

УДК 553.2:550.4+549.6

## ДАЛЬНЕГОРСКОЕ СКАРНОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ЭТАПНОСТЬ И ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА БОРОСИЛИКАТНЫХ РУД (СИХОТЭ-АЛИНЬ)

© 2014 г. О. А. Карась, В. В. Раткин

Представлено академиком А.И. Ханчуком 13.02.2013 г.

Поступило 27.02.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214100168

Дальнегорское скарновое боросиликатное месторождение – крупнейший минеральный уникум бор-олово-полиметаллической субпровинции, где проявлены магматические образования позднемелового субдукционного Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП) и палеоценового Хасано-Амурского ареала, связанного со скольжением литосферных плит [2]. Несмотря на высокую степень геологической изученности, месторождение остается объектом острых дискуссий по вопросам его генезиса и источника бора рудообразующих растворов [1, 3, 4, 6, 9].

Боросиликатное месторождение находится в центральной части Дальнегорского рудного района Таухинской металлогенической зоны, которая охватывает центральную и восточную части раннемеловой аккреционной призмы Таухинского террейна, перекрытого вулканитами ВСАВП и Хасано-Амурского ареала. В составе зоны при доминировании скарновых и жильных свинцово-цинковых месторождений различают две разновозрастные группы. Для ранних крупнообъемных месторождений прожилково-вкрапленных руд, ассоциированных с толщами игнимбритов возрастом 90–70 млн лет характерны зоны прерудного борного метасоматоза. С этим же этапом связано формирование скарновых боросиликатных руд. С палеоценовым этапом развития Хасано-Амурского ареала (65–57 млн лет) связаны скарновые и жильные свинцово-цинковые месторождения [5].

Скарновые залежи боросиликатных руд Дальнегорского месторождения приурочены к крутопадающему пластовому олистолиту триасовых известняков толщи микститов Таухинского террейна. Юго-западная часть олистолита соответствует Партизанскому скарновому свинцово-цинковому месторождению, где галенит-сфалеритовые рудные тела проявлены как локальные зоны, ассоциированные с ильваит-андрадит-геденбергитовыми скарнами. Боросиликатное месторождение непосредственно сменяет его к северо-востоку при нарастании объема скарнирования известняков. Здесь, в объеме гигантской зоны в теле известняков, ильваит-андрадит-геденбергитовые скарны наложены на минеральные агрегаты предшествующего волластонит-гроссуляр-геденбергит-данбуригит-датолитового этапа скарнирования [8, 10].

Сформированные в ходе повторного скарнирования аксинит-датолитовые руды, ассоциированные с поздними ильваит-андрадит-геденбергитовыми скарнами, являются продуктом гидротермального переотложения датолит-данбуригитовых минеральных агрегатов раннего этапа. В ходе скарнирования ранний датолит подвергался интенсивной перекристаллизации, а данбуригит был нацело замещен скарновыми минералами – ортоклазом, датолитом, кварцем и кальцитом – часто в виде идеальных псевдоморфоз. По данным Ag–Ag-датирования ортоклаза из псевдоморфоз установлено, что поздние скарновые процессы отвечают финальному палеоценовому этапу магматизма Хасано-Амурского ареала, связанного со скольжением литосферных плит ( $57.22 \pm 0.24$  млн лет) [1, 5].

Еще в 60-е годы прошлого века на крайнем северо-восточном фланге Дальнегорского месторождения, на его Левобережном участке, были вскрыты боросиликатные руды с крупнокристаллическим данбуригитом. Детальные минералогические исследования рудных и скарновых ассоциа-

*Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток  
Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Российской Академии наук, Москва*

ций Дальнегорского месторождения проводили, когда Левобережная залежь была уже отработана. При этом данбурит Левобережного участка по умолчанию рассматривали в составе минеральной ассоциации позднего этапа скарнирования. К счастью, на северо-восточной стенке карьера сохранился фрагмент данбуритового рудного тела, который стал предметом наших детальных минералого-геохимических исследований и сравнительного минералогического анализа.

В ходе такого анализа было установлено, что жиллообразное крутопадающее тело северо-восточной ориентировки сложено крупнокристаллическим данбуритом и локализуется в линзовидной полости известняков, практически нацело замещенных серо-зеленым гроссуляром. Данбурит также образует мелкие гнезда в зернистой массе гроссуляра и является по отношению к гранату отчетливо более поздним. В скарнах отмечают реликты известняков в виде участков с оторочками лучистого бледно-зеленого магнезиально-железистого геденбергита. По данным бурения, указанные геденбергит-гроссуляровые скарны уже на глубине 80 м сменяются зоной мономинеральных волластонитовых скарнов.

По минеральному составу и характеру зональности скарнов боросиликатная залежь на Левобережном участке отвечает продуктам раннего боросиликатного этапа формирования месторождения. Сравнительный минералого-геохимический, изотопно-геохимический и термобарогеохимический анализ данбурита Левобережного участка и датолита позднего скарнового этапа из Центрального карьера определенно подтверждают этот вывод (табл. 1).

Изотопные исследования состава кислорода минералов показали, что данбурит кристаллизовался при значительно меньшем участии метеорных вод в составе рудообразующих растворов. В отличие от датолита, аномально обогащенного ураном, данбурит относительно обогащен торием. В нормированном спектре РЗЭ данбурита отчетливо проявлен европиевый минимум. По данным [6], данбурит и датолит различаются и по изотопному составу стронция.

На нижнем уступе карьера, на горизонте +200 м, данбуритовое рудное тело и вмещающие гранатовые скарны брекчированы, данбурит превращен в молочно-белый зернистый агрегат, гранатовые скарны несут прожилки датолит-кварцевого состава. Здесь же присутствуют поздние кварцевые прожилки с гнездами сфалерит-матильдогаленит-арсенидных агрегатов, однотипных гидротермалитам позднего этапа скарнирования.

При исследованиях молочно-белого данбурита на четырехканальном микроанализаторе JXA 8100 (Приморский центр локального элементного и изотопного анализа ДВГИ и Института химии ДВО РАН, Владивосток) было установлено, что данбу-

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика данбурита Левобережного участка (ранний этап) и датолита Центрального карьера (поздний этап, регенерированные боросиликаты)

Характеристика	Данбурит (ранний этап)	Датолит (поздний этап)
$\delta^{11}\text{B}$ , ‰ <sup>1</sup>	+17.68	-11.6...-28.7
Изотопный состав стронция ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) <sup>2</sup>	0.7077	0.7096
Изотопный состав кислорода <sup>3</sup>	+2.2...+3.9	-0.7...+2.2
Состав минералообразующих растворов <sup>4</sup>	Ca, Na, Mg, Cl	Ca, Na, K, Cl
Соленость (NaCl/CaCl <sub>2</sub> ), мас. % <sup>4</sup>	>26.0	16-1.4
Температура формирования минеральных агрегатов <sup>4</sup>	420-300°C	390-180°C
Rb/Sr <sup>5</sup>	0.003	0.14
Zr/Nb <sup>5</sup>	41.39	77.27
Ba/Nb <sup>5</sup>	179.31	222.7
Th/U <sup>5</sup>	2.14	0.03
Eu/*Eu <sup>5,6</sup>	0.96	2.92
$\Sigma\text{PЗЭ}$ <sup>5</sup>	3.83	9.26

<sup>1</sup> Определения выполнены в "West Coast Analytical Service" (США) на ICPM с использованием стандарта NIST SRM (951).  
<sup>2</sup> Данные [6].  
<sup>3</sup> Определения проведены на масс-спектрометре Thermo Finnigan MAT 253 (ДВГИ ДВО РАН).  
<sup>4</sup> По данным изучения газовой-жидких включений с использованием методов криометрии и гомогенизации на поляризационном микроскопе NIKON E 600 POL в комплекте со столиком THMS600 (ДВГИ ДВО РАН).  
<sup>5</sup> По данным определения элементов на ИСП-МС-спектрометре Agilent 7500 с (ДВГИ ДВО РАН).  
<sup>6</sup> Нормировано по отношению к \*Eu = (Sm<sub>n</sub> + Gd<sub>n</sub>) · 0.5 по [14].

рит локально подвергался интенсивной гидротермальной переработке. Брекчированные кристаллы данбурита замещаются в виде ламелл датолитом и пересекаются поздними прожилками гранат-датолит-кварцевого состава (рис. 1).

Вкупе с особенностями локализации руд, спецификой состава скарнов и прямыми признаками наложения позднего скарнирования на минеральные агрегаты данбурита можно утверждать, что на Левобережном участке представлена реликтовая зона данбуритовых руд раннего боросиликатного этапа.

Выполненные в предшествующий период исследования изотопного состава боросиликатов Дальнегорского месторождения [9] показали, что для датолита главной рудной залежи характерны низкие значения  $\delta^{11}\text{B}$  в интервале от -9.62 до -28.69‰, в то же время данбурит с Левобережного участка оказался аномально изотопно утяжелен ( $\delta^{11}\text{B} = +17.68‰$ ). Эти значения не получили своей генетической

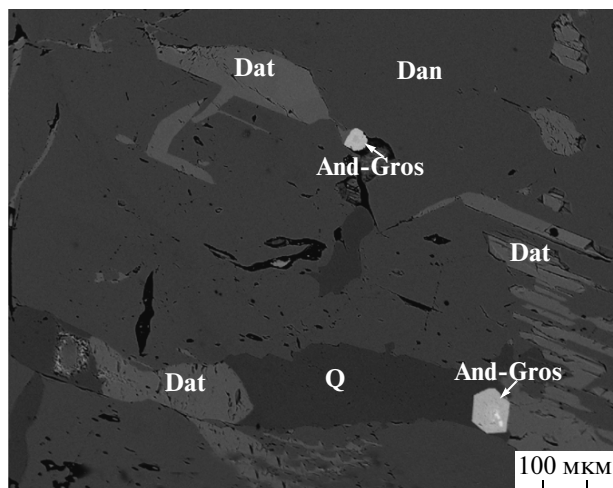


Рис. 1. Ранний данбурит с наложенным гранат-датолит-кварцевым парагенезисом.

интерпретации. В свете же новых данных есть основания утверждать, что именно изотопный состав изученного данбурита соответствует изотопии бора раннего собственно бороносного этапа. Низкие значения  $\delta^{11}\text{B}$  для датолита поздних аксинит-датолитовых руд Центрального карьера являются лишь отражением изотопного фракционирования бора в процессе перекристаллизации, растворения и последующего переотложения боросиликатов в ходе их интенсивного скарнирования. Эти определения не могут выступать изотопными метками в решении вопроса об источнике бора Дальнегорского боросиликатного месторождения.

Значения изотопного состава раннего данбурита ( $\delta^{11}\text{B} = +17.68\%$ ) соответствуют морским эвапоритам. Источником такого бора могли выступать только морские осадочные породы Таухинской аккреционной призмы. Весьма вероятным является наличие в зоне генерации рудоносного магматического очага олистолитов – фрагментов триасовых бороносных лагун карбонатных вершин атоллов [12], которые контаминируются магмой. Однако источником бора могли выступать и собственно толщи раннемеловых аркозовых песчаников матрикса аккреционной призмы, аномально обога-

щенные кластическим турмалином. Природу кластического турмалина аркозовых толщ следует связывать, судя по составу тяжелой фракции и палеотектоническим реконструкциям [7, 11], с протерозойскими толщами метаморфизованных бороносных морских эвапоритов Сино-Корейского щита [13], который в раннемеловое время выступал как область питания окраинно-континентального морского бассейна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 12–05–9293-Инд\_а, 12–05–31041 мол\_а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскина В.А. // ДАН. 2008. Т. 423. № 2. С. 234–237.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 2. С. 573–981.
3. Говоров И.Н. // ДАН. 1976. Т. 230. № 1. С. 186–189.
4. Карась О.А. Условия формирования борных минералов и генезис Дальнегорского боросиликатного месторождения. Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ДВГИ, 2011. 27 с.
5. Лейер П., Раткин В.В. // ДАН. 1997. Т. 352. № 2. С. 222–225.
6. Малинко С.В., Лисицын А.Е., Шергина Ю.П. // Зап. ВМО. 1994. № 4. С. 10–20.
7. Малиновский А.И., Голозубов В.В. // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 35–52.
8. Раткин В.В. Металлогения свинца и цинка тихоокеанской окраины Азии. Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. Владивосток, 1995. 65 с.
9. Раткин В.В., Ватсон Т.Н. // Тихоокеан. геология. 1993. № 6. С. 95–102.
10. Раткин В.В., Симаненко Л.Ф., Сапин В.И. // ДАН. 1992. Т. 310. № 5. С. 1198–1200.
11. Ростовский Ф.И., Хетчиков Л.Н. В сб.: Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. В. 1. С. 113–123.
12. Ханчук А.И., Никитина А.П., Панченко И.В. и др. // ДАН. 1989. Т. 307. № 1. С. 186–189.
13. Xu H., Peng Q., Palmer M.R. // Geol. China. 2004. V. 31. № 3. P. 240–253.
14. McDonough W.F., Sun S.S. // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.