

*А. В. Малышев, Е. В. Кислов*  
*Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ*  
*Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ*  
*Waylander6@mail.ru*

**Комплексирование геологических и геофизических методов  
при поисках и разведке апокарбонатного нефрита на примере  
Гарандаканского месторождения, Республика Бурятия**

Нефрит – ювелирно-поделочный камень с повышенным спросом, известный человечеству с давних времен. Наиболее интересен белый и изумрудно-зеленый нефрит с минимальным содержанием включений рудных минералов и повышенной просвечиваемостью. К настоящему времени в России известно около 60 месторождений и проявлений этого камня. На территории Западного и Восточного Саяна, юго-западного Прибайкалья и Средневитимского нагорья находятся все важнейшие месторождения нефрита России. Определенные перспективы связываются с Уралом, Приамурьем и Якутией. В Бурятии находится основная часть российских балансовых запасов нефрита Российской Федерации (94.9 % нефрита-сырца и 92.8 % сортового камня). По состоянию на 1 января 2014 г. по 16 месторождениям Бурятии учтены запасы: С<sub>1</sub> – 5387.8 т нефрита-сырца (1620.6 нефрита сортового) и С<sub>2</sub> – 17168.2 т нефрита-сырца (4987.7 нефрита сортового, в том числе ювелирного 205.5 т) [Кислов, 2015].

В России светлоокрашенный нефрит в промышленных масштабах встречается только в Ципа-Бамбуйской нефритоносной провинции, расположенной на северо-востоке Баунтовского эвенкийского и юго-востоке Муйского районов Республики Бурятия. В этой провинции известны четыре коренных месторождения (Буромское, Голубинское, Кавоктинское и Хайтинское), а также проявления Воймаканское, Витимканское, Александровское и речные валунно-галечные россыпи в бассейне р. Витим [Кислов, 2015].

Апокарбонатный нефрит образуется в результате инфильтрационно-диффузионного кремниевое метасоматоза по доломитовым мраморам на контакте с гранитоидами, которые на классификационной диаграмме попадают в разряд полигенных известково-щелочных гранитоидов [Сутурин, Замалетдинов, 1984]. Процесс нефритообразования связан с зонами скарнирования в доломитовых мраморах. Метасоматические образования относятся к низкотемпературной (350–400 °С) фации известковых скарнов, а широкое развитие тремолита и диопсида связано с высокой магнезиальностью среды. Скарнирующие флюиды представляют собой надкритические растворы магматического происхождения, о чем свидетельствуют повышенные содержания фтора в апокарбонатных нефритах. Избирательное нефритообразование лишь в мелких ксенолитах доломитовых мраморов объясняется эффектом термостатирования [Liu et al., 2011], который способствует более интенсивному метасоматозу.

Наибольшие перспективы при поисках имеют небольшие по размерам фрагменты кровли, сложенные доломитовыми мраморами верхнебамбуйской и бамбукойской свит, испытавшими значительное скарнирующее воздействие в процессе становления интрузивно-анатектических субщелочных калиево-натриевых высокоглиноземистых гранитоидов вигимканского (баргузинского) комплекса. Большой интерес представляет участок Гарандакан площадью 350 × 350 м, охватывающей фрагмент

доломитовых мраморов в гранитоидном поле, как и на Воймаканском месторождении нефрита. Здесь, по-видимому, отсутствуют реакционные скарны Буромского типа на контакте доломитовых мраморов с гранитоидами монцонит-сиенитового ряда. По крайней мере, при детализации подобные образования в делювии нигде не отмечались.

Целью данной работы является уточнение геологического строения в пределах ксенолитов доломитовых мраморов участка Гарандакан на основе геофизических методов, выявление и уточнение рудно-продуктивных структур, а также подбор оптимальных экспрессных методов поиска залежей апокарбонатного нефрита. Участок расположен в 40 км к западу от Кавоктинского месторождения нефрита на юго-западном фланге Прибамбуйской тектонической зоны, на северо-восточном продолжении которой располагаются Буромское и Голюбинское месторождения апокарбонатного нефрита. Участок ограничен левобережьем р. Воймакан в приустьевой части, на юго-западе руч. Грамдакан.

Доломитовые мраморы белые массивные мелкозернистые сливные до крупнозернистых. Практически в центре ксенолита выделяется прослой серых доломитовых мраморов видимой мощностью 30–35 м и северо-западного простирания. В ксенолите мраморов выявлена система выдержанных по простиранию ( $105\text{--}115^\circ$ ) даек гранодиоритов, кварцевых монцонитов и гранитов. Их мощность колеблется от 0.5–1 до 5–6 м, падение крутое ( $70\text{--}80^\circ$ ) северо-восточное. К этой же системе приурочены нефритоносные скарны жильного типа мощностью от 0.2–0.5 м до 10–12 м, не выдержанные по простиранию (до 50 м), с раздувами и пережимами. Реже отмечаются жилы гранитов мощностью до 5 м, локализованные в поперечной системе трещин (аз. пад.  $315^\circ$ , угол  $35^\circ$ ), но зачастую с достаточно пологими углами падения. Гранитоиды жильного типа представляют собой дайки-сателлиты близширотного юго-восточного простирания ( $95\text{--}125^\circ$ ), поперечные также имеют простирание  $190^\circ$ . Гидротермально-метасоматические тела вмещают линзы крупнозернистого широко-призматического нефритоидного материала с неупорядоченными структурами: от сноповидно-параллельных до перекрещенных, звездчатых. Мощность нефритоидов в раздувах, судя по делювию и обнажениям, достигает 25–30 см, редко 0.5 м. Цвет их от белого до зеленого. Вследствие своих структурных особенностей они характеризуются сахаровидным изломом, в то же время просвечивают в пластинах до 2–3 см и хорошо полируются. Нередко жилы имеют зональное строение: в отдельных образцах прожилки бледно-зеленоватого, салатного, яблочного цветов хорошо просвечивающего тонкозернистого сливного диопсидита в центре сменяются тонкозернистым белым тремолитовым материалом по структуре близким к нефриту. Последний переходит в более крупнозернистый широко-призматический тремолитит (нефритоид) нередко с перекрещенной структурой.

В отличие от известных месторождений Ципа-Бамбуйского междуречья продуктивные тела на участке Грамдакан имеют субпараллельную пространственную ориентировку и, по-видимому, связаны с гидротермально-метасоматическими изменениями в доломитовых мраморах в зонах линейного типа. С открытостью системы и высокой скоростью кристаллизации, синхронной зародышеобразованию кристаллов тремолита, связано отсутствие его длиннопризматических спутанно-волоконистых разновидностей.

В нефритоидных образованиях под микроскопом обнаруживается тремолитовая порода неравномерно-чешуйчатой структуры. Преобладают широкие и короткие чешуйки. Текстура массивная. Структура в центральной части примерно на 50 %

скрытокристаллическая, в периферийной – мелкокристаллическая с видимыми игольчатыми кристаллами тремолита и агрегатами кристаллов. Местами порода карбонатизирована. Вследствие этого, полированная поверхность штуфа имеет равномерный характер с микрошагренью и стекляннм блеском. На полированной поверхности отмечается сахаровидная структура в виде единичных переливающихся точек.

Результаты магнитометрии довольно четко отображают геологическое строение участка. Магнитное поле сильно дифференцировано: северная часть участка характеризуется интенсивным положительным полем  $\Delta T$  от 300 до 1500 нТл, которое обусловлено залегающими здесь монцонитами; центральная и южная часть участка отмечается достаточно изрезанным полем  $\Delta T$  от 300 до –500 нТл, которое отображает пестрый геологический состав пород, слагающих эту часть площади. В основном, это доломиты с небольшими по размерам останцами или дайками более магнитных пород.

Из шести тел нефрита, выявленных на участке, четыре приурочено к зонам высокого градиента магнитного поля на контакте монцонитов с вмещающими доломитами. Именно эти зоны являются наиболее перспективными для детальных поисков нефрита. Аналогичные выводы сделаны на других месторождениях нефрита в Бурятии, где проведена магниторазведка. На стадии детальных поисков для прослеживания рудных тел может дать результаты высокоточная микромагнитная съемка на выделенных перспективных участках по сети  $1-5 \times 1-2$  м в зависимости от ожидаемых размеров тел.

В южной части участка на фоне интенсивного отрицательного поля  $\Delta T$  выделяются локальные аномалии более высокого магнитного поля, которые могут быть обусловлены сравнительно небольшими телами более магнитных пород (монцониты, гранодиориты). Контакты этих пород с доломитами представляют поисковый интерес, как возможные места локализации нефрита.

На основании полученных по магниторазведке данных выделено два перспективных участка для проведения детальных поисков. По характеру и нарушению корреляции изолиний магнитного поля выделены и прослежены тектонические нарушения северо-восточного и северо-западного направления, которые могут играть роль рудоконтролирующих структур.

Проведенные радиометрические исследования дают возможность выделить дайки гранитоидов в доломитах, что не представляется возможным при использовании только магнитометрической съемки. В данном случае фон гранитоидов достигал 18–22 мкР/ч при фоне доломитовых скарнов – 10–13 мкР/ч с довольно четким переходом. Фон непосредственно нефритовых тел варьирует в пределах нормы доломитовых мраморов.

Особенности геологического строения участка позволяют утверждать, что образование апокарбонатных нефритов происходило в процессе скарнирования мраморов и доломитов под воздействием гранитоидов. В этом свете интересными являются данные радиометрии, свидетельствующие об отсутствии переноса из вмещающих гранитов U, Th и, вероятно, K, который является крайне подвижным. При этом в нефритах аккумулируется железо вплоть до образования магнетита и не накапливается на контактах доломитов с гранитами. Об этом свидетельствуют данные магнитометрии и микроскопических исследований. Некоторые тела нефритов имеют зеленоватый оттенок, что говорит о привносе оттеночных агентов из вмещающих пород. Характерной особенностью нефритов является унаследованная сахаровидная микро-

структура замещенных карбонатных ксенолитов; с этим связана более короткая длина волокна (чешуйки) слагающих породу тремолитов.

### Литература

*Кислов Е. В.* Минерально-сырьевая база северных и восточных районов Бурятии: воспроизводство и освоение // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 156–163.

*Сутурин А. Н., Замалетдинов Р. С.* Нефриты. М.: Наука, 1984. 288 с.

*Liu Y., Deng Ju., Shi G., Yui T-F., Zhang G., Abuduwayiti M., Yang L., Sun X.* Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China // Journal of Asian Earth Sciences. 2011. № 3. С. 440–451.

**О. С. Ефименко, Е. Н. Диханов, С. А. Ефименко**  
*ТОО «Корпорация Казахмыс», г. Жезказган, Казахстан*  
*olga91.06@yandex.ru*

### **О возможности использования энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра РЛП-21 (ЛА) в геологии**

Методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) широко применяются в геологии. Микрорентгеноспектральный анализ проводят при помощи электронного зонда, который дает возможность исследовать состав вещества в точке, определить характер микровключений и дать им качественную оценку. Известен также рентгенофлуоресцентный локальный микроанализ с использованием рентгеновского излучения от рентгеновской трубки. Задача нашего исследования состояла в выяснении возможности использования спектрометров рентгенофлуоресцентного локального микроанализа для решения геологических и минералогических задач. Для проведения исследований нами были выбраны энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные (EDXRF) спектрометры локального анализа РЛП-21Т (ЛА) казахстанского производства (ТОО «Аспап Гео») из пробирной палаты «Национального центра экспертизы и сертификации» (НЦЭиС) РК и Гохрана Национального банка РК.

РЛП-21Т (ЛА) позволяет работать с пробами нестандартных размеров (диаметр до 170 мм и высотой до 120 мм), проводить локальный анализ, оценивать однородность анализируемых сплавов благородных металлов, проводить сигнатурный анализ. Основные характеристики спектрометра РЛП-21Т (ЛА):

– рентгеновская трубка мощностью 50 Вт с торцевым выходом излучения, что обеспечивает высокую светосилу и возможность определения элементов от Al до U в воздушной атмосфере;

– полупроводниковый кремниевый дрейфовый (SDD) детектор с внутренним коллиматором, что обеспечивает отличное энергетическое разрешение (135 эВ), высокую интегральную загрузку и отношение пик/фон, а также повышает контрастность аналитических линий;

– мощное программное обеспечение, позволяющее точно определять функцию отклика каждого детектора, спектральный состав возбуждающего излучения, а также пики двойных и тройных наложений;