

## Литература

- Акимова Е.Ю., Козлов Е.Н., Лохов К.И. Происхождение корундовых пород Беломорского подвижного пояса по данным геохимии изотопов благородных газов // Геохимия. 2017. № 11. С. 1015–1026.
- Бурцева М.В., Рупп Г.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Нефриты Восточной Сибири: геохимические особенности и проблемы генезиса // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 516–527.
- Высоцкий С.В., Игнатъев А.В., Левицкий В.И. и др. Геохимия стабильных изотопов кислорода и водорода корундоносных пород и минералов Северной Карелии как индикатор необычных условий формирования // Геохимия. 2014. № 9. С. 843–853.
- Дубинина Е.О., Перчук А.Л., Корепанова О.С. Изотопнокислородные эффекты при дегидратации глаукофанового сланца: экспериментальные данные при РТ условиях зоны субдукции // Доклады Академии наук. 2012. Т. 444. № 5. С. 534–538.
- Лохов К.И., Прасолов Э.М., Акимова Е.Ю. и др. Изотопно и элементно фракционированные Не, Не и Аг во флюидных включениях минералов метаморфических пород Северной Карелии с аномальным изотопно легким кислородом: фракционирование изотопов в эндогенном флюиде по механизму термодиффузии с каскадированием // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2016. № 1. С. 29–47.
- Третьякова С.Г. Разделение изотопов кислорода методом каталитического изотопного обмена в системе вода – углекислый газ. Дис. на соиск. степ. канд. техн. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 131 с.
- Gao K., Fang T., Lu T. et al. Hydrogen and oxygen stable isotope ratios of dolomite-related nephrite: relevance for its geographic origin and geological significance // Gems & Gemology. 2020. Vol. 56. P. 266–280.
- Sharp Z.D. A laser-based microanalytical method for the *in situ* determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990. Vol. 54. P. 1353–1357.
- Yui T.F., Kwon S.T. Origin of a dolomite-related jade deposit at Chuncheon, Korea // Economic Geology. 2002. Vol. 97. No. 3. P. 593–601.
- Zhang C., Yang F., Yu X. et al. Spatial-temporal distribution, metallogenic mechanisms and genetic types of nephrite jade deposits in China // Frontiers in Earth Sciences. 2023. Vol. 11. Article 1047707.

**И.С. Гончарук<sup>1,2</sup>, Е.В. Кислов<sup>2</sup>, В.В. Вантеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Россия  
goncarukirina993@gmail.com

<sup>2</sup> – Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, Улан-Удэ, Россия

### **Аподолмитовый нефрит Нижне-Олломинского месторождения, Средне-Витимская горная страна**

**I.S. Goncharuk<sup>1,2</sup>, E.V. Kislov<sup>2</sup>, V.V. Vanteev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> – Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

### **Nephrite after dolomite of the Niznyaya Ollomi deposit, Central Vitim Mountains**

**Abstract.** Nephrite, marbles, granites, metapelites, and diorites of the Nizhnyaya Ollomi nephrite deposit in Central Vitim region are studied. 17 minerals of metasomatic before nephrite and nephrite paragenesis, hydrothermal, regressive paragenesis have been recognized in nephrite. A formation model of nephrite includes the initial formation of diopside after dolomite; its replacement by tremolite and calcite-tremolite aggregate, and then nephrite is replaced by chlorite or talc in association with calcite. The data obtained from the study of the isotopic composition of oxygen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) revealed the source of the fluid and confirmed that nephrite is formed as a result of hydrothermal metasomatic transformation of dolomites.

*Введение.* Нижне-Олломинское месторождение нефрита расположено на правом берегу р. Нижняя Олломи – левого притока р. Голубе, в Муйском районе Бурятии. Оно входит в состав Витимской нефритоносной провинции – единственного источника светлоокрашенного нефрита в России. Месторождения провинции изучались сотрудниками Института геохимии СО АН СССР (г. Иркутск) в 1980-х гг. Вновь исследователи стали проявлять интерес к этим объектам с 2015 г., но Нижне-Олломинское месторождение только упоминалось в обзорных работах. Цель данной работы – изучение особенностей формирования нефрита Нижне-Олломинского месторождения.

*Методика исследований.* Визуальное петрографическое и минералогическое изучение с фотофиксацией проводилось при естественном освещении. Декоративные свойства (окраска, оттенок, рисунок, наличие каемок, степень шероховатости) определялись при помощи бинокулярного микроскопа МБС-10 и геммологического фонаря.

Состав минералов изучен на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного количественного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» (Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН (ГИ СО РАН), г. Улан-Удэ, аналитик Е.В. Ходырева.). Условия исследования: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 0.3–0.4 нА, размер зонда <0.1 мкм, время измерения 50 секунд (живое время), ошибка анализа на сумму достигает 2–4 мас. % в зависимости от качества поверхности образца и особенностей его состава.

Изотопный состав кислорода измерен на газовом масс-спектрометре Finnigan MAT 253 в ЦКП «Геоспектр» (ГИН СО РАН, Улан-Удэ, аналитик В.Ф. Посохов) с использованием двойной системы напуска в стандарт–образец. Образцы подготовлены с использованием метода лазерного фторирования на опции «лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов» в присутствии реагента  $\text{BrF}_3$  по методу [Sharp, 1990]. Расчеты проводились относительно рабочего стандарта  $\text{O}_2$ , калиброванного в шкале V-SMOW посредством регулярных измерений кислорода в международных стандартах NBS-28 (кварц) и NBS-30 (биотит). Правильность полученных значений контролировалась регулярными измерениями собственного внутреннего стандарта ГИ-1 (кварц) и лабораторного ИГЕМ РАН Polaris (кварц). Погрешность полученных значений величин  $\delta^{18}\text{O}$  находилась на уровне  $(1\text{s}) \pm 0.2 \text{‰}$ .

*Результаты.* По предоставленным материалам АО «Аллами», известно, что район месторождения сложен, в основном, гранитами двух фаз витимканского комплекса Св. Преобладают граниты, гранодиориты и сиениты первой фазы. Вторая фаза представлена лейкократовыми и биотитовыми мелкозернистыми гранитами, приуроченными к гнейсам и сланцам во вмещающих породах и скиалитам доломитовых мраморов. Контакты гранитоидов с доломитовыми мраморами резкие, без видимых изменений. В зонах разрывных нарушений граниты катаклазированы и окварцованы. Осадочно-метаморфические отложения восточно-горбылокской свиты  $\text{PR}_1$  ?vg представлены небольшими скиалитами биотитовых сланцев, метаэффузивов и преобладающих доломитовых мраморов, вытянутых преимущественно в северо-восточном направлении. Для кристаллосланцев характерна гранитизация, интенсивность которой увеличивается по мере приближения к гранитоидам. Метасоматические образования характерны для нефритоносных зон вблизи контактов контрастных по химическому составу доломитовых мраморов и алюмосиликатных пород. По карбонатным породам образуются кальцит-тремолитовые скарны с нефритом.

Известковые кальцит-тремолитовые скарны на Нижне-Олломинском месторождении, продуктивные на нефрит, приурочены к тектонически ослабленным зонам в мраморах, краевым частям скиалитов доломитовых мраморов. Морфология зон, сложенных кальцит-тремолитовыми скарнами, относительно простая. Они представляют собой линзы и жилообразные зоны в тектонической зоне на небольшом удалении от гранитных пород. Зоны кальцит-

тремолитовых скарнов могут состоять только из скарна либо содержать линзы и отдельные блоки нефрита. Полная метасоматическая зональность месторождения: доломитовый мрамор – нефритсодержащий кальцит-тремолитовый скарн – эпидот-тремолитовый скарн – эпидотизированный гранит – биотитовый гранит. Установлены три залежи нефрита.

Залежь № 1 залегает на контакте доломитового мрамора с песчаником на небольшом удалении от среднезернистого биотитового гранита. Нефрит, преимущественно, серовато-зеленый, в подчиненном количестве присутствуют прожилки и линзы светло-серого нефрита, часто он имеет сланцеватую структуру. В нефрите отмечаются прожилки кальцит-тремолитового скарна, зерна доломита и кальцита.

Залежь № 2 располагается на контакте доломитового мрамора со среднезернистым гранитом: зона кальцит-тремолитовых скарнов с линзами, желваками и мелкими прожилками нефрита. Нефрит от светло-зеленого до зеленого цвета, в меньшей степени, светло-серого. Камень преимущественно сланцеватой, реже массивной текстуры.

Залежь № 3 расположена в биотитовом граните на небольшом удалении от контакта с доломитовым мрамором. Нефрит, преимущественно, зеленовато-серых тонов, иногда с желтоватым оттенком. В нефрите иногда отмечаются маломощные прожилки кальцит-тремолитовых скарнов и белые хлопьеобразные агрегаты тремолита. В зоне контакта с гранитом и по трещинам нефрит оталькован. На отдельных участках нефрит слабо рассланцован.

Твердость нефрита 6.0–6.5 по шкале Мооса. Блеск матовый, излом раковистый или занозистый. Дефекты включают прожилки кальцит-тремолитового скарна, зерна доломита и кальцита, трещиноватость, дендриты минералов марганца.

Мраморы белого цвета, средне-крупнозернистой структуры, массивной текстуры, сложены кальцитом (40–50 %) и доломитом (40–60 %). Метасоматические изменения выражаются в развитии игольчатого и волокнистого тремолита, диопсида, кальцита, кварца, находящихся в различных количественных соотношениях. Такие изменения развиты локально в связи с процессами скарнирования на контакте с гранитами.

Метапесчаники представляют собой серые, желтоватые и зеленовато-серые массивные породы средне-крупнозернистого сложения, в различной степени гранитизированные.

Граниты представлены розовато-серыми, желтоватыми, красноватыми разновидностями. Текстура их массивная, порфириовидная, в зонах тектонических нарушений становится неясноногнейсовидной. Граниты средне-, крупнозернистой структуры. Среди гранитов выделяются лейкократовые, биотитовые, биотит-роговообманковые, роговообманковые разновидности. Метасоматические изменения гранитов выражаются в незначительной эпидотизации.

Гранодиориты менее распространены. Они темно-серого цвета, структура среднезернистая, текстура массивная. Метасоматические изменения проявлены в эпидотизации и хлоритизации.

В нефрите определено 17 минералов. По морфологии и взаимоотношениям между собой минералы разделены по парагенезисам: реликтовый, метасоматические донефритовый и нефритовый, гидротермальный, регрессивный. Реликтовые минералы доломита и амфиболита – апатит, бадделеит, доломит, рутил, титанит, торианит, циркон. Минералы донефритовой метасоматической стадии – диопсид, флогопит, эпидот. Минералы нефритовой метасоматической стадии – кальцит, тремолит. Минералы гидротермальной стадии – галенит, сфалерит. Минералы регрессивной стадии – кальцит, тальк, хлорит, цирконолит.

Формирование нефрита, судя по взаимоотношениям минералов, проходило в несколько стадий. На прогрессивной стадии доломит замещается диопсидом. На регрессивном этапе диопсид замещается агрегатом тремолита, или диопсид может замещаться кальцит-тремолитовым скарном. Кальцит скарна также может замещаться тремолитом с образованием нефрита. При продолжении регрессивного процесса тремолит замещается хлоритом и кальцитом или тальком и кальцитом.

Одним из важных индикаторов определения процессов нефритообразования является изучение изотопного состава кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ). На Нижне-Олломинском месторождении значение  $\delta^{18}\text{O}$  нефрита относительно SMOW варьирует от  $-18.14$  до  $-21.01$  ‰, кальцит-тремолитового скарна составляет  $-19.66$  ‰ и эпидот-тремолитового скарна  $-1.01$  ‰.

В случае данного месторождения аномально изотопно легкий кислород фиксируется в нефрите и, в меньшей мере, в связанных с ним метасоматических породах. Во вмещающих породах района он гораздо более тяжелый, таким образом, источник флюида не связан с вмещающими породами. В связи с этим высказанное ранее [Бурцева и др., 2015] предположение, что нефритообразующий флюид имел метеорное происхождение, выглядит убедительно. Аномально легкий изотопный состав кислорода объясняется участием талых поверхностных вод [Высоцкий и др., 2014]. Резко отрицательные отношения изотопов кислорода объясняются и другими механизмами: кинетическими эффектами [Дубинина и др., 2012] и термодиффузией [Акимова и др., 2017].

*Выводы.* Таким образом, на Нижне-Олломинском месторождении известковые кальцит-тремолитовые скарны, продуктивные на нефрит, приурочены к тектонизированным частям тел доломитовых мраморов на контакте с алюмосиликатными породами. Нефрит трех залежей отличается по особенностям локализации и окраске, преимущественно, светло-зеленой (салатной) до зеленой, серовато-зеленой и светло-серой. В нефрите отмечаются прожилки кальцит-тремолитового скарна, зерна доломита и кальцита. Другие дефекты включают неоднородность окраски, трещиноватость, пленки кальцита, гидроксидов Fe и Mn по трещинам. Нефрит Нижне-Олломинского месторождения соответствует требованиям к качеству и возможности применения его в качестве камнесамоцветного сырья для мелких и средних резных изделий, реже, вставок в ювелирные украшения. Изотопный состав кислорода свидетельствует об образовании нефрита в результате гидротермально-метасоматического преобразования доломитов флюидами метеорного происхождения.

*Авторы признательны за предоставленные материалы АО «Аллами», персонально З.В. Даржаеву. Анализы выполнены за счет гранта РФФИ № 22-27-20003 с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (Улан-Удэ). Тезисы и доклад подготовлены в рамках темы НИР АААА-А21-121011390003-9.*

## Литература

- Акимова Е.Ю., Козлов Е.Н., Лохов К.И. Происхождение корундовых пород Беломорского подвижного пояса по данным геохимии изотопов благородных газов // Геохимия. 2017. № 11. С. 1015–1026.
- Бурцева М.В., Рипп Г.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Нефриты Восточной Сибири: геохимические особенности и проблемы генезиса // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 516–527.
- Высоцкий С.В., Игнатьев А.В., Левицкий В.И. и др. Геохимия стабильных изотопов кислорода и водорода корундоносных пород и минералов Северной Карелии как индикатор необычных условий формирования // Геохимия. 2014. № 9. С. 843–853.
- Дубинина Е.О., Перчук А.Л., Корепанова О.С. Изотопно-кислородные эффекты при дегидратации глаукофанового сланца: экспериментальные данные при РТ условиях зоны субдукции // Доклады Академии наук. 2012. Т. 444. № 5. С. 534–538.
- Sharp Z.D. A laser-based microanalytical method for the *in situ* determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990. Vol. 54. P. 1353–1357.