

**ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БОРНЫХ МИНЕРАЛОВ  
ДАЛЬНЕГОРСКОГО БОРОСИЛИКАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Карась О.А. (okaras@yandex.ru), Залищак Б.Л.,  
Шабанова Ю.А. (yshabanova-15@yandex.ru), Екимова Н.И.**

*Приморское отделение. Дальневосточный геологический институт ДВО РАН*

**TYPOMORPHIC FEATURES OF BORON MINERALS OF  
THE DAL'NEGORSK BOROSILICATE DEPOSIT**

**Karas' O.A., Zalishak B.L., Shabanova Y.A., Ekimova N.I.**  
*Seaside Branch. Far East Geological Institute Far East Branch RAS*

Важная роль борных минералов как источника бора, содержание которого в земной коре не превышает  $38 \cdot 10^{-4}\%$  по массе, всегда вызывала большой интерес. Существующие представления о геохимической миграции бора в эндо- и экзогенных процессах, происхождении и условиях образования борных минералов во многом схематичны и основаны на гипотетических предположениях. Работа отражает результаты изучения борных минералов Дальнегорского боросиликатного месторождения различными методами и посвящена выявлению их типоморфных особенностей.

Дальнегорское скарновое боросиликатное месторождение приурочено к крупной, вытянутой в северо-восточном направлении на 3,5 км, олистоплаке известняков, залегающей среди осадочного меланжа олистростромовой толщи, перекрытой покровом кремнисто-терригенных пород горбушинской серии. Мощность олистоплаки превышает 600 м. Олистростром, известняки и кремнисто-терригенные породы залегают субвертикально, слагая юго-восточное крыло Центральной антиформы (Юшманов и др., 2004). Линзовидный скарново-рудный массив имеет в целом сложное внутреннее строение, обусловленное наличием блоков незамещенных пород, тектонических нарушений, даек диабазовых порфириров. Под скарновой залежью, на глубине 1100-1400 м глубокими скважинами выявлены биотит-роговообманковые гранитоиды дальнегорского комплекса. Скарны (геденбергитовые, гранатовые, волластонитовые и др.) развиты по известнякам и алюмосиликатным породам и преимущественно сосредоточены в надинтрузивной зоне этого многофазового гранитоидного массива повышенной основности.

Выделяются боросодержащие руды трех типов: 1) датолитовые (залежи Главная, Малая); 2) данбурит-датолитовые (залежь Левобрежная, рудное тело Скрытое); 3) аксинит-датолитовые (залежи Аксинитовая, Водораздельная). Установлено, что с глубиной степень рудоносности убывает в результате увеличения количества и размеров участков безрудных скарнов и останцев незамещенных пород.

Особенности состава, формы, внутреннего строения минералов обнаруживают выраженную связь с условиями образования и последующего преобразованиями. Отсюда следует правомерность постановки обратной задачи – выяснению по типоморфным особенностям минералов специфических условий их образования и дальнейшей истории, т.е. извлечения из минералов конкретной геологической информации.

**Датолит** –  $\text{Ca}_2\text{B}_2[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}]_2$ . По литературным данным, известны значительные скопления датолита, связанные с известковистыми скарнами (Типоморфизм..., 1989). В небольших количествах он встречается и в магнезиальных скарнах, а также в многочисленных гидротермальных проявлениях жильного типа среди изверженных пород основного состава, а также в серпентинитах в ассоциации с цеолитами, пренимом, кварцем, кальцитом, натролитом. В известково-скарновых месторождениях характерна ассоциация датолита с пироксенами салит-геденбергитового состава, волластонитом, гранатами андрадит-гроссулярового состава, аксинитом. Датолит является более поздним по отношению к этим минералам. Датолит чаще всего встречается в пустотах и жилах в гипабиссальных основных изверженных породах (Типоморфизм..., 1989) и в основных эффузивах и ассоциируется с кальцитом, пренимом, цеолитами, а иногда с данбуритом. Датолит встречается также в скарнах на контакте известняков и гранитов, изредка в гранитах. Особенно богатые датолитом породы описаны на Северном Кавказе в метаморфизованных осадочных породах. Здесь минерал ассоциируется с гранатом, кальцитом, пренимом, флюоритом и эгирин-авгитом и образовался в результате воздействия богатых бором эманаций на карбонатные породы. Датолит может также встречаться в серпентинитах и в более высокометаморфизованных породах, например в роговообманковых сланцах. Известны находки датолита в гидротермальных рудных жилах и в магматических рудах.

На Дальнегорском боросиликатном месторождении датолит наиболее распространенный боросиликат (Куршакова, 1976), развивается, как правило, только в пределах волластонитовых и аксинитовых скарновых залежах и за пределами скарнов не обнаружен. Нами выявлена типичная ассоциация зональных образцов, содержащих кварц, кальцит, датолит, единичные зерна рудного минерала. Вмещающими породами для таких прожилков являются полевошпат-кварцевые тонкополосчатые песчаники с зонами катаклаза. Датолит образует друзы, щетки, одиночные кристаллы, зернистые, а также плотные скрытокристаллические агрегаты. Хорошо образованные кристаллы датолита необычайно богаты гранями. Форма зерен дальнегорского датолита преимущественно короткопризматическая. На боросиликатном месторождении на глубоких интервалах разреза (от 700 м до 1100 м) он присутствует в тонкополосчатых агрегатах, состоящих из бледнозеленого датолита, пироксена, реже волластонита. Датолит находится в виде отдельных полос и гнезд в скарнах, образуя зернистые агрегаты с размером зерен от долей миллиметров до 2-5 см. На Дальнегорском боросиликатном месторождении встречаются бесцветные, голубоватые, бледно-зеленные, голубовато-зеленые, желтовато-зеленные разновидности датолита, полупрозрачные и непрозрачные. Кристаллики датолита, выстилающие стенки пустот, прозрачны, блеск стеклянный.

Состав датолита обычно отвечает идеальной формуле, в нем обнаруживается лишь относительно небольшие количества алюминия и железа. Могут также присутствовать другие элементы, кальций может замещаться небольшим количеством марганца, магния и щелочей. Датолит из месторождений и проявлений разного генезиса также характеризуется постоянством состава и свойств. В месторождениях и рудопроявлениях, связанных с мантийным источником бора, в частности, в кимберлитах и некоторых скарновых месторождениях, выявлены специфические особенности датолита, отличающие его от датолита образований, связанных с коровым источником рудного вещества (Типоморфизм..., 1989). Нами были исследованы дальнегорские датолиты методами электронной микроскопии. В результате сопоставления их с литературными данными (Бери и др., 1987; Дир и др., 1965) видно, что состав датолитов практически не отличается. Методами термобарогеохимии были установлены некоторые физико-химические условия образования, которые сводятся к следующему: температура гомогенизации первичных включений в датолите равна 150-185°C. По данным предыдущих исследователей (Кокорин, 1987; Лисичин, 1978), месторождение формировалось в интервале глубин 1,5-2 км (соответственно, давление составляло  $100 \cdot 10^5$ – $500 \cdot 10^5$  Па). Для определения температур минералообразования необходимо введение поправок на давление. Основываясь на выявленных экспериментально температурах и концентрациях, были использованы диаграммы зависимости «поправок на давление» от T и давлений (Реддер, 1987), согласно которым величина поправки составляет 45-55°C. Среднее значение (50°C) учитывается при расчете температуры минералообразования в обсуждаемом интервале и концентрации раствора, которая составляет 3,8% эквивалента NaCl. Таким образом, температура образования датолита составляет 200-225°C.

Температуру плавления эвтектики раствора в датолите определить не удалось. В фазовом составе солевой системы преобладают хлориды калия (температура подплавления твердой фазы – 10,6°C), также после замораживания в них обнаружены хлориды натрия и магния (температура подплавления –35°C). В газовой фазе присутствует углекислота, что выражается в оптическом эффекте «чернильное кольцо» в обрамлении газового пузырька, содержание которой установлено также методом газовой хроматографии для минералов псевдоморфоз по данбуриту первой генерации (аксиниту и кварцу) – (Хетчиков, 1991; Гнидаш, 1992) в количестве 0,125 моль/кг.

**Данбурит** -  $\text{Ca}[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$  образуется как в эндогенных, так и в экзогенных условиях (Типоморфизм..., 1989). Эндогенный данбурит известен в пегматитах, гидротермальных жилах и в скарнах. Наиболее крупные скопления характерны для известково-скарновых месторождений, в которых данбурит ассоциируется с гранатом андрадитового состава и в меньшей мере с пироксеном. В небольших количествах данбурит встречается и в магнезиальных скарнах. Экзогенный данбурит характерен для галогенной формации и связан с гипсово-ангидритовыми толщами разного возраста. Данбурит Дальнегорского боросиликатного распространен лишь в северо-восточной части скарновой залежи (Куршакова, 1976) месторождения, на сопке Левобережной, где он находится в ассоциации с кварцем и андрадитом. Характерная особенность данбурита – постоянная его ассоциация с гранатом и отсутствие ассоциации с геденбергитом. Данбурит является ранним боросиликатом, возможно, частично одновременно с андрадитом. Ассоциация данбурита с аксинитом на этом месторождении практически не была встречена, тогда как датолит развивается метасоматически по данбуриту.

Данбуриты эндогенных и экзогенных образований резко различаются по формам выделения (Типоморфизм..., 1989). Так, в эндогенных месторождениях данбурит слагает кристаллические массы, нередко наблюдаются хорошо образованные индивидуализированные призматические кристаллы размером от  $n$  мм до  $n \cdot 10$  см. В отличие от эндогенных образований данбурит в гипсово-ангидритовых толщах повсеместно представлен белыми порошковатыми мелоподобными выделениями округлых очертаний от мельчайших до крупных (5-6 см в поперечнике), случайно распределенными в породах. Данбурит Дальнегорского боросиликатного месторождения развит в виде призматических кристаллов и их сростков, длина кристаллов от  $1,0 \cdot 0,5$  см до  $30 \cdot 10$  см. На гранях наблюдается вертикальная штриховка. Установлены бесцветные, бледно голубые, бледно желтые кристаллы данбурита, прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные, блеск стеклянный. Исследованные кристаллы, в отличие от описанных в литературе разновидностей, инертны под ультрафиолетовыми лучами.

Температура гомогенизации первичных включений в данбурите равна  $275^\circ\text{C}$ , с учетом поправки на давление (Реддер, 1987), температура образования данбурита составляет около  $300^\circ\text{C}$ . В фазовом составе солевой системы преобладают хлориды натрия и калия (температура подплавления  $-23,5^\circ\text{C}$ ), так же зафиксировано присутствие хлоридов кальция по температуре эвтектики -  $55^\circ\text{C}$ .

**Аксинит** -  $(\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Mn})\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{BO}(\text{OH}))$  широко распространенный минерал. Прожилки аксинита в ассоциации с кварцем, кальцитом, хлоритом, турмалином, эпидотом и сульфидами нередко встречаются в основных магматических породах. В сходных минеральных ассоциациях аксинит распространен в прожилках и зонах околорудных изменений полиметаллических, оловорудных, сульфидных и марганцевых гидротермальных месторождений, связанных с изверженными породами кислого и среднего состава. Аксинит – характерный минерал известковых скарнов, несущих полиметаллическое, оловянное, медное, железное и борное оруденение. В скарнах аксинит обычно ассоциирует с пироксеном, гранатом, эпидотом, полевым шпатом, кварцем и кальцитом (Типоморфизм..., 1989). Аксинит Дальнегорского боросиликатного месторождения развит в скарнах на контакте известняков и песчаников и совместно с другими боросиликатами он слагает две залежи Аксинитовую и Водораздельную. В отдельных участках месторождения образует мономинеральные зоны и прожилки. Мощность аксинитовых зон достигает 10 м и более. В почти мономинеральных зонах мелко- и среднезернистого аксинита встречаются пустоты, стенки которых выстланы более крупными клиновидными кристаллами аксинита, достигающими 0,5 см и более в длину. Наиболее типична ассоциация с эпидотом, полевым шпатом и кварцем – в околоскарновых породах, с гранатом и геденбергитом - в скарнах, реже встречается ассоциация аксинита с датолитом или кальцитом. Исследованные агрегаты крупно- и мелкозернистого аксинита, встречаются в виде чистых кристаллов, но чаще переполнены включениями эпидота, датолита и кальцита. Характерны призматические, таблитчатые кристаллы, часто они имеют остроугольные копьевидные окончания. Также он образует зернистые агрегаты, сплошные листоватые и иногда волокнистые выделения.

Для аксинита известны зависимости показателя преломления (Дир, 1965) от присутствия в нем таких элементов как Ca, Fe и Mn и их соотношений. Максимальный показатель у манганоаксинитов, где Mn частично замещает Ca, а Fe отсутствует в значимых количествах. При значительных содержаниях Ca и Mn, так же при отсутствии Fe, показатель имеет среднее значение. У ферроаксинитов, при увеличении MnO до 4,5%, за счет замещения Fe, показатель имеет минимальное значение. Окраска аксинита довольно сильно меняется от светло-бурых до темных шоколадно-бурых цветов, с фиолетовым оттенком. Высокомарганцовистые разновидности обладают желтой или оранжево-красной окраской; однако, эти цвета встречаются и у образцов с небольшим содержанием марганца. Гвоздично-коричневые аксиниты используются как ограночный материал. Известны также голубые разновидности (Дир, 1965). Окраска кристаллов аксинита Дальнегорского боросиликатного месторождения коричневая, зеленовато-серая. Кристаллы прозрачные или полупрозрачные, блеск стеклянный.

По составу среди аксинитов выделяют ферроаксинит, манганаксинит и магниоаксинит. В аксините широко меняется соотношение Fe и Mn, зависящее от условий минералообразования, поэтому оно может рассматриваться как индикатор этих условий. Высокомарганцовистые разновидности аксинита могут кристаллизоваться при существенно более низких концентрациях бора в растворах, чем железистые разновидности аксинита. Железистые аксиниты устойчивы в условиях низкого потенциала Mn при более высокой активности бора. Такие условия характерны для скарновых железно- и меднорудных месторождений. Сравнительно высокая марганцовистость аксинитов свойственна полиметаллическим скарновым месторождениям. Наиболее марганцовистые аксиниты встречаются

в скарново-оловорудных и скарново-боросиликатных месторождениях. Присутствие железистого аксинита может служить свидетельством относительно высокой активности бора в процессе минералообразования. Наоборот, появление марганцовистого аксинита в условиях повышенной активности марганца возможно и при более низких активностях бора. Дальнейшее падение активности бора приводит к исчезновению аксинита (Дир, 1965).

Дальнегорские аксиниты принадлежат к марганцовистым разновидностям - манганаксиниту и тинцениту. С целью подтверждения и отнесения аксинита к определенному изоморфному ряду, а так же определения минералов ассоциирующих с ним использовался дифрактометр ДРОН-3.0. Согласно расшифровки дифрактограмм выявлено, что аксиниты месторождения – Mn-содержащие (тинценит и манганоаксинит).

Температура гомогенизации первичных включений в аксините равна 369-378°C. Поправка на давление к температуре гомогенизации для установленной концентрации раствора (Реддер, 1987) составит около 40°C, таким образом, температурный интервал образования аксинита – 409-418°C. Температура плавления эвтектики раствора составляет –55°C, что соответствует системе, основная соль которой представлена  $\text{CaCl}_2$ . В фазовом составе солевой системы преобладают хлориды магния –52,2°C, также зафиксировано присутствие хлоридов натрия и кальция –55°C, по температуре плавления твердой фазы –22,7°C бора. Наличие бора в солевой системе подтверждается Привлечение диаграммы З.А. Котельниковой (2001) для растворов  $\text{CaCl}_2$ -NaCl позволяет рассчитать концентрацию раствора включений в аксините, которая составляет 10,1% эквивалента  $\text{CaCl}_2$  для установленной температуры гомогенизации.

### Список литературы

*Гнидаш Н.В., Раткин В.В., Хетчиков Л.Н.* Эволюция флюидного режима формирования Дальнегорского боросиликатного месторождения по данным термобарогеохимии // Термобарогеохимия геологических процессов. М.: МГП «Геонинформмарк», 1992. С. 96-97.

*Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. 1. Ортосиликаты и кольцевые силикаты. М.: Мир, 1965. 294 с.

*Кокорин А.М., Кокорина Д.К.* Об условиях образования рудных месторождений Дальнегорского рудного района по данным изучения газово-жидких включений в минералах // Новые данные по минералогии Дальнего Востока, Владивосток, 1987. С. 102-117.

*Котельникова З.А.* Синтетические и природные флюидные включения как основа моделирования режима летучих при петрогенезе. Дисс. на соискание уч. степ. д.г.-м.н. Москва, 2001. 273 с.

*Куршакова Л.Д.* Физико-химические условия образования скарново-боросиликатных месторождений. М.: Наука, 1976. 276 с.

*Лисицын А.Е., Руднев В.В.* Некоторые физико-химические условия формирования боросиликатов в скарнах // Теория и практика термобарогеохимии. М.: Наука, 1978. С. 139-142.

*Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987. 560 с.

*Типоморфизм минералов.* Справочник. М.: Недра, 1989. 560 с.

*Хетчиков Л.Н., Раткин В.В., Гнидаш Н.В., Киселев В.И.* Флюидный режим формирования поздних продуктивных ассоциаций Дальнегорского боросиликатного месторождения. Владивосток: ДГИ ДВО АН СССР, 1991. Препринт. 27 с.

*Юшманов Ю.П., Петрищевский А.М.* Тектоника, глубинное строение и металлогения прибрежной зоны Южного Сихоте-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2004. 112 с.