

Нефритовые гальки Витимского нагорья и пояса Хотан (Китай): сравнительный минералого-геохимический анализ

В. Ф. Сотникова¹, Р. Х. Сунгатуллин¹, Е. В. Кислов²

¹Казанский федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, e-mails: vasilina0917@gmail.com; Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, e-mail: evg-kislov@ya.ru

Поступила в редакцию 31.01.2025 г., принята к печати 25.02.2025 г.

Объект исследования. Россыпные нефриты Витимского нагорья и пояса Хотан на Северо-Западе Китая. **Цель.** Сравнение минералого-геохимических характеристик нефритовых галек из р. Ципа на северо-востоке Республики Бурятия и крупнейшего в мире скопления россыпного нефрита рек Юрункаш и Каракаш в Синьцзян-Уйгурском автономном округе КНР. **Методы исследования.** Минеральный состав россыпного нефрита Витимского нагорья исследован методом рентгеновской дифракции на порошковом дифрактометре PowDix600; расшифровка дифрактограмм осуществлена с помощью программы Almaz. Изучение химического состава проводилось методом SEM (EDX) на сканирующем электронном микроскопе Merlin Carl Zeiss, оснащенный спектрометром энергетической дисперсии AZtec X-Max (Oxford Instruments). Содержание 59 рассеянных и редкоземельных микроэлементов определено методом ICP MS на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP Qc ThermoFisher Scientific. Статистическая обработка результатов анализов проведена с помощью программ STATISTICA и Excel. **Результаты.** Основным минералом светлоокрашенных нефритовых галек является тремолит, который может переходить в актинолит при существенном (в 5–10 раз) увеличении содержания FeO с приобретением россыпным нефритом темно-зеленой и черной окраски. Петрохимические диаграммы Mg/(Mg + Fe²⁺), MgO + FeO–FeO, Al₂O₃–Na₂O + K₂O, SiO₂–CaO + Na₂O + K₂O позволили выявить отчетливые различия между исследованными объектами. Все изученные нефритовые гальки обладают общими характеристиками поведения редкоземельных элементов (РЗЭ): отрицательная Eu-аномалия, выраженный правосторонний наклон, умеренное обогащение легкими РЗЭ, практически плоское распределение тяжелых РЗЭ. **Выводы.** Генетическое сходство россыпного нефрита обеих провинций подтверждается общим распределением в них РЗЭ. Отличительными признаками нефритовых галек Витимского нагорья являются повышенные концентрации щелочей, связанные с участием кислых интрузивов в формировании коренного источника нефрита, и развитая кайма прокрашивания, приобретенная в экзогенных условиях. Черный нефрит р. Каракаш состоит преимущественно из актинолита, который образуется при повышенных содержаниях закисного железа. Сходство аллювиального нефрита рек Ципа, Юрункаш и Каракаш свидетельствует о перспективности россыпей Витимского нагорья и необходимости постановки специализированных геолого-разведочных работ.

Ключевые слова: нефрит, россыпь, галька, Витимское нагорье, пояс Хотан

Источник финансирования

Разработка образцов проведена по гранту Российского научного фонда № 22-27-20003, статья подготовлена в рамках бюджетного проекта ГИН СО РАН АААА-А21-121011390003-9

Nephrite pebbles of the Vitim Highlands and the Hetian area (China): a comparative mineralogical and geochemical analysis

Vasilina F. Sotnikova¹, Rafael Kh. Sungatullin¹, Evgeniy V. Kislov²

¹Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum Technologies, 18 Kremlyovskaya st., Kazan 420008, Russia, e-mails: vasilina0917@gmail.com; Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

²N.L. Dobretsov Geological Institute, SB RAS, 6a Sakhyanova st., Ulan-Ude 670047, Russia, e-mail: evg-kislov@ya.ru

Received 31.01.2025, accepted 25.02.2025

Для цитирования: Сотникова В.Ф., Сунгатуллин Р.Х., Кислов Е.В. (2025) Нефритовые гальки Витимского нагорья и пояса Хотан (Китай): сравнительный минералого-геохимический анализ. *Литосфера*, 25(4), 946–960. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-946-960>. EDN: SCOAXI

For citation: Sotnikova V.F., Sungatullin R.Kh., Kislov E.V. (2025) Nephrite pebbles of the Vitim Highlands and the Hetian area (China): a comparative mineralogical and geochemical analysis. *Lithosphere (Russia)*, 25(4), 946–960. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-946-960>. EDN: SCOAXI

Research subject. Placer nephrites of the Vitim Highlands and the Hetian area in northwest China. **Aim.** Comparison of mineralogical and geochemical characteristics of nephrite pebbles from the Tsipa River in the north-east of the Republic of Buryatia and the world's largest accumulation of placer nephrite from the Yurungkash and Karakash Rivers in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Northwest China. **Materials and methods.** The mineral composition of placer nephrite from the Vitim Highlands was studied by X-ray diffraction on a PowDix600 powder diffractometer; the diffractograms were interpreted using Almaz software. The chemical composition was studied by SEM (EDX) on a Merlin Carl Zeiss scanning electron microscope equipped with an AZtec X-Max energy dispersion spectrometer (Oxford Instruments). The content of 59 trace elements and rare earth elements was determined by ICP MS method on an iCAP Qc ThermoFisher Scientific inductively coupled plasma mass spectrometer. Statistical processing of the analytical results was carried out using STATISTICA and Excel software programmes. **Results.** The main mineral of light-coloured nephrite pebbles is tremolite, which can change into actinolite, accompanied by a significant (10 times) increase in the FeO content with the acquisition of dark green and black colouring of placer nephrite. Petrochemical diagrams $Mg/(Mg + Fe^{2+})$, $MgO + FeO-FeO$, $Al_2O_3-Na_2O + K_2O$, $SiO_2-CaO + Na_2O + K_2O$ allowed to obtain distinct differences between the studied objects. All studied nephrite pebbles have common characteristics of rare earth elements (REE) behaviour: negative Eu-anomaly, pronounced right-hand slope, moderate enrichment of light-REEs, practically flat distribution of heavy-REEs. **Conclusions.** The genetic similarity of placer nephrite from both nephrite-bearing areas is confirmed by the common distribution of REE in them. The distinctive features of nephrite pebbles of the Vitim Highlands are elevated content of alkalis associated with the participation of acidic intrusions in the formation of the primary source of nephrite, and a developed staining edge acquired under exogenous conditions. Black nephrite of the Karakash River consists predominantly of actinolite, which are formed at elevated levels of ferric oxide. The similarity of alluvial nephrite of the Tsipa, Yurungkash and Karakash rivers testifies to the great prospects of placers in the Vitim region and the need for specialized geological exploration.

Keywords: nephrite, placer, pebbles, Vitim Highlands, Hetian area

Funding information

Disassembly of samples was carried out under the grant of the Russian Science Foundation No. 22-27-20003, the article was prepared under the budget project GIN SB RAS AAAA-A21-121011390003-9

Acknowledgements

The authors are grateful to the Geothermochronology Education-Science Center and the Interdisciplinary Center for Analytical Microscopy of the Kazan Federal University, as well as the Tatar Oil Research and Design Institute of the TATNEFT PJSC for the accomplishment of analyses. We express our sincere gratitude to the reviewers for their valuable comments and suggestions, which significantly improved the manuscript of the article.

ВВЕДЕНИЕ

Россыпи нефрита – важный промышленный тип месторождений нефрита, практически все его коренные залежи сопровождаются валунными и галечными россыпями. Масштабы россыпей обусловлены структурно-тектоническими особенностями, формой коренных тел, степенью концентрации в них нефрита, палеогеоморфологическими факторами, особенностями современного рельефа, климатическими факторами, которые совместно определяют возможность образования экзогенных месторождений. Россыпной (аллювиальный) нефрит отличается высоким качеством (рис. 1), так как в процессе переноса и обработки водным потоком коренной нефрит испытывает естественное обогащение за счет удаления с поверхности обломков корки вмещающих пород и дефектных (трещиноватых) участков (Словарь..., 1985).

Несмотря на преобладание в балансе запасов твердых полезных ископаемых из первичных (коренных) месторождений, востребованность россыпных залежей высока (Лаломов, Бочнева, 2024). Преимуществами россыпных месторождений являются их неглубокое залегание, технологическая

простота процессов обогащения, соответственно – экономическая эффективность, относительно небольшие капитальные вложения и сроки окупаемости, что обуславливают актуальность разработки россыпей (Бортников и др., 2024).

Коренные месторождения нефрита относятся к двум эндогенным геолого-промышленным типам: 1) апосерпентинитовый, который включает апоультрамафитовые метасоматиты офиолитов; 2) аподоломитовый – тремолит-кальцитовые магнезиальные скарны (рис. 2). Первый тип наиболее распространен, с ним связаны полностью или частично экзогенные месторождения в Бурятии в Восточно-Саянском нефритоносном районе: Саган-Сайрское (левый исток р. Саган-Сайр), Арахушанжалгинское (р. Ара-Хушан-Жалга), Поле чудес, Хуша-Гол, Уланходинское (русло р. Хара-Жалга), Онотское (р. Онот), Сорокское проявление (р. Сорок), проявление Улзыты (приток р. Улзыты), Сорок-Шулутское проявление (р. Сахир-Шулута); в Джидинском нефритоносном районе: Хамархудинское (руч. Нефритовый и р. Хохюрта), Цакирское (р. Цакирка), Оронгодойское (р. Оронгодой), Болдокитское (р. Болдокто), Хара-Жалгинское (р. Хара-Жалга), Ихэ-Худуйское (реки Ихэ-Худуй, Ху-



Рис. 1. Коренной и россыпной нефрит.

Фотография изделия из россыпного нефрита: Christies [Электронный ресурс]. URL: https://www.christies.com/en/lot/lot-6200371?ldp_breadcrumb=back

Fig. 1. Primary and placer nephrite.

Photo-image of article made of placer nephrite: Christies [Website]. URL: https://www.christies.com/en/lot/lot-6200371?ldp_breadcrumb=back

ду, Зун-Мурин) (Юргенсон, 2001; Сутурин и др., 2015). В Якутии известны Мунилканское проявление (междуречье рек Яна и Индигирка), россыпи ручьев Рассвет, Тас, Серпентинитовый, Нефритовый, Ясный, Перевальный. В Оренбургской области известно Халиловское месторождение (элювий). Полярный Урал: месторождение Нырдовоменшор (руч. Нырдовомен-Шор, его притоки – ручьи Нефритовый и Образцовый) (Кислов и др., 2023a; Kislov et al., 2023). В Британской Колумбии, Канада, известны крупные проявления нефрита вдоль рек Кокихалла (Coquihalla), Фрэйзер (Fraser), в районе рек Хозамин (Hozameen) и Бридж (Bridge), руч. Джейд-Крик на южном склоне Джэйд Маунтин, россыпной рудник р. Шангнак, рудник Шингнек Крик (Shingnek Creek Mine) и др. (Boyd, Wiight, 1983; Mustoe, 2024a, b). Также россыпные проявления известны в штате Вайоминг, США: в округах Фримонт, Натрона, Карбон, Олдбани, Титон, Конверс и Платт (Jutras et al., 2023). Множественные россыпные проявления известны на южном острове Новой Зеландии: террейн Каплес – реки Роут Бурн, Дарт, Каплес, в районе Уэстленд речные долины Арахура и Кропп, руч. Мадди в районе Отаго и др. (Adams et al., 2007).

Россыпной нефрит, связанный с коренным аподоломитовым нефритом, вызывает особый интерес благодаря развитой кайме прокрашивания на поверхности окатанных обломков (галек). Чем больше железа в исходном нефрите, тем интенсивнее развиты вторичные преобразования. В частности, на поверхности апосерпентинитовых галек нефрита можно наблюдать тонкую корку со следами серпентинизации в виде белых порошковатых пятен и

лимонитизации в связи с выносом кальция из актинолитовых волокон (Портнов, Дронова, 2016). При преобразовании аподоломитового нефрита в экзогенных условиях на поверхности проявляется микропористая структура, также связанная с выносом кальция из волокон тремолита, в которой со временем развиваются гидроксиды железа и марганца. Здесь может образовываться кайма прокрашивания с разнообразной цветовой гаммой и мощностью до нескольких сантиметров, что особенно ценится на мировом рынке поделочного сырья по художественно-декоративным характеристикам. Частично экзогенные россыпные месторождения аподоломитового нефрита известны в Бурятии в Витимском нефритоносном районе: Хойтинское (р. Хойта), Кавоктинское (реки Кавокта, Ципа), Бамбуйское (реки Бамбуйка, Буром, Голубе); в Забайкальском крае: Бирамянская нефритоносная площадь (в бассейне р. Калар, верховье рек Бирамян, Станнах и Канкса); в Амурской области: проявление Ясное (р. Кивили). За рубежом наиболее известные месторождения аподоломитового нефрита находятся в Северо-Западном Китае. Знаменитые крупные россыпные месторождения нефрита Юрункаш и Каракаш (Liu et al., 2011b, 2016; Игнатов, Хэн, 2015; Jing, Liu, 2022) предположительно связаны с коренными месторождениями, такими как Аламас (Liu et al., 2010, 2011b, 2015), относящимися к нефритоносному поясу Хотан в Синьцзян-Уйгурский автономном районе. Аллювиальные россыпи известны также в Дахуа, Гуанси-Чжуанский автономный район, Китай (р. Хуншуй). Белый аллювиальный нефрит Витимского нагорья в России и нефритоносного пояса Хотан

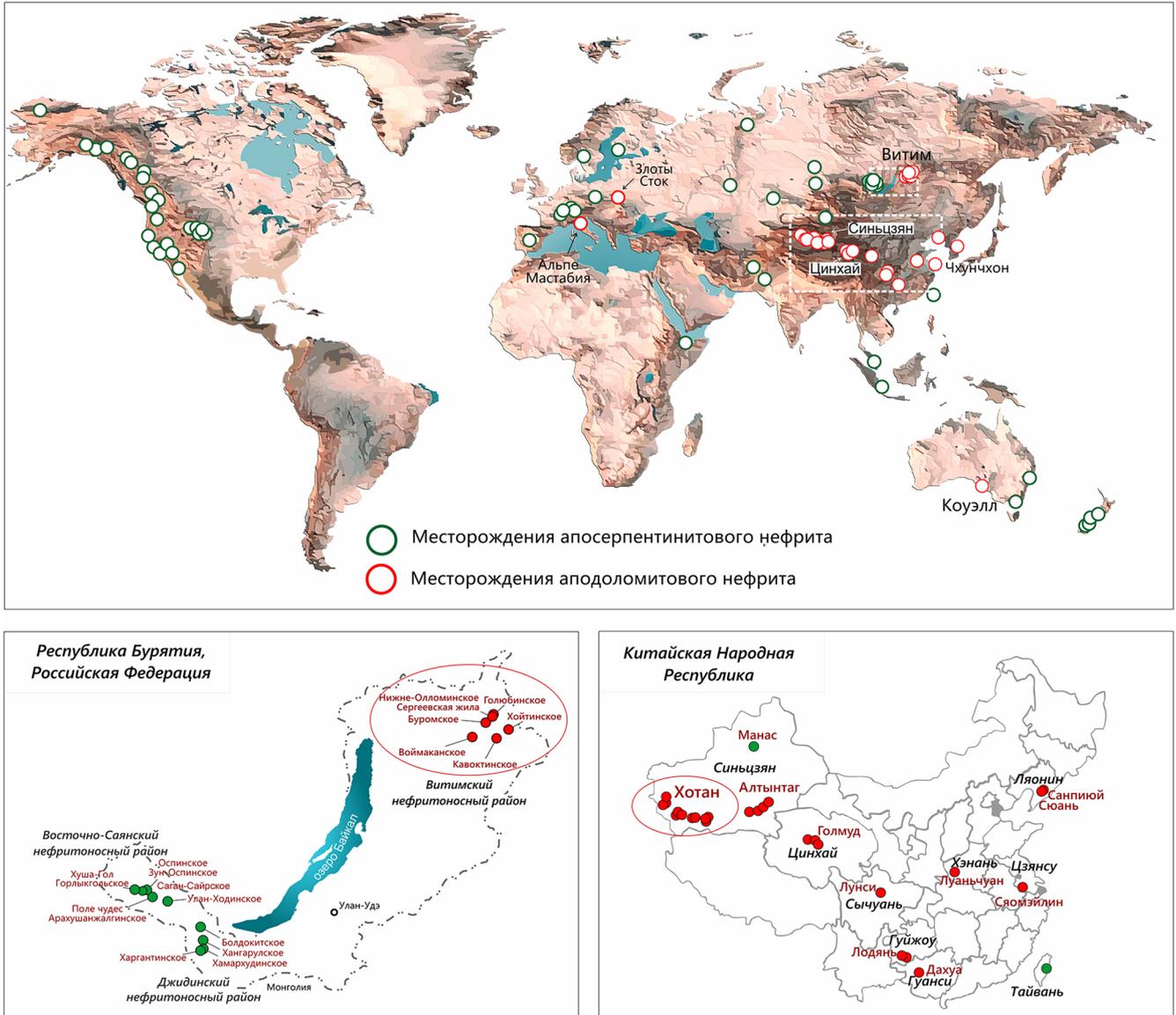


Рис. 2. Основные месторождения нефрита (вверху) и объекты исследования (внизу).

Fig. 2. Main nephrite deposits (above) and research objects (below).

в Китае близок по внешним декоративным характеристикам.

По сравнению с коренным нефритом россыпной нефрит изучен недостаточно. Редкие минералого-геохимические данные по нефритовым галькам, ажиотажный спрос и значительно более высокая цена на мировом рынке ювелирно-поделочного сырья определяют актуальность исследования россыпного нефрита в России и за рубежом. Так, например, россыпной нефрит пояса Хотан пользуется устойчивым многовековым спросом в Китае. Поэтому в представленной статье проведен сравнительный анализ состава и минералого-геохимических параметров россыпного нефрита аподолмитового типа Витимского нагорья и пояса Хотан

с возможностью установления их общих и отличительных диагностических критериев.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нефритонесный пояс Хотан расположен в южной части Таримской впадины в горах Кунь-Лунь (Синьцзян-Уйгурский автономный район, КНР). Нефрит известного месторождения Аламас образовался на контакте докембрийского доломитового мрамора и интрузивов гранодиоритов, диоритов, кварцевых диоритов (рис. 3) во время герцинского орогенеза в условиях низкого давления. В первичном нефрите содержатся шпинель и форстерит. Россыпной нефрит встречается в террасовом аллю-

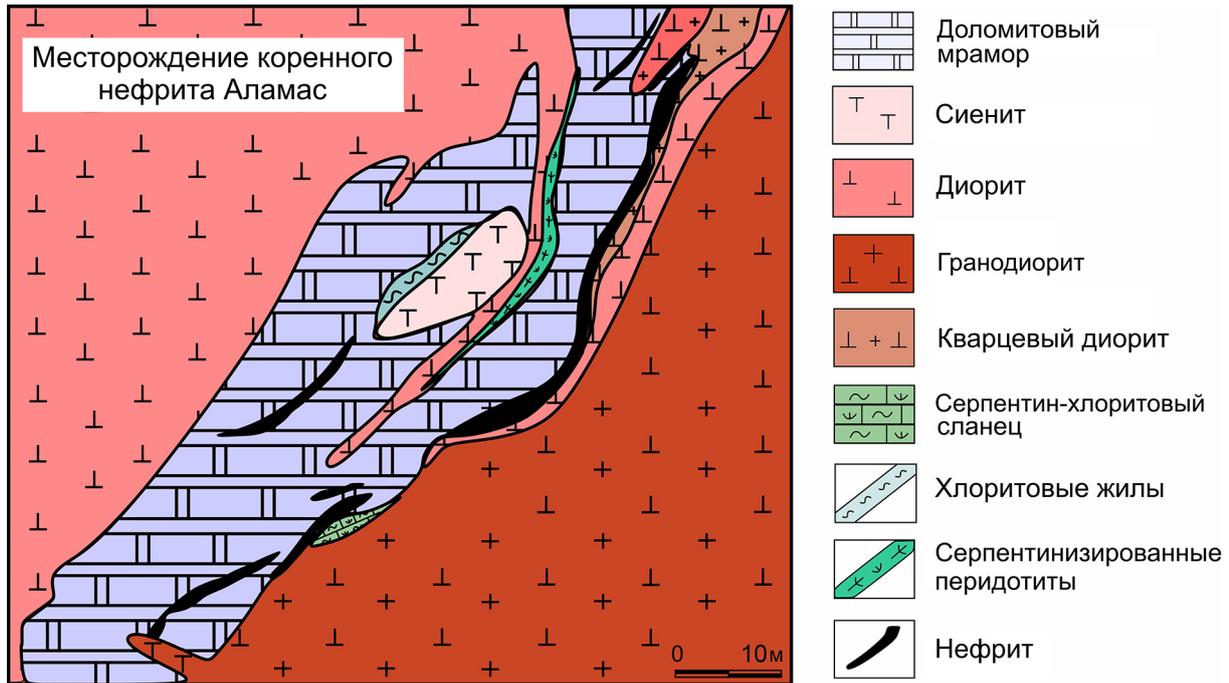


Рис. 3. Геологическая карта месторождения Аламас (Liu et al., 2011a).

Fig. 3. Geological map of the Alamas deposit (Liu et al., 2011a).

вии рек Юрункаш (река белого нефрита) и Каракаш (река черного нефрита).

Витимский нефритоносный район известен высококачественным светлоокрашенным россыпным нефритом ледниково-аллювиального и аллювиального происхождения (Сотникова и др., 2025). В настоящей работе были исследованы аллювиальные гальки нефрита р. Ципа. Предполагаемым коренным источником является расположенное в 30 км выше по течению р. Кавокта (левый приток р. Ципа) Кавоктинское месторождение (рис. 4) – самое крупное месторождение аподоломитового нефрита Российской Федерации. По состоянию на 1 января 2024 г. запасы нефрита-сырца составляют 4 648.58 т категорий $C_1 + C_2$, из них 1114.33 т – запасы сортового поделочного нефрита. Нефритовые проявления относятся к контактово-метасоматическому типу и образуются в скарнах на контакте нижнепротерозойских образований с гранитами витимканского комплекса (см. рис. 4).

Для геммологической экспертизы авторами получены ≈ 300 галек россыпного нефрита, собранные в долине р. Ципа при геологоразведочных работах. После визуального изучения отобраны 30 галек для дальнейшего исследования с четко выраженной каймой прокрашивания, указывающей на наличие нефрита в ядре, местами выступающей на внешнюю поверхность гальки. Нефритовые гальки распилены в Казанском федеральном университете, а наиболее контрастные по окраске

ядра и каемки гальки (рис. 5а, б) использованы для проведения детальных минералогических и геохимических исследований. Анализы проведены по 12 образцам.

Минеральный состав нефритовых галек Витимского района определялся методом рентгеновской дифракции на порошковом дифрактометре Row-Dix600 в Институте ТатНИПИнефть ПАО “Татнефть” (аналитик В.Р. Першина). Рентгеновские дифрактограммы получены отдельно для ядра и каемки прокрашивания нефритовых галек. Расшифровка дифрактограмм проводилась при помощи программного обеспечения Almaz.

Химический состав галек изучался одним из авторов на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе Merlin Carl Zeiss в Казанском федеральном университете. Микроскоп оснащен спектрометром энергетической дисперсии AZtec X-Max (Oxford Instruments). Разрешение спектрометра 127 эВ. Съемка поверхности проводилась при ускоряющем напряжении 20 кэВ, элементный анализ – при ускоряющем напряжении 20 кэВ и рабочем отрезке 9 мм.

Микроэлементный анализ на 59 рассеянных и редкоземельных элементов выполнен методом ICP-MS отдельно для внешней (каемка прокрашивания) и внутренней частей галек нефрита на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP Qc ThermoFisher Scientific в Казанском федеральном университете (аналитик К.Р. Миннебаев).

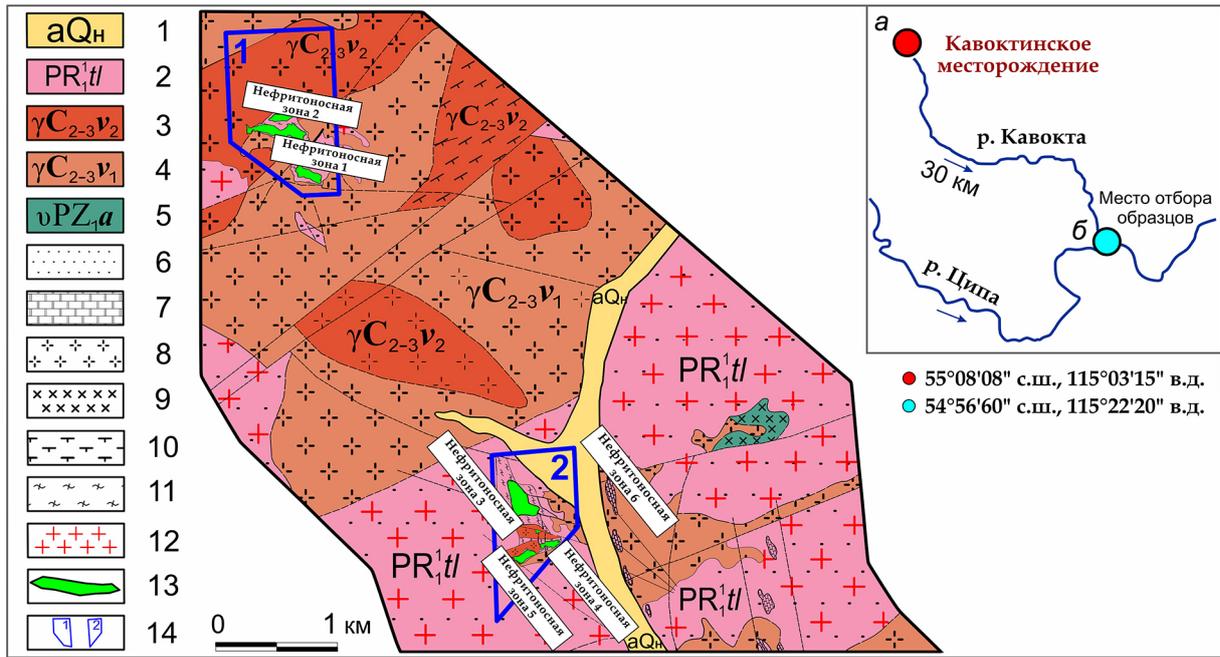


Рис. 4. Геологическая карта Кавоктинского месторождения нефрита (по материалам ООО “Забайкальское горнорудное предприятие” с изменениями и дополнениями) (Сотникова и др., 2025).

1 – современный аллювий (валуны, галечники, пески); 2 – талалинская толща, PR₁: гнейсы и сланцы, амфиболиты, скарны; 3, 4 – витимканский комплекс: 3 – лейкократовые граниты, 4 – гранодиориты, граносиениты; 5 – атарханский комплекс: габбро, амфиболиты; 6 – метапесчаники; 7 – мраморы; 8 – граниты порфиroidные; 9 – диориты; 10 – гнейсовидные граниты; 11 – амфиболиты; 12 – гранитизация; 13 – известковые скарны с залежами нефрита (вне масштаба); 14 – участки Кавоктинского месторождения: 1 – Прозрачный, 2 – Медвежий. На врезке – местоположение Кавоктинского месторождения (а) и место отбора россыпного нефрита в р. Ципа (б).

Fig. 4. Geological map of the Kavoktinskoe nephrite deposit (based on the materials of LTD “Zabaikalskoye mining enterprise” with amendments and additions) (Sotnikova et al., 2025).

1 – modern alluvium (boulders, pebbles, sands); 2 – Talalinskaya strata, PR₁: gneisses and schists, amphibolites, skarns; 3, 4 – Vitimkan complex: 3 – leucocratic granites, 4 – granodiorites, granosyenites; 5 – Atarkhan complex: gabbro, amphibolites; 6 – metasandstones; 7 – marbles; 8 – porphyritic granites; 9 – diorites; 10 – gneiss-like granites; 11 – amphibolites; 12 – granitisation; 13 – calcareous skarns with nephrite deposits (out of scale); 14 – sections of the Kavoktinsky deposit: 1 – Prozhachny, 2 – Medvezhy. The inset shows the location of the Kavoktinskoe deposit (a) and the place of placer nephrite sampling in the Tsipa River (b).

Для сравнения полученных оригинальных результатов по россыпному нефриту р. Ципа использованы данные из статей китайских исследователей по россыпям нефрита пояса Хотан (Liu et al., 2011a; Liu et al., 2016). В данных статьях с помощью физико-химических методов изучены небольшие (до 3 см) по размерам гальки белого нефрита из р. Юрункаш и гальки темно-зеленого и черного нефрита размером ≈10 см в длину из р. Каракаш (рис. 5в).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы россыпного аллювиального нефрита из р. Ципа – преимущественно прямоугольной и эллипсоидальной формы с размером длинной оси 60–100 мм, короткой – 38–75 мм (см. рис. 5а). Гальки нефрита обладают различной окраской ядерной части: белая, белая с голубым оттенком, светло-, тем-

но-зеленая, коричневая, черная. Кайма прокрашивания галек нефрита также различается по цветовым характеристикам, структуре и мощности (см. рис. 5б). Некоторые образцы обладают развитой каймой (соотношение толщины ядра и каймы 1:2) и микропористой структурой. В кайме встречаются дендриты минералов марганца и железа.

По результатам рентгенофазового анализа основной минерал россыпного нефрита р. Ципа – тремолит (рис. 6). Его содержание в ядре составляет 82–89%, в кайме прокрашивания – 62–97%. Другими минералами в ядре россыпного нефрита являются диопсид, хлорит, флогопит, антигорит, а в кайме прокрашивания – хлорит, диопсид, флогопит, магнетит.

Основные петрогенные элементы россыпного нефрита р. Ципа характеризуются следующими содержаниями, мас. %: SiO₂ – 57.00–60.93, CaO – 13.19–17.16, MgO – 20.37–25.33 (табл. 1). В ядре га-



Рис. 5. Нефритовые гальки из р. Ципа (а, б) и пояса Хотан (в) (Liu et al., 2011a).

Fig. 5. Nephrite pebbles from the Tsipa River (a, б) and the Hetian area (в) (Liu et al., 2011a).

лек нефрита из р. Ципа выявлены повышенные содержания Al и K, в кайме – повышенные содержания оксидов железа и марганца. Основные петрогенные элементы россыпного нефрита пояса Хотан характеризуются содержаниями, мас. %: SiO_2 – 53.57–57.86, CaO – 13.19–17.16, MgO – 20.37–25.33 (см. табл. 1).

По результатам многомерной статистики для 27 800 элементопределений на полированной поверхности галек из р. Ципа выделены три общих кластера элементов в ядре и кайме: Si–O; Ca–Mg и Al–Fe–Mn–K–Na. Кластеры соответствуют основным связям в кристаллической решетке тремолита, которые формируются между двойными цепями кремний-кислородных тетраэдров, координационными полиэдрами магния и кальция, а также гидроксильными группами. Результат указывает на близость химического состава исследуемых зон

аллювиальных галек нефрита. В образцах 1–4 отмечена слабая связь кислорода с остальными петрогенными элементами, что, вероятно, свидетельствует о более продолжительном воздействии гипергенных процессов на данные гальки нефрита.

Сравнение химического состава россыпного нефрита из пояса Хотан и из р. Ципа позволило выявить общие закономерности. Так, например, обработка химических анализов с получением формульных единиц показала, что основным минералом нефрита рек Ципа и Юрункаш является тремолит (рис. 7) с общей кристаллохимической формулой $\text{Ca}_2(\text{Mg}_{5.0-4.5}\text{Fe}^{2+}_{0.0-0.5})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Содержания петрогенных элементов в гальках рек Ципа и Юрункаш (см. табл. 1) соответствуют стандартным содержаниям для тремолита, мас. %: SiO_2 – 59.17, CaO – 13.80, MgO – 24.81. Число атомов Si в тремолите составляет 7.5–8.0 ф.е., а отношение

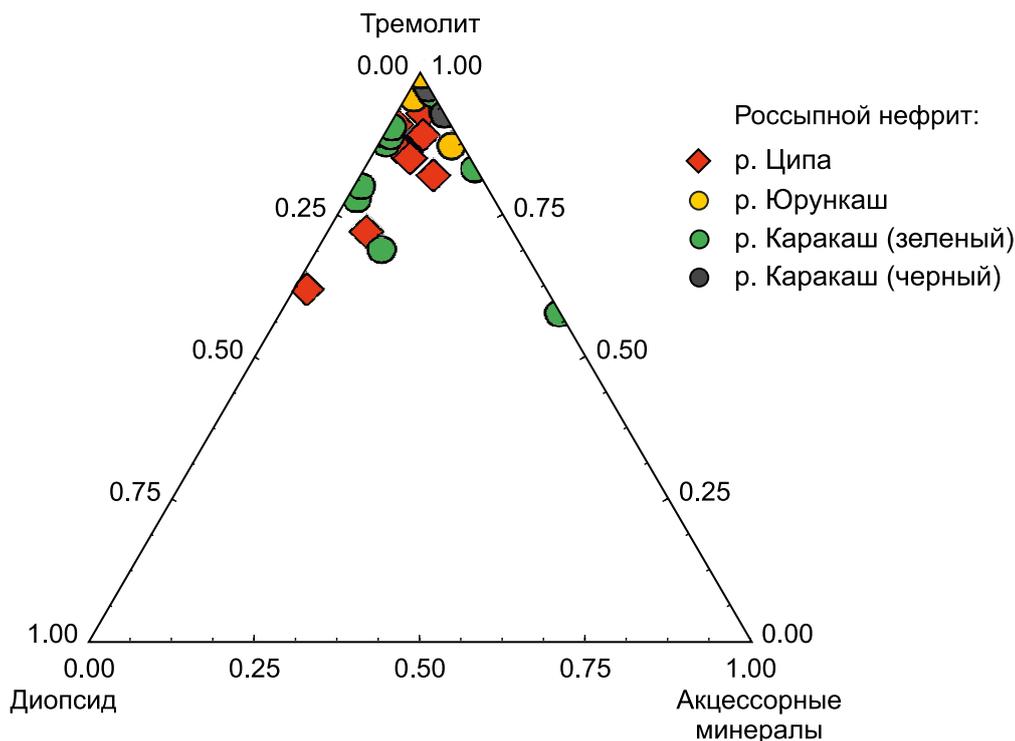


Рис. 6. Минеральный состав россыпного нефрита рек Ципа, Юрункаш и Каракаш по данным рентгенофазового анализа.

Fig. 6. Mineral composition of placer nephrite from the Tsipa, Yurungkash and Karakash rivers according to X-ray diffraction analysis.

$Mg/(Mg + Fe^{2+}) - 0.9-1.0$. Все это указывает на генетическую связь россыпного нефрита с коренными аподолмитовыми месторождениями Кавоктинское и Аламас с обедненными железом.

В минеральном составе аллювиального нефрита р. Каракаш (река черного нефрита) наряду с тремолитом встречается актинолит (см. рис. 7) с общей кристаллохимической формулой $Ca_2(Mg_{4.5-2.5}Fe^{2+}_{0.5-2.5})Si_8O_{22}(OH)_2$. Сравнение средних содержаний петрогенных элементов в изученных нефритовых гальках (см. табл. 1, рис. 8) показало существенные различия в содержаниях закисного железа. Нефритовая галька р. Каракаш характеризуется повышенными концентрациями FeO: зеленая галька содержит 0.96–1.77% при среднем содержании 1.26%, а черная галька – от 1.74 до 4.82% при среднем содержании 2.94%. Белый нефрит р. Юрункаш и нефритовая галька р. Ципа обладают небольшими содержаниями FeO: 0.65 и 0.56% соответственно. По-видимому, черный и зеленый цвет галек нефрита из р. Каракаш определяется высокими содержаниями двухвалентного железа (рис. 9а, б) и переходом тремолита в актинолит.

В минеральном составе россыпного нефрита пояса Хотан помимо тремолита и актинолита также встречаются акцессорные минералы – графит, кальцит, апатит, диопсид, циркон, алланит, рутил,

кварц, анортит, доломит, иллит и хлорит (Liu et al., 2011a, 2016). Россыпной нефрит Витимского нагорья содержит диопсид, хлорит, флогопит, в незначительных количествах магнетит и антигорит. В целом россыпной нефрит отличается небольшим количеством акцессорных минералов по сравнению с коренным нефритом, что повышает качество нефрита как ювелирно-поделочного сырья.

Сравнение содержаний петрогенных компонентов россыпного нефрита Витимского нагорья и пояса Хотан (см. табл. 1) показало их незначительные различия по кремнезему, что, предположительно, связано с приуроченностью последнего к определенным магматическим породам. Например, в формировании нефрита Кавоктинского месторождения активную роль играли интрузивы кислого и среднего состава, тогда как месторождение Аламас связано преимущественно с породами среднего состава (см. рис. 3, 4). Это находит подтверждение и в содержаниях щелочных компонентов (см. рис. 8). Так, образцы р. Ципа значительно (в 2–5 раз) обогащены Na_2O и K_2O по сравнению с нефритовой галькой пояса Хотан (рис. 9в, г). Установлено что россыпной нефрит р. Ципа имеет повышенное значение суммы кальция и щелочей по сравнению с коренным нефритом Кавоктинского месторождения (Кислов и др., 2023б; Kislov, 2024), что, возможно,

Таблица 1. Химический состав галек россыпного нефрита Витимского нагорья и пояса Хотан, мас. %**Table 1.** Chemical composition of placer nephrite pebbles from Vitim Highlands and of the Hetian area, wt %

Обр.	Характеристика нефрита, привязка	Компонент									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
1	Белый, р. Ципа	59.40	0.35	0.29	22.34	17.16	0.15	0.12	0.19	–	–
2		57.00	0.62	0.42	20.37	20.44	0.21	0.10	0.83	–	–
3		57.27	2.41	0.33	23.50	14.62	0.15	1.53	0.20	–	–
4		59.71	0.60	0.29	23.71	15.09	0.15	0.28	0.17	–	–
5	Светло-зеленый, р. Ципа	60.93	0.40	0.31	24.53	13.36	0.14	0.14	0.18	–	–
6		60.28	0.45	0.94	24.64	13.19	0.15	0.16	0.19	–	–
7		60.46	0.41	0.63	25.33	12.71	0.14	0.15	0.16	–	–
8		58.58	0.41	0.65	22.94	16.93	0.15	0.10	0.24	–	–
9	Темно-зеленый до черного, р. Ципа	60.54	0.48	0.73	22.89	14.93	0.13	0.12	0.19	–	–
10		60.64	0.46	0.79	23.00	14.60	0.13	0.13	0.23	–	–
11		60.21	0.39	0.60	23.52	14.71	0.14	0.22	0.21	–	–
12		60.27	0.47	0.77	23.42	14.58	0.11	0.18	0.20	–	–
В-12*	Валуны, р. Ципа	57.06	1.03	0.59	24.46	12.78	0.10	0.08	0.08	0.01	–
МҮН6**	Белый нефрит, р. Юрункаш	55.97	0.90	0.70	23.89	11.90	0.11	0.09	0.07	0.01	0.02
МҮН55**		56.19	0.96	1.09	23.76	12.16	0.15	0.21	0.15	0.11	0.01
МҮН56**		56.60	0.95	0.17	25.01	11.75	0.12	0.04	0.06	0.01	0.03
МҮН1**	Зеленый нефрит, р. Каракаш	56.68	0.96	0.73	24.36	11.58	0.15	0.07	0.04	0.04	0.04
МҮН2**		56.29	0.97	0.67	23.83	12.83	0.12	0.04	0.05	0.04	0.14
МҮН4**		55.50	1.77	1.17	24.40	11.58	0.13	0.14	0.06	0.08	0.02
МҮН3**	Черный нефрит, р. Каракаш	51.09	1.18	1.74	14.24	12.96	0.16	0.10	0.26	0.05	0.03
МҮН7**		55.29	1.01	4.82	20.98	12.22	0.15	0.09	0.28	0.05	0.02
МҮН10**		54.98	1.08	2.25	22.18	12.12	0.10	0.03	0.24	0.06	0.04

*Среднее содержание галек нефрита для р. Ципа по (Сутурин и др., 2015).

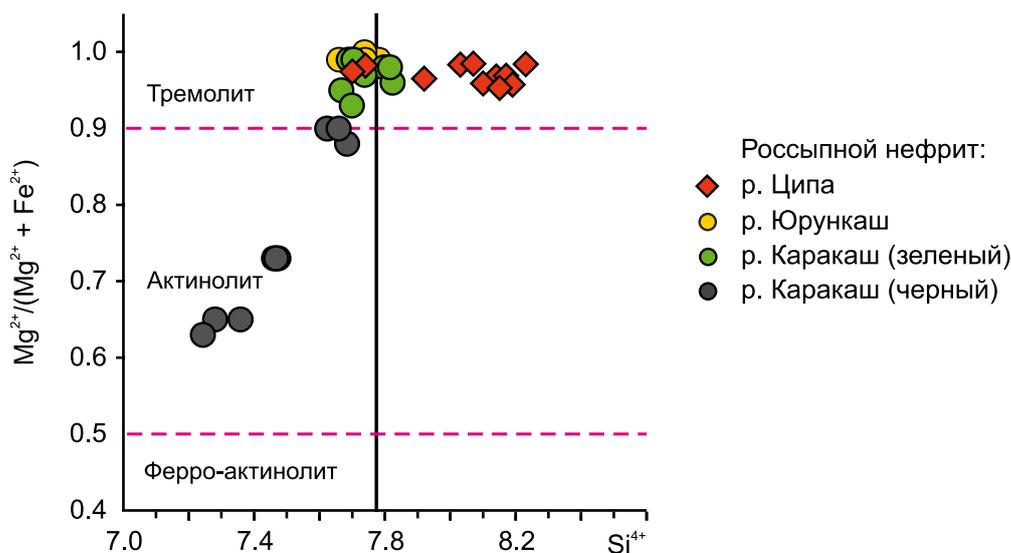
**Данные из (Liu et al., 2016).

Примечание. Здесь и в табл. 2 прочерк – не обнаружено.

*Average content on nephrite boulders of the Tsipa River from (Suturin et al., 2015).

**Data from (Liu et al., 2016).

Note. Here and in Table 2 dash – not detected.

**Рис. 7.** Минеральный состав галек нефрита рек Ципа, Юрункаш и Каракаш.**Fig. 7.** Mineral composition of nephrite pebbles from the Tsipa, Yurungkash and Karakash rivers.

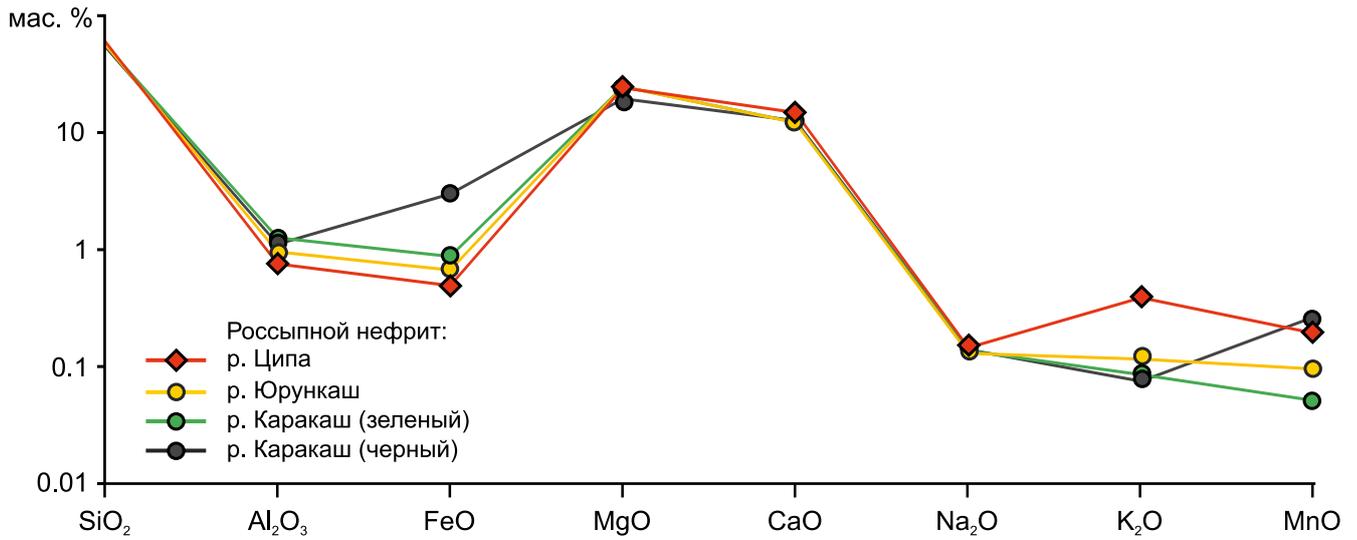


Рис. 8. Средние содержания петрогенных элементов в нефритовых гальках Витимского нагорья и пояса Хотан.

Fig. 8. Average contents of petrogenic elements in nephrite pebbles of the Vitim Highlands and Hetian area.

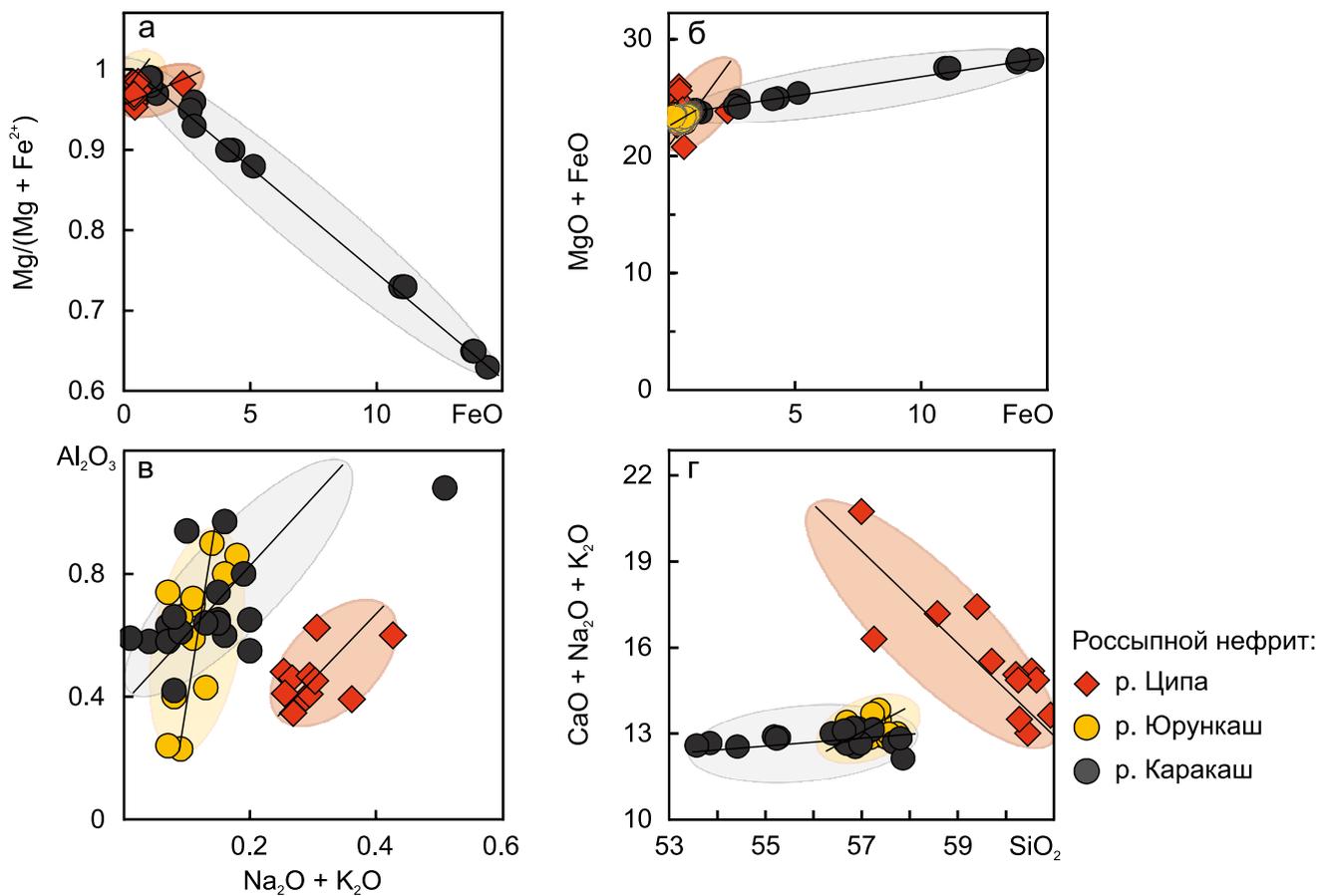


Рис. 9. Петрохимические диаграммы нефритовых галек Витимского нагорья и пояса Хотан.

Fig. 9. Petrochemical diagrams of nephrite pebbles of the Vitim Highlands and Hetian area.

связано с обогащением данными элементами аллювиальных галек в экзогенных условиях.

На петрохимических диаграммах выявлены отчетливые различия между исследованными объектами. Установлено, что в белом нефрите р. Юрункаш наименьшее (0.11–0.72%) содержание FeO (см. рис. 9а, б), тогда как в других изученных объектах данный параметр находится в пределах от 0.9 до 14.4%, а диаграмма $\text{SiO}_2\text{--CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ позволяет четко различать нефрит Витимского нагорья и пояса Хотан (см. рис. 9г).

Содержания рассеянных элементов в россыпном нефрите Витимского нагорья и пояса Хотан близки (рис. 10, табл. 2), что может указывать на общий генезис их первичного (коренного) источника. При этом в россыпном нефрите рек Юрункаш и Каракаш повышены содержания Sc, Cr, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Cs, Hf, Ta, W, Tl, I, Pb, Bi, Th, U, а в россыпном нефрите р. Ципа – Cu, Mo, Ba, Li, Ge, As, Se, Sn, Sb.

Сопоставление распределения РЗЭ в россыпных нефритах рек Ципа, Юрункаш и Каракаш (табл. 3)

Таблица 2. Средние содержания рассеянных элементов в гальке россыпного нефрита Витимского нагорья и пояса Хотан, г/г

Table 2. Average trace element content in placer nephrite pebbles from Vitim Highlands and of the Hetian area, ppm

Элемент	р. Ципа (оригинальные данные)			р. Юрункаш*	р. Каракаш*	
	Белый нефрит	Светло-зеленый нефрит	Нефрит темно-зеленый до черного		Белый нефрит	Зеленый нефрит
Li	6.33	4.45	1.58	–	–	–
Be	19.98	22.24	14.94	19.71	6.25	21.1
Sc	0.30	0.12	0.21	1.83	3.06	2.08
Ti	31.61	34.06	99.24	–	–	–
V	10.91	8.92	17.49	7.23	13.40	11.18
Cr	9.54	7.93	5.51	10.14	14.47	14.67
Mn	586.83	637.55	869.18	–	–	–
Co	1.13	1.71	1.56	–	–	–
Ni	14.12	14.68	16.70	12.28	13.43	13.23
Cu	25.15	24.15	24.00	1.18	1.71	17.01
Zn	31.83	45.35	120.80	57.9	89.17	135
Ga	1.62	1.92	1.29	1.31	1.57	2.62
Ge	1.08	1.60	1.40	–	–	–
As	0.23	0.41	0.45	–	–	–
Se	0.14	0.24	0.14	–	–	–
Rb	10.33	9.34	9.11	15.67	13.08	5.39
Sr	5.92	8.34	7.49	6.86	28.38	32.25
Y	1.15	1.74	4.87	2.82	7.50	2.75
Zr	2.67	2.92	5.58	10.97	18.68	13.93
Nb	0.56	1.30	1.16	1.41	2.12	1.41
Mo	6.66	6.37	6.47	0.18	0.57	1.67
Cd	0.06	0.03	0.06	0.05	0.05	0.08
In	–	–	–	<0.05	<0.05	0.05
Sn	0.22	0.21	0.25	–	–	–
Sb	0.49	0.45	0.43	–	–	–
Cs	0.49	0.31	0.29	2.37	4.18	1.42
Ba	24.25	23.65	23.33	10.12	32.99	16.17
Hf	0.05	0.06	0.12	0.28	0.47	0.36
Ta	–	0.06	0.05	0.31	0.39	0.13
W	0.17	0.03	0.11	2.87	2.98	4.66
Tl	0.05	0.04	0.06	0.16	0.11	0.06
Pb	1.96	2.23	1.10	1.12	4.11	4.67
Bi	–	–	–	<0.05	<0.05	0.15
Th	0.04	0.21	0.19	0.29	1.63	0.51
U	0.45	0.83	1.01	0.63	1.51	1.9
Количество образцов	4	4	4	3	3	3

*Данные из (Liu et al., 2016).

*Data from (Liu et al., 2016).

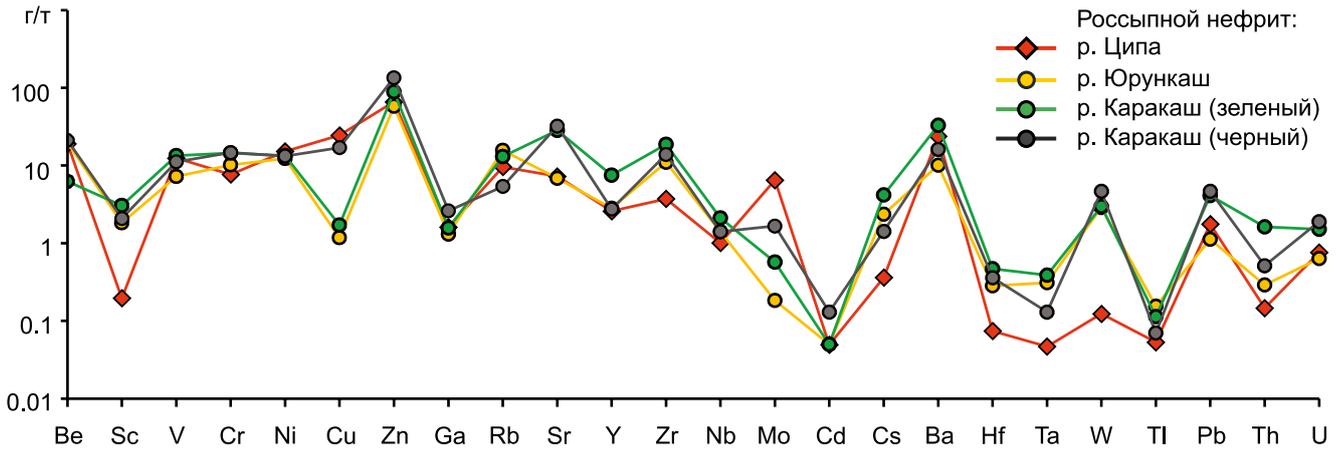


Рис. 10. Среднее содержание рассеянных элементов в россыпном нефрите Витимского нагорья и пояса Хотан.

Fig. 10. Average content of trace elements in placer nephrite of the Vitim Highlands and Hetian area.

Таблица 3. Содержания РЗЭ в гальке россыпного нефрита Витимского нагорья и пояса Хотан, г/т

Table 3. REE contents in placer nephrite from from Vitim Highlands and of the Hetian area, ppm

Обр.	Элемент														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣРЗЭ
1	0.5	1.4	0.1	0.7	0.1	0.04	0.2	0.02	0.19	0.04	0.12	0.01	0.08	0.01	3.5
2	2.1	2.9	0.3	0.9	0.1	0.04	0.1	0.01	0.09	0.02	0.05	0.01	0.04	0.01	6.7
3	3.7	6.9	0.6	2.1	0.3	0.04	0.2	0.02	0.14	0.03	0.09	0.01	0.07	0.01	14.2
4	2.2	3.8	0.4	1.3	0.2	0.03	0.2	0.02	0.12	0.02	0.06	0.01	0.06	0.01	8.4
5	2.1	3.7	0.3	1.0	0.2	0.02	0.1	0.02	0.09	0.02	0.05	0.01	0.06	0.01	7.6
6	1.7	3.2	0.3	1.0	0.2	0.02	0.1	0.02	0.10	0.02	0.05	0.01	0.06	0.01	6.7
7	10.4	13.2	0.9	2.6	0.3	0.05	0.3	0.04	0.29	0.07	0.22	0.04	0.27	0.04	28.7
8	9.1	13.0	0.9	2.5	0.4	0.04	0.3	0.04	0.28	0.05	0.19	0.03	0.21	0.03	27.1
9	1.6	3.8	0.4	2.0	0.4	0.06	0.3	0.04	0.33	0.10	0.41	0.07	0.54	0.06	10.1
10	6.7	14.1	0.9	2.7	0.4	0.04	0.3	0.05	0.31	0.08	0.36	0.08	0.60	0.09	26.6
11	3.9	6.3	0.5	1.8	0.3	0.03	0.3	0.06	0.46	0.12	0.30	0.03	0.18	0.02	14.4
12	4.5	7.1	0.6	2.0	0.3	0.03	0.4	0.06	0.44	0.10	0.27	0.03	0.15	0.02	16.0
МҮН6*	2.1	3.8	0.4	1.7	0.3	<0.05	0.3	<0.05	0.26	<0.05	0.12	<0.05	0.09	<0.05	9.4
МҮН55*	2.9	6.1	0.7	2.8	0.6	<0.05	0.6	0.11	0.69	0.15	0.50	0.07	0.54	0.08	15.9
МҮН56*	0.7	2.7	0.2	0.9	0.2	<0.05	0.3	<0.05	0.33	0.08	0.25	<0.05	0.20	<0.05	6.0
МҮН1*	5.6	11.3	1.3	5.1	1.3	0.13	1.4	0.22	1.19	0.21	0.63	0.09	0.71	0.10	29.3
МҮН2*	4.0	7.0	0.8	2.8	0.6	0.06	0.7	0.13	0.87	0.20	0.70	0.10	0.71	0.10	18.7
МҮН4*	9.6	14.5	1.8	6.7	1.3	0.20	1.3	0.22	1.33	0.28	0.92	0.12	0.84	0.13	39.3
МҮН3*	3.2	6.0	0.7	2.6	0.5	0.07	0.3	0.07	0.40	0.09	0.35	0.06	0.61	0.09	15.0
МҮН7*	3.2	5.3	0.5	1.9	0.4	<0.05	0.3	0.06	0.33	0.07	0.27	<0.05	0.29	0.05	12.8
МҮН10*	1.4	2.9	0.3	1.4	0.3	<0.05	0.4	0.08	0.49	0.10	0.29	<0.05	0.22	<0.05	8.0

*Данные по поясу Хотан из (Liu et al., 2016).

Примечание. 1–12 – оригинальные данные по р. Ципа (Витимское нагорье); характеристику и привязку образцов см. в табл. 1.

*Data for the Hetian area from (Liu et al., 2016).

Note. 1–12 – original data on the Tsipa River (Vitim Highlands); see Table 1 for sample characterisation and georeferencing.

показало, что образцы галек обладают следующими общими характеристиками: отрицательная Eu-аномалия, выраженный правосторонний наклон, умеренное обогащение легкими РЗЭ и практически

горизонтальный тренд распределения тяжелых РЗЭ (рис. 11). Сумма РЗЭ в россыпном нефрите Витимского нагорья составляет 3.48–28.67 г/т, а в нефритовых гальках пояса Хотан – 5.98–39.31 г/т.

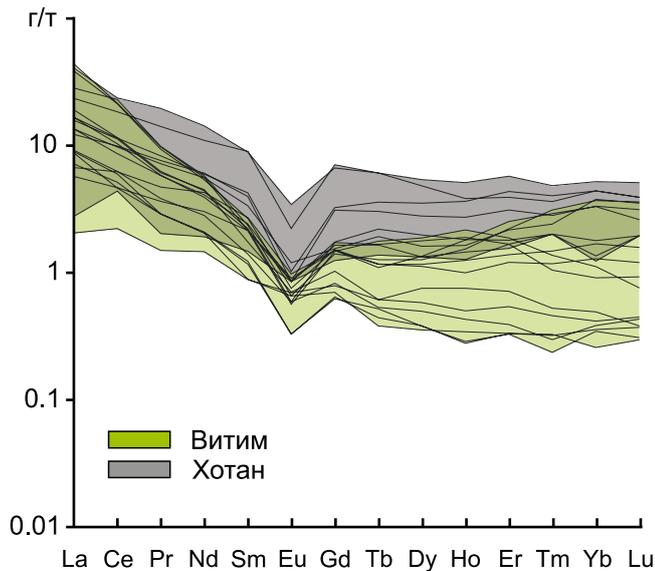


Рис. 11. Спайдер-диаграммы РЗЭ для россыпного нефрита Витимского нагорья и пояса Хотан.

Нормировано по хондриту (McDonough, Sun, 1995).

Fig. 11. Spider-diagrams of REE for placer nephrite of the Vitim Highlands and the Hetian area.

Normalised by chondrite (McDonough, Sun, 1995).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россыпные нефриты Республики Бурятия (Витимское нагорье) и северо-западного Китая (горы Кунь-Лунь) разнообразны по окраске. Здесь встречаются белые, светлоокрашенные, зеленые, черные гальки нефритов. Сравнение россыпного нефрита р. Ципа с нефритом крупнейшего россыпного нефритоносного пояса Хотан выявило, что главным минералом в аллювиальных гальках является тремолит, который в черном и темно-зеленом нефрите р. Каракаш может переходить в актинолит с увеличением содержания FeO в 5–10 раз. В россыпном нефрите Витимского нагорья отмечаются более развитая кайма прокрашивания и повышенное содержание щелочей. Данные факты могут свидетельствовать в пользу специфических (водно-ледниковых) экзогенных условий при транспортировке обломков, а также указывают на участие в формировании коренного источника нефрита кислых магматических пород. Распределение РЗЭ в россыпном нефрите обеих провинций очень близкое, что служит подтверждением общего генезиса нефритов коренных месторождений Кавоктинское и Аламас, которые являются источником вторичного нефрита. Таким образом, исследования показали существенное сходство аллювиального нефрита рек Ципа, Юрункаш и Каракаш, что может свидетельствовать о больших перспективах нефрито-

вых россыпей Витимского нагорья и необходимости постановки здесь специализированных геолого-разведочных работ.

Благодарности

Авторы признательны НОЦ “Геотермохронологии” КФУ, МДЦ “Аналитическая микроскопия” КФУ, “ТатНИПИнефть” ПАО “Татнефть” за проведенные анализы. Выражаем искреннюю благодарность рецензентам за высказанные ценные замечания и предложения, которые позволили значительно улучшить рукопись статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бортников Н.С., Волков А.В., Лаломов А.В., Бочнева А.А., Иванова Ю.Н., Лаломов Д.А. (2024) Роль россыпных месторождений в обеспечении воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья России на современном этапе. *Rus. J. Earth Sci.*, **24**(1), ES1012. <https://doi.org/10.2205/2024es000897>
- Игнатов П.А., Хэн Ч. (2015) Типы россыпей нефрита Кунь-Луня и прилегающей Таримской депрессии Китая. *Изв. вузов. Геология и разведка*, (3), 26-34.
- Кислов Е.В., Попов М.П., Нурмухаметов Ф.М., Посохов В.Ф., Вантеев В.В. (2023а) Нефрит месторождения Нырдуоменшор, Полярный Урал. *Литосфера*, **23**(2), 270-291. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291>
- Кислов Е.В., Худякова Л.И., Николаев А.Г. (2023б) Отходы переработки аподоломитового нефрита и направление их использования. *Горные науки и технологии*, **8**(3), 195-206. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-01-75>
- Лаломов А.В., Бочнева А.А. (2024) Россыпные месторождения России как источник стратегических видов минерального сырья. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, **3**(188), 5-18.
- Портнов А.М., Дронова Н.Д. (2016) Неповторимый нефрит. *Природа*, (12), 18-23.
- Словарь по геологии россыпей. (1985) (Под ред. Н.А. Шилов). М.: Недра, 197 с.
- Сотникова В.Ф., Сунгатуллин Р.Х., Кислов Е.В. (2025) Первые минералого-геохимические данные о россыпном нефрите Витимского нагорья, Республика Бурятия. *Литология и полез. ископаемые*, (3), 346-360. <https://doi.org/10.31857/S0024497X25030058>
- Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. (2015) Месторождения нефрита. Иркутск: ИГУ, 377 с.
- Юргенсон Г.Л. (2001) Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. Новосибирск: Наука, 390 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.
- Boyd W.F., Wight W. (1983) Gemstones of Canada. *J. Gemm.*, **18**(6), 544-562.
- Jing Y., Liu Y. (2022) Genesis and mineralogical studies of zircons in the Alamas, Yurungkash and Karakash Rivers nephrite deposits, Western Kunlun, Xinjiang, China. *Ore Geol. Rev.*, **149**, 105087. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105087>

- Jutras J.P., Williams B., Williams C., Rossman G.R. (2023) Nephrite Jade from Washington State, USA, including a New Variety Showing Optical Phenomena. *J. Gemm.*, **38**(5), 494-511. <http://doi.org/10.15506/JoG.2023.38.5.494>
- Kislov E.V. (2024) Kavokta Deposit, Middle Vitim mountain country, Russia: composition and genesis of dolomite type nephrite. *Geosci.*, **14**(11), 303. <https://doi.org/10.3390/geosciences14110303>
- Kislov E.V., Popov M.P., Nurmukhametov F.M., Posokhov V.F., Vanteev V.V. (2023) Nyrdvomenshor nephrite deposit, Polar Urals, Russia. *Minerals*, **13**(6), 767. <https://doi.org/10.3390/min13060767>
- Liu Y., Deng J., Shi G., Sun X., Yang L. (2011a) Geochemistry and petrogenesis of placer nephrite from Hetian, Xinjiang, Northwest China. *Ore Geol. Rev.*, **41**(1), 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.07.004>
- Liu Y., Deng J., Shi G., Yui T.F., Zhang G., Abuduwayiti M., Yang L., Sun X. (2011b) Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China. *J. Asian Earth Sci.*, **42**(3), 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.05.012>
- Liu Y., Deng J., Shi G.H., Lu T., He H., Ng Y.-N., Shen Ch., Yang L., Wang Q. (2010) Chemical zone of nephrite in Alamas, Xinjiang, China. *Res. Geol.*, **60**(3), 249-259. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2010.00135.x>
- Liu Y., Zhang R., Zhang Zh., Shi G., Zhang Q., Abuduwayiti M., Liu J. (2015) Mineral inclusions and SHRIMP U-Pb dating of zircons from the Alamas nephrite and granodiorite: Implications for the genesis of a magnesian skarn deposit. *Lithos*, **212-215**, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.002>
- Liu Y., Zhang R.-Q., Maituohuti A., Wang Ch., Zhang Sh., Shen Ch., Zhang Zh., He M., Zhang Y., Yang X. (2016) SHRIMP U-Pb zircon ages, mineral compositions and geochemistry of placer nephrite in the Yurungkash and Karakash River deposits, West Kunlun, Xinjiang, northwest China: implication for a magnesium skarn. *Ore Geol. Rev.*, **72**(1), 699-727. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.023>
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Mustoe G.E. (2024a) Nephrite Jade and Related Rocks from Western Washington State, USA: A Geologic Overview. *Minerals*, **14**, 1186. <https://doi.org/10.3390/min14121186>
- Mustoe G.E. (2024b) Pleistocene Glacial Transport of Nephrite Jade from British Columbia, Canada, to Coastal Washington State, USA. *Geosci.*, **14**, 242. <https://doi.org/10.3390/geosciences14090242>
- J. Gemm.*, **18**(6), 544-562.
- Dictionary of Placer Geology. (1985) (Ed. by N.A. Shilo). Moscow, Nedra Publ., 197 p. (In Russ.)
- Ignatov P.A., Hen Ch. (2015) Types of nephrite placers in the Kunlun and the adjacent Tarim Depression of China. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i Razvedka*, **(3)**, 26-34. (In Russ.)
- Jing Y., Liu Y. (2022) Genesis and mineralogical studies of zircons in the Alamas, Yurungkash and Karakash Rivers nephrite deposits, Western Kunlun, Xinjiang, China. *Ore Geol. Rev.*, **149**, 105087. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105087>
- Jutras J.P., Williams B., Williams C., Rossman G.R. (2023) Nephrite Jade from Washington State, USA, including a New Variety Showing Optical Phenomena. *J. Gemm.*, **38**(5), 494-511. <http://doi.org/10.15506/JoG.2023.38.5.494>
- Kislov E.V. (2024) Kavokta Deposit, Middle Vitim mountain country, Russia: composition and genesis of dolomite type nephrite. *Geosci.*, **14**(11), 303. <https://doi.org/10.3390/geosciences14110303>
- Kislov E.V., Khudyakova L.I., Nikolaev A.G. (2023b) Waste from processing apodolomitic nephrite and directions for its use. *Gornye nauki i tekhnologii*, **8**(3), 195-206. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-01-75>
- Kislov E.V., Popov M.P., Nurmukhametov F.M., Posokhov V.F., Vanteev V.V. (2023) Nyrdvomenshor nephrite deposit, Polar Urals, Russia. *Minerals*, **13**(6), 767. <https://doi.org/10.3390/min13060767>
- Kislov E.V., Popov M.P., Nurmukhametov F.M., Posokhov V.F., Vanteev V.V. (2023a) Nephrite of the Nyrdvomenshor deposit, Polar Urals. *Lithosphere (Russia)*, **23**(2), 270-291. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291>
- Lalomov A.V., Bochkneva A.A. (2024) Placer deposits of Russia as a source of strategic types of mineral raw materials. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, **3**(188), 5-18. (In Russ.)
- Liu Y., Deng J., Shi G., Sun X., Yang L. (2011a) Geochemistry and petrogenesis of placer nephrite from Hetian, Xinjiang, Northwest China. *Ore Geol. Rev.*, **41**(1), 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.07.004>
- Liu Y., Deng J., Shi G., Yui T.F., Zhang G., Abuduwayiti M., Yang L., Sun X. (2011b) Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China. *J. Asian Earth Sci.*, **42**(3), 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.05.012>
- Liu Y., Deng J., Shi G.H., Lu T., He H., Ng Y.-N., Shen Ch., Yang L., Wang Q. (2010) Chemical zone of nephrite in Alamas, Xinjiang, China. *Res. Geol.*, **60**(3), 249-259. <https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2010.00135.x>
- Liu Y., Zhang R., Zhang Zh., Shi G., Zhang Q., Abuduwayiti M., Liu J. (2015) Mineral inclusions and SHRIMP U-Pb dating of zircons from the Alamas nephrite and granodiorite: Implications for the genesis of a magnesian skarn deposit. *Lithos*, **212-215**, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.11.002>
- Liu Y., Zhang R.-Q., Maituohuti A., Wang Ch., Zhang Sh., Shen Ch., Zhang Zh., He M., Zhang Y., Yang X. (2016) SHRIMP U-Pb zircon ages, mineral compositions and geochemistry of placer nephrite in the Yurungkash and Karakash River deposits, West Kunlun, Xinjiang, northwest China: implication for a magnesium skarn. *Ore Geol. Rev.*, **72**(1), 699-727. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.08.023>

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.
- Bortnikov N.S., Volkov A.V., Lalomov A.V., Bochkneva A.A., Ivanova Yu.N., Lalomov D.A. (2024) The role of placer deposits in ensuring the replenishment of the mineral resource base of scarce types of strategic mineral raw materials in Russia at the present stage. *Rus. J. Earth Sci.*, **24**(1), ES1012. (In Russ.) <https://doi.org/10.2205/2024es000897>
- Boyd W.F., Wight W. (1983) Gemstones of Canada.

- georev.2015.08.023
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Mustoe G.E. (2024a) Nephrite Jade and Related Rocks from Western Washington State, USA: A Geologic Overview. *Minerals*, **14**, 1186. <https://doi.org/10.3390/min14121186>
- Mustoe G.E. (2024b) Pleistocene Glacial Transport of Nephrite Jade from British Columbia, Canada, to Coastal Washington State, USA. *Geosci.*, **14**, 242. <https://doi.org/10.3390/geosciences14090242>
- Portnov A.M., Dronova N.D. (2016) Unique nephrite. *Priroda*, (12), 18-23. (In Russ.)
- Sotnikova V.F., Sungatullin R.Kh., Kislov E.V. (2025) First mineralogical and geochemical data on placer nephrite of Vitim Highland, Republic of Buryatia. *Lithol. Miner. Res.*, **60**(3), 333-345 (translated from *Lithol. Polez. Iskop.*, (3), 346-360). <https://doi.org/10.1134/S0024490225700038>
- Suturin A.N., Zamaletdinov R.S., Sekerina N.V. (2015) Nephrite deposits. Irkutsk, IGU, 377 p. (In Russ.)
- Yurgenson G.L. (2001) Gem and ornamental stones of Transbaikal'e. Novosibirsk, Nauka Publ., 390 p. (In Russ.)