

УДК 552.5.08

ПЕРВЫЕ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О РОССЫПНОМ НЕФРИТЕ ВИТИМСКОГО НАГОРЬЯ, РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ

© 2025 г. В. Ф. Сотникова^{a, *}, Р. Х. Сунгатуллин^{a, **}, Е. В. Кислов^{b, ***}

^aКазанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008 Россия

^bГеологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, ул. Сахьяновой, 6а, Улан-Удэ, 670047 Россия

*e-mail: vasilina0917@gmail.com

**e-mail: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

***e-mail: evg-kislov@ya.ru

Поступила в редакцию 15.10.2024 г.

После доработки 05.11.2024 г.

Принята к публикации 14.01.2025 г.

Рассмотрены особенности вещественного состава россыпного (аллювиального) аподоломитового нефрита р. Ципа в Витимском нефритоносном районе. Получены первые данные о минеральном составе внутренней и внешней частей аллювиальных галек аподоломитового нефрита. Россыпной нефрит обладает приобретенной каемкой прокрашивания, его агрегаты характеризуются мелкозернистостью, спутанно-волокнистой структурой, небольшим количеством акцессорных минералов и повышенным содержанием щелочей. Выявлены особенности химического состава каемок прокрашивания, сформированных в экзогенных условиях: развитие в них гидроксидов марганца и железа приводит к существенному увеличению концентрации Fe^{3+} и повышенным содержаниям Со и Ва. Установлена генетическая связь россыпного нефрита с коренным источником – нефритом Кавоктинского месторождения. Сравнение коренного и россыпного аподоломитового нефрита позволило выработать их диагностические признаки для проведения экспертных оценок.

Ключевые слова: нефрит россыпной, галька, каемка прокрашивания, электронная микроскопия, рентгеновская дифракция, Витимское нагорье

DOI: 10.31857/S0024497X25030058, **EDN:** IAVFMM

Нефрит – плотный вязкий скрытокристаллический спутанно-волокнистый агрегат моноклинного амфибола тремолит-актинолитового ряда с химической формулой $Ca_2(Mg, Fe)_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$, который используется преимущественно как декоративно-поделочный камень. Месторождения нефрита относятся к двум эндогенным геолого-промышленным типам: апоультрамафитовому (апосерпентинитовые метасоматиты офиолитов) и апокарбонатному (аподоломитовые тремолит-кальцитовые магнезиальные скарны). В настоящее время около 85% запасов коренного нефрита России находится на территории Республики Бурятия (рис. 1). Месторождения апосерпентинитового нефрита относятся к Восточно-Саянскому и Джидинскому нефритоносным районам, а месторождения апокарбонатного нефрита расположены в Витимском нефритоносном районе на северо-востоке республики.

Наряду с коренными месторождениями известны экзогенные (россыпные) месторождения нефрита, которые представлены глыбами, валунами, гальками нефрита и формируют вторичные ореолы рассеяния около жил или в долинах поверхностных водотоков, рассекающих нефритоносные массивы [Сутурин и др., 2015]. В целом россыпные месторождения обладают существенными преимуществами, что делает их востребованными для горнодобывающей промышленности. Это неглубокое залегание, небольшие инвестиции в поисково-разведочные работы, возможность быстрого вовлечения в эксплуатацию и существенное сокращение сроков окупаемости вложенных средств [Бортников и др., 2024].

Благодаря своей спутанно-волокнистой структуре нефрит обладает высокой прочностью и устойчивостью к разным типам выветривания. В процессе транспортировки обломков от



Рис. 1. Месторождения нефрита на территории Республики Бурятия, расположение предполагаемого коренного источника (Кавоктинское месторождение) и место отбора образцов россыпного нефрита (р. Ципа).

коренного источника и длительного взаимодействия с экзогенными факторами (водный поток, атмосфериллии, температурные колебания и др.) происходит естественное облагораживание россыпного нефрита с разрушением неустойчивых минералов и сохранением крепкого ядра высокого качества. При воздействии вторичных процессов в окатанных обломках нефрита образуется также каемка прокрашивания, которая придает россыпному нефриту дополнительные декоративные свойства.

Наиболее известные месторождения аподоломитового нефрита находятся в Северо-Западном Китае. Так, нефритоносный пояс Хотан, расположенный в Синьцзян-Уйгурском автономном районе, обрабатывается уже шесть тысячелетий. Здесь расположено хорошо изученное коренное месторождение нефрита Аламас [Liu et al., 2010; Liu et al., 2011; Liu et al., 2015], а также знаменитые месторождения россыпного нефрита – Юрункаш и Каракаш [Jing, Liu, 2022; Liu et al., 2016]. В последние годы появились работы, посвященные изучению россыпного нефрита [Игнатов, Хэн, 2015; Mustoe, 2024; Zhang, 2023, Zheng, 2019]. Однако в научной литературе недостаточно информации о степени воздействия экзогенных условий на формирование отдельных частей россыпного нефрита (ядра и каемки прокрашивания) и их свойствах.

Россыпной нефрит, связанный с коренным аподоломитовым нефритом, представляет

наибольший интерес, т.к. каемки прокрашивания мощностью до нескольких сантиметров обладают разнообразными структурами и цветовой гаммой, что значительно повышает художественно-декоративные характеристики поделочного камня. Нефрит Витимского нагорья разнообразен по окраске. Здесь встречаются нефриты светлоокрашенные (белые, серые, светло-зеленые), реже – темно-зеленые, коричневые и черные. Витимский нефритоносный район известен белым нефритом – самой ценной разновидностью нефрита в культуре Китая. Белый нефрит с бурыми, красными и черными корками, которые связаны с развитием гидроксидов железа и марганца по трещинам и краям блоков, используется для каменной резьбы и украшения интерьеров. С учетом ажиотажного спроса и существенно более высокой (в десятки раз) цены относительно коренного нефрита, сырье и изделия из россыпного нефрита относятся к объектам инвестирования [Кислов, 2017].

В настоящее время в минералого-геохимическом отношении состав коренного (первичного) нефрита изучен значительно лучше, чем россыпной (вторичный) нефрит. Это касается и россыпного нефрита Республики Бурятия, несмотря на обнаружение валунов нефрита еще в 1851 г. в горных реках Восточного Саяна русским путешественником Г. М. Пермикиным. Поэтому представленная работа восполняет недостаток

минералого-геохимической информации в исследовании состава россыпного аподоломитового нефрита Витимского нагорья, с оценкой степени влияния экзогенных условий на формирование каемки прокрашивания и выработкой диагностических признаков россыпного нефрита.

РОССЫПНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВИТИМСКОГО НЕФРИТОНОСНОГО РАЙОНА

Геологическое изучение Средне-Витимской горной страны началось в середине XIX в. в связи с поисками золота и изысканием путей снабжения приисков. Нефрит здесь долгое время оставался неизвестным, несмотря на многочисленные находки археологических артефактов из нефрита, включая светлый, в археологических памятниках верхнего палеолита и моложе в Приангарье и Прибайкалье [Дервянко и др., 2019].

Только в 1944 г. Ю.К. Дзевановским в 24 км от устья р. Калар (правый приток р. Витим) в урочище Топор обнаружен валун фишашково-зеленого нефрита размером 35×20×7 см, а два года спустя о подобной находке сообщил В.П. Селиванов в нижнем течении р. Ципа (левый приток р. Витим) [Солоненко, 1959]. В 1975 г. сотрудник Института земной коры СО АН СССР М.И. Грудинин при проведении научно-исследовательских работ в среднем течении р. Витим обнаружил в аллювии многочисленные валуны и гальки светло-зеленого нефрита. И уже в 1976 г. экспедицией “Байкал-кварцсамоцветы” создана Шаманская (позднее Витимская) поисковая партия, геологами которой в 1976–1978 гг. оконтурен ореол распространения валунов нефрита по рекам Витим, Бамбуйка, Ципа и начаты поиски коренных месторождений нефрита на основе галечно-валунного метода. Однако при поисковых работах не изучались особенности геоморфологического строения бассейнов рек, закономерности локализации обломочного нефрита в аллювиальных отложениях, не проводилась оценка ресурсов россыпного нефрита. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. при проведении поисков осуществлялся попутный сбор галечно-валунного материала с поверхности кос рек Буром, Бамбуйка, Ципа, Витим [Кокунин, 2024]. Ниже приводится краткая характеристика проявлений россыпного нефрита.

Ореол распространения нефрита по р. Витим ограничен с севера Муйской межгорной впадиной байкальского типа, а с юга – устьем р. Калар. Максимальной концентрации в аллювиальных отложениях обломочный нефрит достигает

в нижней части ореола (ниже устья р. Бамбуйка) и особенно в районе Большой косы. С поверхности последней собрано более 1 т высочайшего по качеству мелковалунного и галечного нефрита. Ореол распространения нефрита по р. Бамбуйка, включая и ее правый приток р. Буром, приурочен к отложениям речных кос и, фрагментарно, террасовым отложениям, которые обычно залегают на скальном основании. В приустьевой части р. Бамбуйка находки нефрита единичны [Кокунин, 2024].

Ореол распространения нефрита в бассейне р. Ципа имеет более сложное строение и отличается прерывистостью. В непосредственной близости от коренного источника – Кавоктинского месторождения – он устойчиво прослеживается по р. Кавокта на расстояние 30–35 км до субширотного участка русла. Далее на расстоянии более 100 км в аллювии встречаются единичные находки валунов и галек нефрита [Кокунин, 2024]. Здесь отметим, что впервые в бассейне р. Кавокта светлоокрашенный валун нефрита обнаружен в 1983 г. Ю.С. Вепревым, а позднее в русловых отложениях реки В.И. Струговым и В.Я. Беляевым оконтурен ореол распространения валунов нефрита [Гомбоев и др., 2017]. Нижнее течение р. Ципа обладает сложной конфигурацией русла из-за выходов базальтов; в расположенном здесь урочище Восьмерка на них тонким плащом залегают косовые валунно-галечные отложения нефрита. Кроме того, единичные находки валунов нефрита отмечены в верхнем течении р. Ципа, выше коренного Воймаканского проявления [Кокунин, 2024].

В приустьевой части р. Хойта, впадающей в Витим, концентрация нефрита в аллювиальных отложениях приурочена к Хойтинской косе и связана с близкорасположенным коренным источником – Хойтинским месторождением. При открытии этой косы на ее поверхности было собрано около 1 т высококачественного нефрита. К настоящему времени для Витимского нефритоносного района Хойтинская россыпь – единственный объект, изученный до глубины 1.5 м канавами. В результате выявлено устойчивое распространение нефрита в толще аллювия с содержаниями нефрита от 0.4 до 2.1 кг/м³, в среднем 1.2 кг/м³ [Кокунин, 2024].

Характерной особенностью россыпного нефрита является постоянное природное возобновление ресурсов нефритоносности после весеннего ледохода, паводка и ливневых дождей. С учетом морфологии и возраста некоторых речных долин в данном районе, помимо современных россыпей

нефрита, могут встречаться и погребенные россыпи, которые пока не изучались.

В целом аллювиальный нефрит бассейна р. Витим представлен преимущественно гальками и мелкими валунами весом от 100–200 г до нескольких десятков килограммов. Валуну весом 100 и более килограммов считаются крупными и встречаются крайне редко. Максимальный по весу валун (около 800 кг) найден в верховьях р. Бамбуйка [Кокунин, 2024].

В 1993 г. планомерные специализированные геологоразведочные работы на светлоокрашенный нефрит прекратились. В дальнейшем они проводились спорадически недропользователями только в пределах небольших участков недр. К настоящему времени проявления россыпного аподоломитового нефрита не имеют отдельных лицензиатов на их геологическое изучение, хотя, например, значительные части русла р. Ципа вошли в лицензионные участки “Воймакан” и “Баунтовский-1, -2” для добычи нефрита. Ресурсы россыпного аподоломитового нефрита не оценивались.

Россыпной нефрит интенсивно несанкционированно обрабатывается с использованием техники (экскаваторы, бульдозеры), погружением водолазов в гидрокостюмах с аквалангами и последующей ручной разборкой каменного материала, несмотря на отдельные рейдовые мероприятия со стороны Управления экономической безопасности и противодействия коррупции МВД по Республике Бурятия и Управления Федеральной службы безопасности по Республике Бурятия. Иногда применяется отсеивание мелкого материала.

В отличие от россыпного аподоломитового нефрита, апосерпентинитовый нефрит образует крупные валуны, располагающиеся в речных долинах в непосредственной близости от коренных месторождений Восточно-Саянского и Джидинского нефритоносных районов (см. рис. 1), а также Полярного Урала [Кислов и др., 2023a; Kislov et al., 2023]. Поэтому для россыпей апосерпентинитового нефрита разведочные и добычные работы в основном совмещаются с разведкой и эксплуатацией коренного месторождения. Исключения – Болдокитское и Онотское месторождения россыпного апосерпентинитового нефрита.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Витимском нефритоносном районе известны россыпи нефрита ледниково-аллювиального и аллювиального происхождения. К объекту

настоящего исследования относятся нефритовые гальки из аллювия р. Ципа (см. рис. 1), а их предполагаемым коренным источником является Кавоктинское месторождение (рис. 2), расположенное в 30 км выше по течению р. Кавокта – левого притока р. Ципа. Кавоктинское месторождение нефрита – крупнейшее месторождение аподоломитового нефрита Российской Федерации с запасами нефрита-сырца 4 648.58 т категорий C_1+C_2 (по состоянию на 1 января 2024 г.), из которых 1114.33 т приходятся на сортовой поделочный нефрит. Месторождение выделяется высоким качеством нефрита: повышенной блочностью, белой и светло-салатовой окраской, интенсивной просвечиваемостью, каемкой прокрашивания бурого (медового) оттенка, позволяющими вырезать разноцветные изделия [Кислов, 2024; Kislov, 2024].

Кавоктинское месторождение светлоокрашенного нефрита разведано в 1984–1993 гг. в бассейне верхнего течения р. Кавокта в составе двух участков: Прозрачный и Медвежий (см. рис. 2). В 2021 г. поставлены на баланс запасы Левобережного участка месторождения. На месторождении детально изучены вмещающие породы, исследованы вещественный состав и технологические характеристики нефрита. Район Кавоктинского месторождения сложен гранитами, лейкогранитами, диоритами позднепалеозойского витимканского комплекса. В гранитах встречаются ксеноблоки сложной формы, представленные метапесчаниками, кристаллическими сланцами, амфиболитами, доломитовыми мраморами. Степень метаморфизма отвечает амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фациям [Гомбоев и др., 2017; Кислов, 2024; Kislov, 2024].

Продуктивная минерализация в виде кальцит-тремолитовых скарнов с мономинеральными обособлениями нефрита развита по периферии тел доломитовых мраморов на контакте с эпидотизированными амфиболитами, образуя нефритовые залежи с раздувами, пережимами, апофизами незначительных размеров крайне сложной морфологии. Нефрит в залежах образует гнезда, линзы, прослой, прожилки, обособления различного размера. Кальцит-тремолитовые скарны представляют собой белые, массивные, полосчатые или пятнистые, рассланцованные скрытокристаллические породы, сложенные агрегатом тонкозернистого, тонколучистого кальцита и волокнуистого тремолита. Второстепенными минералами являются серпентин и рудные (до 2%). Промышленные залежи нефрита имеют четкие контакты с кальцит-тремолитовыми скарнами,

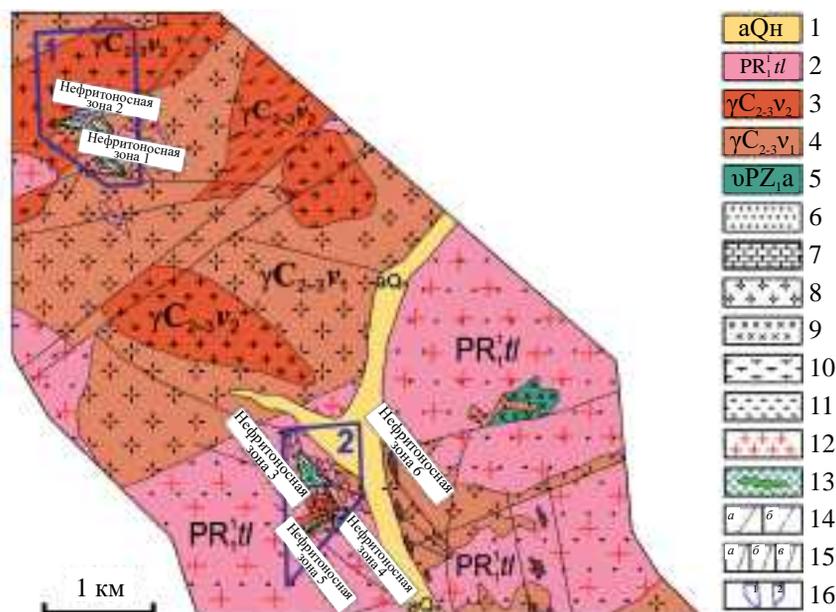


Рис. 2. Геологическая карта Кавоктинского месторождения (по материалам ООО “Забайкальское горнорудное предприятие” с изменениями и дополнениями).

1 – современные аллювиальные отложения: валуны, галечники, пески, суглинки, глины; 2 – талалинская толща (нижний протерозой): гнейсы и сланцы, амфиболиты, прослои мраморов, кварцитов, метапесчаников, скарны; 3 – витимканский комплекс интрузий, II-я фаза: лейкократовые, биотитовые граниты; 4 – витимканский комплекс интрузий, I-я фаза: граниты, гранодиориты, диориты, граносиениты, сиениты; 5 – атарханский комплекс интрузий: габбро, габбро-амфиболиты, диориты, амфиболиты; 6 – метапесчаники мелкозернистые, зеленовато-серые, от массивных до полосчатых; 7 – мраморы доломитовые, кальцит-доломитовые белые; 8 – граниты порфировидные, биотитовые, биотит-роговообманковые; 9 – диориты; 10 – гнейсовидные граниты; 11 – амфиболиты; 12 – гранитизация; 13 – известковые скарны кальцит-тремолитового состава с залежами нефрита (вне масштаба); 14 – геологические границы: *a* – установленные, *b* – предполагаемые; 15 – тектонические нарушения: *a* – установленные, *b* – предполагаемые, *v* – под четвертичными отложениями; 16 – участки Кавоктинского месторождения: Прозрачный (1), Медвежий (2).

часто сопровождаются зеркалами и бороздами скольжения, по которым развивается длинноволокнистый тремолит. Кавоктинское месторождение представлено мелкими телами с резко изменчивой мощностью и весьма неравномерным распределением сырья [Гомбоев и др., 2017; Кислов, 2024; Kislov, 2024].

Одному из авторов статьи для проведения геммологической экспертизы были переданы около 300 галек, собранных при проведении геологоразведочных работ по р. Ципа. Из них были выбрано 30 галек для дальнейшего детального исследования. Отбор образцов проводился на основе визуального изучения. Приоритет отдавался образцам с четко выраженной каймой прокрашивания, указывающей на наличие нефрита в ядре, местами выступающего на внешнюю поверхность гальки. Все отобранные гальки распилены в Казанском федеральном университете, а наиболее контрастные по окраске ядра и каемки 6 галек использованы для проведения минералого-геохимических исследований. Ядра отобранных галек нефрита обладают разной окраской (от белой до

темно-зеленой и черной), каемки прокрашивания различаются по цветовым характеристикам и мощности. Гальки преимущественно эллипсоидальной формы, с размером длинной оси 60–100 мм, короткой – 38–75 мм (рис. 3).

Минеральный состав нефритовых галек определялся методом рентгеновской дифракции на порошковом дифрактометре PowDix600 в “ТатНИПИнефть” ПАО “Татнефть” (аналитик В.Р. Першина). Рентгеновские дифрактограммы получены отдельно для ядра и для каемки прокрашивания нефритовых галек. Расшифровка полученных дифрактограмм осуществлялась в программе Almaz.

Изучение химического состава галек проводилось одним из авторов на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе Merlin Carl Zeiss (Германия) в Казанском федеральном университете. Микроскоп оснащен спектрометром энергетической дисперсии AZtec X-Max (Oxford Instruments). Разрешение спектрометра 127 эВ. Съемка поверхности проводилась при



Рис. 3. Гальки аллювиального нефрита р. Ципа.
1–6 – номера образцов.

ускоряющем напряжении 20 кэВ, элементный анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кэВ и рабочем отрезке 9 мм. С помощью сканирующей электронной микроскопии по профилям геохимического картирования, ориентированным от каемки прокрашивания к центру гальки, суммарно получены 27800 точек-определений химического состава по 9 петрогенным (Si, O, Al, Fe, Mg, Ca, Mn, K, Na) элементам.

Микроэлементный анализ на 59 рассеянных и редкоземельных (РЗЭ) элементов выполнен методом ICP-MS отдельно для внешней и внутренней частей галек нефрита на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP Qc ThermoFisher Scientific (Германия) в Казанском федеральном университете (аналитик К.Р. Миннебаев). Подготовка образцов заключалась в предварительном растворении в смеси кислот с использованием микроволновой системы разложения Mars 6 (SEM Corporation).

Математическая обработка результатов геохимических исследований осуществлялась с помощью программного пакета STATISTICA с

использованием методов базовой (среднее содержание, минимум, максимум, стандартное отклонение) и многомерной (кластерный анализ) статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В минеральном составе аллювиальных галек нефрита р. Ципа преобладает тремолит (рис. 4). Его содержание в ядре составляет 82–89%, в каемке прокрашивания – 62–97% (табл. 1). Второстепенными (акцессорными) минералами в ядре россыпного нефрита являются хлорит, диопсид, флогопит, антигорит, а в каемке прокрашивания – хлорит, диопсид, флогопит, магнетит. По сравнению с коренным нефритом Кавоктинского месторождения, в котором встречаются более 20 минералов [Кислов, 2024; Kislov, 2024], россыпной нефрит р. Ципа содержит всего от 2 до 5 минералов (см. табл. 1). В нефрите расположенного значительно выше по течению р. Ципа Воймаканском месторождении также обнаружено 24 минерала [Кислов и др., 2024], но оно не

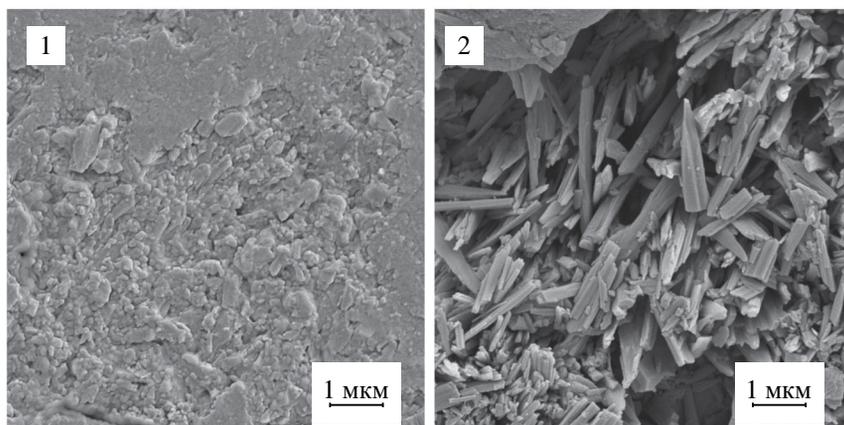


Рис. 4. Тремолит в ядре (1) и каемке прокрашивания (2) россыпного нефрита. Образец 2.

Таблица 1. Минеральный состав галек нефрита, % (по данным рентгенофазового анализа)

Номер образца	Часть гальки	Минералы					
		тремолит	диопсид	хлорит	флогопит	магнетит	антигорит
1	К	91	8	1	—	—	—
	Я	89	5	3	3	—	—
2	К	97	—	3	—	—	—
	Я	82	7	2	2	—	7
3	К	62	36	1	—	—	—
	Я	86	9	2	2	—	—
4	К	94	—	5	1	—	—
	Я	85	9	3	3	—	—
5	К	72	22	1	—	5	—
	Я	87	10	2	1	—	—
6	К	93	3	2	2	—	—
	Я	85	9	1	5	—	—

Примечание. Здесь и далее в таблицах: К – каемка прокрашивания, Я – ядро; прочерк – не обнаружено.

рассматривается в качестве коренного источника из-за большого расстояния – 40 км по прямой, и интенсивно проявленного оталькования нефрита. Возможно, при дальнейших исследованиях и увеличении выборки образцов количество обнаруженных минералов в нефритовых гальках может возрасти.

Содержания основных петрогенных элементов в ядре и в каемке прокрашивания галек нефрита р. Ципа составляют (в вес. %) соответственно: SiO_2 – 57.27–60.93 и 57.00–60.64; CaO – 13.36–17.16 и 13.19–20.44, MgO – 22.34–25.33 и 20.37–24.64 (табл. 2). Полученные результаты близки к содержаниям данных компонентов стандартного тремолита (SiO_2 – 59.17%, CaO – 13.80%, MgO – 24.81%), что подтверждается и

рентгено-фазовым анализом по россыпному нефриту (см. табл. 1).

Многомерный кластерный анализ четко выявил общие для ядра и каемки 3 группы элементов ($\text{Si} - \text{O}$; $\text{Ca} - \text{Mg}$; $\text{Al} - \text{Fe} - \text{Mn} - \text{K} - \text{Na}$), что подтверждает данные базовой статистики (рис. 5) и в целом свидетельствует о близости химического состава ядер и каемок прокрашивания в гальках нефрита. Отметим, что в каемке прокрашивания образца 3 выделяются всего 2 кластера элементов ($\text{Si} - \text{Ca} - \text{Mg}$ и $\text{Al} - \text{Fe} - \text{Mn} - \text{K} - \text{Na}$), а кислород слабо связан с другими элементами. Исключением также является образец 6, в котором каемка существенно (в 4–5 раз) обеднена алюминием и калием относительно ядра (см. табл. 2). Возможно, что все эти отклонения

Таблица 2. Средний химический состав галек россыпного нефрита, вес. %

Компонент	Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4		Образец 5		Образец 6	
	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К
SiO ₂	60.54	60.64	60.21	60.27	59.40	57.00	60.93	60.28	60.46	58.58	57.27	59.71
Al ₂ O ₃	0.48	0.46	0.39	0.47	0.35	0.62	0.40	0.45	0.41	0.41	2.41	0.60
FeO	0.73	0.79	0.60	0.77	0.29	0.42	0.31	0.94	0.63	0.65	0.33	0.29
MgO	22.89	23.00	23.52	23.42	22.34	20.37	24.53	24.64	25.33	22.94	23.50	23.71
CaO	14.93	14.60	14.71	14.58	17.16	20.44	13.36	13.19	12.71	16.93	14.62	15.09
Na ₂ O	0.13	0.13	0.14	0.11	0.15	0.21	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15
K ₂ O	0.12	0.13	0.22	0.18	0.12	0.10	0.14	0.16	0.15	0.10	1.53	0.28
MnO	0.19	0.23	0.21	0.20	0.19	0.83	0.18	0.19	0.16	0.24	0.20	0.17
N	1800	1800	1600	1600	3500	3500	1800	1800	2800	2800	2400	2400

Примечание. N – количество определений.

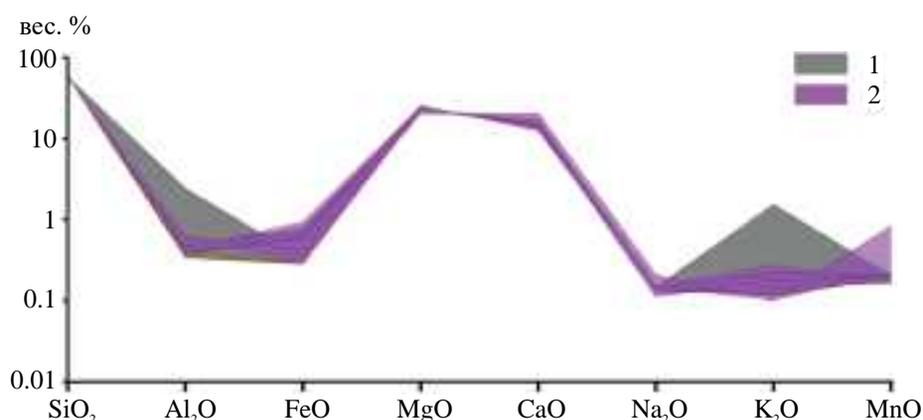


Рис. 5. Распределение содержаний петрогенных элементов в ядре (1) и каемке прокрашивания (2) галек россыпного нефрита.

связаны с продолжительным нахождением галек данных образцов в экзогенной среде.

Каемка прокрашивания образуется при нахождении обломочного нефрита в толще аллювия. Ее мощность и состав зависят от времени нахождения, состава вмещающих осадков и взаимодействующей с нефритом воды. В водном потоке каемка прокрашивания удаляется при механическом воздействии транспортируемого речным потоком материала на выступающие (выпуклые) части гальки и может сохраняться в западинах или трещинах. При повторном попадании гальки в толщу речных отложений формирование каемки прокрашивания возобновляется уже в других условиях. Сложность и разнообразие экзогенных процессов и агентов формирования каемки прокрашивания определяет ее структуру, состав и декоративные свойства.

В большинстве галек содержание железа и марганца повышается от ядра к каемке прокрашивания, что, по-видимому, связано с новообразованием в последней гидроксидов железа и марганца. Это подтверждает данные о существенном увеличении содержания трехвалентного железа при стабильном содержании двухвалентного железа в нефритах, подвергшихся экзогенным преобразованиям [Гомбоев и др., 2017].

Содержание микроэлементов в россыпном нефрите р. Ципа представлено в табл. 3. Анализ показал статистически значимые различия содержания рассеянных микроэлементов в ядре и каемке прокрашивания. В ядре концентрации большинства элементов (Ti, Cr, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Sn, Cs, Dy, Ho, Er, Ta, Pb, U) заметно выше, чем в каемке прокрашивания, в которой повышены содержания только Co и Ba – элементов, связанных с гидроксидами марганца.

Таблица 3. Содержание рассеянных элементов и РЗЭ в россыпном нефрите (ICP-MS), г/г

Элемент	Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4		Образец 5		Образец 6	
	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К	Я	К
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Li	2.58	0.81	1.22	1.71	6.26	9.73	1.51	0.81	6.08	9.38	6.57	2.77
Be	16.9	10.54	17.3	15.03	13.1	31.30	20.5	11.25	26.3	30.89	19.3	16.23
Sc	0.47	0.08	0.11	0.16	0.12	н.п.о.	0.12	0.04	0.16	0.16	0.43	0.35
Ti	139	95.35	85.1	77.51	47.0	12.44	33.2	32.34	39.2	31.49	41.4	25.61
V	27.9	23.01	8.79	10.27	5.31	14.85	8.77	7.69	8.85	10.37	13.9	9.59
Cr	10.2	3.70	4.32	3.83	18.4	8.60	5.86	3.39	12.2	10.28	6.17	4.98
Mn	627	1117	893	839.7	494	969.1	601	509.4	526	913.8	493	391.2
Co	1.78	3.08	0.56	0.80	0.76	1.27	0.76	1.44	1.20	3.44	1.51	0.99
Ni	30.6	12.96	11.0	12.24	14.1	16.85	12.5	18.87	13.6	13.73	13.5	12.02
Cu	27.6	21.18	24.5	22.7	28.8	25.1	24.8	19.55	25.9	26.34	24.0	22.68
Zn	174.	153.5	75.7	80.0	40.9	37.0	37.5	36.9	53.7	53.30	25.9	23.50
Ga	0.88	1.42	1.36	1.48	0.80	1.45	1.44	1.16	2.16	2.93	2.63	1.58
Ge	1.53	1.20	1.54	1.32	1.07	0.96	1.55	1.05	1.68	2.13	1.11	1.17
As	0.62	0.29	0.44	0.43	0.29	0.30	0.40	0.61	0.19	0.44	0.13	0.19
Se	н.п.о.	0.14	0.13	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0.33	0.15	0.14	н.п.о.
Rb	5.86	2.69	13.8	14.10	2.41	1.75	9.86	8.86	15.1	3.54	26.4	10.74
Sr	8.99	4.26	8.95	7.75	7.12	4.01	14.4	10.39	4.17	4.41	8.56	3.99
Y	4.28	3.73	6.25	5.23	1.67	0.95	0.80	0.68	2.87	2.59	1.03	0.95
Zr	8.17	5.25	4.10	4.81	5.04	1.01	2.09	3.06	3.90	2.64	2.52	2.09
Nb	1.73	0.93	1.08	0.90	0.35	0.14	0.94	0.79	2.22	1.26	1.00	0.73
Mo	6.72	5.99	6.70	6.45	7.43	6.96	6.52	5.15	6.66	7.16	6.23	6.02
Cd	0.05	0.09	0.06	0.05	0.03	0.07	0.03	0.02	0.01	0.05	0.06	0.07
Sn	0.41	0.12	0.23	0.24	0.35	0.18	0.21	0.07	0.33	0.23	0.22	0.11
Sb	0.50	0.41	0.40	0.39	0.58	0.48	0.48	0.33	0.44	0.56	0.42	0.47
Cs	0.37	0.06	0.33	0.39	1.00	0.35	0.38	0.30	0.43	0.11	0.40	0.22
Ba	9.95	51.30	18.9	13.15	10.8	66.5	13.2	14.5	24.7	42.2	14.6	5.09
Hf	0.15	0.15	0.07	0.10	0.09	0.01	0.04	0.06	0.08	0.06	0.04	0.04
Ta	0.04	0.02	0.07	0.06	0.00	н.п.о.	0.02	0.02	0.12	0.07	н.п.о.	н.п.о.
W	0.20	0.10	н.п.о.	0.03	0.26	0.09	н.п.о.	н.п.о.	0.02	0.04	0.07	0.27
Tl	0.04	0.07	0.06	0.07	0.01	0.01	0.05	0.04	0.06	0.02	0.14	0.05
Pb	1.14	0.93	1.18	1.13	2.68	1.70	2.96	2.66	1.38	1.93	2.05	1.42
Th	0.21	0.44	0.05	0.05	0.09	0.03	0.14	0.29	0.22	0.17	0.01	0.04
U	0.92	0.82	1.19	1.09	0.57	0.43	0.81	0.70	0.94	0.87	0.39	0.40
La	6.72	28.30	16.61	19.08	2.07	8.78	8.95	7.18	43.67	38.46	15.78	9.19
Ce	6.25	23.03	10.36	11.60	2.25	4.66	5.99	5.17	21.57	21.31	11.31	6.28
Pr	4.63	9.63	5.73	6.15	1.47	2.86	2.85	2.83	9.55	9.15	5.98	3.76
Nd	4.21	5.68	3.84	4.33	1.44	2.02	2.04	2.05	5.50	5.27	4.42	2.77
Sm	2.64	2.29	2.08	2.16	0.86	0.87	1.14	1.20	2.10	2.60	1.70	1.37
Eu	0.96	0.65	0.56	0.58	0.68	0.64	0.32	0.32	0.89	0.74	0.69	0.58
Gd	1.46	1.37	1.44	1.68	0.77	0.69	0.61	0.63	1.45	1.48	1.00	0.81
Tb	1.07	1.23	1.72	1.62	0.60	0.37	0.51	0.43	1.13	1.14	0.60	0.52
Dy	1.32	1.23	1.83	1.74	0.74	0.35	0.37	0.38	1.14	1.10	0.57	0.49
Ho	1.76	1.49	2.11	1.84	0.73	0.34	0.28	0.27	1.22	0.97	0.49	0.42
Er	2.46	2.16	1.83	1.63	0.70	0.33	0.32	0.33	1.35	1.18	0.53	0.38
Tm	2.84	3.03	1.34	1.02	0.52	0.32	0.23	0.32	1.44	1.15	0.45	0.29
Yb	3.15	3.51	1.07	0.87	0.47	0.25	0.33	0.34	1.61	1.23	0.40	0.37
Lu	0.26	0.35	0.07	0.09	0.04	0.03	0.03	0.04	0.16	0.12	0.04	0.04

Примечание. н.п.о. – ниже предела обнаружения элемента.

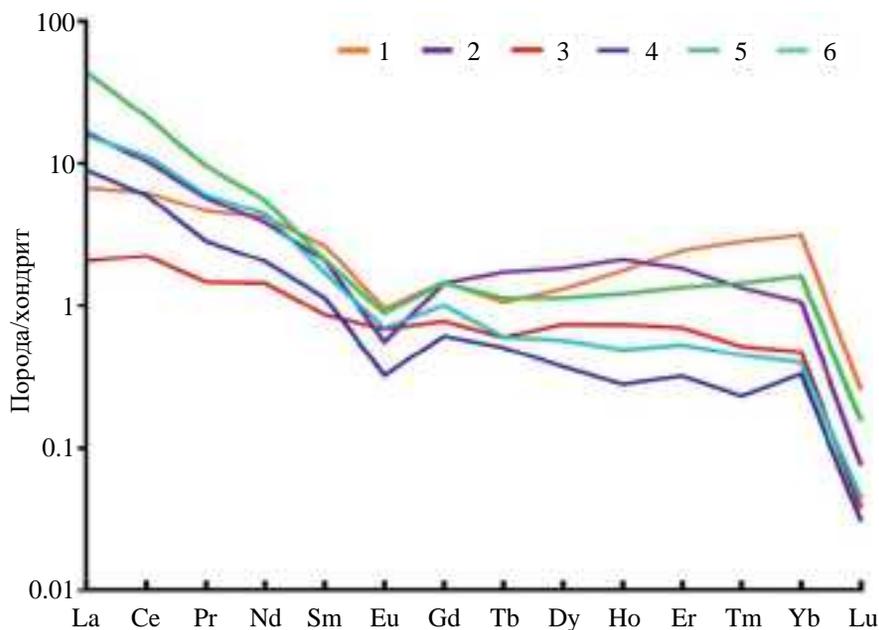


Рис. 6. Распределение РЗЭ в ядре россыпного нефрита. Нормировано по хондриту [McDonough, Sun, 1995].

Спайдер-диаграмма РЗЭ в образцах россыпного нефрита имеет отчетливо выраженный правосторонний наклон, что обусловлено повышенным содержанием легких РЗЭ (рис. 6). Небольшая отрицательная Eu-аномалия, возможно, указывает на восстановительную среду формирования коренного источника – нефрита Кавоктинского месторождения.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ КОРЕННОГО И РОССЫПНОГО НЕФРИТА ВИТИМСКОГО НАГОРЬЯ

Аподоломитовый нефрит содержит меньше железа, чем апосерпентинитовый, т.к. последний обогащен железом за счет ультраосновных пород. Так, у первого типа нефрита значение отношения $Fe^{2+}/(Mg+Fe^{2+})$ составляет менее 0.06, тогда как у второго типа – обычно более 0.06 [Siqin et al., 2012]. Россыпной аподоломитовый нефрит р. Ципа характеризуется значениями данного отношения от 0.016 до 0.039, что указывает на его коренной источник – аподоломитовый нефрит. Отметим, что в тремолите отношение $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ составляет 0.9–1, а в актинолите – 0.5–0.9. Для россыпного аподоломитового нефрита р. Ципа значение $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ изменяется в небольших пределах (0.96–0.98) и соответствует основному минералу – тремолиту. В нефрите Кавоктинского месторождения содержание (в вес. %) FeO составляет 0.75, MgO – 23.14

[Сутурин и др., 2015]; последние исследования [Кислов, 2024; Kislov, 2024] показали следующие результаты (в вес. %): FeO – 0.16–0.22, MgO – 24.98–25.77. В россыпном нефрите р. Ципа содержание FeO в ядре изменяется (в вес. %) в диапазоне 0.29–0.73, MgO – 22.34–25.33; в камерке прокрашивания содержание (в вес. %) FeO составляет 0.29–0.94, MgO – 20.37–24.64 (см. табл. 2). Как видно, в россыпном нефрите, по сравнению с коренным нефритом, повышено содержание FeO, а содержание MgO приблизительно одинаковое.

Геохимические исследования позволили провести сравнение коренного и россыпного нефритов аподоломитового типа Витимского нагорья. Анализ химического состава ядер аллювиального нефрита р. Ципа и его предполагаемого коренного источника – аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения [Кислов и др., 2023б] показал общие тенденции в поведении петрогенных элементов (рис. 7). Это может являться подтверждением их генетической связи, а также тезиса о соответствии химического состава нефрита в ядерной (центральной) части аллювиальных галек и в коренном источнике. По сравнению с коренным нефритом, ядра аллювиальных галек обогащены алюминием, калием и марганцем (см. рис. 7). При этом марганца во всех образцах россыпного нефрита в десятки раз больше, чем в коренном нефрите.

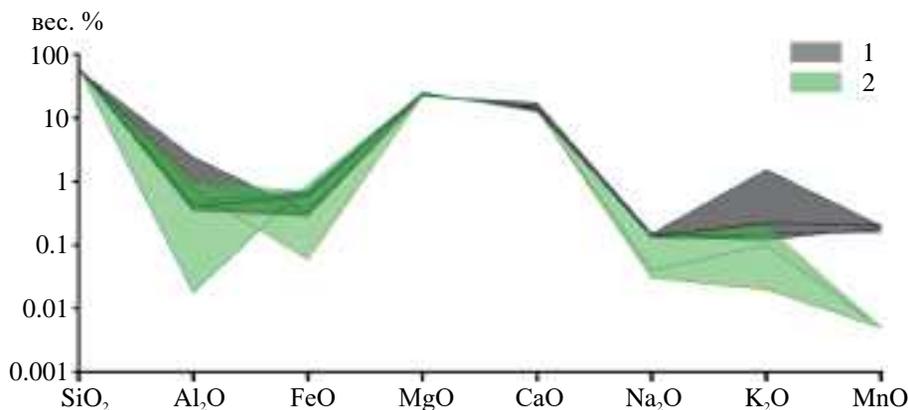


Рис. 7. Химический состав ядер россыпного нефрита р. Ципа (1) и коренного нефрита Кавоктинского месторождения (2), из работы [Гомбоев и др., 2017].

Величины содержания микроэлементов в россыпном нефрите р. Ципа и коренном нефрите Кавоктинского месторождения [Кислов и др., 2023б] близки и характеризуются общими закономерностями поведения (рис. 8а), что является еще одним подтверждением их генетического родства. При этом в россыпном нефрите повышено содержание Be, Ti, Cr, Rb, Y, Zr, Nb, Ba, Th, U, Cu, Zn, Sb, Ni, Ge, Mo, а в коренном – Li, Sc, Sr, Cs, W, As, Cd, Pb, Co, U и Pb. Ранее установлено [Liu Y. et al., 2011; Siqin et al., 2012], что величины содержания Cr, Ni, Co в нефрите можно использовать для выяснения генезиса нефрита. Так, в апосерпентинитовом нефрите содержание (в г/т) этих элементов изменяется в пределах: Cr – 900–2812, Ni – 958.7–1898, Co – 42–207; тогда как в аподоломитовом нефрите их концентрации на 1–2 порядка ниже: соответственно 2–179, 0.05–471, 0.5–10 [Liu et al., 2011; Siqin et al., 2012]. Подобный же вывод следует из данных атомно-эмиссионного спектрального анализа коренного аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения, где содержание Cr достигает 9 г/т, Ni – 8–9.5 г/т, Co – 6–9.8 г/т, а по данным метода ICP-MS (в г/т): Cr – 2.4–15, Ni – 6–11, Co – 4–6 [Кислов и др., 2023б]. В ядре россыпного нефрита р. Ципа содержится (в г/т): Cr – 4–18, Ni – 11–30 и Co – 0.5–1.8, а в каемке прокрашивания соответственно 3–10, 12–18 и 0.7–3.4 (см. табл. 3), что соответствует содержанию этих элементов в аподоломитовом нефрите коренного месторождения.

Характеристики РЗЭ также могут использоваться как индикатор аподоломитовой природы нефрита. Россыпной аподоломитовый нефрит р. Ципа характеризуется отрицательной европейской аномалией, правосторонним наклоном диаграммы распределения и незначительным содержанием РЗЭ. Апосерпентинитовый нефрит из

провинции Цинхай, Тайвань и месторождения Манас в Синьцзян-Уйгурском автономном округе КНР характеризуется значительно повышенным суммарным содержанием РЗЭ 2200–3000 г/т, U-образным профилем распределения РЗЭ и отчетливо выраженной положительной европейской аномалией, что отражает его происхождение за счет ультраосновных пород [Siqin et al., 2014]. Диаграммы распределения РЗЭ для россыпного нефрита р. Ципа и коренного нефрита Кавоктинского месторождения имеют общее сходство (см. рис. 8б). Сумма РЗЭ в ядре россыпного нефрита составляет 3.48–28.67 г/т, в каемке прокрашивания – 2.85–26.60 г/т, а в коренном нефрите всего 1.30–2.16 г/т. Таким образом, россыпной нефрит отличается повышенным содержанием РЗЭ относительно коренного нефрита, а тенденции распределения кривых РЗЭ в исследованных гальках указывают на аподоломитовое происхождение нефрита.

В ходе выполненных исследований и анализа полученных результатов впервые установлены диагностические критерии коренного и россыпного нефрита Витимского нагорья (табл. 4). Для коренного нефрита характерны разнообразные структуры агрегатов и широкий набор акцессорных минералов. Россыпной нефрит, в свою очередь, обладает приобретенной каемкой прокрашивания, мелкозернистостью ядра и характеризуется спутанно-волокнутой структурой, небольшим количеством акцессорных минералов, повышенным содержанием щелочей и РЗЭ. Каемка прокрашивания отличается среднезернистой структурой, в ней присутствуют новообразованные гидроксиды марганца и железа, существенно увеличивается содержание трехвалентного железа (Fe^{3+}), кобальта и бария.

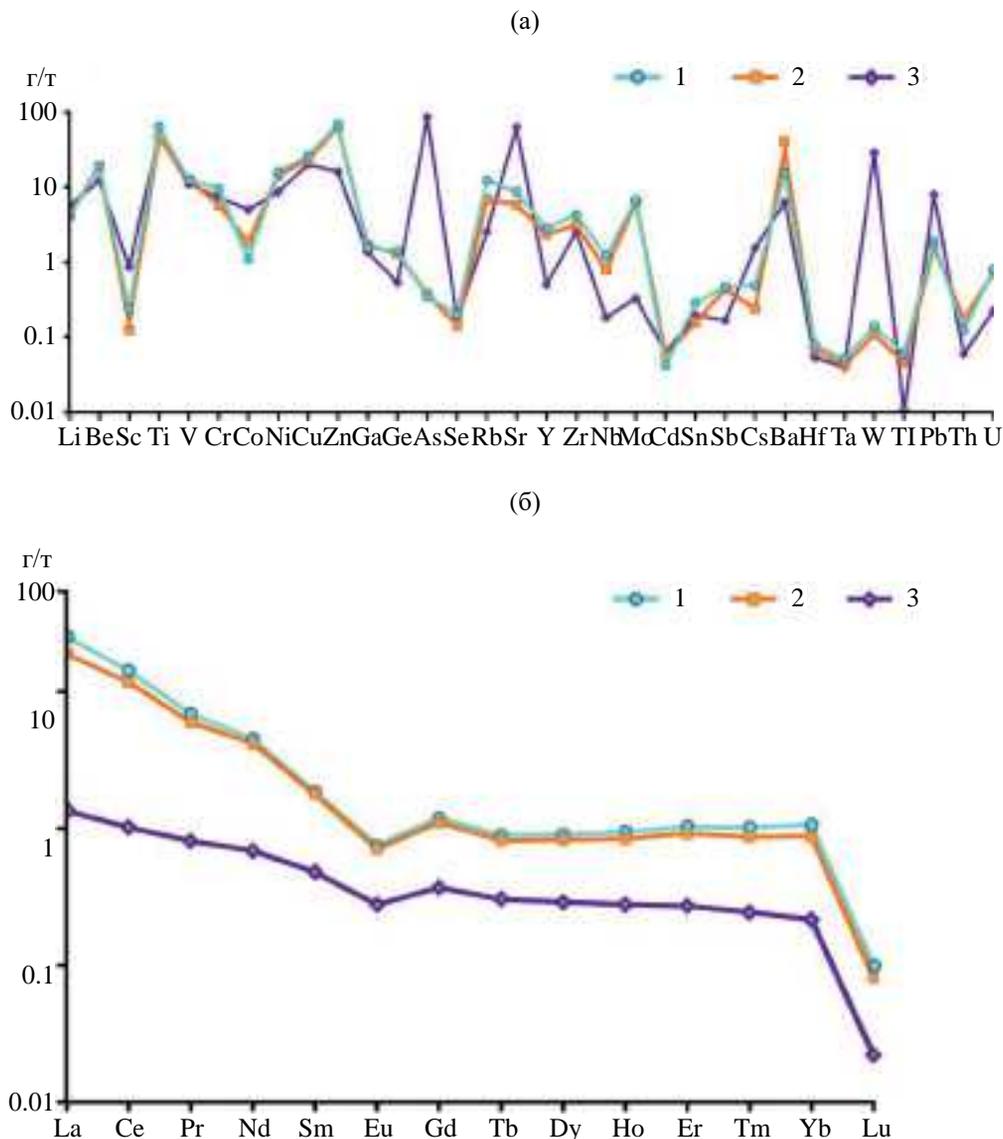


Рис. 8. Среднее содержание рассеянных элементов (а) и РЗЭ (б) в россыпном и коренном нефрите Витимского нагорья. 1 – ядро россыпного нефрита р. Ципа; 2 – каемка прокрашивания россыпного нефрита р. Ципа; 3 – коренной нефрит Кавоктинского месторождения, из работы [Кислов и др., 2023].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россыпной нефрит относится к ювелирно-поделочному сырью высочайшего качества. Благодаря естественному обогащению в экзогенной среде образовались аллювиальные гальки практически мономинерального тремолитового состава. При водно-ледниковой транспортировке галек в четвертичный период и воздействии экзогенных процессов в пределах Витимского нагорья, нефрит подвергается интенсивным изменениям с образованием каемки прокрашивания. Небольшое количество аксессуарных минералов вместе с мелкозернистой структурой и разнообразием окраски ядра, развитой каемкой прокрашивания

с дендритами марганца формируют высокохудожественные и декоративные свойства россыпного нефрита с ядром ювелирного качества. Чем больше железа и марганца в коренном нефрите, тем более интенсивно проявлены вторичные преобразования на его поверхности. Содержание железа и марганца в большинстве образцов возрастает от ядра к каемке прокрашивания, что связано с образованием гидроксидов железа и марганца в процессах окисления в экзогенных условиях.

Впервые проведенные с помощью высокоточных методов исследования аллювиального нефрита р. Ципа Витимского нагорья позволили сделать следующие основные выводы.

Таблица 4. Диагностические признаки аподоломитового нефрита Витимского нагорья

Диагностические признаки		Нефрит		
		Коренной	Россыпной	
			ядро	каемка прокрашивания
Минеральный	Главные минералы	Тремолит, актинолит, диопсид		
	Акцессорные минералы	Форстерит, эпидот, доломит, хроммагнетит, титанит, скаполит, циркон, апатит, кальцит, флогопит, ангидрит, барит, галенит, молибденит, пирит, сфалерит, флюорит, шеелит, хлорит, серпентин и др.	Хлорит, флогопит, антигорит	Хлорит, флогопит, магнетит, гидроксиды Mn, Fe
Структурно-текстуальный	Структура	Фибробластовая, микроволокнистая, спутанно-микроволокнистая, радиально-лучистая, петельчатая, реликтовая, псевдоморфная	Спутанно-волокнистая	Спутанно-волокнистая
	Текстура	Среднезернистая	Мелкозернистая	Среднезернистая
Геохимический	Макроэлементы	Fe ²⁺		Fe ²⁺
		Эндогенное обогащение щелочными компонентами при метасоматозе		Эндогенное обогащение щелочными компонентами при метасоматозе
	Микроэлементы	РЗЭ	Σ РЗЭ 1.30–2.16 г/т	Σ РЗЭ 2.85–28.67 г/т
			Общие тенденции: отрицательная европиевая аномалия, правосторонний наклон кривых РЗЭ, умеренное обогащение легкими РЗЭ, пологий профиль распределения тяжелых РЗЭ	
	Кластерные группы элементов	Рассеянные	Повышенное содержание Li, Sc, Sr, Cs, As, Cd, Pb, Co	Повышенное содержание Ti, Cr, Rb, Sr, Y, Nb, Mo, Sn, Cs, Dy, Ho, Er, Ta, Pb, U
—		Si – O; Ca – Mg; Al – Fe – Mn – K – Na		

1) Получены первые данные о минеральном составе внутренней и внешней частей аллювиальных галек аподоломитового нефрита. Мелкозернистость преобладающего в их составе тремолита и небольшое количество акцессорных минералов являются основными характерными признаками высококачественного россыпного нефрита.

2) Выявлены особенности химического состава каёмок прокрашивания в нефритовых гальках и установлена генетическая связь россыпного нефрита с коренным нефритом Кавоктинского месторождения. Химический состав россыпного

и коренного нефрита характеризуется близкими величинами содержания Cr, Ni, Co, однотипными кривыми распределения РЗЭ с небольшой отрицательной Eu-аномалией.

3) Выработаны диагностические признаки для поисков и идентификации россыпного нефрита.

Проблема влияния экзогенной среды на образование декоративных разностей россыпного нефрита требует продолжения дальнейших высокоточных исследований для достоверной экспертной оценки данного вида ювелирно-поделочного сырья.

БЛАГОДАРНОСТИ

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бортников Н.С., Волков А.В., Лаломов А.В., Бочнева А.А., Иванова Ю.Н., Лаломов Д.А. Роль россыпных месторождений в обеспечении воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья России на современном этапе // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024. Т. 24. ES1012.

Гомбоев Д.М., Андросов П.В., Кислов Е.В. Кавоктинское месторождение светлоокрашенного нефрита: условия залегания и особенности вещественного состава // *Разведка и охрана недр*. 2017. № 9. С. 44–50.

Деревянко А.П., Тан Ч., Комиссаров С.А., Ци П. Разные цвета нефрита // *Наука из первых рук*. 2019. № 2. С. 52–69.

Игнатов П.А., Хэн Ч. Типы россыпей нефрита Кунь-Луна и прилегающей Таримской депрессии Китая // *Известия вузов. Геология и разведка*. 2015. № 3. С. 26–34.

Кислов Е.В. Минерально-сырьевая база нефрита: проблемы и решения // *Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал* // *Материалы V Международной конференции*. Гремячинск: Бурятский государственный университет, 2017. С. 152–156.

Кислов Е.В., Попов М.П., Нурмухаметов Ф.М., Посохов В.Ф., Вантеев В.В. Нефрит месторождения Нырдовоменшор, Полярный Урал // *Литосфера*. 2023а. № 2. С. 270–291. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-270-291>

Кислов Е.В., Худякова Л.И., Николаев А.Г. Отходы переработки аподоломитового нефрита и направление их использования // *Горные науки и технологии*. 2023б. Т. 8. № 2. С. 195–206.

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Вантеев В.В. Минеральный состав и модель формирования аподоломитового нефрита Воймаканского месторождения, Средне-Витимская горная страна // *Литосфера*. 2024. Т. 24. № 4. С. 609–628. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2024-24-4-609-628>

Кокунин М.В. Нефрит // *Цветные камни Трансбайкальского региона*. 2024. http://lavrovit.ru/?page_id=529 (дата обращения 04.11.2024)

Солоненко В.П. Цветные и поделочные камни Восточной Сибири // *Тр. Иркутского университета. Сер. геол.* 1959. Т. 14. № 4. С. 41–55.

Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. Месторождения нефрита. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 377 с.

Jing Y., Liu Y. Genesis and mineralogical studies of zircons in the Alamas, Yurungkash and Karakash Rivers nephrite deposits, Western Kunlun, Xinjiang, China // *Ore Geology Reviews*. 2022. V. 149. P. 105087.

Kislov E.V. Kavokta Deposit, Middle Vitim Mountain country, Russia: composition and genesis of dolomite type nephrite // *Geosciences*. 2024. V. 14. P. 303

Kislov E.V., Popov M.P., Nurmukhametov F.M., Posokhov V.F., Vanteev V.V. Nyrdivomenshor nephrite deposit, Polar Urals, Russia // *Minerals*. 2023. V. 13. P. 767. <https://doi.org/10.3390/min13060767>

Liu Y., Deng J., Shi G.H. et al. Chemical zone of nephrite in Alamas, Xinjiang, China // *Resource Geology*. 2010. V. 60(3). P. 249–259.

Liu Y., Deng J., Shi G., Sun X., Yang L. Geochemistry and petrogenesis of placer nephrite from Hetian, Xinjiang, Northwest China // *Ore Geology Reviews*. 2011. V. 41(1). P. 122–132.

Liu Y., Deng J., Shi G. et al. Geochemistry and petrology of nephrite from Alamas, Xinjiang, NW China // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2011. V. 42(3). P. 440–451.

Liu Y., Zhang R., Zhang Zh. et al. 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*. 2015. V. 212–215. P. 128–144.

Liu Y., Zhang R.-Q., Maituohuti A. et al. 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 Geology Reviews*. 2016. V. 72(1). P. 699–727.

McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. V. 120. P. 223–253.

Mustoe G.E. Pleistocene glacial transport of nephrite jade from British Columbia, Canada, to Coastal Washington State, USA // *Geosciences*. 2024. V. 14. P. 242.

Siqin B., Qian R., Zhou S.J., Gan F.X., Dong M., Hua Y.F. Glow discharge mass spectrometry studies on nephrite minerals formed by different metallogenic mechanisms and geological environments // *Int. J. Mass Spectrom.* 2012. V. 309. P. 206–211.

Zhang C., Yang F., Yu X., Liu J., Carranza E.J.M., Chi J., Zhang P. Spatial-temporal distribution, metallogenic mechanisms and genetic types of nephrite jade deposits in China // *Frontiers in Earth Science*. 2023. V. 11. P. 1047707.

Zheng F., Liu Y., Zhang H. The petrogeochemistry and zircon U-Pb age of nephrite placer deposition Xiuyan, Liaoning // *Rock and Mineral Analysis*. 2019. V 38(4). P. 438–448.

FIRST MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL DATA ON PLACER NEPHRITE OF THE VITIM HIGHLANDS, REPUBLIC OF BURYATIA

V. F. Sotnikova^{1,*}, R. Kh. Sungatullin^{1,**}, E. V. Kislov^{2,***}

¹ *Kazan Federal University, Kremlyovskaya str., 18, Kazan, 420008 Russia*

² *Dobretsov Geological Institute SB RAS, Sakhyanova str., 6a, Ulan-Ude, 670047 Russia*

**e-mail: vasilina0917@gmail.com*

***e-mail: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru*

****e-mail: evg-kislov@ya.ru*

The material composition of placer (alluvial) dolomite-related nephrite from the Tsipa River in the nephrite-bearing region of the Vitim Highlands has been examined. Initial data on the mineral composition of both the inner and outer zones of alluvial dolomite-related nephrite pebbles have been obtained. Placer nephrite is characterized by a developed staining rim, a small amount of accessory minerals, fine-grained texture, randomly fibrous structure, and elevated alkali content. Chemical composition features of the staining rim formed under exogenous conditions include the development of manganese and iron hydroxides, with a significant increase in Fe³⁺ content and elevated levels of Co and Ba. A genetic relationship has been established between the placer nephrite and its primary source, the nephrite from the Kavoktinskoe deposit. A comparison between primary and placer dolomite-type nephrite has led to the identification of diagnostic characteristics for conducting expert assessments.

Keywords: placer nephrite, pebble, staining rim, electron microscopy, X-ray diffraction, Vitim Highlands