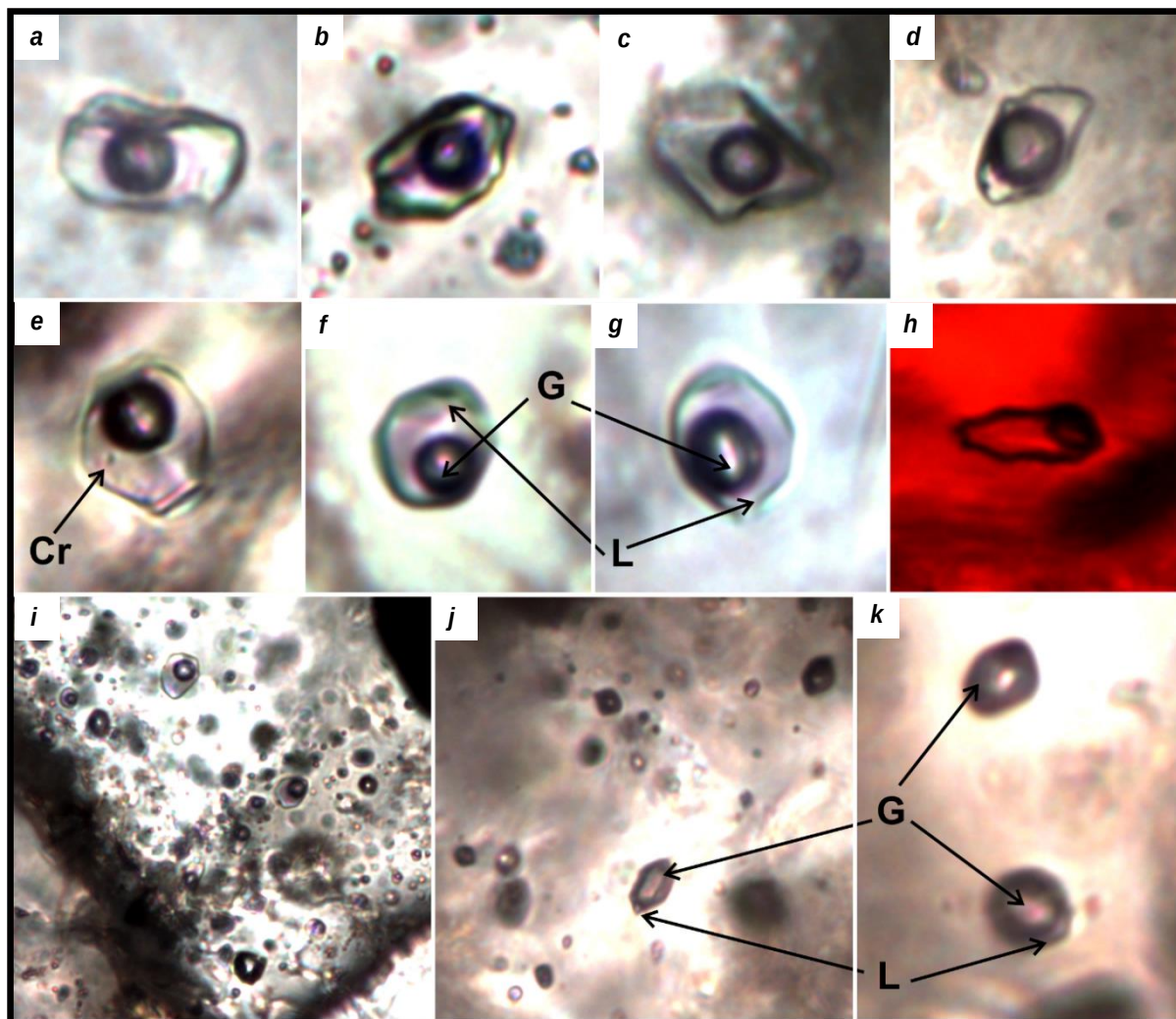


Рис. 6. Первичные флюидные включения из кварц-сульфидно-гюбнеритовых жил Холтосонского месторождения:

a–d – первичные двухфазовые флюидные включения гомогенного захвата в зернах кварца;
e – первичное флюидное включение с мелкой твердой фазой во флюорите; f, g – первичные двухфазовые флюидные включения в зернах флюорита; h – первичное двухфазовое включение в кристалле гюбнерита;
i – группа существенно газовых и существенно водных флюидных включений в зерне кварца;
j, k – сингенетичные флюидные включения в кварце

Длина масштабной линейки – 10 мкм

Fig. 6. Primary fluid inclusions from quartz-sulfide-hubnerite veins of the Kholtozon deposit:

a–d – primary two-phase fluid inclusions of homogeneous capture in quartz grains; e – primary fluid inclusions with a fine solid phase in fluorite; f, g – primary two-phase fluid inclusions in fluorite grains;
h – primary two-phase inclusion in a hubnerite crystal; i – group of vapor- and water-dominated fluid inclusions in a quartz grain; j, k – syngenetic fluid inclusions in quartz

The length of the scale rule is 10 μm

и поэтому, вероятнее всего, относятся к одной зоне роста минерала-хозяина. Размеры таких включений, как правило, небольшие – от первых микрометров до ~8–9 мкм. Наличие редких зерен с такими включениями, по всей видимости, является свидетельством эпизодического вскипания рудообразующих растворов.

Интервал температур гомогенизации изученных первичных включений гомогенного захвата в жильном кварце меняется от ≥ 344 до

210 °C (табл. 2, см. рис. 6). Температуры эвтектики в большинстве включений из кварца варьируют в интервале от ~-50 (в некоторых включениях -55) до -49 °C, реже в интервале от -38 до -36 °C. Данные температуры эвтектики свидетельствуют о присутствии в растворах таких солевых компонентов, как $\text{CaCl}_2\text{-KCl-H}_2\text{O}$, $\text{CaCl-H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$ и в меньшей степени $\text{MgCl-KCl-H}_2\text{O}$, $\text{NaCl-FeCl}_2\text{-H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{O}$.



Таблица 2. Сводная таблица результатов микротермометрических исследований флюидных включений в минералах Холтосонского месторождения
Table 2. Summary table of the results of microthermometric studies of fluid inclusions in Kholtoson deposit minerals

Минерал-хозяин	Тип флюидных включений		T_g , °C	$T_{пл\ льда}$, °C	$T_{эвт}$, °C	Соленость, масс. % экв. NaCl [3]	Тип солевой системы [4]
Кварц	Гомогенные		≥344...210	-7,2...-2,9	-38...-36 -50...-49 -55	4,8–10,7	MgCl-KCl-H ₂ O NaCl-FeCl ₂ -H ₂ O FeCl ₃ -H ₂ O CaCl ₂ -KCl-H ₂ O CaCl-H ₂ O CaCl ₂ -NaCl-H ₂ O
	Гетерогенные	Тип а – существенно газовые	≥413...350 (гомогенизация в газ)	–	–	–	–
		Тип б – существенно водные	≥400...370	~-4,4	-48...-47	~7	CaCl-H ₂ O
Флюорит	–	–	≥272...260	-3,9...-3,7	-49...-48	6–6,3	CaCl-H ₂
Гюбнерит	–	–	≥290...250	-6,5...-5,7	-55...-54	8,8–9,9	CaCl ₂ -NaCl-H ₂ O

Примечание. T_g – температура гомогенизации; $T_{пл\ льда}$ – температура плавления льда; $T_{эвт}$ – температура эвтектики; прочерк – параметр не определен.

Note. T_g – homogenization temperature; $T_{пл\ льда}$ – ice melting temperature; $T_{эвт}$ – eutectic temperature; dash – parameter is not defined.

Температуры гомогенизации существенно газовых флюидных включений (тип а) находятся в интервале ≥413–350 °C (см. рис. 6), гомогенизация происходит в газовую фазу. Доминирующая часть температур гомогенизации флюидных включений гомогенного захвата из разных минералов приходится на диапазон 250–300 °C (см. рис. 6), в меньшей степени – на диапазон 200–250 °C.

Существенно водные включения (тип б) гомогенизируются в интервале температур ≥295–260 °C. Из-за небольших размеров только в одном включении удалось приблизительно оценить температуру таяния льда ~-4,4 °C, что соответствует общей солености раствора ~7 масс. % экв. NaCl.

Из-за редких зерен флюорита в кварцевых жилах, а также включений в них всего удалось найти и изучить несколько первичных флюидных включений, которые представлены включениями гомогенного захвата (см. рис. 6, е, ф, г). В некоторых из них отмечаются очень мелкие твердые фазы (см. рис. 6, е), идентифицировать которые не удалось. Гомогенизация таких флюидных включений происходит в узком интервале температур ≥272–260 °C.

Температуры эвтектики меняются в узком интервале от -49 до -48 °C, что соответствует солевой системе CaCl₂-H₂O. Температуры плавления льда для этих включений несколько ниже по сравнению с аналогичными температурами для флюидных включений из других минералов и находятся в интервале -3,9...-3,7 °C, что соответствует солености 6–6,3 масс. % экв. NaCl (см. табл. 2).

Кристаллы гюбнерита насыщены большим количеством газовых включений, в редких зернах удалось обнаружить двухфазовые газозо-жидкие включения (см. рис. 6, h), которые имеют, как правило, небольшие размеры 4–10 мкм и лишь в единичных случаях достигают 15–20 мкм. Температуры гомогенизации таких включений меняются от ≥290 до 250 °C, температуры эвтектики находятся в узком интервале -55...-54 °C, который наиболее близок системе CaCl₂-NaCl-H₂O. Температуры плавления льда меняются от -6,5 до -5,7 °C. Соответственно, соленость в данном случае варьирует от 8,8 до 9,9 масс. % экв. NaCl.

В составе газовой фазы включений из кварца рудных прожилков, по данным КР-спектроскопии, идентифицирован углекислый



газ, в некоторых флюидных включениях отмечается небольшой пик азота.

Заключение

Главными жильными минералами Холтосонского месторождения являются кварц и мусковит с примесью калиевого полевого шпата и флюорита, что говорит о наличии в составе минералообразующих флюидов таких элементов, как кремний, калий, алюминий, фтор, кальций. Гюбнерит, большая часть которого, судя по идиоморфизму, отложилась в начальный период минералообразующего процесса, является главным рудным минералом Холтосонского месторождения. Однако кроме гюбнерита здесь присутствует достаточно большое количество и других рудных минералов. В общей сложности авторами диагностировано более 20 минеральных видов. Относительно большое количество минеральных видов рудных минералов (гюбнерит, сульфиды, сульфосоли и др.) свидетельствует о наличии в рудообразующих растворах таких элементов, как вольфрам, марганец, сера, железо, медь, свинец, цинк, висмут, бериллий, олово, серебро, теллур, молибден и др. В то же время главным и количественно преобладающим минералом является гюбнерит. Это может быть связано либо с высоким содержанием вольфрама относительно других элементов в растворах, либо со специфическими физико-химическими параметрами, благоприятными именно для отложения гюбнерита по сравнению с другими минералами при близких концентрациях разных рудообразующих элементов в первичном рудообразующем растворе.

Минеральный состав руд Холтосонского месторождения близок к минеральному составу ранее изученного Инкурского месторождения. Отсутствие значимых различий в минеральном составе рудных прожилков Инкурского штокерка и жил Холтосонского месторождения свидетельствует об едином источнике рудообразующих флюидов, формировавших вольфрамовое оруденение на Джидинском рудном поле.

Результаты исследования флюидных включений гомогенного захвата месторождения показали, что минимальные температуры

отложения кварца варьируют в интервале ~210–344 °С. Большинство определений попадает в диапазон 250–300 °С. Близкие температуры гомогенизации характерны для флюидных включений из флюорита и гюбнерита – 260–272 °С и 250–290 °С соответственно. Рудообразующие растворы характеризуются умеренной соленостью ~4,8–10,7 экв. NaCl, главные солевые компоненты представлены хлоридом кальция с примесью хлоридов натрия и калия. В газовой фазе включений, по данным КР-спектроскопии, присутствует углекислота. Наличие фторсодержащих минералов (флюорита, топаза, фторсодержащего мусковита) свидетельствует о присутствии соединений фтора в составе флюида. Согласно исследованиям Ф. Г. Рейфа и Е. Д. Бажеева [13], месторождения Джидинского рудного поля были сформированы при участии фторидных компонентов в гидротермальных растворах.

Наличие сингенетических существенно водных и существенно газовых включений в кварце из руд Холтосонского месторождения позволяет оценить истинную температуру минералообразования как ~350–413 °С. Максимальные температуры гомогенизации характерны для газовых включений, сингенетических с водными. Появление включений гетерогенного захвата в жилах Холтосонского месторождения свидетельствует о периодах вскипания, обусловленных падением давления в процессе минералообразования, вызванного, по-видимому, появлением крупных трещин, в которых формировались рудные жилы. Большое количество газовых включений в гюбнерите и сфалерите говорит о том, что их отложение, возможно, происходило при участии газовой фазы.

Предполагается, что главным фактором осаждения вольфрамитов на месторождении было понижение температуры в ходе рудоотложения, что наблюдается и на других объектах [18–20]. Высокое содержание мусковита в зальбандах рудных жил свидетельствует о повышенной кислотности минералообразующих растворов. Известно, что в щелочной гидротермальной среде растворимость вольфрамитов нечувствительна к температуре и солености раствора, тогда как в кислых растворах



снижение температуры способствует его осаждению [21, 22]. Кроме того, согласно экспериментальным данным [21], в кислых растворах растворимость гюбнерита выше, чем ферберита, практически на порядок. Данные по минеральному составу руд свидетельствуют

о повышенной кислотности рудообразующих растворов. Это позволяет считать, что главными факторами осаждения гюбнерита из гидротермальных растворов являются изменение щелочности-кислотности и снижение температуры.

Список источников

1. Damdinova L. B., Damdinov B. B., Huang X.-W., Bryansky N. V., Khubanov V. B., Yudin D. S. Age, conditions of formation, and fluid composition of the Pervomaiskoe molybdenum deposit (Dzhidinskoe ore field, South-Western Transbaikalia, Russia) // *Minerals*. 2019. Vol. 9. Iss. 10. P. 572. <https://doi.org/10.3390/min9100572>.
2. Дамдинова Л. Б., Дамдинов Б. Б. Минеральный состав и условия формирования руд Инкурского вольфрамового месторождения (Джидинское рудное поле, Юго-Западное Забайкалье) // *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 3. С. 290–306. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-3-290-306>.
3. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // *Fluid inclusions in minerals: methods and application: short course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals"* / ed. by B. De Vivo, M. L. Frezzotti. Pontignano – Siena, 1994. P. 117–130.
4. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газозо-жидких включений в минералах методом криометрии // *Геология и геофизика*. 1977. Т. 18. № 8. С. 16–27.
5. 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.
6. Онтюев Д. О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М.: Наука, 1974. 244 с.
7. Батурина Е. Е., Рипп Г. С. Молибденовые и вольфрамовые месторождения Западного Забайкалья (основные черты металлогении и геохимии). М.: Наука, 1984. 152 с.
8. Гордиенко И. В., Гороховский Д. В., Смирнова О. К., Ланцева В. С., Бадмацыренова Р. А., Орсов 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>.
9. Дистанова А. Н. Позднепалеозойские гранитовые интрузии западной части Джидинской зоны (Западное Забайкалье) // *Гранитоидные комплексы Сибири / отв. ред. Ю.А. Кузнецов*. Вып. 440. Новосибирск: Наука, 1979. С. 3–23.
10. Ходанович П. Ю., Смирнова О. К. Вольфрамоносные березиты и локальный прогноз оруденения. Новосибирск: Наука, 1991. 208 с.
11. Ходанович П. Ю. Молибдено-вольфрамовые месторождения Джидинского рудного поля // *Месторождения Забайкалья*. Т. 1. Кн. 1. Чита – М.: Геоинформмарк, 1995. С. 149–163.
12. 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-Mo месторождение, Западное Забайкалье // *Доклады Академии наук*. 1998. Т. 360. № 4. С. 537–540.
13. Рейф Ф. Г., Бажеев Е. Д. Магматический процесс и вольфрамовое оруденение. Новосибирск: Наука, 1982. 158 с.
14. Рейф Ф. Г. Условия и механизмы формирования гранитных рудно-магматических систем (по термобарогеохимическим данным). М.: Изд-во ИМГРЭ, 2009. 498 с.
15. Стельмачонок К. З. О синхронности образования рудовмещающих трещин и формирования молибденовой минерализации на Первомайском штоковом месторождении (Забайкалье) и причинах трещинообразования // *Доклады Академии наук*. 1994. Т. 337. № 3. С. 382–385.
16. Стельмачонок К. З. О близодновременном формировании односистемных прожилков в молибденитовом штоковом рудном теле Джидинского месторождения (Забайкалье) // *Доклады Академии наук*. 1995. Т. 341. № 3. С. 399–402.
17. Реддер Э. Флюидные включения в минералах / пер. с англ. Д. Н. Хитарова; под ред. Л. С. Бородина. В 2 т. М.: Мир, 1987. 1188 с.
18. Heinrich C. A. The chemistry of hydrothermal tin(-tungsten) ore deposition // *Economic Geology*. 1990. Vol. 85. Iss. 3. P. 457–481. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.3.457>.
19. Samson I. M. Fluid evolution and mineralization in a subvolcanic granite stock; the Mount Pleasant W-Mo-Sn deposits, New Brunswick, Canada // *Economic Geology*. 1990. Vol. 85. Iss. 1. P. 145–163. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.1.145>.
20. Xi B. B., Zhang D. H., Zhou L. M., Zhang W. H., Wang C. Characteristics of ore-forming fluid evolution in Dajishan tungsten deposit, Quannan county, Jiangxi // *Acta Geologica Sinica*. 2008. Vol. 82. Iss. 7. P. 956–966.



21. Li J., Liu Y., Zhao Z., Chou I. M. Roles of carbonate / CO₂ in the formation of quartz-vein wolframite deposits: insight from the crystallization experiments of huebnerite in al-kali-carbonate aqueous solutions in a hydrothermal diamond-anvil cell // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 95. P. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.024>.

oregeorev.2018.02.024.

22. Liu X., Xiao C. Wolframite solubility and precipitation in hydrothermal fluids: insight from thermodynamic modeling // *Ore Geology Reviews*. 2020. Vol. 117. P. 103289. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103289>.

References

1. 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;9(10):572. <https://doi.org/10.3390/min9100572>.

2. Damdinova L. B., Damdinov B. B. Mineral composition and formation conditions of the Inkur tungsten deposit ores (Dzhidinsky ore field, South-Western Transbaikalia). *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(3):290-306. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-3-290-306>.

3. Bodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. In: De Vivo B., Frezzotti M. L. (eds.). *Fluid inclusions in minerals: methods and application: short course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals"*. Pontignano – Siena; 1994. p. 117–130.

4. Borisenko A. S. Study of the salt composition of gas-liquid inclusions in minerals by the method of cryometry. *Geologiya i geofizika*. 1977;8:16-27. (In Russ.).

5. Malinovskii E. P. Determination of spatial location of the ore-forming fluid sources of the Dzhida deposits by structural analysis data. In: Mokhosoev M. (ed.). *Dzhidinskii rudnyi raion (problemy razvitiya i osvoeniya mineral'nykh resursov) = Dzhida ore district (problems of mineral resources development and mining)*. Novosibirsk: Nauka; 1984. p. 116–126. (In Russ.).

6. Ontoev D. O. *Mineralization staging and Transbaikalia deposits zoning*. Moscow: Nauka; 1974. 244 p. (In Russ.).

7. Baturina E. E., Ripp G. S. *Molybdenum and tungsten deposits of Western Transbaikalia (the main metallogenic and geochemical features)*. Moscow: Nauka; 1984. 152 p. (In Russ.).

8. Gordienko I. V., Gorokhovskiy 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 deposits, geodynamic conditions of their formation, forecast, and outlook for development. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2018;60(1):3-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S001677701801001X>.

9. Distanova A. N. Late Paleozoic granite intrusions of the western part of the Dzhida zone (Western Transbaikalia). In: Kuznetsov Yu. A. (ed.). *Granitoidnye komplekсы Sibiri = Granitoid complexes of Siberia*. Iss. 440. Novosibirsk: Nauka; 1979. p. 3–23. (In Russ.).

10. Khodanovich P. Yu., Smirnova O. K. *Tungsten-bearing beresite rocks and local mineralization forecast*. Novosibirsk: Nauka; 1991. 208 p. (In Russ.).

11. Khodanovich P. Yu. Molybdenum-tungsten deposits of the Dzhida ore field. In: *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya = Deposits of Transbaikalia*. Vol. 1. Book 1. Chita – Moscow: Geoinformmark; 1995. p. 149–163. (In Russ.).

12. Chernyshev I. V., Gol'tsman Yu. V., Bairova E. D., Ivanova G. F. Rb-Sr-geochronometry of granite sequential formation, greisenization and hydrothermal mineralization: Dzhida W-Mo deposit, Western Transbaikalia. *Doklady Akademii nauk*. 1998;360(4):537-540. (In Russ.).

13. Reyf F. G., Bazheev E. D. *Magmatic process and tungsten mineralization*. Novosibirsk: Nauka; 1982. 158 p. (In Russ.).

14. Reyf F. G. *Formation conditions and mechanisms of granite ore-magmatic systems (by thermobarogeochemical data)*. Moscow: Institute of Mineralogy, Geochemistry, and Crystal Chemistry of Rare Elements; 2009. 498 p. (In Russ.).

15. Stel'machonok K. Z. On synchronization formation of ore hosting fractures and formation of molybdenum mineralization at the Pervomaisk stockwork deposit (Transbaikalia), and causes of fracturing. *Doklady Akademii nauk*. 1994;337(3):382-385. (In Russ.).

16. Stel'machonok K. Z. On near-simultaneous formation of single-system veins in the molybdenite stockwork ore body of the Dzhida deposit (Transbaikalia). *Doklady Akademii nauk*. 1995;341(3):399-402. (In Russ.).

17. Roedder E. Fluid inclusions in minerals; 1987. 1188 p. (Russ. ed.: *Flyuidnyye vkluyucheniya v mineralakh*. Moscow: Mir; 1987. 1188 p.).

18. Heinrich C. A. The chemistry of hydrothermal tin (-tungsten) ore deposition. *Economic Geology*. 1990;85(3):457-481. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.3.457>.

19. Samson I. M. Fluid evolution and mineralization in a subvolcanic granite stock; the Mount Pleasant W-Mo-Sn deposits, New Brunswick, Canada. *Economic Geology*. 1990;85(1):145-163. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.1.145>.

20. Xi B. B., Zhang D. H., Zhou L. M., Zhang W. H., Wang C. Characteristics of ore-forming fluid evolution in Dajishan tungsten deposit, Quannan county, Jiangxi. *Acta Geologica Sinica*. 2008;82(7):956-966. (In Chinese).

21. Li J., Liu Y., Zhao Z., Chou I. M. Roles of carbonate / CO₂ in the formation of quartz-vein wolframite deposits: insight from the crystallization experiments of huebnerite in alkali-carbonate aqueous solutions in a hydrothermal diamond-anvil cell. *Ore Geology Reviews*. 2018;95:40-48. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.024>.

22. Liu X., Xiao C. Wolframite solubility and precipitation in hydrothermal fluids: insight from thermodynamic modeling. *Ore Geology Reviews*. 2020;117:103289. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103289>.

**Информация об авторах / Information about the authors****Дамдинова Людмила Борисовна,**

кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник Лаборатории металлогении и рудообразования,
Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ, Россия,
ludamdinova@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1381-4954>.

Lyudmila B. Damdinova,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Leading Researcher of the Laboratory of Metallogeny and Ore Formation,
Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russia,
ludamdinova@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1381-4954>.

**Сажина Татьяна Ивановна,**

аспирант,
инженер Лаборатории металлогении и рудообразования,
Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ, Россия,
Skuratova.tatyana@list.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4507-6469>.

Tatyana I. Sazhina,

Postgraduate Student,
Engineer of the Laboratory of Metallogeny and Ore Formation,
Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russia,
Skuratova.tatyana@list.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4507-6469>.

**Дамдинов Булат Батуевич,**

доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора по научной работе,
заведующий Лабораторией металлогении и рудообразования,
Геологический институт СО РАН,
г. Улан-Удэ, Россия,
damdinov@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4142-7663>.

Bulat B. Damdinov,

Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),
Deputy Director for Research,
Head of the Laboratory of Metallogeny and Ore Formation,
Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russia,
damdinov@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4142-7663>.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.



Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 07.07.2021; одобрена после рецензирования 23.12.2021; принята к публикации 27.01.2022.

The article was submitted 07.07.2021; approved after reviewing 23.12.2021; accepted for publication 27.01.2022.