

УДК 553.89

DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291

## Состав и условия формирования нефрита месторождения Нырдовоменшор, Полярный Урал

Е. В. Кислов<sup>1,2</sup>, М. П. Попов<sup>2,3</sup>, Ф. М. Нурмухаметов<sup>3</sup>,  
В. Ф. Посохов<sup>1</sup>, В. В. Вантеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а,  
e-mail: evg-kislov@ya.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, 620110, г. Екатеринбург,  
ул. Академика Вонсовского, 15

<sup>3</sup>Уральский государственный горный университет, 620014, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Поступила в редакцию 27.08.2022 г., принята к печати 26.01.2023 г.

**Объект исследований.** Нефрит и сопутствующие породы месторождения Нырдовоменшор на Полярном Урале. Месторождение Нырдовоменшор находится в экзоконтакте гипербазитового массива Рай-Из, приурочено к Главному Уральскому разлому. Месторождение обрабатывалось в процессе геологоразведочных работ, на часть месторождения в настоящее время выдана лицензия. **Цель исследования** – изучить нефрит и сопутствующие породы из аллювиальных отложений месторождения, сформулировать модель его происхождения. **Методы.** Качественные характеристики оценивались визуально при помощи бинокулярного микроскопа и спекфонарика. Химический состав определен рентгеноспектральным флуоресцентным методом. Содержание элементов-примесей определено в результате ICP-MS-анализа. Минеральный состав изучен на растровом электронном микроскопе с системой энергодисперсионного микроанализа. Проведены измерения изотопного состава кислорода. **Результаты.** Помимо везувианового родингита на месторождении распространен гидрогранатовый родингит. Изученный нефрит некондиционный. В нефрите преобладает тремолит, диопсид образует реликтовые зерна. Широко распространен уваровит, образующий как идиоморфные зерна, иногда футлярные, реже ксеноморфные вытянутые, так и замещающие хромит агрегаты. Омфацит обрастает зерна хромита и уваровита. Отмечены зерна Fe-доминантного минерала группы шуйскита. **Выводы.** Нефрит сформировался благодаря как метаморфическим, так и метасоматическим процессам. Серпентин на прогрессивной стадии метасоматоза замещался диопсидом. На регрессивном этапе произошло замещение диопсида нефритом. Метаморфизм усилил метасоматоз серпентинитового меланжа и обеспечил скрытокристаллическую спутанно-волокнистую структуру нефрита. Затем метаморфизм и метасоматоз привели к формированию омфацита и растрескиванию нефрита, чем снизили его качество. По мере этих процессов увеличивался вклад корового флюида, что подтверждается результатами изучения изотопного состава кислорода нефрита и других пород месторождения.

**Ключевые слова:** нефрит, Нырдовоменшор, уваровит, хромит, метаморфизм, метасоматоз

### Источник финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20003, <https://rscf.ru/project/22-27-20003>

## Composition and formation conditions of nephrite, Nyrdvomenshor deposit, Polar Urals

Evgeniy V. Kislov<sup>1,2</sup>, Mikhail P. Popov<sup>2,3</sup>, Firat M. Nurmukhametov<sup>3</sup>,  
Viktor F. Posokhov<sup>1</sup>, Vladislav V. Vanteev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dobretsov Geological Institute SB RAS, 6a Sakhyanova st., Ulan-Ude 670047, Russia, e-mail: evg-kislov@ya.ru

<sup>2</sup>Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg 620110, Russia

<sup>3</sup>Ural State Mining University, 30 Kuibyshev st., Ekaterinburg 620014, Russia

Received 27.08.2022, accepted 26.01.2023

**Для цитирования:** Кислов Е.В., Попов М.П., Нурмухаметов Ф.М., Посохов В.Ф., Вантеев В.В. (2023) Состав и условия формирования нефрита месторождения Нырдовоменшор, Полярный Урал. *Литосфера*, **23**(2), 270–291. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291>

**For citation:** Kislov E.V., Popov M.P., Nurmukhametov F.M., Posokhov V.F., Vanteev V.V. (2023) Composition and formation conditions of nephrite, Nyrdvomenshor deposit, Polar Urals. *Lithosphere (Russia)*, **23**(2), 270–291. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291>

© Е.В. Кислов, М.П. Попов, Ф.М. Нурмухаметов, В.Ф. Посохов, В.В. Вантеев, 2023

**Research subject.** Nephrite and related rocks from the Nyrdivomenshor deposit in the Polar Urals were studied. The Nyrdivomenshor deposit is located in the exocontact of the Rai-Iz ultramafic massif, confined to the Main Ural Fault. The deposit was developed in the process of geological exploration; a license has been issued for a part of the deposit. **Aim.** To study the nephrite and related rocks from alluvial of the deposit, to formulate a model of its origin. **Methods.** Qualitative characteristics were assessed visually using a binocular microscope and a special flashlight. The chemical composition was determined by the X-ray fluorescence method. The contents of trace elements were determined by ICP-MS analysis. The mineral composition was studied on a scanning electron microscope with an energy dispersive microanalysis system. Measurements of the isotopic composition of oxygen were carried out. **Results.** In addition to vesuvianite rodingite, hydrogarnet rodingite was found to be common at the deposit. The studied nephrite is substandard. Tremolite predominates in nephrite, diopside forms relic grains. Uvarovite is widespread, forming both idiomorphic grains, sometimes sheath, less often elongated xenomorphic, and replacing chromite. Omphacite overgrows grains of chromite and uvarovite. Grains of the Fe-dominant mineral of the shuiskite group are noted. **Conclusions.** Nephrite was formed through both metamorphic and metasomatic processes. Serpentinite was replaced by diopside, which was then replaced by nephrite. Metamorphism enhanced the metasomatism of the serpentinite melange and provided the cryptocrystalline tangled fibrous structure of the nephrite. Then metamorphism and metasomatism led to the formation of omphacite and cracking of the nephrite, which reduced its quality. As these processes progressed, the contribution of the crustal fluid increased, which is confirmed by the results of studying the oxygen isotopic composition of nephrite and other rocks of the deposit.

**Keywords:** nephrite, Nyrdivomenshor, uvarovite, chromite, metamorphism, metasomatism

#### Funding information

Investigation was funded by the grant of the Russian Science Foundation No. 22-27-20003, <https://rscf.ru/project/22-27-20003>

#### Acknowledgements

The authors are grateful for the help in the work to D.M. Vurms and A.V. Trofimov, analysts N.P. Gorbunova, L.A. Tatarinova, I.A. Zhelunitsyn, A.A. Nekrasova, D.V. Kiseleva, E.A. Khromova. The comments and suggestions of the editor V.V. Maslennikov and two reviewers allowed the authors to improve the manuscript significantly. The authors are grateful to the Ural State Mining University for creating the conditions for performing work as part of the federal program of strategic academic leadership "Priority 2030". The equipment of the Central Collective Use Center "Geoanalyst" of the Zavaritskiy Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg) and "Geospektr" of the Dobretsov Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude) was used.

## ВВЕДЕНИЕ

Нефрит – высоколиквидный ювелирно-поделочный камень, издавна используемый человеком, особо популярен в Китае, Новой Зеландии, Центральной Америке. Наиболее ценятся белый просвечивающий нефрит, черный, ярко-зеленый с минимальным количеством рудных минералов, а также с эффектом "кошачьего глаза", аллювиальные гальки с каемками прокрашивания.

Месторождения нефрита относятся к двум эндогенным геолого-промышленным типам: апоультрамафитовым метасоматитам офиолитов (апо-серпентинитовому) и апокарбонатным тремолит-кальцитовым магнезиальным скарнам (аподолмитовым). Ко второму типу близки месторождения Дахуа в Гуанси-Чжуанском автономном районе (Zhong et al., 2019) и Лодянь в провинции Гуйчжоу (Zhang et al., 2015) на юге Китая, образовавшиеся на контакте диабазов и известняков. Месторождения первого типа – источник преимущественно зеленого, до бурого и черного, нефрита, месторождения второго типа дают в основном светлоокрашенный нефрит – от белого до светло-зеленого, бурого (медового) – вследствие окисления двухвалентного железа до трехвалентного, реже встреча-

ется черный нефрит (Flint, Dubowski, 1991; Tan et al., 2013; Zhong et al., 2019). Экзогенный геолого-промышленный тип представлен россыпями, из которых наиболее продуктивны аллювиальные.

В Китае преобладают месторождения аподолмитового нефрита, поэтому они лучше изучены. Месторождений апосерпентинитового нефрита за пределами России немного. В Китае практически отработано месторождение Манас в Северном Тянь-Шане в Синьцзян-Уйгурском автономном округе (Tang et al., 2002; Wang, Shi, 2021). Месторождение Юйшигоу обрабатывается на высоте более 4000 м на севере провинции Цинхай (Zhang et al., 2021). Известно месторождение Фэнтиэнь на Тайване (Huang, 1966; Wan, Yeh, 1984; Yui et al., 1988). Последнее время на рынке появился нефрит из приграничных районов Пакистана и Афганистана (Umar et al., 2019; Obiadi et al., 2020). Слабо изучены месторождения Шайтантас в Карагандинской области Казахстана (Сутурин и др., 2015), Ко Фыонг в провинции Шонла во Вьетнаме.

Ряд месторождений и проявлений находится на тихоокеанском побережье Северной Америки от Гватемалы до Аляски, добыча ведется в основном на месторождениях Британской Колумбии в Канаде (Boyd, Wight, 1983; Simandl et al., 2000; Jiang, 2021).

Известны, но слабо изучены месторождения и проявления в штате Вайоминг, США (Gil et al., 2015). Месторождения в Польше Йорданов и Наславице в основном отработаны в XIX в., будучи на территории Пруссии под названиями Йордансмюхль и Назелвиц (Lobos et al., 2008; Gil et al., 2015, 2020). Отработаны небольшие месторождения в Австрии и Швейцарии. Небольшие месторождения и проявления апосерпентитового нефрита издавна известны на Южном острове Новой Зеландии (Adams et al., 2007; Gil et al., 2015; Cooper, 2023) и в провинции Новый Южный Уэльс в Австралии (Hockley, 1974; Coenraads, 1995; Сутурин и др., 2015).

Важнейшие месторождения нефрита в России находятся в пределах Западного и Восточного Саяна, Юго-Западного Прибайкалья и Средне-витаимского нагорья. В России на 1 января 2021 г. балансом учтены 25 месторождений. Разрабатываются месторождения апосерпентинитового нефрита в Бурятии: Оспинское и Хамархудинское. Подготавливаются к освоению Куртушибинское (Участок Восточный) в Туве, Арахушанжалгинское, Поле Чудес, Улан-Ходинское, Хуша-Гол, Горлык-гольское в Бурятии. Разведываются месторождения Кантегирское, Куртушибинское (Участок Центральный), Стан-Таскыльское в Красноярском крае, Саган-Сайр в Бурятии. В нераспределенном фонде недр учитываются не переданные в освоение месторождения апосерпентинитового нефрита: Академическое в Челябинской области, Болдоктинское, Зун-Оспинское, Хангарульское, Харгантинское в Бурятии. Актуальны проблемы комплексного использования некондиционного нефрита (Худякова и др., 2020; Khudyakova et al., 2020).

На Урале известен ряд проявлений апосерпентинитового нефрита. Первые единичные находки сделаны в районе Мулдакаевской дачи (Кротов, 1915) и на горе Бикиляр (Мамуровский, 1918) в районе Миасса. На Полярном Урале известно месторождение Нырдовоменшор (Казак и др., 1976; Сутурин и др., 2015). На Среднем Урале нефрит найден на горе Лиственной у Пышминского завода в аллювии Нейво-Рудника (Юшкин и др., 1986) и Баженовском месторождении хризотил-асбеста (Kislov et al., 2021).

На территории Башкирии находятся три проявления нефрита: Козьма-Демьяновское вблизи одноименного талькового месторождения на северо-востоке республики – глыбы нефрита на берегу р. Малый Ирмель; Кеуштинское на юго-востоке Башкирии – коренные выходы площадью 1.5–2.0 м<sup>2</sup>; Кильдигуловское в правом борту долины р. Сарагы – коренной выход 10×5 м в полимиктовом серпентинитовом меланже кракинского комплекса (Князев и др., 2013). Халиловское месторождение нефрита открыто в 1968 г. в Халиловском ультраосновном массиве на территории Гайского района Оренбургской области (Сутурин и

др., 2015). На южном продолжении Урала находится Джетыгаринское проявление нефрита в Казахстане (Аеров и др., 1975).

В 2003 г. в окрестностях г. Миасса Челябинской области открыто Академическое месторождение со Студенческим и Факультетским участками (Архиреев и др., 2011). Выделен Учалинско-Миасский потенциально нефритоносный район, прослеживающийся с севера на юг от г. Карабаша через Миасс до г. Учалы (Макагонов, Архиреев, 2014). Между тем добыча нефрита на Урале велась в ограниченном объеме на Нырдовоменшорском и Академическом месторождениях, в настоящее время не производится.

Более того, несмотря на значительное число месторождений и проявлений апосерпентинитового нефрита, их геология и генезис изучены недостаточно. Наиболее распространено представление о метасоматическом происхождении нефрита (Киевленко, 2000; Harlow, Sorensen, 2005), некоторые авторы отстаивают преимущественную роль метаморфизма (Добрецов, Татаринов, 1983). Данное исследование направлено на изучение вещественного состава нефрита месторождения Нырдовоменшор в целях выяснения особенностей его происхождения.

#### МЕСТОРОЖДЕНИЕ НЫРДВОМЕНШОР

Месторождение Нырдовоменшор находится в экзоконтакте гипербазитового массива Рай-Из на Полярном Урале в бассейне верхнего и среднего течения руч. Нырдовомен-Шор в 56 км к северо-западу от г. Лабытнанги в Приуральском районе Ямало-Ненецкого автономного округа.

Нефрит найден в 1974 г. геологами СПО “Северкварцсамоцветы”. В 1980–1981 гг. добыто 21.8 т поделочного нефрита 1-го сорта из аллювиальных россыпей. В 2014 г. был создан природный парк “Полярно-Уральский”, куда вошла территория Нырдовоменшорского участка месторождения. В 2021 г. ООО “Салехардское горнорудное предприятие” получило лицензию на участок Рай-изский.

Месторождение приурочено к зоне северного тектонического экзоконтакта по Главному Уральскому разлому ультраосновного массива Рай-Из с метаморфическими и интрузивными породами Харбейского блока среднего–позднего протерозоя и метаморфизованными осадочно-вулканогенными породами Лемвинской структурно-фациальной зоны палеозойского возраста (рис. 1). Массив Рай-Из сложен в основном гарцбургитами, дунитами и серпентинитами по ним (Вахрушева и др., 2017). Палеозойские осадочно-вулканогенные образования представлены глинисто-кремнистыми и углисто-кремнистыми сланцами с прослоями метаэффузивов основного состава. Контакт массива Рай-Из по

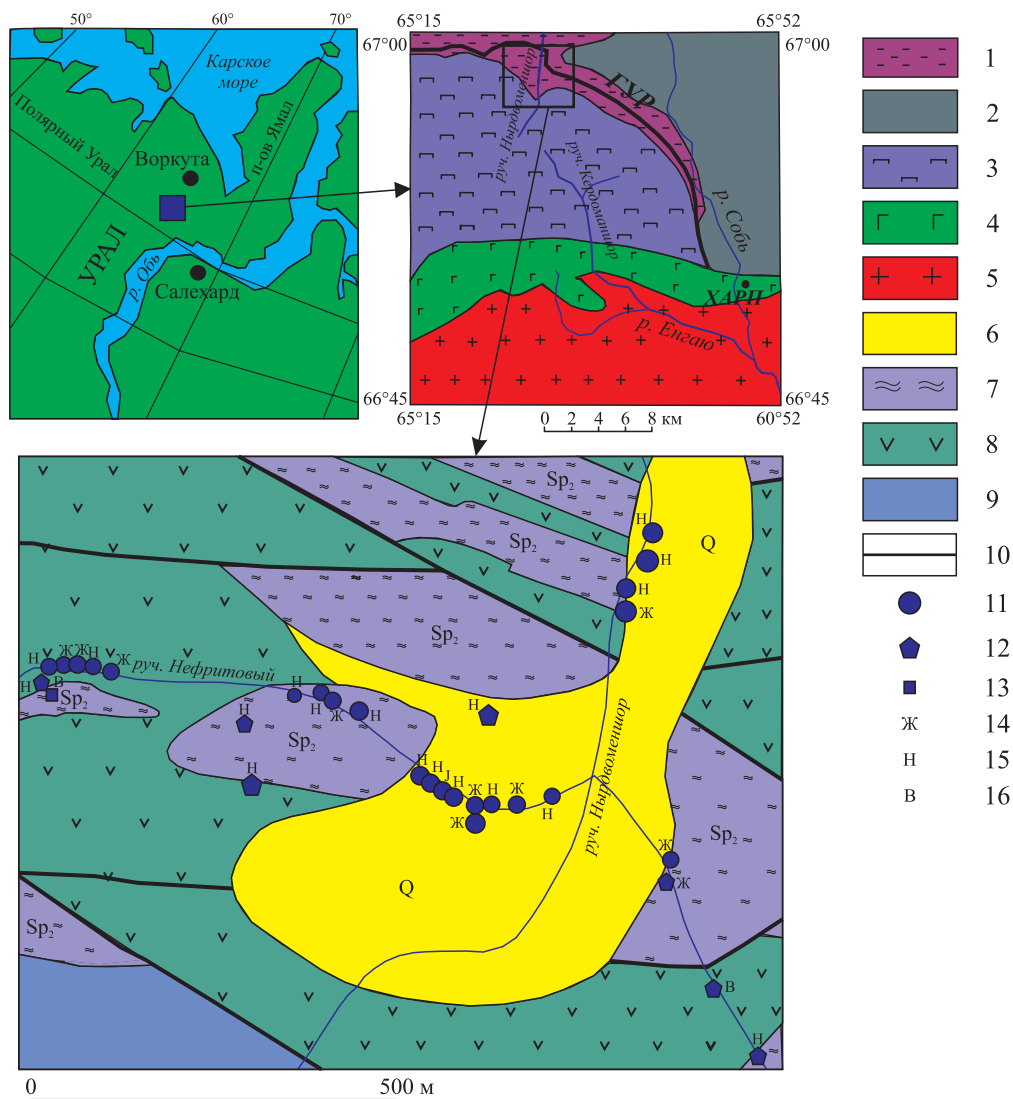


Рис. 1. Схема месторождения Нырдовоменшор.

На правом фрагменте показана восточная часть массива Рай-Из, по (Сычев, Куликова, 2012).

1 – формации палеозойской пассивной окраины Восточно-Европейского континента; 2 – докембрийские метаморфические образования Харбейского блока; 3 – райизско-войкарский дунит-гарцбургитовый комплекс; 4 – кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс; 5 – девонские островоужные гранитоиды собского и янаслорского комплексов; 6 – четвертичные осадочные отложения; 7 – серпентиниты; 8 – глинисто-кремнистые, углисто-кремнистые сланцы, основные метаэффузивы; 9 – дуниты, гарцбургиты; 10 – разрывные нарушения; 11 – поделочный камень в аллювии; 12 – поделочный камень в элювии и делювии; 13 – поделочный камень в коренном залегании; 14 – жадеит; 15 – нефрит; 16 – родингит.

Fig. 1. Scheme of the Nyrdivomenshor deposit.

The right fragment shows the eastern part of the Rai-Iz massif (Sychev, Kulikova, 2012).

1 – formations of the Paleozoic passive margin of the East European continent; 2 – Precambrian metamorphic formations of the Harbey block; 3 – Rayiz-Voikar dunite-harzburgite complex; 4 – Kershore dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro complex; 5 – Devonian island-arc granitoids of the Sob and Yanaslors complexes; 6 – Quaternary sedimentary deposits; 7 – serpentinites; 8 – argillaceous-siliceous, carbonaceous-siliceous shales, basic meta-effusives; 9 – dunites, harzburgites; 10 – faults; 11 – ornamental stone in alluvium; 12 – ornamental stone in eluvium and deluvium; 13 – ornamental stone in bedrock; 14 – jadeite; 15 – nephrite; 16 – rodingite.

Главному Уральскому разлому представляет собой зону полимиктового меланжа с развитием диопсидитов, родингитов, плагиоклазитов, альбит-жадеитов, нефритов. Распространены элювиально-

делювиальные, флювиогляциальные и аллювиальные отложения.

Проявления нефрита известны в коренном залегании, развалах и россыпях (рис. 2) в пределах

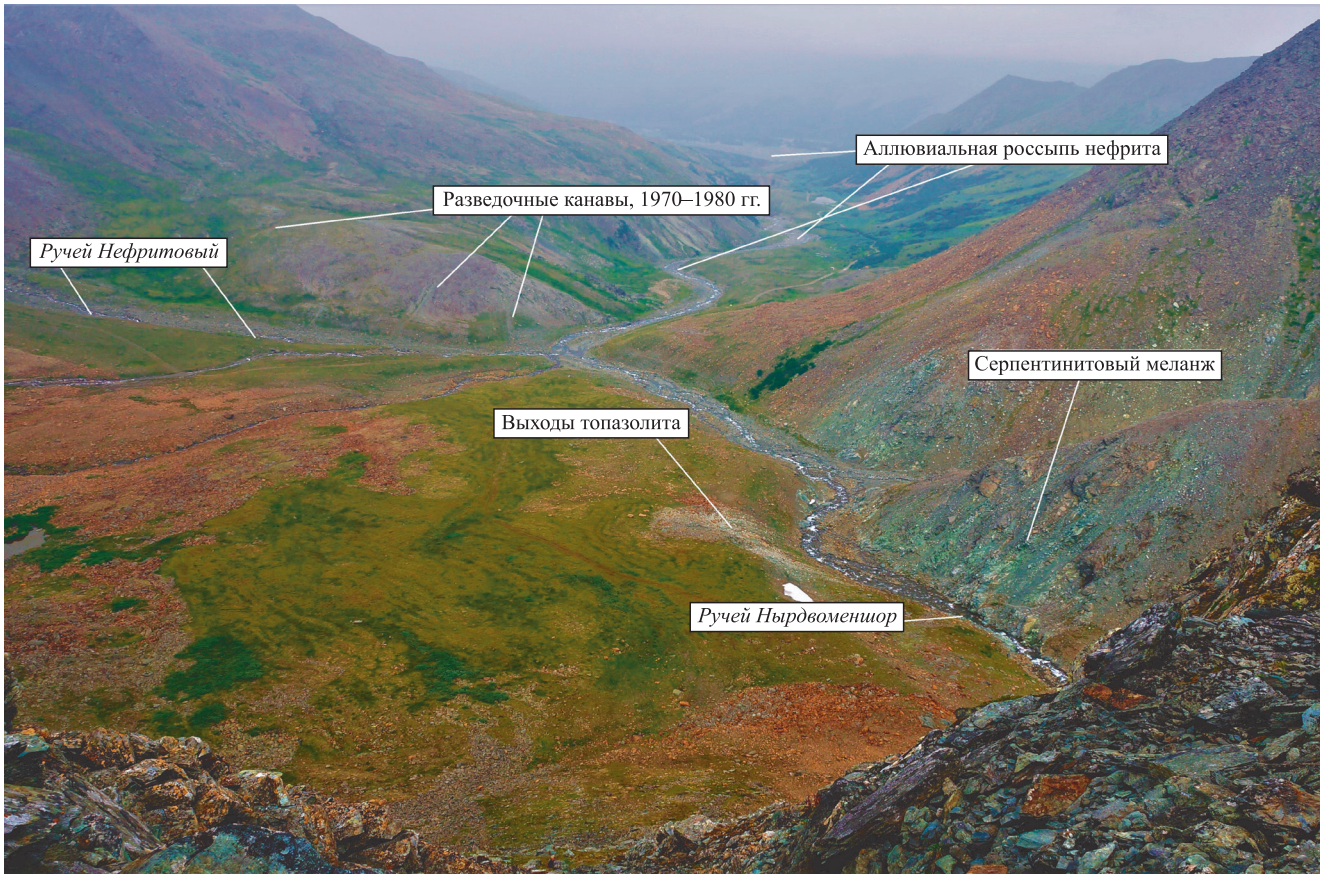


Рис. 2. Месторождение Нырдовменшор.

Fig. 2. The Nyrdivomenshor deposit.

серпентинитового меланжа (рис. 3), в приконтактных зонах апогаббровых тел. В коренном залежании нефрит образует более 300 линзообразных жил протяженностью 1–60 м, мощностью от нескольких см до 3 м. Выделено пять основных типов локализации нефрита: жилы в серпентинитах, на контакте серпентинитов с метаэффузивами, метаэффузивах, на контакте родингитов по габброидам с серпентинитами, в родингитах (Сутурин и др., 2015). Эрозия большинства нефритовых жил дала основную массу глыбово-валунного материала, составляющего промышленное ледниково-аллювиальное россыпное месторождение – основной объект добычи нефрита. В процессе транспортировки валунов произошло естественное улучшение качества нефрита за счет истирания тальк-тремолитовой рубашки (Сутурин и др., 2015). Аллювиальная россыпь нефрита приурочена к русловой и пойменной частям руч. Нырдовмен-Шор и его притоков – ручьев Нефритовый и Образцовый. Ширина россыпи 20–60 м, протяженность до 4.5 км. Размер валунов нефрита 0.1–2.9 м (рис. 4). Средняя частота встречаемости – 1 валун на 680–700 м<sup>2</sup>.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Изучено восемь полированных пластин, предположительно, нефрита из аллювиального материала Нырдовменшорского и Райизского участков месторождения Нырдовменшор. В качестве дополнительного материала исследовались угловатый образец родингита и полированная пластина жадеита.

Визуальное петрографическое и минералогическое изучение проводилось при естественном освещении, применялась фотофиксация. Декоративные свойства (окраска, оттенок, рисунок, наличие каемок, степень шероховатости) определялись при помощи бинокулярного микроскопа МБС-10 и спецфонарика СУЗ-В05. Структурные особенности, акцессорные минералы и их агрегаты изучены в аншлифах.

Химический состав пород определен рентгено-спектральным флуоресцентным методом на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре XRF-1800 (SHIMADZU, Япония) в ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) по методике Н.П. Горбуновой с соавторами (2015), аналитики Н.П. Горбунова, Л.А. Татарина, И.А. Желунцын, А.А. Некрасова.



**Рис. 3.** Глыба нефрита в серпентинитовом меланже.

**Fig. 3.** A block of nephrite in serpentinite melange.



**Рис. 4.** Аллювиальная глыба нефрита.

**Fig. 4.** Alluvial block of nephrite.

Разложение проб и анализ содержания элементов-примесей проводились с помощью ICP-MS-анализа в ЦКП “Геоаналитик” (ИГГ УрО РАН), аналитик Д.В. Киселева, на квадрупольном ИСП масс-спектрометре NexION300S (Perkin Elmer, США). Микроволновое разложение проб осуществлялось смесью кислот  $\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{HF}$  с использованием системы Berghof Speedwave MWS 3+. Типичные операционные условия масс-спектрометра: мощность радиочастотного генератора – 1300 Вт, материал конусов интерфейса – платина. Все измерения проводились в режиме количественного анализа с построением градуировочных кривых. Для построения градуировочных зависимостей применялись сертифицированные в соответствии ISO 9001 мультиэлементные стандартные растворы (Perkin Elmer Instruments). Для контроля правильности и точности определения микроэлементного состава использованы сертифицированные образцы базальта BCR-2 и андезита AGV-2 (USGS). Полученные концентрации редких, рассеянных и редкоземельных элементов удовлетворительно согласуются с аттестованными величинами с допустимым отклонением в пределах 15%. Погрешности определения элементов составили, отн. %: 24 (Cr, Ni, Co, Cu, V, Ba, Sr), 30 (Rb), 41 (PЗЭ), 50 (Zr), 60 (Y, Hf, Ta, Nb, Th, U).

Минеральный состав изучен на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП “Геоспект” (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ), аналитик Е.А. Хромова. Условия исследования: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 0.3–0.4 нА, размер зонда менее 0.1 мкм, время измерения 50 с (живое время), ошибка анализа на сумму достигает 2–4 мас. % в зависимости от

качества поверхности образца и особенностей его состава. Содержание трехвалентного железа вычислено по стехиометрии. Использовались анализы, отклоняющиеся от идеальной суммы не более чем на 2%.

Измерения изотопного состава кислорода выполнялись на газовом масс-спектрометре FINNIGAN MAT 253 в ЦКП “Геоспект” (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ), аналитик В.Ф. Посохов, с использованием двойной системы напуска в классическом варианте (стандарт – образец). Для определения величин  $\delta^{18}\text{O}$  образцы готовились с использованием метода лазерного фторирования на опции “лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов” в присутствии реагента  $\text{BrF}_5$  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  $\delta^{18}\text{O}$  находилась на уровне  $(1\text{s}) \pm 0.2\text{‰}$ .

#### СОСТАВ ДИОПСИДИТА И РОДИНГИТА

Два образца – 162 и 3/12 (рис. 5) – представлены диопсидитами, “каркаро” (Киевленко, 2000). Образец 162 серовато-белый с зеленоватыми прожилками уваровита, с черными зернами хромита, обр. 3/21 неоднородного светло-зеленого цвета из-за неравномерного распределения тремолита и хлорита. В составе диопсидита преобладает тонкозернистый диопсид (табл. 1), характерны облакоподобные обособления хлорита, прожилки хло-



**Рис. 5.** Образцы диопсидита.

а – 162, б – 3/21.

**Fig. 5.** Diopside samples.

а – 162, б – 3/21.

Таблица 1. Химический состав силикатов диопсидитов, мас. %

Table 1. Chemical composition of diopside silicates, wt %

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Сумма
Диопсид. Обр. 3/21										
55.84	0	0	0.55	2.89	0	0	15.95	24.53	0.43	100.20
55.86	0	0	0	4.43	0	0.48	17.76	20.85	0	99.37
55.37	0	0	0.63	2.92	0.10	0	16.60	24.84	0.40	100.85
55.43	0	0.96	0.55	3.60	0	0	15.77	23.56	0.42	100.30
55.41	0	0.59	0.53	4.15	0	0	15.99	24.46	0	101.12
57.44	0	0	0	3.77	0	0	17.96	22.78	0	101.95
Диопсид. Обр. 162										
55.39	0	0.62	0	2.57	0	0	16.90	24.95	0	100.43
54.72	0	0.55	0	2.95	0	0	16.58	24.21	0	99.01
55.05	0	0.53	0	2.38	0	0	16.83	24.79	0	99.58
54.85	0.35	1.70	0	2.69	0	0	15.32	23.74	1.04	99.70
53.42	0	0	0	12.43	0	0.68	11.67	22.30	0	100.51
52.86	0	0.42	0	9.19	0	0.58	11.96	23.94	0	98.94
54.17	0	0	0	2.32	0	0	17.66	24.15	0	98.29
54.36	0	0.81	0	2.59	0	0	16.23	24.12	0.43	98.55
Гранат. Обр. 3/21										
36.26	1.27	0	6.23	1.90	20.27	0	0.40	32.70	0	99.02
37.91	2.07	8.31	14.66	2.68	0	0.43	0	33.45	0	99.51
37.44	2.00	4.82	14.81	0.90	2.83	0.58	3.42	31.43	0	98.23
35.62	3.12	4.76	16.81	0.93	3.15	0	0.45	34.08	0	98.93
35.73	3.04	3.57	19.04	3.30	0.36	0	0.46	33.25	0	98.76
36.67	3.05	7.86	17.41	4.35	0.14	0	0	32.00	0	101.45
36.51	3.02	6.88	16.31	2.82	0.35	0	0	33.06	0	98.96
Гранат. Обр. 162										
34.53	1.28	8.86	19.09	0	4.55	0	0.73	29.58	0	98.62
36.33	1.02	10.68	14.09	0	1.21	0.54	0.38	33.82	0	98.07
34.85	0.53	9.54	19.83	1.21	2.94	0	0.63	31.08	0	100.62
35.86	0.90	10.37	14.03	0	2.16	0.46	2.27	32.06	0	98.12
Тремолит. Обр. 3/21										
58.08	0	0	0	4.05	–	0	21.72	13.10	0	96.96
57.08	0	0	0	4.22	–	0	21.33	12.80	0	95.43
58.85	0	0.40	0	4.43	–	0	22.07	12.41	0.66	98.82
55.49	0.38	3.95	0	4.28	–	0.56	11.92	18.19	3.79	98.57
Хлорит. Обр. 162										
33.29	0	14.72	0.64	6.64	–	0	28.89	0.27	0	84.44
34.38	0	6.97	4.90	7.09	–	0	31.77	0.99	0	86.10
Хлорит. Обр. 3/21										
32.86	0	15.17	0.83	9.16	–	0	28.31	0.57	0	86.91
Титанит. Обр. 3/21										
32.08	38.60	0.74	0	0	–	0	27.49	0	0	98.91
32.41	39.45	0.59	0	0.58	–	0	27.76	0	0	100.79

рита с зернами хромита и уваровита (один анализ соответствует андрадиту), мелкие идиоморфные и ксеноморфные зерна хизлевудита; в обр. 162 он, по данным шести анализов, не содержит примесей, в обр. 3/12, по данным трех анализов, содержание железа 0.67–2.22. Зерна хромита (табл. 2) секутся жилками хлорита. Уваровит (см. табл. 1) корродирует и обрастает хромит. Тремолит (см. табл. 1), пентландит с примесью кобальта, стибнит с примесью железа в сростании с хизлевудитом, титанит (см. табл. 1) с включением ильменита (см. табл. 2) в небольшом количестве появляются

в обр. 3/21, причем тремолит выполняет трещины в хромите.

Родингит светло-зеленого с желтоватым оттенком на месторождении традиционно называется “калифорнитом”, т. е. калифорнийским жадом, так называют тонкозернистый агрегат везувиана. Но в результате анализа образца оказалось, что он состоит из гидрогроссуляра (табл. 3), т. е. должен быть отнесен к трансвальскому жаду – тонкозернистому агрегату граната. В подчиненном количестве отмечаются везувиан и хлорит, образующие мало-мощные прожилки и облакоподобные обособле-



**Таблица 2.** Химический состав оксидов диопсидитов, мас. %**Table 2.** Chemical composition of diopsidite oxides, wt %

TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	NiO	ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
Хромит. Обр. 3/21										
0	12.81	58.75	15.44	1.40	0	12.42	0	0	0.32	101.15
Хромит. Обр. 162										
0.42	12.17	43.92	29.56	7.09	1.08	2.28	1.70	0.34	0	98.56
0	28.38	40.56	12.82	3.06	0	15.55	0	0	0	100.38
0	28.06	39.07	12.49	3.55	0	15.34	0	0	0	98.50
0	28.40	40.03	13.17	3.06	0	15.22	0	0	0	99.89
0	12.45	48.64	25.93	4.39	0.92	3.27	3.21	0	0	98.82
0	20.42	44.69	28.79	2.72	0.67	2.39	1.69	0	0	101.39
Ильменит. Обр. 3/21										
51.28	0	0	43.30	–	3.67	0	0	0	0	98.24

**Таблица 3.** Химический состав минералов родингита, мас. %**Table 3.** Chemical composition of rodingite minerals, wt %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Сумма
Гроссуляр						
36.22	21.48	0	0.38	0	37.01	95.10
36.82	21.99	0	0.36	0	37.82	96.99
37.40	21.26	0	0	0	37.09	95.74
34.00	19.78	0	0.74	0	36.17	90.69
37.35	22.20	0	0	0	38.13	97.68
Везувиан						
34.06	16.25	3.04	–	2.16	35.64	91.14
36.24	16.16	2.80	–	2.65	36.28	94.13
34.34	16.33	2.82	–	2.40	34.24	90.12
35.71	16.67	2.80	–	2.32	36.13	93.62
Хлорит						
28.69	21.41	6.30	–	27.59	0	83.99
28.00	20.43	11.31	–	24.63	0	84.36
26.44	20.27	16.52	–	21.23	0	84.46
24.62	25.32	10.79	–	22.44	0	83.17
31.13	18.31	2.97	–	31.54	0	83.95

ния. Судя по химическому анализу другого образца (табл. 4), на месторождении также есть везувианит, т. е. калифорнийский жад.

### СВОЙСТВА И СОСТАВ НЕФРИТА

Окраска нефрита преимущественно неоднородная, реже однородная (рис. 6), струйчатая, серовато-зеленая, вплоть до оливково-зеленой, темная серовато-зеленая, часто с пятнами, хлопьями более светлого серовато-зеленого цвета до 3 мм в поперечнике. Характерны тонкие редкие зерна рудных минералов. В темных разновидностях равномерно распределены зерна рудного минерала размером до 2 мм, составляющие до 3% площади образца. В обр. 2/21 на всей поверхности многочисленны визуально различимые игольчатые кристаллы тремолита. Отмечены матовые корочки выветривания более светлого серовато-зеленого цвета мощностью до 0.5 см. Просвечи-

ваемость у темных разновидностей до 0.2 см, у светлых – до 0.5 см.

Наблюдается интенсивная трещиноватость, у обр. 2/21 она доходит до рассланцованности. Полировку нефрит принимает плохо, с интенсивной шагренью, шербинами. Реже проявлена зеркальная полировка, но с шербинами либо шагренью, струйчатым рисунком и трещинами. Часто полировка неоднородная: участки развития посторонних минералов практически не принимают полировки, остаются матовыми.

Изучен минеральный состав нефрита. В составе нефрита преобладает тремолит (табл. 5), от тонковолокнистого до игольчатого. Диопсид (табл. 6) образует реликтовые зерна (рис. 7е). Омфацил (см. табл. 6, рис. 7а) обрастает зерна хромита и уваровита (табл. 7).

Хлорит (табл. 8) слагает отдельные облаковидные изометричные, до удлинённых, участки, сечет и обрастает хромит (см. рис. 7б, в), реже образует

**Таблица 4.** Химический состав пород месторождения Нырдовоменшор (основные компоненты – в мас. %, микропримеси – в г/т)

**Table 4.** Chemical composition of the rocks of the Nyrdivomenshor deposit (main components in wt %, trace elements in ppm)

Компонент	Нефрит			Диопсидит	Родингит
SiO <sub>2</sub>	58.17	58.44	56.35	52.83	33.70
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.03	0.04	0.08	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.33	0.28	0.66	0.40	19.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>общ</sub>	5.07	4.87	5.88	8.13	5.19
MnO	0.10	0.11	0.11	0.11	0.04
MgO	21.70	21.68	21.49	16.42	10.91
CaO	12.57	12.06	13.04	21.40	28.80
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.48	0.27	0.08	0.07
K <sub>2</sub> O	0.06	0.19	0.11	0.04	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.02	0.03	0.09	0
S	0.03	0.03	0.03	0.04	0
Cr	0.02	0.03	0.08	0.01	0.01
П.п.п.	1.87	2.03	2.36	0.57	1.78
Сумма	100.09	100.26	100.42	100.20	100.08
Li	0.5	0.5	1.5	1	14
Be	0.11	0.2	0.23	0.25	0.013
Sc	2.8	3.7	6	5	12
Ti	40	40	60	210	110
V	15	15	16	21	26
Cr	400	440	700	380	70
Mn	340	400	380	380	170
Co	21	24	24	18	14
Ni	400	400	400	200	60
Cu	4	4	9	11.5	4
Zn	14	15	20	9	6
Ga	0.4	0.4	0.8	0.5	3
Ge	0.44	0.39	0.27	0.6	0.34
As	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Se	0.17	0.2	0.24	0.35	0.45
Rb	0.5	0.21	0.19	0.27	0.33
Sr	33	29	50	40	27
Y	0.17	0.3	0.6	2	0.8
Zr	0.19	0.16	0.4	6	0.8
Nb	0.26	0.19	0.16	0.4	0.08
Mo	0.29	0.28	0.28	0.6	0.29
Ag	0.0117	0.0111	0.0072	0.019	0.008
Cd	0.025	0.03	0.07	0.03	0.04
Sn	0.24	0.16	0.2	0.32	0.21
Sb	0.07	0.07	0.08	0.4	0.09
Te	<0.01	0.019	<0.01	0.017	<0.01
Cs	0.04	0.012	0.027	0.02	0.08
Ba	5.4	4.8	4.9	5.1	4.7
La	0.05	0.07	0.13	1.2	0.09
Ce	0.14	0.16	0.24	2.3	0.18
Pr	0.019	0.024	0.033	0.31	0.027
Nd	0.078	0.11	0.16	1.2	0.13
Sm	0.022	0.036	0.044	0.3	0.049
Eu	0.043	0.02	0.019	0.09	0.049
Gd	0.027	0.046	0.063	0.38	0.087
Tb	0.005	0.007	0.013	0.06	0.019
Dy	0.028	0.038	0.08	0.38	0.15
Ho	0.006	0.007	0.018	0.08	0.035
Er	0.017	0.021	0.059	0.24	0.11

Таблица 4. Окончание

Table 4. Ending

Компонент	Нефрит			Диопсидит	Родингит
Tm	0.0028	0.0031	0.009	0.035	0.016
Yb	0.019	0.026	0.07	0.22	0.12
Lu	0.003	0.005	0.01	0.04	0.019
Hf	0.1	0.024	0.023	0.21	0.04
Ta	0.13	0.05	0.037	0.11	0.045
W	0.3	0.26	0.4	0.8	3
Tl	0.004	0.003	0.005	0.0025	0.0027
Pb	0.19	0.3	0.6	0.8	0.6
Bi	0.0142	0.0051	0.0033	0.019	0.0039
Th	0.08	0.018	0.011	0.3	0.018
U	0.014	0.013	0.031	0.16	0.011

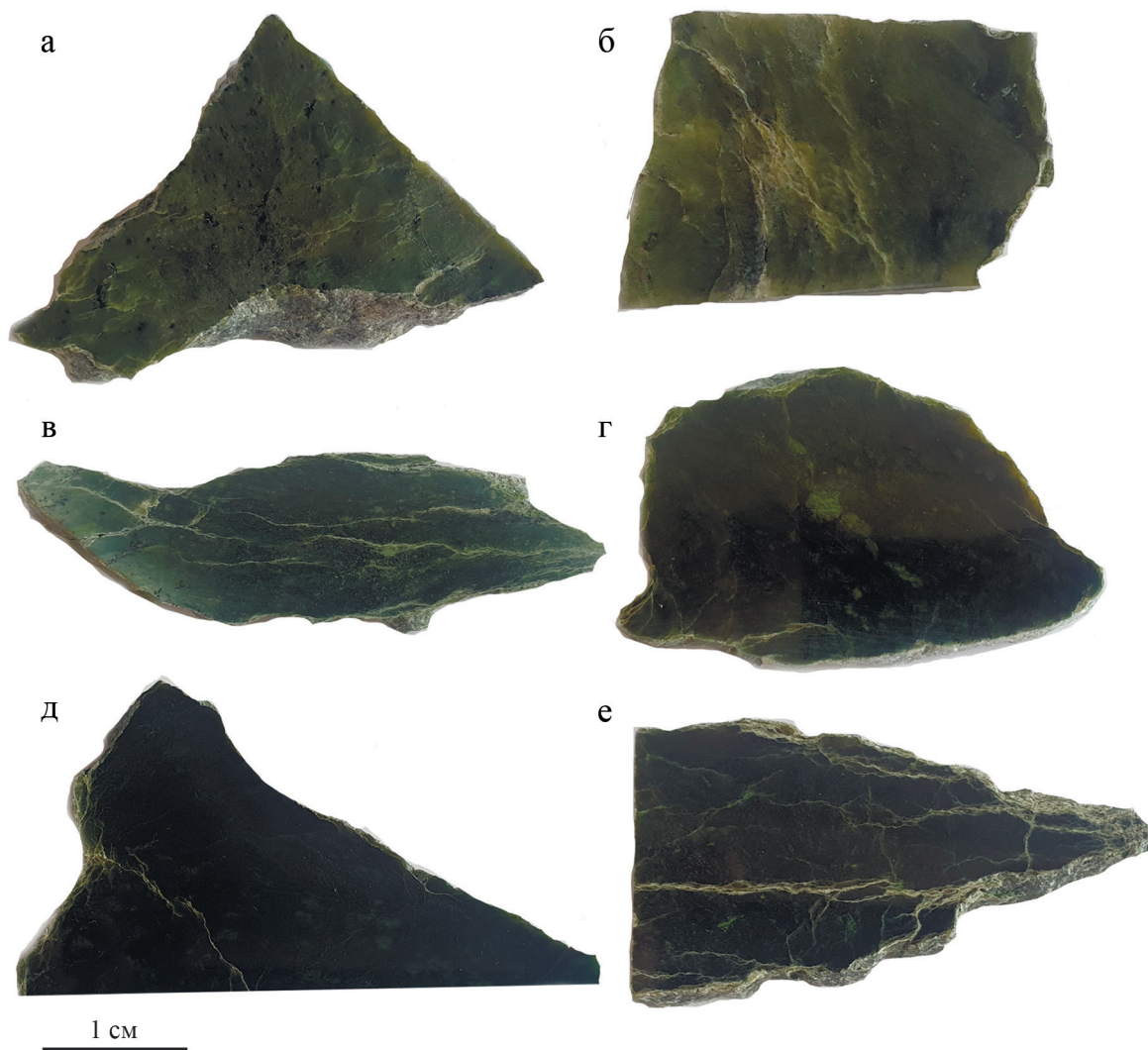


Рис. 6. Образцы нефрита.

а – 558, б – 61-2, в – 2/21, г – 1/21, д – 510-1, е – 557-1.

Fig. 6. Samples of nephrite.

а – 558, б – 61-2, в – 2/21, г – 1/21, д – 510-1, е – 557-1.

Таблица 5. Химический состав тремолита нефрита, мас. %

Table 5. Chemical composition of nephrite tremolite, wt %

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	F	Сумма
Обр. 1/21											
57.20	0	0.51	4.27	0	20.18	12.56	0	0.41	0.40	0	95.54
57.81	0	0	4.05	0	21.97	13.38	0	0	0	0	97.21
57.70	0	0	4.26	0	21.43	13.45	0	0	0	0	96.83
59.41	0	0.66	3.89	0	22.50	12.97	0	0	0	0	99.43
Обр. 2/21											
58.55	0	0	3.34	0	22.20	13.18	0.36	0.24	0	0	97.89
59.28	0	0	3.89	0	23.00	13.07	0	0	0	0	99.24
59.99	0	0	3.42	0	23.45	12.44	0.61	0	0	0	99.90
56.65	0	0	3.80	0	21.49	12.28	0	0	0	1.48	95.70
57.10	0	0	3.89	0	21.76	12.41	0	0.20	0	0	95.36
59.32	0	0.38	3.96	0	22.32	12.72	0.43	0.35	0	0	99.48
Обр. 61-2											
58.64	0	0	4.79	0	22.77	12.56	0	0	0	0	98.76
58.15	0	0	4.44	0	22.15	12.34	0	0	0	0	97.08
59.26	0	0	3.87	0	22.67	12.73	0	0	0	0	98.53
58.58	0	0	4.27	0	21.79	12.52	0	0	0	0	97.16
58.70	0	0	4.26	0	22.27	12.97	0	0	0	0	98.20
57.87	0	0	4.80	0	22.11	12.87	0	0	0	0	97.65
58.08	0	0	3.60	0	22.49	13.03	0	0	0	0	97.20
Обр. 510-1											
59.07	0	0.42	4.13	0	22.25	12.23	0.49	0.51	0	0	99.09
57.98	0.35	0	4.37	0	21.56	11.75	0.85	0.48	0	0	97.34
57.89	0	0	4.46	0	22.42	12.12	0.62	0.47	0	0	97.98
56.67	0	0.59	4.07	0	20.80	11.75	0.80	0.42	0	0	95.09
57.23	0	0	4.58	0	21.67	12.47	0.53	0.47	0	0	96.94
57.19	0	0	4.31	0	21.62	12.72	0	0	0	0	95.84
57.21	0	0	4.58	0.37	21.21	12.56	0.47	0	0	0	96.41
Обр. 557-1											
58.90	0	0	3.56	0	22.64	13.75	0	0	0	0	98.85
59.17	0	0	3.56	0	22.54	13.01	0	0	0	0	98.29
57.10	0	0	3.05	0	22.29	12.77	0	0	0	0	95.21
59.54	0	0	2.98	0	22.45	12.86	0	0	0	0	97.84
56.41	0	0.43	3.90	0.35	22.10	12.59	0	0	0.17	0	95.96
59.52	0	0	3.80	0	21.96	12.58	0.74	0	0	0	98.59
59.09	0	0.43	3.09	0.32	22.37	12.91	0.63	0.18	0	0	99.03
56.99	0	0	3.54	0	22.50	12.47	0	0	0	0	95.50
Обр. 558											
57.61	0	0	3.51	0	21.43	12.91	0	0	0	0	95.46
57.91	0	0	3.59	0.30	22.83	12.44	0	0	0	0	97.07
57.61	0	0	3.27	0	21.82	12.70	0	0	0	0	95.41

прожилки с зернами хромита и пентландита. Хлорит, секущий или обрастающий хромит, содержит больше хрома и магния.

Зерна хромита (табл. 9) редко идиоморфные и однородные, чаще раздробленные, с увеличенным содержанием хрома и железа (см. рис. 7б) либо только железа (см. рис. 7в) к периферии, хлорит выполняет трещины и обрастает хромит. В хромите отмечаются повышенные содержания марганца и цинка. Хромит иногда по периферии или пят-

нами по всему зерну замещается уваровитом (см. рис. 7д).

Уваровит в основной массе образует идиоморфные отдельные зерна, иногда фуллярные (см. рис. 7е), замещает хромит, реже встречаются ксеноморфные вытянутые выделения (рис. 7ж). Уваровит, образующий самостоятельные выделения, отличается от уваровита, замещающего хромит, тем, что содержит больше титана, железа, особенно трехвалентного (иногда до промежуточного сос-

Таблица 6. Химический состав клинопироксена нефрита, мас. %

Table 6. Chemical composition of nephrite clinopyroxene, wt %

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Сумма
Диопсид. Обр. 2/21										
55.24	0	0	0.88	2.28	0.57	0	16.63	24.98	0.46	101.03
53.98	0	0	0.83	2.77	0	0	15.95	24.16	0.58	98.26
54.74	0.30	0	0	3.49	0	0.37	17.28	25.27	0	101.45
54.84	0	0	0.82	0.98	2.13	0.37	17.44	24.91	0.50	102.00
Омфацит и диопсид. Обр. 557-1										
56.31	0	5.48	3.17	2.64	2.10	0	10.30	15.43	5.73	101.16
53.07	0	6.59	10.11	4.13	0	0	5.99	12.20	6.31	98.41
55.19	0	5.95	2.59	4.85	0	0.62	9.50	16.19	4.68	99.57
55.24	0	0.91	1.77	3.14	0	0.46	14.87	22.04	1.36	99.79
54.70	0	5.20	5.13	2.87	1.31	0.48	9.63	14.44	5.69	99.45
54.15	0	3.44	2.59	4.99	0	0.83	10.96	18.23	3.38	98.57
52.28	0	0.76	8.05	6.03	0	2.47	8.14	16.86	3.49	98.08
54.92	0	4.76	5.16	1.49	3.47	0.35	9.70	14.02	6.16	100.03
55.22	0	2.42	0.70	2.79	0.91	0.48	14.33	21.97	1.95	100.77
54.57	0	0.66	0.88	1.90	1.48	0.50	16.12	23.21	0.94	100.27
55.45	0	4.16	2.86	0.61	4.04	0.48	11.89	17.87	4.56	101.92
55.56	0	2.61	5.48	3.47	0	0.37	12.04	15.61	4.43	99.58
56.11	0	5.10	3.51	2.30	2.02	0	10.89	16.73	5.16	101.84

тава между уваровитом и андрадитом), магния и ванадия, меньше алюминия, марганца и хрома.

С хромит-уваровитовыми зернами ассоциируют редкие барит (SrO – 1.48 мас. %), миллерит (Co – 3.50 мас. %), фалкондоит, Fe-доминантный минерал из группы шуйскита (см. табл. 8, рис. 7з, и). Пентландит образует ксеноморфные удлиненные деформированные и раздробленные зерна, содержащие 2.29–3.22 мас. % Co (восемь анализов).

Изучен изотопный состав кислорода пород Нырдовоменшорского месторождения (табл. 10). Изотопный состав диопсидитов – 6.8 и 7.3‰ δ<sup>18</sup>O. Еще ниже он у гидрогранатового родингита – 6.6‰ δ<sup>18</sup>O. Нефриты, по данным шести анализов, обладают более тяжелым изотопным составом – 8.2–9.7‰ δ<sup>18</sup>O. Изотопный состав жадеита близок к нефриту – 8.8‰ δ<sup>18</sup>O.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Нефрит Нырдовоменшорского месторождения характеризуется неоднородной непривлекательной окраской, трещиноватостью, вплоть до рассланцованности, низкой просвечиваемостью. Поэтому по своим качественным характеристикам он не соответствует кондиционному ювелирному или поделочному нефриту (Технические условия..., 1990).

Минеральный состав нефрита Нырдовоменшора специфичен. Такие минералы, как омфацил, барит, миллерит, фалкондоит, ранее в апосерпентинитовом нефрите не отмечались. Fe-доминантный шуйскит ранее вообще не был описан. Еще больший интерес

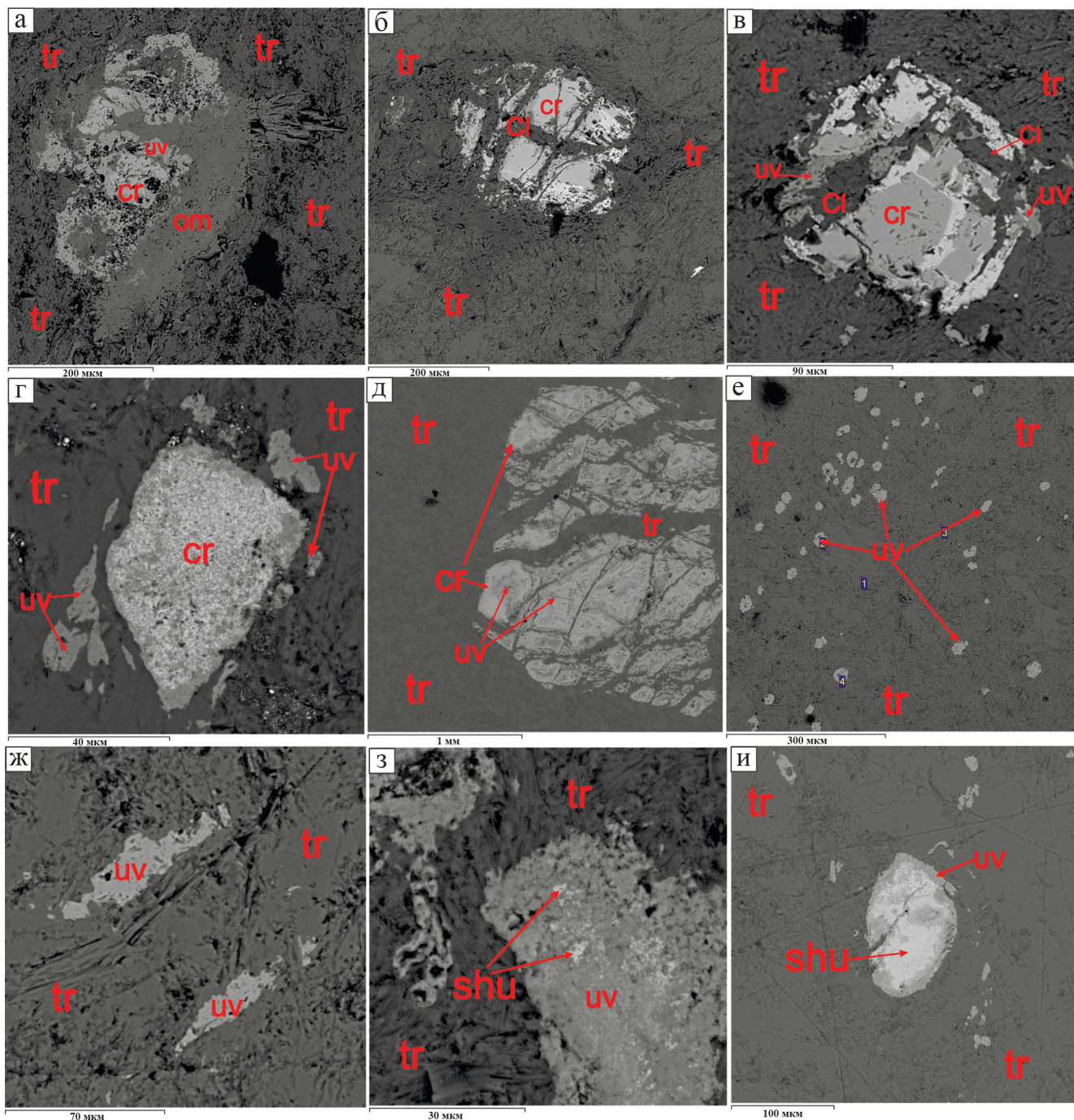
представляет уваровит. Он образует визуально различимые выделения, встречается во всех образцах в большом количестве, формируя самостоятельные зерна и замещающая хромит.

Ранее уваровит описан в нефрите месторождения Фентиен на Тайване (Wan, Yeh, 1984). Но опубликованные результаты анализа граната соответствуют хромистому гроссуляру (в среднем 11.6 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, максимальное содержание 12.86 мас. %, более высокие результаты анализа ядра кристалла отвечают смеси хромистого гроссуляра и хромита). Уваровит был упомянут как минерал нефрита Нырдовоменшора и месторождений Британской Колумбии, Канада, без приведения результатов анализов (Сутурин и др., 2015).

Гранат состава гроссуляр-уваровит отмечен в нефрите месторождения Наславице в Польше (Gil et al., 2000) и Баженовского месторождения хризотил-асбеста (Kislov et al., 2021). Пока единственная достоверная находка обильного низкоглиноземистого уваровита в апосерпентинитовом нефрите зафиксирована в месторождении Манас в Северном Тянь-Шане на севере Синцзян-Уйгурского автономного округа Китая (Wang, Shi, 2021).

Апосерпентинитовая природа нефрита уточнена с помощью химического состава. Считается, что у апосерпентинитового нефрита значение  $Fe^{2+}/(Mg + Fe^{2+})$  обычно более 0.06, тогда как у аподоломитового нефрита менее 0.06 (Siquin et al., 2012). У нефрита Нырдовоменшора значение  $Fe_2O_{3\text{общ}}/(MgO + Fe_2O_{3\text{общ}})$  равно 0.19–0.21 (см. табл. 4).

Содержание Cr, Ni, Co также различается в апосерпентинитовом и аподоломитовом нефрите



**Рис. 7.** Минеральный состав нефрита.

а – в тремолите хромит корродируется уваровитом, их обрастает омфацит, обр. 557-1; б – хромит с хромисто-железистыми каемками, прожилками и обрастанием хлорита в тремолите, обр. 61-2; в – хромит с каемками железистого хромита замещается уваровитом, обрастает хлоритом, вокруг тремолит, обр. 558; г – хромит пятнами замещается уваровитом, отдельные зерна уваровита среди тремолита, обр. 2-21; д – уваровит-хромитовое зерно, причем хромит по периферии, в тремолите зерна диопсида, обр. 1-21; е – футлярные кристаллы уваровита в тремолите, обр. 510-1; ж – удлиненные зерна уваровита в тремолите, обр. 557-1; з – хромит-“шуйскит”-уваровитовое (уваровит темнее “шуйскита”) зерно в тремолите, обр. 1-21; и – “шуйскит”-уваровитовое зерно в тремолите, уваровит по периферии, обр. 510-1. *Cl* – хлорит, *cr* – хромит, *dp* – диопсид, *om* – омфацит, *tr* – тремолит, *shu* – шуйскит, *uv* – уваровит.

**Fig. 7.** Mineral composition of nephrite.

a – in tremolite, chromite is corroded by uvarovite, they are overgrown with omphacite, sample 557-1; б – chromite with chromite-iron rims, veinlets and chlorite fouling in tremolite, sample 61-2; в – chromite with rims of ferruginous chromite is replaced by uvarovite, overgrown with chlorite, around tremolite, sample 558; г – chromite is replaced by spots with uvarovite, individual grains

of uvarovite among tremolite, sample 2-21; д – uvarovite-chromite grain, with chromite on the periphery, in tremolite of diopside grain, sample 1-21; е – case crystals of uvarovite in tremolite, sample 510-1; ж – elongated grains of uvarovite in tremolite, sample 557-1; з – chromite-“shuiskite”-uvarovite (uvarovite is darker than “shuiskite”) grain in tremolite, sample 1-21; и – “shuiskite”-uvarovite grain in tremolite, uvarovite on the periphery, sample 510-1. *Cl* – chlorite, *cr* – chromite, *dp* – diopside, *om* – omphacite, *tr* – tremolite, *shu* – shuiskite, *uv* – uvarovite.

**Таблица 7.** Химический состав уваровита нефрита, мас. %

**Table 7.** Chemical composition of nephrite uvarovite, wt %

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
Обр. 1/21											
34.66	0	7.88	18.69	0	3.86	1.28	0	32.01	0	0	98.38
37.61	0	9.31	16.06	0.63	2.08	1.03	0	34.73	0	0	101.47
36.82*	2.48	0.43	18.33	1.31	6.28	0.50	1.92	32.01	1.13	0	101.23
36.39*	2.53	0.74	18.20	2.00	6.28	0	1.33	32.34	1.26	0.61	101.68
35.30	1.52	2.81	21.22	1.71	4.08	0.74	0	32.10	0.40	0	99.87
Обр. 2/21											
36.75*	0.55	2.47	12.32	0	14.48	0	2.72	31.27	0	0	100.58
34.98	0.42	3.06	22.01	2.05	7.90	0.68	0	30.80	0	0	101.90
37.33*	0.63	2.42	12.80	0.84	13.11	0	1.71	32.25	0	0	101.11
35.90	0.50	1.64	17.10	2.90	8.10	0	0.91	31.32	0.53	0	98.90
33.93	0	4.67	21.96	0	8.91	0.54	0	31.43	0	0	101.43
Обр. 510-1											
35.88*	0.32	5.35	19.47	0.68	4.04	0.77	0	32.56	0.46	0	99.53
35.92	0	4.42	21.44	0.15	4.28	0.96	0.40	32.10	0	0	99.66
36.67*	0.37	4.52	16.82	1.15	5.24	0.80	0	32.95	0	0	98.52
Обр. 557-1											
36.90	1.13	4.76	21.84	1.41	0.81	0.81	0	33.50	0	0	101.16
37.61	0.53	5.46	18.17	1.56	2.35	0.85	1.06	32.11	0	0	99.70
37.20	0.87	4.59	18.56	1.48	2.78	0.80	0.85	32.36	0	0	99.50
37.14	0.87	6.16	19.58	1.19	1.39	0.75	0	33.75	0	0	100.83
37.87	0.67	5.08	19.12	2.75	0.47	0.72	0	33.09	0	0	99.77
36.78	0.95	6.25	17.89	1.61	1.14	0.67	0	33.20	0	0	98.50
Обр. 558											
36.11*	2.07	1.32	15.14	1.51	8.15	0.67	2.12	32.02	0	0	98.46
36.18	0	1.42	19.26	3.33	6.45	0	1.57	32.28	0	0	101.04
37.27*	2.30	1.36	15.58	2.34	7.69	0.54	1.71	32.20	0	0	100.45

Примечание. \*Самостоятельные зерна.

Note. \*Separate grains.

**Таблица 8.** Химический состав хлорита и “шуйскита” нефрита, мас. %

**Table 8.** Chemical composition of chlorite and “shuiskite” of nephrite, wt %

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	ZnO	Сумма
Хлорит. Обр. 61-2										
33.76	0	9.07	4.90	7.17	0	30.7	0	0	0	85.59
Хлорит 558										
34.47	0	10.07	5.89	7.59	0	30.74	0	0	0	88.76
35.26	0	11.90	2.40	6.73	0	30.71	0.71	0.65	0	88.36
32.56	0	10.81	4.14	8.17	0	29.12	0	0	0	84.79
31.75	0	12.34	2.95	7.91	0	29.19	0	0	0	84.14
Шуйскит. Обр. 2/21										
11.96	0.48	1.59	30.28	39.30	1.91	0.86	11.05	0	1.02	98.46
Шуйскит. Обр. 1/21										
27.13	0	6.76	27.24	16.44	1.94	0	23.46	0.49	0	103.46
27.21	1.53	2.95	24.44	17.88	1.72	0	24.79	0	0.68	101.21
Шуйскит. Обр. 510-1										
18.27	0	2.97	31.70	25.23	1.67	0	16.62	0	1.41	97.86
27.36	0	3.95	27.49	13.05	0.99	0	24.95	0	0	97.79
14.12	0	3.61	33.10	30.28	2.43	0	12.98	0	1.57	98.10

Таблица 9. Химический состав хромита нефрита, мас. %

Table 9. Chemical composition of nephrite chromite, wt %

TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CoO	NiO	ZnO	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
Обр. 61-2											
0.42	19.65	49.05	15.84	3.50	0.72	12.78	0	0	0	0	101.97
0	19.56	47.97	15.26	4.60	0	13.05	0	0	0	0	100.44
0.33***	7.75	51.23	22.81	10.95	1.11	6.32	0	0	0	0	100.50
0.37***	10.66	49.02	23.62	8.88	0.66	6.20	0	0	0	0	99.40
0.52*	20.63	44.23	18.64	4.89	0.66	10.81	0	0	0	0	100.38
0*	9.94	58.54	15.27	4.58	0	12.04	0	0	0	0	100.37
0**	10.81	57.53	15.58	3.65	0	11.71	0	0	0	0	99.28
0***	10.33	57.22	15.77	4.91	0.63	11.29	0	0	0	0	99.28
Обр. 510-1											
0	38.60	30.33	11.24	2.70	0	17.68	0	0	0	0	100.55
Обр. 557-1											
0.53	26.28	41.83	13.22	1.96	0.63	14.34	0	0	0	0	98.81
0.32	27.45	41.67	13.28	1.45	0	15.14	0	0	0	0	99.32
0.35	27.77	40.38	12.54	1.92	0	15.49	0	0	0	0	98.46
0.30	26.47	41.26	12.95	2.23	0	15.01	0	0	0	0	98.21
0.40	28.61	40.85	14.75	1.38	0.57	14.29	0	0	0	0	100.85
0	28.25	41.27	12.65	2.53	0	15.42	0	0.43	0	0	100.55
0.40	27.87	41.22	13.52	2.41	0.63	15.01	0.51	0	0	0	101.58
0	28.89	40.88	13.50	1.61	0	15.09	0	0	0	0	99.97
Обр. 558											
0	15.61	53.10	18.90	3.24	0	10.46	0	0	0	0	101.31
0*	15.42	52.30	18.35	3.67	0	10.70	0	0	0	0	101.44
1.77***	0	44.75	27.50	21.47	3.49	0.66	0	0	1.12	0.43	101.19
0*	17.33	51.55	15.59	4.22	0	12.23	0	0	0	0	100.92
1.83***	0	43.44	27.92	22.95	3.34	0.71	0	0	1.79	0	101.98
0	15.57	52.59	16.42	4.47	0	11.77	0.64	0	0	0.38	101.84

Примечание. \*Центр, \*\*промежуток, \*\*\*край.

Note. \*Center, \*\*gap, \*\*\*edge.

Таблица 10. Изотопный состав пород месторождения Нырдовоменшор

Table 10. Isotopic composition of Nyrdivomenshor deposit rocks

№ п.п.	Образец	Порода	δ <sup>18</sup> O, ‰ VSMOW
1	162	Диопсидит	7.3
2	3/21	—	6.8
3	—	Гидрогранатовый родингит	6.1
4	558	Нефрит	8.9
5	2/21	—	8.6
6	510-1	—	8.4
7	1/21	—	8.2
8	61-2	—	8.5
9	557-1	—	9.7
10	66	Жадеит	8.8

(Siqin et al., 2012). Содержание Cr (900–2812 г/т), Ni (958.7–1898 г/т) и Co (42–207 г/т) в апосерпентинитовом нефрите относительно высоко, тогда как содержание Cr (2–179 г/т), Ni (0.05–471 г/т) и Co

(0.5–10 г/т) в аподоломитовом нефрите относительно низкое (Grapes, Yun, 2010; Liu et al., 2011; Kostov et al., 2012; Siqin et al., 2012).

Разброс содержания в российских месторождениях шире. Апосерпентинитовый нефрит в среднем, г/т: Оспинское месторождение – 1170, 1020, 65 (16 проб); Горлыкгольское – 270, 1050, 97 (3); Бортогольское – 580, 100, 53 (3); Уланходинское – 1200, 1400, 62 (26); Китойское – 30, 120, 5 (1); Хамархудиинское – 660, 590, 54 (32); Парамское – 1500, 1250, 64 (8); Келянское – 1700, 1800, 56 (1); Кургушибинское – 970, 1230, 61 (3); Агардакское – 1100, 420, 42 (1); Халиловское – 180, 600, 22 (10); Козмодемьяновское – 800, 900, 50 (1). Аподоломитовый нефрит российских месторождений в среднем, г/т: 32, 19, 6 (Сутурин и др., 2015).

Содержание этих элементов в нефрите Нырдовоменшора, по нашим данным, хоть и пониженное (Cr – 400–700, Ni – 400, Co – 21–24 г/т; см. табл. 4), но соответствующее апосерпентинитовому нефриту. Ранее приводилось более высокое содержание, г/т: 1110, 570, 68 (по семи анализам) (Сутурин и др., 2015). Причина пониженного содержания элементов группы железа может быть в форми-



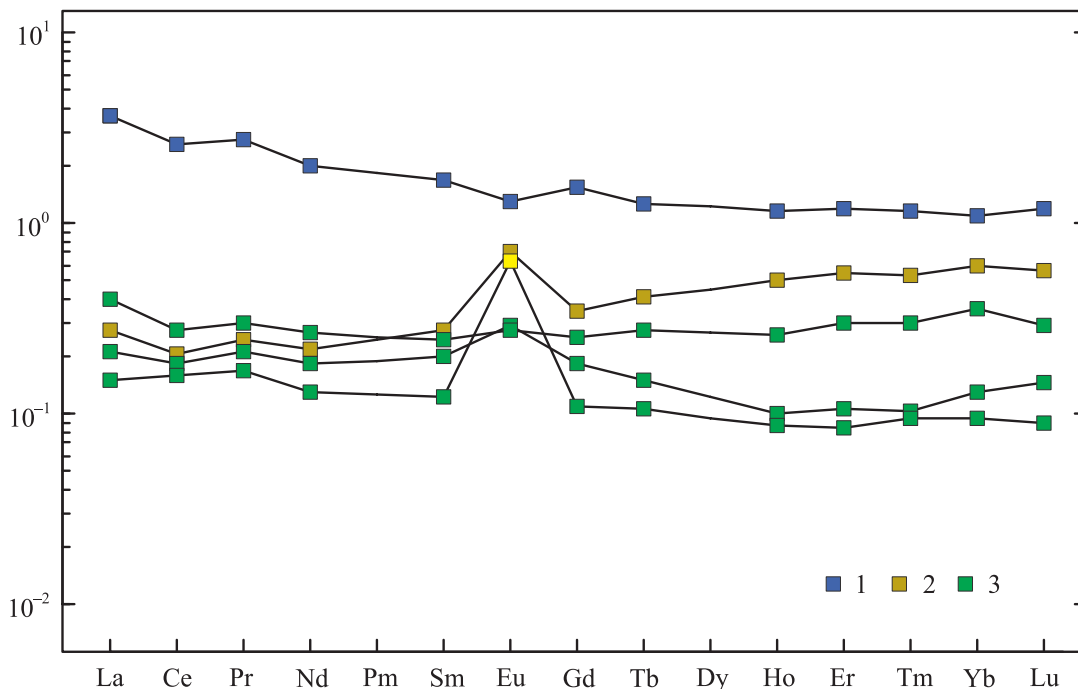
ровании нефрита в зоне серпентинитового меланжа со значительным влиянием блоков гранитоидов, глинисто-кремнистых, углисто-кремнистых сланцев. Таким образом, нефрит Нырдовоменшора типично апосерпентинитовый.

Содержание суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) в нефрите Нырдовоменшора варьируется в пределах 0.460–0.948 г/т (см. табл. 4), характер распределения плоский со слабым правым уклоном – обогащением легкими РЗЭ, положительной Eu-аномалией (рис. 8), по-разному выраженной у разных образцов, что может объясняться различным влиянием блоков гранитоидов, глинисто-кремнистых, углисто-кремнистых сланцев при формировании нефрита. Распределение РЗЭ в везувиановом родингите аналогично таковому в нефрите с положительной Eu-аномалией. Спектр раннего диопсидита отличается более высоким содержанием РЗЭ, обогащением легкими РЗЭ и слабой отрицательной Eu-аномалией.

На месторождении Манас отмечена положительная Eu-аномалия, а на месторождениях Восточного Саяна – отрицательная при правом уклоне (Wang, Shi, 2021). Положительная Eu-аномалия свидетельствует о комплексном источнике рудообразующего флюида (Wang, Shi, 2021). На месторождении Кутчо отмечен левый уклон – обога-

щение тяжелыми РЗЭ, что объяснено кислой средой образования нефрита, а слабоотрицательная Eu-аномалия приписана восстановительной металлогенической среде (Jiang et al., 2021). Проведено сравнение профилей РЗЭ месторождений Кутчо и Полар (Канада), Риум и Сауф Вестланд (Новая Зеландия), Голмуд (Цинхай, Китай), Манас (Синьцзян, Китай) и Улан-хода (Восточный Саян, Россия) (Jiang et al., 2021). Содержание  $\Sigma$ РЗЭ колеблется от 0.250 до 7.660 г/т: нефрит Кутчо имеет более высокое значение  $\Sigma$ РЗЭ (2.141–2.920 г/т), тогда как значение  $\Sigma$ РЗЭ нефрита Новой Зеландии самое низкое (0.378–0.671 г/т). Поскольку величина  $\Sigma$ РЗЭ увеличивается с уменьшением pH, предполагается, что металлогеническая среда нефрита Кутчо была очень кислой. В относительно восстановительных условиях  $\delta$ Eu демонстрирует отрицательную аномалию, что показано для всех пяти месторождений. Голмуд, Манас и Улан-хода показывают правый уклон (Jiang et al., 2021).

Исходя из особенностей распределения РЗЭ в нефритах Нырдовоменшора, можно предположить, что он формировался под воздействием комплексного неокислого раствора при окислительной обстановке. В ходе метасоматических процессов происходил вынос РЗЭ, преимущественно легких.



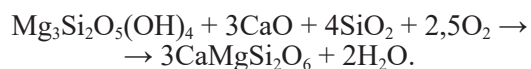
**Рис. 8.** Нормированное распределение редкоземельных элементов.

1 – диопсид, 2 – нефрит, 3 – родингит.

**Fig. 8.** Normalized distribution of rare earth elements.

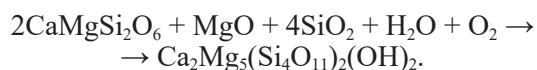
1 – diopside, 2 – jade, 3 – rodingite.

Минеральный состав показывает сложную историю формирования нефрита с сочетанием тектонических и метасоматических процессов. На прогрессивном этапе серпентин замещается диопсидом:



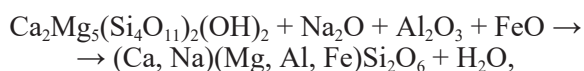
Флюиды, содержащие кальций и кремнезем, поступают либо из поздних интрузивных тел, либо в результате дальнего переноса по тектоническим разрывам.

На регрессивном этапе уже диопсид замещается агрегатом тремолита:



На это указывают реликтовые зерна диопсида. Реликтовый хромит подвергается дроблению с увеличением содержания марганца и цинка, замещению уваровитом и “шуйскитом”. Хизлевудит замещается пентладитом: в одном образце диопсидита появляются тремолит и пентландит в небольшом количестве. Частично уваровит нефрита, как и хлорит, унаследованы от диопсидита.

Третий, вновь прогрессивный, этап привел к замещению тремолита омфацитом:



и дроблению нефрита, что ухудшило его качество как поделочного камня. Дальнейшее развитие процесса с увеличением содержания натрия и алюминия должно привести к формированию жадеита  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ . Ранее считалось (Казак и др., 1976), что жадеит месторождения Нырдовоменшор образовался раньше нефрита.

Важный индикатор процессов нефритообразования – изотопный состав кислорода. На месторождении Фентьен на Тайване значение  $\delta^{18}\text{O}$  обыкновенного нефрита составляет 4.5–5.3‰, восковидного нефрита – 4.7–5.0, нефрита “кошачий глаз” – 5.1–5.3, диопсида из диопсидита – 3.7–4.5‰. Сделан вывод, что нефрит наследует свой состав от серпентинитов и диопсидитов (Yui et al., 1988). Изотопный состав кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  определен для ряда месторождений апосерпентинитового нефрита России, ‰: в Северном Забайкалье для Парамского – 6.13–9.54; в Восточных Саянах для Оспинского – 8.43, Уланходинского – 6.00–7.95; в Джидинском нефритоносном районе для Хамар-Худинского – 6.72–7.87. Считается, что флюидная фаза нефритов была мобилизована из серпентинитов при метаморфизме (Бурцева и др., 2015). На месторождении Йорданов в Польше у нефрита величина  $\delta^{18}\text{O}$  составляет 6.1‰, у рассланцованного нефрита – 6.7‰ (Gil et al., 2015). Изотопный состав кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  апосерпентинитового нефрита, ‰: из Китая (провинция Цинхай) – 8.1, 8.6, России – 8.2–8.5, Кана-

ды 9.4–12.3, Новой Зеландии – 4.7, 8.0, Австралии – 1.3, 1.6, Пакистана – 13.0–13.4. Показано, что рудообразующие флюиды сформированы в результате метаморфизма (Liu et al., 2018). Выполнены единичные анализы  $\delta^{18}\text{O}$  апосерпентинитового нефрита, ‰: с р. Чара Джелгра (?) в Сибири – 6.9, Рэд Маунтин в Новой Зеландии – 7.5, Маунт Огден, Канада – 9.6, Чулапс Рэйндж, Канада – 8.4. Эти значения объяснены наследованием изотопного состава исходного серпентинита с возможным влиянием контактирующих метагаббро или кристаллических сланцев (Yi, Kwon, 2002).

Полученные нами результаты по нефриту и другим породам Нырдовоменшора близки этим данным. Изотопный состав  $\delta^{18}\text{O}$  диопсидитов – 6.8 и 7.3‰, а также гидрогранатового родингита – 6.6‰  $\delta^{18}\text{O}$  – указывает на глубинное происхождение кислорода, унаследованное от ультрабазитов, подвергшихся серпентинизации и метасоматозу – диопсидизации с небольшим добавлением корового компонента. Нефриты, очевидно образовавшиеся в результате дальнейшего метасоматоза диопсидитов, обладают более тяжелым изотопным составом – 8.2–9.7‰  $\delta^{18}\text{O}$ . Это указывает на увеличение вклада корового флюида в метасоматоз. Изотопный состав жадеита близок к нефриту – 8.8‰  $\delta^{18}\text{O}$ , поскольку при замещении нефрита жадеитом происходит не поглощение, а избавление от флюида.

Метаморфизм обеспечил усиление метасоматических процессов в серпентинитовом меланже, формирование скрытокристаллической спутанно-волокнутой структуры нефрита, но затем привел к его дроблению и замещению омфацитом.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, нефрит Нырдовоменшорского месторождения некондиционный. Он формировался благодаря как метаморфическим, так и метасоматическим процессам. Первоначально по серпентиниту развивался диопсидит, затем замещенный нефритом. Метаморфизм усилил метасоматоз в серпентинитовом меланже и обеспечил скрытокристаллическую спутанно-волокнустую структуру нефрита. Затем метаморфизм и метасоматоз привели к формированию омфацита и растрескиванию нефрита, чем снизили его качество. По мере протекания этих процессов увеличивался вклад корового флюида.

## Благодарности

Авторы признательны за помощь в работе Д.М. Вурмсу и А.В. Трофимову, аналитикам Н.П. Горбуновой, Л.А. Татариновой, И.А. Желунцину, А.А. Некрасовой, Д.В. Киселевой, Е.А. Хромовой. Замечания и предложения редактора В.В. Масленникова и двух рецензентов способствовали значительному улучшению рукописи.

Авторы благодарны ФГБОУ ВО “Уральский государственный горный университет” за создание условий для выполнения работы в рамках реализации федеральной программы стратегического академического лидерства “Приоритет 2030”. Использовано оборудование ЦКП “Геоаналитик” ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) и “Гео-спектр” ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аеров Г.Д., Зарянов К.Б., Самсонов Я.П., Гильмутдинов Г.Х. (1975) Цветные камни в гипербазитах Казахстана. *Геология, методы поисков, разведка и оценка месторождений ювелирных, поделочных и декоративно-облицовочных камней*. М.: Всесоюзн. 6-е производств. объединение при Министерстве геологии СССР, 16-18.
- Архиреев И.Е., Масленников В.В., Макагонов Е.П., Кабанова Л.Я. (2011) Южно-Уральская нефритоносная провинция. *Разведка и охрана недр*, (3), 18-22.
- Бурцева М.В., Рипп Г.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. (2015) Нефриты Восточной Сибири: геохимические особенности и проблемы генезиса. *Геология и геофизика*, **56**(3), 516-527.
- Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. (2017) Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 265 с.
- Горбунова Н.П., Татаринова Л.А., Кудрякова В.С., Попов М.П. (2015) Волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр XRF-1800 (SHIMADZU, Япония): методика определения микропримесей в рубинах. *Тр. ИГГ УрО РАН*, вып. 162, 238-241.
- Добрецов Н.Л., Татаринов А.В. (1983) Жадеит и нефрит в офиолитах (на примере Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 126 с.
- Казак А.П., Добрецов Н.Л., Молдавцев Ю.Е. (1976) Глаукофановые сланцы, жадеититы, везувианиты и нефриты гипербазитового массива Рай-Из. *Геология и геофизика*, (2), 60-66.
- Киевленко Е.Я. (2000) Геология самоцветов. М.: Земля, 582 с.
- Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И., Жданов А.В., Каримов Т.Р., Айдаров Э.М., Масагутов Р.Х., Арсланова Э.Р. (2013) Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Уральская. Лист N-40 – Уфа. Объяснит. записка. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 512 с.
- Кротов Б.П. (1915) Петрографическое описание южной части Миасской дачи. *Тр. Об-ва естествоиспытателей Казанского ун-та*, **47**(1), 402 с.
- Макагонов Е.П., Архиреев И.Е. (2014) Нефрит Урала. *Геоархеология и археол. минералогия*, (1), 15-19.
- Мамуровский А.А. (1918) Месторождение нефрита на горе Бикиляр. М.: Литогос, 52 с.
- Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. (2015) Месторождения нефрита. Иркутск: Изд-во ИГУ, 377 с.
- Сычев С.Н., Куликова К.В. (2012) Последовательность деформаций в обрамлении массива Рай-Из (Полярный Урал). *Вестн. СПбГУ*. Сер. 7, (3), 53-59.
- Технические условия ТУ 41-07-052-90. Камни цветные природные в сырье. (1990) М.: Кварцсамоцветы, 28 с.
- Худякова Л.И., Кислов Е.В., Палеев П.Л., Малышев А.В. (2020) Комплексное использование некондиционного нефрита. *Изв. Томского политехн. ун-та. Инженеринг георесурсов*, **331**(8), 68-76. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/8/2769>
- Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А. (1986) Введение в топоминералогию Урала. М.: Наука, 295 с.
- Adams C.J., Beck R.J., Campbell H.J. (2007) Characterisation and origin of New Zealand nephrite jade using its strontium isotopic signature. *Lithos*, **97**, 307-322. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.01.001>
- Boyd W.F., Wight W. (1983) Gemstones of Canada. *J. Gemm.*, **18**(6), 544-562.
- Coenraads R.R. (1995) Gemstones of New South Wales. *Austral. Gemm.*, **19**, 91-107.
- Cooper A.F. (2023) Origin and evolution of nephrites, diopside and giant diopside crystals from the contact zones of the Pounamu Ultramafics, Westland, New Zealand. *N. Z. J. Geol. Geophys.*, **66**(1), 88-101. <https://doi.org/10.1080/00288306.2022.2050771>
- Flint D.J., Dubowski E.A. (1991) Cowell jade province: detailed geological mapping and diamond drilling of jade and ornamental marble outcrops, 1982–1987. *Department of mines and energy of South Australia. Rept. Bk. No. 89/51. Dme No. 85/88*. 2, 98 p.; 3, 26 p.; 4, 29 p.
- Gil G., Baginski B., Gunia P., Madej S., Sachanbinski M., Jokubauskas P., Belka Z. (2020) Comparative Fe and Sr isotope study of nephrite deposits hosted in dolomitic marbles and serpentinites from the Sudetes, SW Poland: Implications for Fe-As-Au-bearing skarn formation and post-obduction evolution of the oceanic lithosphere. *Ore Geol. Rev.*, **118**, 103335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103335>
- Gil G., Barnes J.D., Boschi C., Gunia P., Szakmany G., Bendo Z., Raczynski P., Peterdi B. (2015) Origin of serpentine-related nephrite from Jordanów and adjacent areas (SW Poland) and its comparison with selected nephrite occurrences. *Geol. Quart.*, **59**(3), 457-472. <https://doi.org/10.7306/gq.1228>
- Grapes R.H., Yun S.T. (2010) Geochemistry of a New Zealand nephrite weathering rind. *N. Z. J. Geol. Geophys.*, **53**, 413-426. <https://doi.org/10.1080/00288306.2010.514929>
- Harlow G.E., Sorensen S.S. (2005) Jade (Nephrite and Jadeite) and Serpentine: Metasomatic Connections. *Int. Geol. Rev.*, **47**, 113-146.
- Hockley J.J. (1974) Nephrite (jade) Occurrence in the Great Serpentine Belt of New South Wales, Australia. *Nature*, **247**, 364.
- Huang C.K. (1966) Nephrite and blue chalcidony from Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, (9), 11-19.
- Jiang B., Bai F., Zhao J. (2021) Mineralogical and geochemical characteristics of green nephrite from Kutcho, northern British Columbia, Canada. *Lithos*, 388-389, 106030. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106030>
- Khudyakova L.I., Kislov E.V., Paleev P.L., Kotova I.Yu. (2020) Nephrite-bearing mining waste as a promising mineral additive in the production of new cement types. *Minerals*, **10**, 394. <https://doi.org/10.3390/min10050394>
- Kislov E.V., Erokhin Y.V., Popov M.P., Nikolayev A.G. (2021) Nephrite of Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit, Middle Urals: Localization, Mineral Composition, and Color. *Minerals*, **11**, 1227. <https://doi.org/10.3390/min11091227>

- org/10.3390/min11111227
- Kostov R.L., Protochristov C., Stoyanov C., Csedreki L., Simon A., Szikszai Z., Uzonyi I., Gaydarska B., Chapman J. (2012) Micro-PIXE geochemical fingerprinting of nephrite neolithic artifacts from Southwest Bulgaria. *Geoarchaeology*, **27**, 457-469.
- Liu Y., Deng J., Shi G., Yui T.-F., Zhang G., Maituohuti A., Yang L., Sun X. (2011) Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China. *J. Asian Earth Sci.*, **42**, 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.05.012>
- Liu X.-F., Zhang H.-Q., Liu Y., Zhang J., Li Z.-J., Zhang J.-H., Zheng F. (2018) Mineralogical characteristics and genesis of green nephrite from the world. *Rocks Miner. Anal.*, **37**(5), 479-489. (In Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.15898/j.cnki.11-2131/td.201712010187>
- Lobos K., Sachanbinski M., Pawlik T. (2008) Nephrite from Naslawice in Lower Silesia (SW Poland). *Przegląd Geologiczny*, **56**(11), 991-999. (In Polish with English abstract).
- Obiadi S.S., Amini M.A., Fazli F. (2020) Mineralogy and Geochemistry of Nephrite from Wolay Deposit, Kunar, East Afghanistan. *J. Mech. Civil Industr. Eng.*, **3**(1), 56-65. <https://doi.org/10.32996/jmci>
- Sharp Z.D. (1990) A laser-based microanalytical method for the *in situ* determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 1353-1357.
- Simandl G.J., Riveros C.P., Schiarizza P. (2000) Nephrite (Jade) Deposits, Mount Ogden Area, Central British Columbia (NTS 093N 13W). British Columbia Geological Survey. Geological Fieldwork 1999. P. 2000-1, 339-347.
- Siqin B., Qian R., Zhou S.J., Gan F.X., Dong M., Hua Y.F. (2012) Glow discharge mass spectrometry studies on nephrite minerals formed by different metallogenic mechanisms and geological environments. *Int. J. Mass Spectrom.*, **309**, 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2011.10.003>
- Tan T.L., Ng L.L., Lim L.C. (2013) Studies on Nephrite and Jadeite Jades by Fourier Transform Infrared (FTIR) and Raman Spectroscopic Techniques. *Cosmos*, **9**(1), 47-56. <https://doi.org/10.1142/S0219607713500031>
- Tang Y.L., Liu D.Q., Zhou R.H. (2002) Geological characteristics of Manasi green jade in Xinjiang. *Acta Petrol. Mineral.*, **9**, 22-25. (In Chinese)
- Umar Z.A., Liaqat U., Ahmed R., Baig M.A. (2019) Classification of Nephrite Using Calibration-Free Laser Induced Breakdown Spectroscopy (CF-LIBS) with Comparison to Laser Ablation-Time-of-Flight-Mass Spectrometry (LA-TOF-MS). *Anal. Lett.* <https://doi.org/10.1080/00032719.2019.1643359>
- Wan H.M., Yeh C.L. (1984) Uvarovite and grossular from the Fengtien nephrite deposits, Eastern Taiwan. *Mineral. Magaz.*, **48**(346), 31-37.
- Wang J., Shi G. (2021) Comparative Study on the Origin and Characteristics of Chinese (Manas) and Russian (East Sayan) Green Nephrites. *Minerals*, **11**, 1434. <https://doi.org/10.3390/min11121434>
- Yui T.-F., Yeh H.-W., Lee C.W. (1988) Stable isotope studies of nephrite deposits from Fengtien, Taiwan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**, 593-602.
- Yui T.-F., Kwon S.-T. (2002) Origin of a Dolomite-Related Jade Deposit at Chuncheon, Korea. *Econ. Geol.*, **97**, 593-601.
- Zhang Y.-D., Yang R.-D., Gao J.-B., Chen J., Liu Y.-N., Zhou Z.-R. (2015) Geochemical characteristics of nephrite from Luodian County, Guizhou Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, **35**(1), 56-64. (In Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16461/j.cnki.1000-4734.2015.01.009>
- Zhang C., Yu X., Yang F., Santosh M., Huo D. (2021) Petrology and geochronology of the Yushigou nephrite jade from the North Qilian Orogen, NW China: Implications for subduction-related processes. *Lithos*, **380-381**, 105894. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105894>
- Zhong Q., Liao Z., Qi L., Zhou Zh. (2019) Black nephrite jade from Guangxi, Southern China. *Gems Gemol.*, **55**(2), 198-215. <https://doi.org/10.5741/GEMS.55.2.198>

## REFERENCES

- Adams C.J., Beck R.J., Campbell H.J. (2007) Characterisation and origin of New Zealand nephrite jade using its strontium isotopic signature. *Lithos*, **97**, 307-322. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.01.001>
- Aerov G.D., Zaryanov K.B., Samsonov Ya.P., Gil'mutdinov G.Kh. (1975) Colored stones in the hyperbasites of Kazakhstan. *Geology, prospecting methods, exploration and evaluation of deposits of jewelry, ornamental and decorative facing stones*. Moscow, All-Union. 6th productions association under the Ministry of Geology of the USSR, 16-18. (In Russ.)
- Arkhireev I.E., Maslennikov V.V., Makagonov E.P., Kabanova L.Ya. (2011) South Ural nephrite province. *Razvedka i Okhrana Nedr.*, (3), 18-22 (In Russ.)
- Boyd W.F., Wight W. (1983) Gemstones of Canada. *J. Gemm.*, **18**(6), 544-562.
- Burtseva M.V., Ripp G.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E. (2015) Nephrites of East Siberia: geochemical features and problems of genesis. *Russ. Geol. Geophys.*, **56**, 402-410.
- Coenraads R.R. (1995) Gemstones of New South Wales. *Austral. Gemm.*, **19**, 91-107.
- Cooper A.F. (2023) Origin and evolution of nephrites, diopside and giant diopside crystals from the contact zones of the Pounamu Ultramafics, Westland, New Zealand. *N. Z. J. Geol. Geophys.*, **66**(1), 88-101. <https://doi.org/10.1080/00288306.2022.2050771>
- Dobretsov N.L., Tatarinov A.V. (1983) Jadeite and nephrite in ophiolites (the example of West Sayan). Novosibirsk, Nauka Publ., 126 p. (In Russ.)
- Flint D.J., Dubowski E.A. (1991) Cowell jade province: detailed geological mapping and diamond drilling of jade and ornamental marble outcrops, 1982-1987. *Department of mines and energy of South Australia. Rept. Bk. No. 89/51. Dme No. 85/88. 2, 98 p.; 3, 26 p.; 4, 29 p.*
- Gil G., Baginski B., Gunia P., Madej S., Sachanbinski M., Jokubauskas P., Belka Z. (2020) Comparative Fe and Sr isotope study of nephrite deposits hosted in dolomitic marbles and serpentinites from the Sudetes, SW Poland: Implications for Fe-As-Au-bearing skarn formation and post-obduction evolution of the oceanic lithosphere. *Ore Geol. Rev.*, **118**, 103335. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103335>
- Gil G., Barnes J.D., Boschi C., Gunia P., Szakmany G., Bendo Z., Raczynski P., Peterdi B. (2015) Origin of serpentinite-related nephrite from Jordanów and adjacent areas (SW Poland) and its comparison with selected nephrite

- occurrences. *Geol. Quart.*, **59**(3), 457-472. <https://doi.org/10.7306/gq.1228>
- Gorbunova N.P., Tatarinova L.A., Khudyakova V.S., Popov M.P. (2015) Wave X-ray fluorescence spectrometer XRF-1800 (SHIMADZU, Japan): method for determining trace impurities in rubies. *Tr. IGG UrO RAN*, vyp. 162, 238-241. (In Russ.)
- Grapes R.H., Yun S.T. (2010) Geochemistry of a New Zealand nephrite weathering rind. *N. Z. J. Geol. Geophys.*, **53**, 413-426. <https://doi.org/10.1080/00288306.2010.514929>
- Harlow G.E., Sorensen S.S. (2005) Jade (Nephrite and Jadeite) and Serpentine: Metasomatic Connections. *Int. Geol. Rev.*, **47**, 113-146.
- Hockley J.J. (1974) Nephrite (jade) Occurrence in the Great Serpentine Belt of New South Wales, Australia. *Nature*, **247**, 364.
- Huang C.K. (1966) Nephrite and blue chalcedony from Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, (9), 11-19.
- Jiang B., Bai F., Zhao J. (2021) Mineralogical and geochemical characteristics of green nephrite from Kutcho, northern British Columbia, Canada. *Lithos*, **388-389**, 106030. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106030>
- Kazak A.P., Dobretsov N.L., Moldavantsev Yu.E. (1976) Glaucophane schists, jadeites, vesuvianites and nephrites of the Rai-Iz hyperbasite massif. *Geologiya i Geofizika*, (2), 60-66. (In Russ.)
- Khudyakova L.I., Kislov E.V., Paleev P.L., Kotova I.Yu. (2020) Nephrite-bearing mining waste as a promising mineral additive in the production of new cement types. *Minerals*, **10**, 394. <https://doi.org/10.3390/min10050394>
- Khudyakova L.I., Kislov E.V., Paleev P.L., Malyshev A.V. (2020) Comprehensive use of substandard nephrite. *Izv. Tomsk. Politekh. Universita. Inzhiniring Georesurov*, **331**(8), 68-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/8/2769>
- Kievlenko E.Y. (2003) *Geology gems. USA, Co*, Littleton: Ocean Pictures Ltd., 468 p. (translated from Kievlenko E.Ya. (2000) *Geology gems. Moscow, Zemlya Publ.*, 582 p. (In Russ.))
- Kislov E.V., Erokhin Y.V., Popov M.P., Nikolaev A.G. (2021) Nephrite of Bazhenovskoye Chrysotile-Asbestos Deposit, Middle Urals: Localization, Mineral Composition, and Color. *Minerals*, **11**, 1227. <https://doi.org/10.3390/min11111227>
- Knyazev Yu.G., Knyazeva O.Yu., Snachev V.I., Zhdanov A.V., Karimov T.R., Aidarov E.M., Masagutov R.Kh., Arslanova E.R. (2013) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet N-40 – Ufa. Explanatory note. St.Petersburg, Cartographic factory VSEGEI, 512 p. (In Russ.)
- Kostov R.I., Prochirov C., Stoyanov C., Csedreki L., Simon A., Szikszai Z., Uzonyi I., Gaydarska B., Chapman J. (2012) Micro-PIXE geochemical fingerprinting of nephrite neolithic artifacts from Southwest Bulgaria. *Geoarchaeology*, **27**, 457-469.
- Krotov B.P. (1915) Petrographic description of the southern part of the Miass dacha. *Trudy Obshchestva Estestvoispytatelei Kazanskogo Universiteta*, **47**(1), 402. (In Russ.)
- Liu Y., Deng J., Shi G., Yui T.-F., Zhang G., Maituohuti A., Yang L., Sun X. (2011) Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China. *J. Asian Earth Sci.*, **42**, 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.05.012>
- Liu X.-F., Zhang H.-Q., Liu Y., Zhang J., Li Z.-J., Zhang J.-H., Zheng F. (2018) Mineralogical characteristics and genesis of green nephrite from the world. *Rocks Miner. Anal.*, **37**(5), 479-489. (In Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.15898/j.cnki.11-2131/td.201712010187>
- Lobos K., Sachanbinski M., Pawlik T. (2008) Nephrite from Naslawice in Lower Silesia (SW Poland). *Przegląd Geologiczny*, **56**, (11), 991-999. (In Polish with English abstract).
- Makagonov E.P., Arkhireev I.E. (2014) Nephrite of the Urals. *Geoarkheologiya i Arkheol. Mineralogiya*, (1), 15-19. (In Russ.)
- Mamurovskii A.A. (1918) Nephrite deposit on Mount Bikiyar. Moscow, Litogea Publ., 52 p. (In Russ.)
- Obiadi S.S., Amini M.A., Fazli F. (2020) Mineralogy and Geochemistry of Nephrite from Wolay Deposit, Kunar, East Afghanistan. *J. Mech. Civil Industr. Eng.*, **3**(1), 56-65. <https://doi.org/10.32996/jmci>
- Sharp Z.D. (1990) A laser-based microanalytical method for the *in situ* determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 1353-1357.
- Simandl G.J., Riveros C.P., Schiarizza P. (2000) Nephrite (Jade) Deposits, Mount Ogden Area, Central British Columbia (NTS 093N 13W). British Columbia Geological Survey. Geological Fieldwork 1999. Paper 2000-1, 339-347.
- Siqin B., Qian R., Zhou S.J., Gan F.X., Dong M., Hua Y.F. (2012) Glow discharge mass spectrometry studies on nephrite minerals formed by different metallogenic mechanisms and geological environments. *Int. J. Mass Spectrom.*, **309**, 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2011.10.003>
- Specifications TU 41-07-052-90. Colored natural stones in raw materials. (1990) Moscow, Quartzsamotsvety Publ., 28 p. (In Russ.)
- Sututrin A.N., Zamaletdinov R.S., Sekerina N.V. (2015) Nephrite deposits. Irkutsk, IGU Publishing House, 377 p. (In Russ.)
- Sychev S.N., Kulikova K.V. (2012) The sequence of deformations in the frame of the Rai-Iz massif (Polar Urals). *Vestn. SPbU*, **7**(3), 53-59. (In Russ.)
- Tan T.L., Ng L.L., Lim L.C. (2013) Studies on Nephrite and Jadeite Jades by Fourier Transform Infrared (FTIR) and Raman Spectroscopic Techniques. *Cosmos*, **9**(1), 47-56. <https://doi.org/10.1142/S0219607713500031>
- Tang Y.L., Liu D.Q., Zhou R.H. (2002) Geological characteristics of Manasi green jade in Xinjiang. *Acta Petrol. Mineral.*, **9**, 22-25. (In Chinese)
- Umar Z.A., Liaqat U., Ahmed R., Baig M.A. (2019) Classification of Nephrite Using Calibration-Free Laser Induced Breakdown Spectroscopy (CF-LIBS) with Comparison to Laser Ablation-Time-of-Flight-Mass Spectrometry (LA-TOF-MS). *Anal. Lett.* <https://doi.org/10.1080/00032719.2019.1643359>
- Vakhrusheva N.V., Shiryaev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. (2017) Petrology and chromite content of the Rai-Iz ultramafic massif (Polar Urals). Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 265 p. (In Russ.)
- Wan H.M., Yeh C.L. (1984) Uvarovite and grossular from the Fengtien nephrite deposits, Eastern Taiwan. *Mineral. Magaz.*, **48**(346), 31-37.
- Wang J., Shi G. (2021) Comparative Study on the Origin and

- Characteristics of Chinese (Manas) and Russian (East Sayan) Green Nephrites. *Minerals*, **11**, 1434. <https://doi.org/10.3390/min11121434>
- Yui T.-F., Kwon S.-T. (2002) Origin of a Dolomite-Related Jade Deposit at Chuncheon, Korea. *Econ. Geol.*, **97**, 593-601.
- Yui T.-F., Yeh H.-W., Lee C.W. (1988) Stable isotope studies of nephrite deposits from Fengtien, Taiwan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**, 593-602.
- Yushkin N.P., Ivanov O.K., Popov V.A. (1986) Introduction to Ural Topomineralogy. Moscow, Nauka Publ., 295 p. (In Russ.)
- Zhang C., Yu X., Yang F., Santosh M., Huo D. (2021) Petrology and geochronology of the Yushigou nephrite jade from the North Qilian Orogen, NWChina: Implications for subduction-related processes. *Lithos*, **380-381**, 105894. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105894>
- Zhang Y.-D., Yang R.-D., Gao J.-B., Chen J., Liu Y.-N., Zhou Z.-R. (2015) Geochemical characteristics of nephrite from Luodian County, Guizhou Province, China. *Acta Minerologica Sinica*, **35**(1), 56-64. (In Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16461/j.cnki.1000-4734.2015.01.009>
- Zhong Q., Liao Z., Qi L., Zhou Zh. (2019) Black nephrite jade from Guangxi, Southern China. *Gems Gemol.*, **55**(2), 198-215. <https://doi.org/10.5741/GEMS.55.2.198>