

УДК 553.2:550.4

© В. В. РАТКИН,\* О. А. ЕЛИСЕЕВА,\* М. С. ПАНДИАН,\*\* А. А. ОРЕХОВ,\*  
М. МОХАПАТРА,\*\* С. К. ВИШНУ ПРАЙЯ\*\*

# ЭТАПНОСТЬ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ ДАЛЬНЕГОРСКОГО БОРОСИЛИКАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СИХОТЭ-АЛИНЬ)

\* Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,  
690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159; e-mail: ratkin@yandex.ru  
\*\* Department of Earth Sciences, Pondicherry University, Puducherry-605014, India;  
e-mail: mspandian59@hotmail.com

Выполнено термобарогеохимическое, геохимическое и изотопное изучение типоморфных особенностей данбурита и датолита из скарновых ассоциаций Дальнегорского боросиликатного месторождения. Детальные исследования микроэлементного состава и условий образования данбурита Левобережного карьера и датолита Западного карьера подтверждают принадлежность этих минералов к разным этапам формирования месторождения с контрастно различающимися режимами минералообразования.

*Ключевые слова:* Дальнегорский район, Сихотэ-Алинь, боросиликатное месторождение, этапы скарнообразования, данбурит, датолит.

V. V. RATKIN,\* O. A. ELISEEVA,\* M. S. PANDIAN,\*\* A. A. OREKHOV,\*  
M. MOHAPATRA,\*\* S. K. VISHNU PRIYA.\*\* STAGES AND FORMATION  
CONDITIONS OF PRODUCTIVE MINERAL ASSOCIATIONS OF THE  
DALNEGORSKOE BOROSILICATE DEPOSIT (THE SIKHOTE-ALIN, RUSSIA)

\* Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch RAS, Vladivostok, Russia  
\*\* Department of Earth Sciences, Pondicherry University, India

Special investigation of fluid inclusions, geochemical and isotopic study of their typomorphic features have been carried out for danburite and datolite from skarn associations of Dalnegorskoe borosilicate deposit. Results of these detail investigations: the microelement composition and formation conditions of danburite from Levoberezhnyi (Left Bank) quarry, and for datolite from Zapadnyi (Western) quarry confirm the belonging of these minerals to different stages of the deposit formation, stages with contrast difference in regimes of the mineral formation.

*Key words:* Dalnegorsky district, the Sikhote-Alin, borosilicate deposit, stages of skarn formation, danburite, datolite.

## ВВЕДЕНИЕ

Дальнегорское скарновое месторождение датолитовых (боросиликатных) руд — крупнейший объект Дальнегорского горнорудного района на юге Сихотэ-Алиня. Месторождение открыто в 40-х годах прошлого века и интенсивно обрабатывается ГХК «Бор». Компания занимает третье место в мире по производству боросодержащей продукции, являясь единственным в России производителем различных высококачественных видов боропродуктов. Здесь же, в Дальнегорском районе, с конца XIX века отрабатываются скарновые месторождения свинцово-цинковых руд.

Детальное изучение скарновых боросиликатных минеральных ассоциаций Дальнегорского месторождения было выполнено в конце 60-х—начале 70-х гг. Л. Д. Куршаковой (1976). Отмечалось, что кроме доминирующего датолита и аксинита в составе руд на северо-восточном (Левобережном) фланге месторождения присутствует данбурит. Формирование скарново-боросиликатных залежей описывалось как единый процесс с последовательными стадиями. Данбурит был отнесен к минеральной ассоциации, непосредственно предшествующей отложению датолита. Однако в начале 90-х годов было установлено, что скарнообразование на месторождении проявилось в полном гидротермальном цикле (от 500 до 150 °С) дважды (Носенко и др., 1990). Было показано, что ранние скарны сопровождались масштабным формированием данбуритовой минерализации. Но в процессе повторного скарнирования данбурит оказался реакционно неустойчивым и заместился минералами поздних скарнов, кварцем и кальцитом. Ранний данбурит сохранился только на Левобережном участке месторождения, где позднее скарнирование проявилось ограниченно. Этот вывод был поддержан С. В. Малинко (Малинко и др., 1994). Однако в наших работах (Раткин и др., 1993) данбурит Левобережного участка, вслед за Л. Д. Куршаковой (1976), ошибочно рассматривался как локальный компонент поздних скарнов. Только в ходе последующего детального минералогического изучения были получены прямые доказательства того, что данбурит Левобережного участка несет признаки наложенного скарнирования (Карась, Раткин, 2015) и принадлежит к ассоциациям раннего этапа. При этом, несмотря на преобразования, он сохраняет свои первичные типоморфные минералого-геохимические признаки, опираясь на которые можно судить об условиях гидротермального продуктивного минералообразования на раннем этапе скарнирования.

Именно это обстоятельство определило направленность представленных минералого-геохимических исследований. Было выполнено термобарогеохимическое и геохимическое изучение типоморфных особенностей данбурита, расширена база данных по изотопному составу кислорода силикатов и боросиликатов скарновых ассоциаций. Аналогичный комплекс работ был проведен в отношении поздних скарнов. В изучении поздних продуктивных ассоциаций акцент был сделан на датолите поздних скарнов Западного карьера, где раннее скарнирование не проявлялось.

Новые данные дают возможность предметно судить о соотношении и условиях формирования продуктивных скарновых ассоциаций как раннего, так и позднего этапа скарнообразования.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЭТАПНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ДАЛЬНЕГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Дальнегорский рудный район охватывает северо-восточную часть ранне-меловой аккреционной призмы Таухинского террейна Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса (Геодинамика..., 2006). Аккреционная призма сложена троекратно повторяющейся в тектоностратиграфической последовательности толщей берриас-валанжинских песчаников и алевролитов, которая подстилается либо триасово-юрской кремнистой толщей, либо — среднеюрской кремнисто-базальтовой толщей и перекрывается олистостромой. В составе олистостромовых отложений присутствуют как фрагменты пород подстилающего разреза, так и экзотический материал, представленный преимущественно средне-верхнетриасовыми известняками и песчаниками, а также известняками и кремнями палеозойского возраста.

Складчатый комплекс Таухинской аккреционной призмы почти нацело перекрыт поздними мел-палеоценовыми вулканитами Восточно-Сихотэ-Алиньского вулcano-плутонического пояса (ВСАВП). В центральной части Дальнегорского района складчатое основание вулканического пояса обнажается в виде горста, который обрамляется вулканическими постройками турон-кампанского и маастрихт-палеоценового возраста. Уникальной особенностью Дальнегорского горста является обилие олистостромовых толщ с пластинами и крупными глыбами средне-верхнетриасовых рифогенных известняков в алевро-песчаниковом берриас-валажинском матриксе призмы. Размеры пластин известняков достигают 3—4 км по простиранию при мощности до 500 м. Часто известняки представлены многочисленными сближенными мелкими глыбами и сопровождаются шлейфом осадочных брекчий. Породы аккреционной призмы, включая олистостромы, смяты в складки северо-восточного простирания с углами падения от 30 до 80°.

Месторождение проявлено как гигантская, объемом более 1 км<sup>3</sup>, зона известковых скарнов, заместивших крутопадающую пластину известняков в центре горста. На глубине 1000—1400 м скарнированное тело известняков ограничено интрузией гранитов-адамеллитов (рис. 1).

Скарнирование в объеме месторождения проявилось дважды. На раннем этапе в теле известняков была образована гигантская колонна гранат-волластонитовых скарнов. Доминирующий на глубине волластонит, с низкими содержаниями железа (не выше 2.0 мас. % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и марганца (не выше 1.0 мас. % MnO), практически нацело заместил известняки в виде длиннolучистых снежно-белых агрегатов. Гранат, ассоциированный с волластонитом, при валовых средних содержаниях Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> около 10.0 мас. % и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — около 15.0 мас. %, в ходе гидротермального процесса эволюционировал от андрадита (ядра зерен) до гроссуляра (края кристаллов). В верхней части колонны скарнов присутствует и геденбергит. Для него характерны высокие содержания MgO (до 8—10 мас. %).

Ограничивающая на глубине колонну гидротермалитов интрузия адамеллитов является более поздней по отношению к гроссуляр-волластонитовым скарнам. Эти соотношения зафиксированы при документации керна скважин: интрузивные контакты гранитов без признаков скарнирования секут длиннolучистые агрегаты волластонита. Адамеллиты, датированные U-Pb методом по циркону (Аленичева, Сахно, 2009), имеют позднepалеоценовый возраст (60.45 ± 0.65 млн лет).