

ТЕРМОКРИОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ МИНЕРАЛООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДЫ В КВАРЦЕ И ШЕЕЛИТЕ КЕДРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОЛЬФРАМА

© 2017 г. С. В. Прибавкин, А. А. Гараева

Кедровское месторождение вольфрама открыто в 1938 г. Д.С. Штейнбергом при геологической съемке участка Благодатских золоторудных месторождений [Штейнберг, 1939]. Оно представляет собой серии кварцевых жил, секущих граниты Кедровского массива, сопровождающиеся метасоматическими изменениями гумбеитовой формации [Грабежев, 1981]. Наиболее крупная шеелитоносная кварцевая жила (точнее, ряд кулисообразно расположенных жил субширотного простирания) прослежена более чем на 1 км. Она характеризуется значительными колебаниями мощности на небольших расстояниях и разделена рядом перемещений. В ее сложении участвует массивный гигантозернистый молочно-белый (разных оттенков серого) кварц, в котором местами отмечены узкие полосы мелкокристаллического полупрозрачного кварца поздней генерации. Калиевый полевой шпат в жиле наблюдается повсеместно, будучи приуроченным к зальбандам и являясь более ранним по отношению к кварцу минералом. Полевой шпат тесно ассоциирует с шеелитом. Последний распространен очень неравномерно. Он встречается, с одной стороны, в зальбандах, образуя скопления неправильных кристаллов (сливающихся иногда в сплошной слой толщиной 1–2 см); с другой стороны, в удалении от зальбандов, формируя как идиоморфные кристаллы размером 5–7 см, так и неправильные скопления, имеющие форму жил в кварце, располагаясь параллельно зальбан-

дам. Шеелит обладает желтой окраской разных оттенков – от почти бесцветного или светло-желтого до медово- и буро-желтого. Сульфиды представлены пиритом, молибденитом, галенитом, висмутином (?), образующими редкую вкрапленность.

В целях определения температурного режима минералообразования, источника и состава флюида Кедровского месторождения изучены термокриометрия газовой-жидких включений, изотопия кислорода в жильном кварце и шеелите образца 5385 из коллекции А.И. Грабежева. Образец представлен сростком кристаллов желтого шеелита размером до 15 мм в молочно-белом кварце. К границам шеелита и кварца приурочено небольшое скопление галенита с пиритом. Здесь же отмечаются клиновидные отпечатки, интерпретированные нами как полости растворения карбоната. Согласно работе Д.С. Штейнберга [1939], данная ассоциация предполагает, что образец был отобран из внутренней части кварцевой жилы, в которой он представляет позднюю генерацию этого минерала на месторождении. Ранняя генерация шеелита, согласно этой же работе, отлагалась совместно с полевым шпатом на стенках трещин и предшествовала формированию жильного кварца.

Большинство первичных флюидных включений как в кварце, так и в шеелите образует двух- и трехфазные (последние преобладают) вакуоли овальной формы или с характерными формами отрицательных кристаллов. Они содержат водный раствор, жидкую углекислоту и газовую фазу с высоким насыщением ($V_{\text{зат.}} = 30\text{--}50\%$).

При нагревании первичные включения в кварце гомогенизируются в жидкую фазу при 296–311°C; мнимовторичные и вторичные включения, располагающиеся в залеченных трещинах, – при 186–232°C. Первичные включения в шеелите гомогенизируются при 262–289°C (табл. 1).

Присутствие в газовой фазе включений CO_2 хорошо определяется по его тройной точке, т. е. точке существования всех трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Для чистого CO_2 она равна -56.6°C . Это значение совпадает с температурой тройной точки в шеелите при криометрических исследованиях, тогда как в кварце оно смещено до -57.7°C . Эти данные позволяют предполагать наличие чи-

Таблица 1. Результаты термокриометрического изучения первичных газовой-жидких включений в шеелите (1), жильном кварце (2) и вторичных включений в кварце (3)

№ п/п	n	$T_{\text{гом}}$	$T_{\text{мCO}_2}$	$T_{\text{газгидр}}$	T_{CO_2}	$D_{\text{фл}}$	$P_{\text{фл}}$
		°C				г/см ³	бар
1	6	276 (262–289)	–56.60	9.95	30.80	0.93	586
2	6	302 (296–311)	–58.02	9.90	31.00	0.92	657
3	5	216 (186–232)	–57.90	9.90	30.00	0.92	536

Примечание. Приведены вариации и среднее значение температур гомогенизации ($T_{\text{гом}}$), температура тройной точки ($T_{\text{мCO}_2}$), плавления газгидрата ($T_{\text{газгидр}}$), частичной гомогенизации CO_2 (T_{CO_2}), а также плотности (D , г/см³), давления (P , бар). Температуру фазовых переходов во включениях измеряли на термокриостатике THMSG-600 в температурном диапазоне $-196\text{...}+600^\circ\text{C}$.

стой CO_2 или CO_2 с небольшой примесью газов, вероятнее всего метана или азота в количестве до 1.5% [Kerkhof, 1990].

Плотность CO_2 во включениях определяли на линии равновесия жидкость–пар [Вукалович, Алтунин, 1965] по температуре частичной гомогенизации углекислого газа при 30.6–31.0°C в жидкость. Она соответствовала значениям около 0.47–0.52 г/см³. Сведения о плотности углекислого газа мы использовали 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 [Леммлейн, Клевцов, 1956; Bischoff, 1991]. Полученные значения давления как для кварца, так и для шеелита близки, составляя 0.66 и 0.59 кбар. Вторичные включения в кварце бронированы при 0.54 кбар.

Тип водно-солевой системы гидротермального флюида определяют по температуре эвтектики (начала плавления замороженной части включений). Общую концентрацию солей во флюиде при высоком содержании растворенного газа, как в нашем случае, оценивают по температурам плавления газ-гидрата CO_2 . Как в кварце, так и в шеелите эта температура близка к +10°C, соответствуя нулевой солёности жидкой составляющей включения, т. е. воде [Darling, 1991]. Отсутствие во включениях растворённых солей подтверждается образованием льда без эвтектики.

Близкие температуры гомогенизации и состав флюидных включений в кварце и шеелите, несмотря на некоторые незначительные различия, допускают их кристаллизацию из единого флюида. Это допущение позволяет провести расчеты температуры кристаллизации по изотопному равновесию кислорода между кварцем и шеелитом, используя эмпирические данные [Matsuhisa et al., 1979; Wesolowski, Ohmoto, 1986]. Поскольку измеренный изотопный состав $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ в кварце и шеелите составляет 11.1 и 2.2‰ соответственно, расчетная температура изотопного равновесия оценивается в 281°C. Отметим, что такое значение совпадает с результатом гомогенизации флюидных включений, тем самым доказывая существование равновесия между кварцем и шеелитом. Расчетная величина изотопного состава минералообразующего флюида $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ при 280°C составляет 3.5‰, указывая на смешанный состав гидротерм, в которых вода магматического источника преобладала.

Онтогенетический анализ образца кварца и шеелита Кедровского месторождения и оценка результатов термокриометрии флюидных включений позволяют сделать ряд заключений. Во-первых, исследованный материал фиксирует условия завершения формирования вольфрамового оруденения при температуре около 280°C и давлении

0.6 кбар. Отложение шеелита происходило из водно-углекислых растворов с высокой долей газовой составляющей и чрезвычайно низкой минерализацией, образующихся, возможно, при вскипании и расслоении высокотемпературного флюида. По этим характеристикам месторождение отличается от Гумбейского месторождения и Шарташского рудопроявления вольфрама, формирующихся в мезобиссальной обстановке при солёности 10–15 мас. % экв. NaCl [Спиридонов и др., 1998]. Наиболее близко ему Баженовское месторождение, рудные жилы которого возникали из слабосолёных 2–5 мас. % экв. NaCl и высокотемпературных гидротерм на гипабиссальном уровне [Прибавкин, Замятина, 2015]. Во-вторых, изотопный состав флюида, сформировавший Кедровское месторождение, аналогичен рудогенерирующему флюиду других уральских месторождений вольфрама (Гумбейского, Баженовского месторождений, Шарташского рудопроявления) и имел преимущественно магматогенную природу [Спиридонов и др., 1998; Прибавкин, Замятина, 2015].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-00576 и Программы УрО РАН, проект № 15-18-5-24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вукалович М.П., Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. М.: Атомиздат, 1965. 455 с.
- Грабежьев А.И. Метасоматизм, рудообразование и гранитный магматизм. М.: Наука, 1981. 176 с.
- Леммлейн С.Д., Клевцов П.В. Влияние концентрации на температуру гомогенизации систем, состоящих из водных растворов солей // Зап. Всесоюз. минер. о-ва, 1956. Ч. 85, вып. 3. С. 310–320.
- Прибавкин С.В., Замятина М.Д. Минералы висмута Баженовского Vi-Mo-W месторождения (Средний Урал) // Уральская минералогическая школа – 2015: мат.-лы. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2015. С. 77–83.
- Спиридонов Э.М., Бакшеев И.А., Середкин М.В., Прокофьев В.Ю., Устинов В.И., Филимонов С.В. Гумбеиты Урала и сопряженная рудная минерализация, условия формирования // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40, № 2. С. 171–190.
- Штейнберг Д.С. Кедровское месторождение шеелита на Урале // Советская геология. 1939. Т. IX, № 2. С. 85–89.
- Bischoff J.L. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H₂O solutions: a PVTX summary from 300°C to 500°C // Americ. J. Sci. 1991. V. 291. P. 309–338.
- Darling R.S. An extended equation to calculate NaCl contents from final clatrate melting temperatures in H₂O-CO₂-NaCl fluid: Implication for P-T-isochore location // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 3869–3871.
- Kerkhof F. Isochoric phase diagrams in the systems CO₂-CH₄ and CO₂-N₂: application to fluid inclusions // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. P. 621–629.

Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clayton R.N. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1979. V. 43. P. 1131–1140.

Wesolowski D., Ohmoto H. Calculated oxygen isotope fractionation factors between water and the minerals scheelite and powellite // *Economic Geology.* 1986. V. 81. P. 471–477.