

## Возраст, геохимия и Sr-Nd изотопный состав пород и руд Снежного месторождения (Восточный Саян)

© Д. А. Лыхин

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН), г. Москва, Россия. E-mail.ru: liha@igem.ru

Одним из богатейших месторождений Алтае-Саянской бериллиеносной провинции является Снежное фенакит-берилловое. Оно пространственно ассоциирует с щелочными гранитами огнитского комплекса и расположено в его апикальной части. Изучен редкоэлементный состав огнитских щелочных гранитов, таннуольских габброидов, бериллиевых и Nb-Ta-руд месторождения. По полученным Ar-Ar и Rb-Sr-изотопным данным, возраст бериллиевого оруденения и магматических пород на месторождении совпадает — 306-308 млн. лет. Полученный возраст согласуется со временем образования многочисленных массивов редкометалльных щелочных гранитоидов и ассоциирующих с ними габброидов в Восточном Саяне. Область распространения этих гранитоидов выделена как позднепалеозойская Восточно-Саянская редкометалльная щелочногранитная металлогеническая зона, специализированная на Nb, Ta, Be, Li, Zr, Th, REE оруденение.

**Ключевые слова:** месторождение бериллия; геохимия; изотопный состав; Алтае-Саянская складчатая область.

## Age, geochemistry and Sr-Nd isotope composition of rocks and ores of the Snezhne deposit (East Sayan)

D. A. Lykhin

Institute of Geology of Rare Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry (IGEM RAS), Moscow, Russia.  
E-mail.ru: liha@igem.ru

The Snezhne phenakite-beryl deposit is one of the highest-grade deposits in the Altai-Sayan beryllium province. This deposit is spatially associated with the alkali granite of the igneous complex and localized in the apical part of the granitic pluton. The trace element composition of granite, tannulsky gabbro, as well as of Be and Ta-Nb ores was studied. The Ar-Ar and Rb-Sr age of Be mineralization and the magmatic rock in the deposit coincide — 306-308 Ma. It is consistent with the time of formation of numerous rare-metal alkali granitic plutons and the gabbro associated with them in the Eastern Sayan. The region of these granitic plutons is outlined as the Late Paleozoic East Sayan rare-metal metallogenic zone specialized for Nb, Ta, Be, Li, Zr, Th, and REE mineralization.

**Keywords:** beryllium deposit; geochemistry; isotope composition; Altai-Sayan field region.

Южное обрамление Сибирской платформы и прилегающая к ней Восточная часть Алтае-Саянской складчатой области (АССО) являются одной из важнейших редкометалльных провинций России. Здесь сформировались различные по генезису крупные месторождения редких земель, редких металлов и редких элементов. Месторождения этой провинции возникли в разных геотектонических обстановках и в разные металлогенические эпохи, что и послужило причиной их разной металлогенической специфики и закономерностями распределения. Наиболее крупные и известные из них — Асхатин, Арыскан, Бело-Зиминское, Белореченское, Вишняковское, Гольцовое, Зашихинское, Карасук, Окуневское, Снежное, Тагнинское, Тастыг, Улуг-Танзек.

Были проведены геологические, изотопно-геохимические и геохронологические исследования на одном из богатейших месторождений АССО — Снежном фенакит-берилловом. Месторождение отвечает фенакит-берилловому минеральному типу [1] является представителем Алтае-Саянской бериллиеносной провинции. Подробное геологическое и минералогическое описание месторождения приведено [1,2,3]. Отметим, что рудовмещающими породами служат биотит-амфиболовые сланцы и известняки монгошинской свиты относимой к позднему протерозою. Породы свиты встречаются в виде ксенолитов среди интрузивных образований и имеют небольшое по сравнению с ними распространение. На месторождении магматические породы представлены проявлениями трех комплексов, наиболее раннего — таннуольского это диориты, габброиды, граниты, гранодиориты, плагиограниты, гранит-порфиры и аплиты; огнитского — граносиениты, щелочные граниты, лейкограниты, сиениты и монзониты и самого позднего дарлинского — диабазовые дайки [4]. Считается, что формирование бериллиевого оруденения на месторождении было связано с внедрением массива щелочных гранитов огнитского комплекса. Бериллиевая минерализация на месторождении представлена фенакитом и бериллом и представляет собой мелкообломочную брекчию. В апикальной частью массива щелочных

гранитов огнитского комплекса, которая сложена альбитовыми гранитами, выявлено более мелкое Ta-Nb-оруденение.

Пробы габброидов таннуольского комплекса, отобранные на месторождении характеризуются слабо фракционированным распределением редких элементов, для габброидов характерна положительная аномалия Pb и не большие отрицательные — Ta и Nb. На дискриминационной диаграмме [5] они находятся в поле внутриплитных базальтов. В петрохимическом отношении гранитоиды огнитского комплекса на месторождении имеют следующие характеристики: SiO<sub>2</sub> 77.75–76.91 мас. %, сумма щелочей — 8.2–8.5 мас.% с небольшим преобладанием Na<sub>2</sub>O над K<sub>2</sub>O, коэффициент агапайности < 1.05, что соответствует щелочным лейкогранитам. Гранитоиды относительно примитивной мантии характеризуются повышенными концентрациями Nb, Zr, Hf, Rb, Th, U, Pb, Ta и пониженными Ba, Sr и Eu/Eu\* = 0.2 с небольшим преобладанием легких редких земель над тяжелыми (La/Yb)<sub>n</sub> = 2.72. На дискриминационных петрохимических диаграммах J. Pearce [6] огнитские гранитоиды попадают в поле внутриплитных образований (WRG).

Похожая тенденция в распределении P3Э сохраняется и в гранитах с Ta-Nb минерализацией. В этих гранитоидах наблюдается еще более пониженные концентрации Sr, Ba и Eu/Eu\* = 0.2 и повышенные Rb, Th, U, Pb, Ta, Nb, Zr, Hf и тяжелыми редкими землями с преобладанием тяжелых редких земель над легкими (La/Yb)<sub>n</sub> = 0.15. Содержание Nb в этих гранитоидах колеблется от 700 до 1500 г/т, Ta — от 300 до 700 г/т, и характерно повышенное содержание Zr — 4400 г/т, Pb — 2650 г/т, Th — 940 г/т и Hf — 420 г/т. В бериллиевых рудах сохраняется та же тенденция в распределении P3Э максимумы концентраций Zr, Hf, Ta, Nb, Rb, Th, U, Pb и пониженные содержания Ba иногда Y и Eu/Eu\* = 0.5. Содержание Be в рудах неравномерное и колеблется от 4620 до 93480 г/т.

Проведенные Rb-Sr-изотопно-геохронологические исследования по биотит-КПШ-фенакит-бериллиевой руде позволили установить, что возраст её формирования ~ 306 млн. лет, при первичном изотопном отношении стронция (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> = 0.7065 [7]. Так же были проведены Ar-Ar геохронологические исследования по амфиболу из габброидов таннуольского комплекса. В спектре амфибола около 87% выделенного <sup>39</sup>Ar образуют двухступенчатое плато, соответствующее возрасту 308.5 ± 5.5 млн. лет, интегральный возраст по всем плато совпадает — 307.5 ± 5.6 млн. лет. Таким образом, мы принимаем за время становление габброидов — 308.5 ± 5.5 млн. лет, что в пределах погрешности совпадает со временем образования самого бериллиевого оруденения на месторождении.

По полученным Sr-Nd изотопным данным амфиболиты монгошинской свиты обогащены радиогенным неодимом +2.55 и обеднены радиогенным стронцием 0.7041, а известняки из той же свиты имеют значение ε<sub>Nd</sub>(T) -3.61 и (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> — 0.7084. Габброиды таннуольского комплекса по величине ε<sub>Nd</sub>(T) колеблются от -0.24 до -1.78 и (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> — 0.7051-0.7067. В щелочных лейкогранитах огнитского комплекса величина ε<sub>Nd</sub>(T) колеблется от -1.95 до -2.28 и (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> — 0.7092-0.7094, такие характеристики ближе всего находятся к известнякам монгошинской свиты. Диабазовые порфириды дарлинского комплекса имеют значение ε<sub>Nd</sub>(T) - 1.1 и (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> — 0.7052, попадая в поле габброидов. Бериллиевая руда имеет значение ε<sub>Nd</sub>(T) - 0.69 и (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>t</sub> — 0.7064. Таким образом, по изотопным данным чисто мантийных по источникам пород на месторождении нет. К умеренно деплетированным мантийным источникам типа DM и (N-MRB) тяготеют составы амфиболитов монгошинской свиты, диабазовых порфиритов дарлинского комплекса и габброидов таннуольского комплекса. В формировании этих пород, принимали участие породы континентальной коры. Изотопный состав бериллиевых руд месторождения располагается ближе всего к составам габброидов, на линии смешения между вмещающими амфиболитами монгошинской свиты и щелочными гранитами огнитского комплекса.

Полученные геохронологические данные позволяют заключить, что образование бериллиевых руд, ассоциирующих габброидов и щелочных гранитоидов на Снежном месторождении произошло одновременно — 309–306 млн. лет в пределах средне-, верхнего карбона. По полученным изотопным Sr-Nd данным, оруденение было сформировано при непосредственном взаимодействии щелочно-гранитных магм огнитского комплекса с амфиболитами монгошинской свиты.

Снежное месторождение находится в Окинской части (АССО) в области сочленения прогиба с Главным Саянским швом, где широко распространены субщелочные и щелочными гранитоиды, в том числе нефелиновые сиениты, которые обычно относятся к огнитскому комплексу. С этими гранитоидами как правило ассоциируют субщелочные габброиды и габбро-монциты. По одному из таких габброидов в районе устья р. Сенцы получен U-Pb-возраст — 305 ± 5 млн. лет (неопубликованные данные И.К. Козакова). Крупные разновозрастные проявления позднепалеозойского щелочного магматизма были выявлены и описаны в восточной части Окинской зоны [8]. Проявления разновоз-

растного щелочногранитного магматизма с редкометальной специализацией достаточно широко распространены в пределах Восточного Саяна и Тувы (Улуг-Танзек, Тастыг). Характерная особенность отвечающих им массивов является сопряженность гранитоидов с субщелочными габброидами. Приведенные данные позволяют говорить, что в пределах Восточного Саяна в позднем палеозое широко проявился щелочногранитный магматизм, характеризующийся высокой редкометальностью, вплоть до образования месторождений Улуг-Танзек и Снежное. Таким образом, в Восточном Саяне можно выделить одноименную область распространения позднепалеозойских гранитоидов специализированную на Nb, Ta, Be, Li, Zr, Th, REE оруденение.

#### *Литература*

1. Генетические типы гидротермальных месторождений бериллия / А. И. Гинзбург [и др.]. М.: Недра. 1975. 247 с.
2. Куприянова И. И., Шпанов Е. П. Бериллиевые месторождения России. М.: ВИМС. 2011. 353 с.
3. Дамдинова Л.Б., Смирнов С. З., Дамдинов Б. Б. Условия формирования богатых бериллиевых руд месторождения Снежное (Восточный Саян) // ГРМ. 2015. Т. 57. № 6. С. 501–512.
4. Геологическая карта СССР м-ба 1:200000. Серия Восточно-Саянская. Лист № 47–XXVIII. 1973.
5. Pearce J. A. The role of subcontinental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins // Continental basalt and mantle xenolith. Eds. Hawkesworth C.J. and Nry H.J. Nantwich, Cheshire: Shiva Publications, 1983. P. 230–249.
6. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Petrlogy*. 1984. V. 70. P. 956–983.
7. Возраст, состав пород, руд и геологическое положение бериллиевого месторождения Снежное: к обоснованию позднепалеозойской Восточно-Саянской редкометальной зоны (Россия) / В. В. Ярмолюк [и др.] // ГРМ. 2011. Т. 53. № 4. С. 390–400.
8. Позднепалеозойские субщелочные и редкометалльные гранитоиды юго-восточной части Восточного Саяна (геохимические характеристики и Rb-Sr-изотопная систематика) / С. В. Рассказов [и др.] // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 11. С. 1133–1144.

**Лыхин Дмитрий Алексеевич**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, г. Москва.