

ТЕРМОКРИОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЖИЛЬНОГО КВАРЦА СВЕРДЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА

© 2016 г. С. В. Прибавкин, А. А. Гараева

Свердловское месторождение золота расположено в городской черте Екатеринбурга на площади юго-западного лесопарка. До 1940 г. оно обрабатывалось старательскими артелями. Позднее на месторождении были проведены разведочно-ревизионные работы, показавшие содержания золота в отдельных кварцевых жилах 10–20 г/т [4, 9]. В настоящее время на площади месторождения еще остаются следы горных выработок, представленные оплывшими канавами, шурфами, отвалами золотопромывки. Месторождение приурочено к контакту гранитного массива с габбро и представляет собой серии золотоносных сульфидно-кварцевых жил, сопряженные с метасоматитами березит-лиственитовой формации, связанными с трещинами разрыва [9]. Более подробные сведения о строении месторождения и его минералогии приведены в работах [4, 7, 9].

В данной работе представлены результаты исследования условий образования жильного кварца Свердловского месторождения золота методом термодриометрии и их сопоставление с другими золоторудными месторождениями Урала. Объектом исследования являлись газовой-жидкие включения (ГЖВ) в кварце наиболее распространенного типа жил месторождения, слабоминерализованных пиритом и несущих продуктивную золото-айкинит-тетрадимитовую ассоциацию.

Адамеллиты, вмещающие кварцевые жилы, подверглись метасоматическим преобразованиям, вызвавшим их мусковитизацию и альбитизацию. Во внешней зоне кислый плагиоклаз и микроклин замещаются альбитом, а мусковит совместно с железистым карбонатом развивается по биотиту. Во внутренней зоне на контакте с кварцевым телом доля мелкочешуйчатого мусковита возрастает, при этом сохраняются реликты альби-

тизированного полевого шпата, появляется редкий пирит. Рентгеноструктурным анализом установлено соответствие мусковита политу типу 2M₁. Данные изменения могут соответствовать сокращенной метасоматической колонке при березитизации. Внутри кварцевого тела и в его зальбандах, совместно с мусковитом или порознь, встречается калишпат, что позволяет рассматривать взаимодействие адамеллитов с высокотемпературными слабокислыми растворами с высокой активностью калия и натрия.

Среди жильного кварца выделены две генерации: резко преобладающий гигантозернистый молочно-белый кварц (или кварц 1) и секущий его прозрачный кварц с включениями гематита (кварц 2). Последний образует тонкие (менее 1 мм) проводники, сложенные регенерированными индивидами кварца первой генерации. Продуктивная золото-айкинит-тетрадимитовая ассоциация локализуется в кварце 1. Отдельные кристаллы золота встречаются и в кварце 2. Это предполагает отложение золота на завершающей стадии кристаллизации кварца 1 и в связи с кварцем 2.

В целях определения состава флюидов и температурного режима минералообразования было выполнено изучение термодриометрии газовой-жидких включений в жильном кварце (табл. 1). Большинство ГЖВ представляют собой 2- и 3-фазные вакуоли. Они содержат водно-солевой раствор, жидкую углекислоту и газовую фазу. Существенно газовые включения отмечаются редко. Тем не менее присутствие водно-солевых и газовых включений свидетельствует о кристаллизации минералов в среде несмешивающегося водно-солевого и существенно газового флюида, то есть гетерогенного флюида. Для таких флюидов температурная поправка на давление минимальна [6, 8] и измеряемая темпера-

Таблица 1. Результаты термодриометрического изучения газовой-жидких включений в жильном кварце

№ п/п	n	T _{гом}	T _{эвт}	T _{мСО₂}	T _{льда}	T _{газ-г}	T _{СО₂}	C, мас. %	D, г/см ³	P, бар
1	12	408–324	–35.7...–33.2	–57.7	–8.1...–6.8	6.5–4.5	30.2–30.7	11.8–8.1	0.93–0.80	1096–765
2	7	248–172	–35.7...–34.1	–57.7	–8.4...–5.8	–	28.2–30.4	12.2–8.9	1.14–1.07	710–496
3	6	266–232	–35.8...–32.1	–57.5	–	7.3–5.6	15.1–19.2	8.1–5.4	1.32–1.26	1300–1260

Примечание. В таблице приведены вариации температур гомогенизации (T_{гом}), эвтектики, (T_{эвт}), температура тройной точки (T_{мСО₂}), плавления льда (T_{льда}), плавления газгидрата (T_{газ-г}), частичной гомогенизации CO₂ (T_{СО₂}), а также концентрации солей (C, мас. %) в пересчете на мас. % экв. NaCl, плотности (D, г/см³), давления (P, бар). Измерения температур фазовых переходов во включениях проводились на термодриометрической установке THMSG-600 в температурном диапазоне –196...+600°C.

тура гомогенизации близка к температуре кристаллизации минерала-хозяина.

При нагревании включения в кварце 1 гомогенизируются в жидкую фазу при 410–170°C при этом выделяются два температурных интервала: 320–410 и 250–170°C (рис. 1). Первому интервалу соответствуют первичные включения в форме отрицательных кристаллов и овальной формы размером 8–20 мкм с высокой газонасыщенностью, равномерно распределенные по всему объему данного кварца. Второму температурному интервалу отвечают мнимовторичные включения, располагающиеся в залеченных трещинах.

Установлены точки температур эвтектики (начала плавления замороженных включений) от –35.7 до –33.2°C, а также температуры плавления последней льдинки в диапазоне от –8.4 до –5.8°C и температуры плавления газгидрата CO₂ от 6.5 до 4.5°C. Полученные значения температур фазовых переходов позволяют установить тип водно-солевой системы гидротермального флюида и общую концентрацию во флюиде солей. Согласно им концентрация солей в растворе включений кварца 1 обоих температурных интервалов находится в диапазоне 8–12 мас. % экв. NaCl и соответствует водно-солевой системе, содержащей MgCl₂, FeCl₂ с примесями NaCl [2].

Присутствие в газовой фазе CO₂ хорошо определяется по его тройной точке, то есть точке существования всех трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Для чистого CO₂ она равна –56.6°C. Смещение значений тройной точки до –57.7°C предполагает присутствие других газов, вероятнее всего, метана или азота до 1.5% [11].

Получены значения температуры частичной гомогенизации CO₂ (гомогенизации газовой фазы CO₂ в жидкую) 28.2–30.8°C. По этим данным определялась плотность углекислоты на линии равновесия жидкость–пар. Эти значения плотности углекислого газа использованы для определения давления минералообразующей среды, которое равно сумме парциального давления углекислого газа данной плотности при температуре гомогенизации включения и парциального давления паров воды раствора при этой же температуре в соответствии с [5, 10]. **Включения кварца 1, имеющие высокие значения температуры гомогенизации, формировались при давлении 1100–750 бар. Включения с низкими значениями температуры – при 700–450 бар.** Таким образом, кварц первой генерации кристаллизовался из единого флюида в условиях снижения давления и температуры.

Газово-жидкие включения в кварце 2 при комнатной температуре преимущественно двухфазные, а при охлаждении приобретают трехфазный облик. При нагревании гомогенизируются в узком диапазоне 266–232°C. В сравнении с включениями в кварце 1 они обладают близкими значениями температур точек эвтектик от –35.8 до –32.1

и плавления газгидрата от 7.3 до 5.6°C, значением тройной точки до –57.5, что указывает на близкий солевой состав, но пониженную соленость от 8.1 до 5.4 мас. % экв. NaCl. Кроме того, отличием включений в кварце 2 является пониженное значение температуры частичной гомогенизации CO₂ от 15.1 до 19.2°C. Флюидное давление соответствует 1260–1300 бар.

Полученные данные позволяют высказать предположение о двухстадийном образовании кварцевых жил. На первой стадии подавляющая масса жильного кварца кристаллизовалась из высокотемпературного флюида на фоне понижающегося давления с 1100 до 500 бар и температуры с 410 до 170°C. Состав флюида соответствовал солевой системе H₂O–MgCl₂–FeCl₂–NaCl соленостью 12–8 мас. % экв. NaCl. Сопряженные метасоматические преобразования вмещающих адамеллитов выразились в развитии мусковита, альбита, железистого карбоната с последующей кристаллизацией калишпата и мусковита внутри кварцевого тела. Ко второй стадии мы относим образование системы кварцевых проводников по сколовым трещинам в кварцевом теле и окружающих гранитах, что связано с возрастанием давления при тектоническом сжатии. На этой стадии флюид обладал несколько повышенной температурой 230–260°C относительно поздних стадий кристаллизации раннего кварца и пониженной соленостью, соответствующей 8.1–5.4 мас. % экв. NaCl. При этом солевой состав флюидов обеих стадий был сходен. Представленные результаты хорошо согласуются с ранее полученными данными по гомогенизации флюидных включений: 320 и 270–230°C [9] и подтверждаются геологическими наблюдениями, согласно которым отложение минералов жил происходило в две стадии, разделенные синрудной тектоникой [4].

Сопоставление термокриометрических характеристик флюидных включений жильного кварца Свердловского и Березовского месторождений показывает сходства и различия (рис. 1). Флюид мезотермального Березовского месторождения отвечал солевой системе H₂O–NaCl–MgCl₂ (температура эвтектики от –28 до –37) с преобладанием NaCl, T_{гом} = 365–255°C, соленость от 14.9 до 2.0 мас. % экв. NaCl [1, 3]. Он был высокоуглекислотным, и отложение руд происходило из сепарированного водно-солевого и существенно углекислотного флюида [3]. При сопоставимых параметрах флюид Свердловского месторождения отличался преобладанием в солевой системе MgCl₂ и, вероятно, присутствием FeCl₂. Наличие последнего может объяснить кристаллизацию гематита, особенно в кварце поздней генерации. Возможно, что флюид, ответственный за формирование Свердловского месторождения, в большей степени отвечал магматогенному.

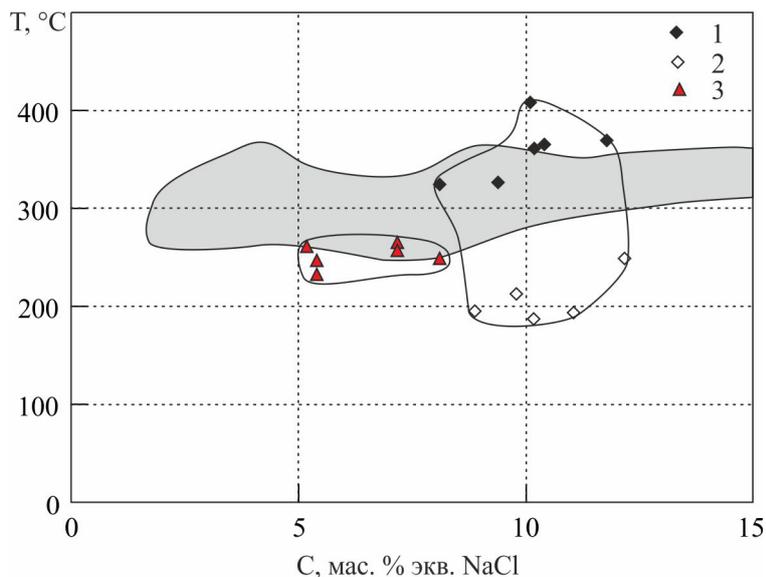


Рис. 1. Термокриометрические характеристики газовой-жидких включений.

1–2 – кварц первой генерации с первичными (1) и мнимовторичными (2) включениями, 3 – кварц второй генерации. Серое поле – жильный кварц Березовского золоторудного месторождения по [1, 3].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00576 и программы УрО РАН (проект № 15-18-5-24).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И.* Условия формирования жильного кварца Березовского золоторудного поля, Средний Урал, по данным изучения флюидных включений и изотопным данным // Уральская летняя минералогическая школа-98: материалы Всерос. науч. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1998. С. 41–49.
2. *Борисенко А.С.* Изучение солевого состава газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
3. *Бортников Н.С.* Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 1. С. 328.
4. *Кутюхин П.И.* Свердловское золоторудное месторождение. Детальное геологическое картирование Свердловского золоторудного месторождения и поиски золотоносных жил: отчет о НИР (окончательный). ГУУЗ Наркомугля СССР, Свердловский горный институт. Свердловск, 1942. 168 с.
5. *Леймлейн С.Д., Клевцов П.В.* Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей // Зап. Всесоюз. минер. об-ва, 1956. Ч. 85, вып. 3. С. 310–320.
6. *Наумов В.Б.* Возможности определения давления и плотности минералообразующих сред по включениям в минералах // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М.: Недра, 1982. С. 85–94.
7. *Прибавкин С.В., Замятин Д.А.* Минералогия Си, Рб, Вб в зоне окисления Свердловского месторождения золота (первые данные) // Ежегодник-2014. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 162. 2015. С. 184–187.
8. *Рёддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. 559 с.
9. *Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. и др.* Золотооруденение Екатеринбургского геологического полигона. Екатеринбург: УГГГА, 1997. 226 с.
10. *Bischoff J.L.* Densities of liquids and vapors in boiling NaCl–H₂O solutions: a PVTX summary from 300°C to 500°C // American Journal of Science. 1991. V. 291. P. 309–338.
11. *Kerkhof A.M.* Isochoric phase diagrams in the systems CO₂–CH₄ and CO₂–N₂: Application to fluid inclusions // Geochim. et Cosmoch. Acta. 1990. V. 54. P. 621–629.