

УДК 552.33+550.08

ОБ ИСТОЧНИКАХ БОРА ДАЛЬНЕГОРСКОГО БОРОСИЛИКАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2008 г. В. А. Баскина

Представлено академиком Д.В. Рундквистом 26.09.2007 г.

Поступило 28.09.2007 г.

Дальнегорское скарново-боросиликатное месторождение (44°36' с.ш., 135°35' в.д.) относится к месторождениям-гигантам. На площади менее 3 км² сосредоточено 3/4 российских и более 3% мировых запасов бора. Месторождение располагается в Прибрежной структурной зоне Сихотэ-Алинской складчатой области, в центре одноименного рудного узла, поперечником около 15 км, в окружении значительных по масштабам, отчасти отработанных скарновых и жильных полиметаллических Pb–Zn-месторождений (Николаевское, Верхнее, 1-е и 2-е Советские, Партизан). Перечисленные месторождения приурочены к горстам складчатого фундамента, сложенного триас-юрско-меловыми кремнисто-терригенными отложениями, надвинутыми на валанжинскую олистострому. Олистострома содержит блоки триасовых известняков, юрских кремней, диабазов, меловых и более ранних песчаников в флишоидном алевролитовом матриксе. В мезозойских кремнисто-терригенных толщах значительную роль играют углистые силициты [1]. Там же широко распространены позднемезозойские плюмовые щелочные базальты, образованные, судя по их изотопно-геохимическим характеристикам, в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза [2]. Боросиликатное оруденение формировалось в инфильтрационных известковых скарнах, образованных по породам олистоплак и матрикса валанжинской свиты – главным образом по триасовым известнякам, реже по песчаникам, алевролитам и брекчиям. Скарновая залежь, длиной 2400 м, приурочена к вертикальным пластинам известняков, имеет трубообразную форму, простирается в северо-восточном направлении (40°–60°), падает к северо-западу под углами 70°–85°, прослежена по падению на 1600 м. На месторождении установлено несколько этапов скарнирования и рудоотложения [3]. К раннему отнесено образование волластонит-гроссуляровых скарнов и почковид-

ных агрегатов волластонита, реже геденбергита и датолита, на которые далее нарастали крупнокристаллический данбурит и датолит. Становление высококальциевых латитов в начале эоцена сопровождалось образованием скарнов второго этапа (длиннолучистый геденбергит и андрадит) и отложением промышленного датолита. Формирование скарновых минералов происходило в интервале 480–320°C, причем каждый новый этап минерализации характеризовался подъемом температуры [3–5]. Замещение раннего данбурита датолитом, геденбергитом, ортоклазом, кварцем и кальцитом происходило при снижении температур растворов от 400 до 150°C [6].

Изотопный состав бора в датолитах и данбуритах месторождения был определен Д. Вудом и С. Карпентером (D.H. Wood, S.B. Carpenter) по образцам Н.А. Носенко методом ICPMS в лаборатории фирмы “BORAX” в Калифорнии, США, в 1994 г. Эти данные, любезно переданные нам главным геологом Дальнегорского месторождения А.В. Чернышевым, публикуются впервые. В 1991 г. прецизионные анализы были сделаны West Coast Analytical Survey (WCAS) в США, значительная часть их опубликована [6]. Результаты находятся в интервале $\delta^{11}\text{B}$ от –11 до –29‰. Близкие значения были ранее получены в ВИМС Л.В. Суминым непосредственно из минералов, без предварительного извлечения бора [7, 8]. Все перечисленные величины $\delta^{11}\text{B}$ ложатся в интервал $\delta^{11}\text{B}$ от –9 до –31‰ (табл. 1). Данные из работ С.В. Малинко и др. [7, 8], для удобства сравнения с другими, мы пересчитали на $\delta^{11}\text{B}$, используя стандарт $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$, равный 4.0436 [9]. Датолит с тем же изотопным составом в небольших количествах отлагался и на ближайших к Дальнегорскому полиметаллических месторождениях – Верхнем и 2-м Советском.

На рис. 1 показаны интервалы значений $\delta^{11}\text{B}$ в магматических и осадочных породах, суммированные в работах [10, 11]. Сравнение с мировыми данными показывает, что изотопный состав бора датолитов и других минералов Дальнегорского месторождения отличается от такового в магматических источниках – гранитах и риолитах, ост-

Таблица 1. Изотопный состав бора в минералах Дальнегорского месторождения и некоторых месторождений Дальнегорского узла

№ п.п.	Минерал	№ обр., место взятия	$\delta^{11}\text{B}$	Источник
1	Датолит	621-2, из кварц-датолитовой жилы	-14.7	[6]
2	»	641-12, псевдоморфоза по раннему данбуристу	-15.5	[6]
3	»	607-3, кварц-датолитовое скопление в гранатовом скарне 2-го этапа	-11.6	[6]
4	»	РН20, крупные кристаллы, 2-й этап, в полости в скарнах	-28.7	[6]
5	»	94-45в, карьер, горизонт +156 м	-15.1	*
6	»	94-45Е, там же	-14.9	*
7	»	Карьер (6 анализов)	От -9 до -31	[8]
8	Данбурит	94-52J, низы скарновой залежи, карьер	-13.4	*
9	»	94-44В, карьер, горизонт +158 м	-17.25	*
10	Аксинит	96-13, участок Западный	-18.05	*
11	Датолит	96-100, м-е Верхнее, в Pb-Zn-рудах	-17.4	*
12	Аксинит	94-42D, м-е 2-е Советское, в Pb-Zn-рудах	-16.75	*
13	Турмалин	94-19С, мыс Бриннера, в гранитах	-8.35	*
14	»	165-158, Дальнегорский район	+26.98	*

Примечание. 1–10 – минералы Дальнегорского месторождения. * Сообщение А.В. Чернышева.

роводужных лавах, базальтах океанического дна и океанических островов, мантийных лавах в целом, а также в органогенных известняках. Полученные величины отвечают изотопным составам бора из осадочных (типа неморских эвапоритов) или осадочно-метаморфических пород. Таким образом, данные об изотопном составе бора в минералах указывают, что в процессе формирования Дальнегорского месторождения основная масса бора, по-видимому, была извлечена из осадочно-метаморфических толщ мезозойского складчатого фундамента.

Изотопные составы кислорода в датолитах свидетельствуют о вовлечении больших масс метеорных вод в транспортировку и отложение бора на Дальнегорском месторождении. По данным Д. Вуда и его коллег, эти составы колеблются от -1.64 до -2.97 $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW). Полученные ранее значения [8] лежат в близком интервале от -2.7 до -5.4 $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW).

Крупные месторождения, как правило, формируются длительно, с вовлечением нескольких источников полезных компонентов. Большинство исследователей Дальнегорского месторождения (в частности, В.М. Щербинин, Р.В. Король, авторы работ [3, 7, 8]) полагают, вслед за И.Н. Говоровым [12], что источником бора служил мантийный щелочнобазальтовый очаг и/или породившие его ювенильные флюиды. Ниже мы рассмотрим эти данные подробнее. Немногие исследователи связывают борную минерализацию Дальнегорского месторождения с остаточными растворами гранитов [5, 6]. Полученные Д. Вудом (устные комментарии) изотопные составы бора из датолита

промышленных руд Дальнегорского месторождения привели его к выводу об извлечении бора из осадочно-метаморфических толщ складчатого фундамента. Эту точку зрения разделяет и автор статьи.

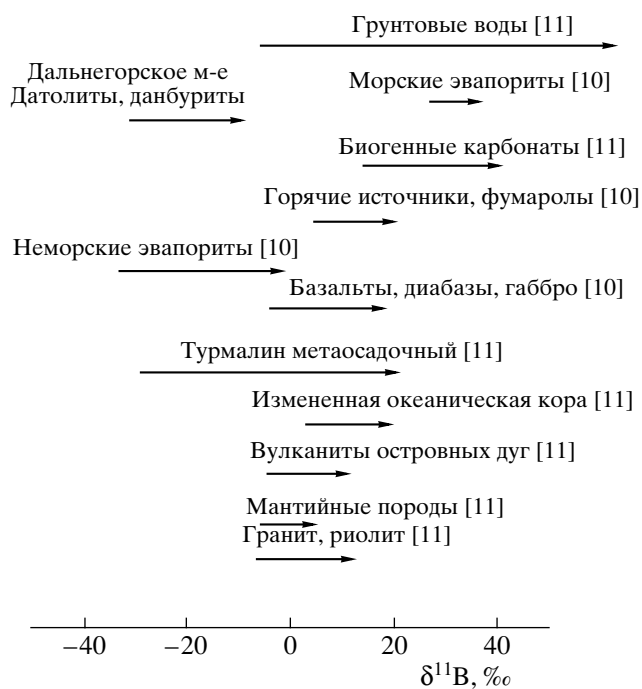


Рис. 1. Интервалы значений $\delta^{11}\text{B}$ из магматических и осадочных образований мира, приведенные в работах [10, 11], и изотопные составы бора в минералах Дальнегорского боросиликатного месторождения.

Накопление бора в океанических осадках связывают с осадочно-эксгальационными процессами, в ходе которых бор адсорбируется в глинистых минералах, а при диагенезе осадков высвобождается, кристаллизуясь в виде турмалина [11]. Исключительно устойчивый к химическим или механическим агентам турмалин разлагается лишь в щелочных флюидах. Среди терригенно-осадочных пород наибольшие содержания бора установлены в углеродсодержащих фациях. Уровень концентраций бора в черных сланцах мира достигает 165–220 г/т [13]. В Дальневосточном регионе средние содержания бора в мезозойских углистых аргиллитах равны 90–200 г/т, причем в южной части региона (где расположено и Дальнегорское месторождение) они существенно выше, чем в северной (соответственно 155–237 и 21–68 г/т в одноименных и одновозрастных образованиях). Однако в бортах р. Рудной, в непосредственной близости (1–2 км) от боросиликатного месторождения, содержания бора в углистых силицитах падают до 41–49 г/т [1]. Такие аномалии могут служить косвенным указанием на процессы ремобилизации бора из осадочно-метаморфических отложений осадочного фундамента. В центре месторождения углеродсодержащие аргиллиты и брекчии залегают в многочисленных тектонических зонах и в приподнятых блоках. Они не отличаются ни концентрациями аксессуарных и рудных элементов, ни изотопным составом углерода (от –27,3 до –30,2‰ PDB) от углистых аргиллитов в осадочных толщах регионального распространения и, по-видимому, представляют породы фундамента, частично выведенные на поверхность при формировании надвигово-блоковой структуры рудного узла.

Имеющиеся факты не противоречат представлениям о том, что промышленные концентрации бора формируются при участии систем подземных вод, циркулирующих на больших глубинах в регионально обогащенных осадочно-метаморфических толщах [4]. В водных флюидах при температурах выше 100°C бор высоко растворим, в то время как La, Ce, Nd, Nb, Ta, Zr, Hf, Ti почти не растворимы [14].

В многоступенчатых процессах накопления запасов бора, на ранних стадиях агентом извлечения бора из турмалинитов метаморфогенно-осадочных толщ могли быть флюиды щелочных магм. На это указывают особенности эндогенных процессов на боросиликатном месторождении. Следует подчеркнуть, что при всех различиях масштабов скарнирования и типов руд боросиликатное и окружающие его скарново-полиметаллические месторождения Дальнегорского рудного узла имеют очень много общего в геологическом строении. Все они приурочены к горстам складчатого фундамента с крупными аллохтонными блоками триасовых известняков (в кото-

рых и развиваются скарны с наложенным оруденением). Присутствие шарьированных пластин кремнисто-терригенных и углисто-терригенных отложений со скоплениями тел мезозойских калиевых щелочных базитов имеет место на всех месторождениях. На всех месторождениях имеются сгущения внутри- и послерудных даек субщелочных базальтов, одинаковых по составу и изотопному возрасту.

Отличия эндогенных процессов на боросиликатном месторождении заключаются в длительной активности очага мезозойских калиевых щелочных базитов. В Прибрежной структурной зоне пояса этих базитов в разломах в горстах фундамента образуют структуру, подобную тройному рифтовому сочленению, к центру которой и приурочен узел скопления магматических тел, метасоматитов и боросиликатных руд Дальнегорского месторождения. Само по себе скопление там на ограниченной площади аномальных по масштабам масс боросиликатных руд и инфильтрационных скарнов свидетельствует о наличии узкого флюидного канала. Неоднократные фазы становления щелочных габбро-долеритов и натровых трахитов, их изотопный возраст (104–65 млн. лет) свидетельствуют об активности локального очага щелочных магм, по меньшей мере, с раннего мела до конца палеоцена. Тот же структурный канал служил в предрудное время и проводником гидротерм, обогащенных растворимыми K, Ba, Rb, V. Воздействием таких растворов объясняется образование высококалийевых латитов (обогащенных Ba и V, но обедненных La, Ce, Nd, Nb, Ta, Zr, Hf). Эти образования неизвестны за пределами боросиликатного месторождения ни в осадочных породах его рамы, ни в палеогеновых магматических ареалах региона.

З а к л ю ч е н и е. Изотопные составы бора в датолитах и данбуритах промышленных руд Дальнегорского месторождения указывают, что в процессе формирования месторождения основная масса бора была извлечена из осадочно-метаморфических толщ мезозойского складчатого фундамента. Перенос и накопление бора на этой стадии осуществлялись в потоке нагретых метеорных вод, вовлеченных в циркуляцию на больших глубинах в регионально обогащенных осадочно-метаморфических толщах. В многоступенчатых процессах накопления запасов бора, на ранних стадиях образования локальных источников, агентом извлечения бора из турмалинитов метаморфогенно-осадочных толщ могли служить щелочно-базальтовые магмы и связанные с ними флюиды. Изотопные составы позволяют также предполагать, что локальный источник бора мог быть в это время сформирован в виде залежи эвапоритов, накопившихся в обстановке эпиконтинентального рифтогенеза. На всех этапах становления боросиликатного оруденения важ-

ную роль играл узкий долгоживущий структурный канал – проводник щелочных расплавов и нагретых метеорных вод глубокой циркуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волохин Ю.Г., Иванов В.В., Сатарова В.В. В сб.: Материалы IV Всероссийского литологического совещания. Осадочные процессы – седиментогенез, литогенез, рудогенез. М.: Геос, 2006. С. 306–309.
2. Баскина В.А., Томсон И.Н., Якушев А.И. // ДАН. 2007. Т. 414. № 3. С. 360–363.
3. Носенко Н.А., Раткин В.В., Лонгвенчев П.И. и др. // ДАН. 1990. Т. 312. № 1. С. 178–182.
4. Александров С.М., Барсуков В.Л., Щербина В.В. Геохимия эндогенного бора. М.: Наука, 1968. 182 с.
5. Прокофьев В.Ю., Перетяжко И.С., Смирнов С.З. и др. Бор и борные кислоты в эндогенных рудообразующих флюидах. М.: ИГЕМ РАН; РФФИ, 2003. 189 с.
6. Раткин В.В., Ватсон Б.Н. // Тихоокеан. геология. 1993. Т. 6. С. 91–102.
7. Малинко С.В., Лисицын А.Е., Сумин Л.В. // ДАН. 1982. Т. 267. № 2. С. 453–456.
8. Малинко С.В., Лисицын А.Е., Шергина Ю.П. // Зап. ВМО. 1994. Т. 123. № 4. С. 10–20.
9. Williams L.B., Wieser M.E., Fennel J. et al. // Geofluids. 2001. Т. 1. № 3. P. 229–240.
10. Bassett R.L. // Appl. Geochem. 1990. V. 5. № 5/6. P. 541–554.
11. Palmer Martin R., Swihart G.H. // Rev. Miner. 1996. V. 33. P. 708–742.
12. Говоров И.Н. // ДАН. 1976. Т. 230. № 1. С. 186–189.
13. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: Наука, 1994. 303 с.
14. Leeman W.P., Sissir V.B. // Rev. Miner. 1996. V. 33. P. 644–707.