

Условия формирования руд и состав растворов Ауникского F-Be месторождения (Западное Забайкалье)

© *Л. Б. Дамдинова, Б. Б. Дамдинов, М. О. Рампилов, С. В. Канакин*
Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: ludamdinova@mail.ru

В статье представлены результаты термобарогеохимических исследований руд Ауникского F-Be месторождения (Западное Забайкалье). Установлено, что формирование ранней фенакит-флюоритовой ассоциации происходило из высокофтористых CO₂-содержащих растворов повышенной щелочности с соленостью ~10.5–12 мас. % экв. NaCl при температурах ≥ 370 –260°C и давлениях 1873–1248 бар. Более поздний флюорит и бертрандит формировались растворами с соленостью 6.4–7.7 мас. % экв. NaCl в интервале температур — 156–110 °C и давлений — 639–427 бар. Главными факторами, обусловившими отложение рудных ассоциаций, явились снижение активности F в растворах, а также уменьшение T, сопровождающиеся распадом комплексов Be. Повышенная щелочность растворов обусловила невысокую растворимость Be комплексов, что привело к относительно малому масштабу оруденения.

Ключевые слова: Ауникское F-Be месторождение; флюидные включения; гидротермальное рудообразование; фтор; бериллий; CO₂; рудообразующие растворы; изотопный состав.

Formation conditions and solution composition of the Aunik F-Be deposit (Western Transbaikalia)

L. B. Damdinova, B. B. Damdinov, M. O. Rampilov, S. V. Kanakin
Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: ludamdinova@mail.ru

In this paper results of the Aunik F-Be deposit (Western Transbaikalia) ores thermobarogeochemical study are presented. Formation of the early phenakite-fluorite association occurred from high-fluoride CO₂-containing solutions with increased alkalinity. Salinity of these solutions is ~10.5–12 wt.% eq. NaCl, ore formation temperatures are ≥ 370 –260°C and pressures — 1873–1248 bar. Later fluorite and bertrandite were formed by relatively low-salinity (6.4–7.7 wt. % eq. NaCl) solutions in the temperature range of ≥ 156 –110 °C and pressures of 639–427 bar. The main factors influencing to the ore associations deposition are F activity and temperature of ore-forming solutions decreasing accompanying by the disintegration of Be complexes. Increased alkalinity of solutions caused low solubility of Be complexes, which led to a relatively poor mineralization.

Keywords: Aunik F-Be deposit; fluid inclusions; hydrothermal ore-formation; F; Be; CO₂; ore-forming solutions; isotopic composition.

На территории Западного Забайкалья установлена бериллиеносная провинция, главным объектом которой является одно из крупнейших в мире Ермаковское F-Be месторождение, относящееся к флюорит-бертрандит-фенакитовой формации и отличающееся самым высоким средним содержанием BeO в рудах — 1.34 мас.% [6–7]. В то же время, другие объекты, входящие в состав этой провинции и имеющие схожий состав оруденения, остаются малоизученными. Одним из таких объектов является Ауникское флюорит-бериллиевое месторождение, которое считается аналогом Ермаковского месторождения, но с более бедными рудами [1, 3]. Многие черты геологического строения и вещественного состава руд этих месторождений близки. Так, главными минералами руд являются флюорит, фенакит и бертрандит, главные рудные тела месторождений представляют собой минерализованные зоны и залегают в экзоконтактовой части интрузивов щелочных гранитов. В то же время детального изучения состава и источников рудообразующих растворов, а также выявления условий и механизмов формирования оруденения на Ауникском месторождении ранее не проводилось.

Несмотря на близость некоторых характеристик, Ауникское месторождение значительно уступает Ермаковскому по содержанию Be и масштабам оруденения. Это может быть обусловлено разными факторами: низким содержанием Be в гидротермальных растворах, неблагоприятными для эффективного рудоотложения физико-химическими условиями рудообразующей системы, неподходящим для осаждения Be составом вмещающего субстрата, либо совокупностью нескольких факторов и др. Определение этих факторов необходимо для расшифровки условий и механизмов природного рудообразования и уточнения особенностей поведения бериллия в гидротермальном процессе.

Наиболее богатые участки рудных тел приурочены к пропласткам углистых известняков, в меньшей степени к углисто-карбонатным сланцам. Прослой сланцев минерализованы значительно слабее и зачастую служат естественной границей рудных тел либо являются безрудными промежут-

ками внутри них. Основные рудные тела находятся в непосредственной близости от штокообразного тела лейкогранитов, возраст которого — 241 ± 1.6 млн [4]. Пространственная сопряженность бериллиевого оруденения со штоком лейкогранитов Ауникского месторождения и близость их изотопного состава [2, 4], по всей видимости, свидетельствует о близодновременном их формировании и о тесной связи Be минерализации с гранитоидами. Часть тел контролируется контактовыми зонами даек и массива лейкогранитов. По простиранию рудные тела прослеживаются на 150–300 м, иногда до 500 м, мощность тел от 3 до 60 м, на глубину они прослеживаются до 350 м. Наиболее богатые массивные апокарбонатные флюорит-бериллиевые метасоматические руды месторождения образуют линзовидные тела, содержащие до 50–60 об.% флюорита и 0.2–2.5 мас.% BeO. Текстурно-структурные особенности руд, их реликтовая полосчатость, развитие околопрожилковых оторочек, обогащенных флюоритом и минералами Be, только в известняках, практически полное отсутствие оруденения в прослоях сланцев и скарнов, свидетельствуют о том, что формирование бериллиевого оруденения происходило за счет инфильтрационно-метасоматического замещения углистых известняков.

Кроме главных минералов (флюорита и минералов Be) в рудах присутствуют карбонаты, полевые шпаты, кварц, а также фтор-апатит, циркон, касситерит, минералы редких и редкоземельных элементов. Следовательно, растворы, сформировавшие руды, кроме F и Be, были относительно обогащены Si, Na, K, Al, а также содержали примеси P, Zr, Sn, PЗЭ, Sr, Y, Th, W и др. Такой набор элементов-примесей характерен для щелочных или субщелочных пород среднего-кислого состава. Анализ графиков распределения PЗЭ свидетельствует о связи оруденения с субщелочными лейкогранитами, поскольку они имеют сходные с рудами, формы кривых распределения и близкий уровень концентраций PЗЭ, тогда как графики сиенитов и керсантитов значительно отличаются по характеру распределения элементов.

Для определения условий формирования и состава растворов был проведен комплекс термобарогеохимических исследований флюидных включений (ФВ) преимущественно в зернах флюорита, реже в фенаките/берtrandите. Установлено, что отложение руд с флюоритом I генерации происходило на ранней стадии в интервале температур $\sim 370\text{--}260^\circ\text{C}$ за счет высокофтористых, бериллиеносных, CO_2 -содержащих растворов повышенной щелочности с соленостью $\sim 10.5\text{--}12$ мас. % экв. NaCl при давлениях $\sim 1248\text{--}1873$ бар. В эту же стадию отлагался и фенакит. Температурный диапазон его формирования — $\sim 297\text{--}184^\circ\text{C}$ при солености растворов $\sim 8.3\text{--}12.8$ мас. % экв. NaCl.

Руды с флюоритом II генерации и берtrandитом, по всей видимости, сформировались на более поздней стадии при понижении температур до $\sim 156\text{--}110^\circ\text{C}$ растворами с меньшей соленостью (6.4–7.7 мас. % экв. NaCl) при понижении давления до 427–639 бар. Главным солевым компонентом рудообразующих растворов обеих генераций является CaCl_2 . Присутствие в первичных включениях дочернего щелочного бикарбоната — нахколита указывает на то, что рудообразующие растворы имели повышенную щелочность.

Исследования изотопного состава кислорода и водорода в минералах флюорит-бериллиевых руд, в том числе и в берtrandите, свидетельствуют об их отложении из магматогенных гидротермальных растворов. Учитывая отмечаемую по геологическим соотношениям и геохимическим характеристикам связь оруденения с субщелочными лейкогранитами, можно считать, что последние являлись наиболее вероятным источником рудообразующих компонентов. Повышенная металлоносность этих лейкогранитов подтверждается также наличием сульфидной минерализации с магматогенными изотопными характеристиками серы. Более гетерогенный изотопный состав кислорода из пострудных прожилков говорит о смешении магматогенных растворов с водами другого генезиса, по видимому, метеорными и метаморфогенными, на завершающей стадии рудообразующего процесса.

Устойчивость комплексов водных растворов Be экспериментально изучалась разными исследователями. Однако наиболее полное современное исследование этого вопроса выполнено С. Вудом [8], где на основании имеющихся экспериментальных данных и термодинамических расчетов, оценена растворимость комплексных соединений бериллия с большим количеством лигандов в широком диапазоне значений pH, активностей F^- и CO_3^{2-} .

Анализ этих экспериментальных данных позволил выявить главные факторы, обусловившие отложение F-Be руд Ауникского месторождения, к которым можно отнести снижение активности фтора, вследствие связывания Ca известняков и F из растворов во флюорит, что приводило к разрушению фторидных и фтор-карбонатных комплексов и отложению Be руд, а также температурный фактор: понижение температуры минералообразующего флюида также приводит к снижению активностей комплексов Be.

Повышенная щелочность рудообразующих растворов обусловила невысокую растворимость Ве комплексов, что привело к низкому содержанию Ве в рудах и относительно малому масштабу оруденения.

Работа выполнена в рамках бюджетной программы ГИН СО РАН № 0340-2016-0002, при частичной поддержке РФФИ: гранты № 14-05-00339-а, 17-05-00129-а.

Литература

1. Генетические типы гидротермальных месторождений бериллия / под. ред. А. И. Гинзбурга, М.: Недра, 1975. 248 с.
2. Булнаев К. Б. Фтор-бериллиевые месторождения Витимского плоскогорья: минеральные типы, условия локализации, магматизм, возраст (Западное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2006. № 4 (48). С. 320–334.
3. Куприянова И. И., Шпанов Е. П. Бериллиевые месторождения России. М.: ВИМС, 2011. 353 с.
4. Лыхин Д. А., Ярмолюк В. В. Западно-Забайкальская бериллиевая провинция: месторождения, рудосносный магматизм, источники вещества. М.: ИГЕМ РАН, ГЕОС. 2015. 256 с.
5. Назарова А. С. Полевошпат-флюорит-фенакит-берtrandитовый тип месторождений // Геология месторождений редких элементов. Вып. 27. 1965. С. 73–97.
6. Beryllium: mineralogy, petrology, and geochemistry. Reviews in mineralogy and geochemistry. Editor: Edward S. Grew. University of Maine, Orono, Maine. Series Editor: Paul H. Ribbe. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia. Washington. DC. 2002. USA.
7. Economic geology of granite-related ore deposits of Russia and other FSU countries: an overview / A. A. Kremenetsky [et al.] // A. Kremenetsky, B. Lehmann and R. Seltman (eds.) Ore-bearing granites of Russia and adjacent countries. М.: IMGRE, 2000. P. 3–56.
8. Wood S. A. Theoretical prediction of speciation and solubility of beryllium in hydrothermal solutions to 300°C at saturated vapor pressure: Application to bertrandite/phenakite deposits // Ore geology reviews. 1992. V. 7. P. 249–278.

Дамдинова Людмила Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ.