

«распыленного» магматизма. Только на территории Забайкалья к настоящему времени выделено более двухсот рифтогенных впадин, сложенных разнообразными вулканическими и осадочными комплексами. Завершение мезозойского этапа развития региона выражено максимальным проявлением магматических пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых. В первую очередь следует отметить формирование в южных районах Западного Забайкалья протяженного пояса проявлений и месторождений молибденовых и вольфрамовых руд, а также бериллиевоносной и карбонатитовой провинций.

С киммерийским этапом связаны промышленные концентрации бериллия (Ермаковское, Оротское, Ауник, Амандак и др.), стронция, флюорита и редких земель (Халютинское, Аршанское, Наранское, Эгитинское, Акитское и др.). В это время сформировано профилирующее на территории Забайкалья вольфрамовое (Холтосонское, Булуктаевское, Инкурское, Бом-Горхонское и др.), молибденовое (Первомайское, Ореkitканское), медно-молибденовое (Телемба, Малло-Кударинское) и урановое (Стрельцовская группа месторождений, Хиагда) оруденение.

Заключение

Приведенные материалы по геодинамическим условиям формирования важнейших месторождений полезных ископаемых в пределах байкальской, каледонской, герцинской и киммерийской подвижных областей Саяно-Байкальской складчатой области полностью подтверждают вывод о том, что каждой категории активных зон Земли свойствен строго определенный набор формационных типов магматических пород, находящихся между собой в закономерных сочетаниях, в результате чего в каждой геодинамической обстановке возникает своя, только ей присущая магматическая и соответственно металлогеническая зональность.

Новые фактические материалы по геодинамике и минерации представляют собой научные основы формирования минерально-сырьевой базы Саяно-Байкальского региона, которые на современном уровне могут быть эффективно использованы при строительстве промышленных горно-обогатительных комбинатов, а также при проведении поисково-оценочных работ как на ранее известных, так и на новых объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордиенко, И.В. Геодинамическая эволюция поздних байкалид и палеозойд складчатого обрамления юга Сибирской платформы / И.В. Гордиенко // Геология и геофизика. — 2006. — Т. 47. — № 1. — С. 53–70.
2. Гордиенко, И.В. Геодинамические обстановки и металлогения Саяно-Байкальской горной области / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, Д.А. Орсов // Отечественная геология. — 2013. — № 3. — С. 7–15.
3. Гордиенко, И.В. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее-палеозое / И.В. Гордиенко, А.Н. Булгатов, С.В. Руженцев, О.Р. Минина, В.С. Климук, Л.И. Ветлужских, Г.Е. Некрасов, Н.И. Ласточкин, В.С. Ситникова, Д.В. Метелкин, Т.А. Гонегер, Е.Н. Лепехина // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51. — № 5. — С. 589–614.
4. Гордиенко, И.В. Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах Палеоазиатского океана / И.В. Гордиенко, Д.В. Метелкин // Геология и геофизика. — 2016. — Т. 57. — № 1. — С. 91–108.

5. Гордиенко, И.В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения / И.В. Гордиенко, П.А. Рошкетаев, Д.В. Гороховский // Геология рудных месторождений. — 2016. — № 5. — С. 405–429.
6. Гордиенко, И.В. Джидинская островодужная система Палеоазиатского океана: строение и основные этапы геодинамической эволюции в венде-палеозое / И.В. Гордиенко, А.В. Филимонов, О.Р. Минина, М.А. Горнова, А.Я. Медведев, В.С. Климук, А.Л. Елбаев, О. Томуртоого // Геология и геофизика. — 2007. — Т. 48. — № 1. — С. 120–140.
7. Кузьмин, М.И. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формировании эндогенных месторождений / М.И. Кузьмин, В.В. Ярмолук // Геология и геофизика. — 2014. — Т. 55. — № 2. — С. 153–184.
8. Кузьмичев, А.Б. Неопротерозойские островные дуги Восточного Саяна: длительность магматической активности по результатам датирования вулканокластиков по цирконам / А.Б. Кузьмичев, А.Н. Ларионов // Геология и геофизика. — 2013. — Т. 54. — № 1. — С. 45–57.
9. Хераскова, Т.Н. Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана / Т.Н. Хераскова, В.А. Буш, А.Н. Диденко, С.Г. Самыгин // Геотектоника. — 2010. — № 1. — С. 5–28.
10. Цыганков, А.А. Магматическая эволюция Байкало-Муйского вулканоплутонического пояса в позднем докембрии / А.А. Цыганков. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. — 306 с.
11. Цыганков, А.А. Геодинамика позднепалеозойского батолитообразования в Западном Забайкалье / А.А. Цыганков, Г.Н. Бурмакина, В.Б. Хубанов, М.Д. Буянтуев // Петрология. — 2017. — Т. 25. — № 4. — С. 395–418.
12. Цыганков, А.А. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования) / А.А. Цыганков, Б.А. Литвиновский, Б.М. Джань, М. Рейков, Д.И. Лю, А.Н. Ларионов, С.Л. Пресняков, Е.Н. Лепехина, С.А. Сергеев // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51. — № 9. — С. 1249–1276.

© Гордиенко И.В., Цыганков А.А., 2017

Гордиенко Иван Власович // gord@pres.bscnet.ru
Цыганков Андрей Александрович // tsygan@gin.bscnet.ru

УДК 553.89

Гомбоев Д.М., Андросов П.В. (АО «Забайкальское горнорудное предприятие»), Кислов Е.В. (ГИН СО РАН)

КАВОКТИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ СВЕТЛО-ОКРАШЕННОГО НЕФРИТА: УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

«Золото имеет цену, нефрит же бесценен»
Древняя китайская поговорка

«Нефрит как сила познания, ибо гладок и блестит. Он как справедливость, ибо у него острые края, но они не режут... Он как правдивость, ибо не скрывает изъянов, которые лишь усиливают его красоту. Он как земля, а его стойкость рождена горами и водой»

Конфуций

Охарактеризовано геологическое строение и качественные показатели нефрита Кавоктинского месторождения апкарбонатного светлоокрашенного нефрита в Средне-Витимской горной стране. Показана зависимость качества и цвета нефрита от химического состава, определяемого вмещающими породами и гипергенными процессами. **Ключевые слова:** нефрит, Кавоктинское месторождение, вмещающие породы, элементы-хроматофоры.

KAVOKTA DEPOSIT OF LIGHT-COLORED JADE:
OCCURRENCE AND CHARACTERISTICS OF THE
COMPOSITION

*The geological structure and nephrite quality indicators of Kavokta deposit of the apocarbonate light nephrite, Middle-Vitim highland, is characterized at the article. A dependence of nephrite quality, first of all colors, from the chemical composition determined by the wall rocks and hypogene processes is shown. **Keywords:** nephrite, Kavokta deposit, wall rocks, elements chromophores.*

Нефрит — один из наиболее востребованных цветных камней, что определяется традиционными эстетическими предпочтениями многочисленного населения Юго-Восточной Азии, прежде всего Китая. Учитывая устойчивый экономический рост и огромную емкость этого сектора рынка, предполагается опережающий спрос на нефрит на длительную перспективу. Традиционно считается, что лучший зеленый нефрит в мире добывается на Оспинском месторождении в Восточных Саянах, а белый — на Кавоктинском в Средне-Витимской горной стране. Белый нефрит (цвета свиного сала — белый непрозрачный, водянисто-белый просвечивающий, желтоватый) Кавоктинского месторождения в Китае имеет наиболее высокую художественную ценность и существенно превышает по стоимости нефрит других цветовых тонов. В связи с этим актуально изучение условий залегания и особенностей вещественного состава наиболее высококачественных сортов белого нефрита Кавоктинского месторождения.

Нефрит — плотный вязкий скрытокристаллический спутано-волокнистый агрегат моноклинного амфибола тремолит-актинолитового изоморфного ряда, отвечающего химической формуле $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2]$. Месторождения нефрита подразделяются на два эндогенных геолого-промышленных типа: апосерпентинитовых метасоматитов офиолитов (апоультрамафитовый, иногда выделяют также апомафитовый [3]) и аподоломитовых тремолит-кальцитовых магнезиальных скарнов (апокарбонатный). При этом существуют различные точки зрения на роль метасоматических или динамометаморфических процессов в нефритообразовании. Месторождения первого типа (источник зеленого нефрита) сосредоточены на юго-западе Бурятии: Окинский, Тункинский, Закаменский районы, за исключением Парамского месторождения на северо-востоке в Муйском районе. Месторождения второго типа вмещают более редкий и дорогостоящий светлоокрашенный нефрит и группируются на северо-востоке Бурятии в Баунтовском эвенкийском и Муйском районах (рис. 1). К экзогенным относится формация россыпей, как правило, аллювиальных, обычно тесно связанных с коренными источниками.

В 1970-е годы начались планомерные поиски месторождений нефрита. В результате выполнения тематических геолого-поисковых работ сформулированы основ-

ные прогнозно-поисковые признаки месторождений. Для нефритов апосерпентинитового и апокарбонатного типов общими признаками являются следующие:

большинство месторождений образуется на границе сред (серпентинит / родингит или альбитит; мрамора, скарны / граниты);

нефрит образуется в результате инфильтрационно-диффузионного метасоматоза на контакте магнезиально-силикатных (магнезиально-карбонатных) и алюмосиликатных пород в результате циркуляции горячих растворов, приносящих химические соединения как из глубинных магматических очагов, так и из контактирующих пород;

образование спутано-волокнистой структуры нефрита обусловлено стрессовым давлением [2].

Апокарбонатный нефрит образуется в результате инфильтрационно-диффузионного кремниевого метасоматоза по доломитовым мраморам на контакте с гранитоидами. Процесс нефритообразования связан с образованием зон скарнирования. По минеральному парагенезису метасоматические образования относятся к низкотемпературной (350–400°) фации известковистых скарнов, а широкое развитие тремолита и диопсида связано с высокой магнезиальностью среды. Скарнирующие флюиды представляют, вероятно, надкритические гидротермальные растворы магматического происхождения, о чем свидетельствует повышенное содержание фтора в апокарбонатных нефритах. В последнее время появились данные о метеорном прохождении флюида, т.е. гранитам отводится в основном роль формирования рециклинга [1]. Нефритообразование отмечается только в мелких ксенолитах доломитовых мраморов среди гранитов. Мощные толщии доломитов, несмотря на протяженный контакт с гранитами, подвержены перекристаллизации и незначительной тремолитизации. Немаловажным фактором являются зоны тектонических нарушений, трещиноватости, во многом определяющих локализацию залежей и являющихся путями проникновения (циркуляции) гидротермально-метасоматических растворов [2].

На основе поисково-оценочных работ были сформулированы следующие поисковые критерии:

развитие интрузивно-анатектических субщелочных калиево-натриевых весьма высокоглиноземистых гранитоидов;

наличие мелких ксенолитов доломитов;

развитие на контакте гранитов и доломитов процессов среднетемпературного скарнирования со следующей метасоматической зональностью: доломитовый мрамор — нефритсодержащий кальцит — тремолитовый скарн — пироксен — амфибол — клиноцоизитовый скарн — амфиболиты [2].

Кавоктинское месторождение нефрита относится к апокарбонатному типу. Расположено в пределах Витимского нефритоносного района в составе Сибирской нефритоносной провинции. Оно имеет длительную историю геологического изучения. Первые сведения о наличии светлоокрашенного нефрита в бассейне р. Кавокта были получены в 1983 г. в результате про-



Рис. 1. Сибирская нефритоносная провинция. Крупными квадратами обозначены месторождения, мелкими — проявления, зелеными — апоультрамафитового нефрита, наполовину зелеными — апокарбонатного. Восточно-Саянский нефритоносный район. Месторождения: 1 — Уланходинское, 2 — Оспинское, 3 — Горлыкгольское, 4 — Арахушанжалгинское. Проявления: 1 — Бортогольское, 2 — Зуноспинское, 3 — Сагансайское, 4 — Хундыгольское. Джидинский нефритоносный район. Месторождения: 5 — Хамархудиное, 6 — Хангарульское, 7 — Харгантинское, 8 — Болдокитское, 9 — Хохюртовское. Витимский нефритоносный район. Месторождения: 10 — Буромское, 11 — Голюбинское, 12 — Кавоктинское, 13 — Хойтинское. Проявления: 5 — Парамское, 6 — Келянское, 7 — Александровское, 8 — Удоканское, 9 — Воймаканское

ведения экспедицией «Байкалкварцсамоцветы» поисковых работ на нефрит в нижнем течении р. Ципа. В поисковом маршруте в русловых отложениях р. Кавокта В.И. Стругов и В.Я. Беляев выявили и оконтурили ореол распространения валунов светлоокрашенного нефрита. В 1984–1993 гг. в бассейне верхнего течения р. Кавокта был проведен комплекс геологоразведочных работ. В результате было открыто, оценено и разведано Кавоктинское коренное месторождение светлоокрашенного нефрита, представленное двумя участками: Прозрачный и Медвежий. Месторождение было передано в промышленную разработку в 1994 г. С 2007 г. предыдущим недропользователем семейно-родовой эвенкийской общиной «Дылача» проводилась эксплуатационная разведка месторождения, пополнялся баланс запасов.

Начиная с 2014 г. на месторождении проводится комплекс геологоразведочных работ действующим недропользователем АО «Забайкальское горнорудное предприятие». По результатам этих работ дано достаточно полное геолого-минералогическое описание всех типов пород, развитых в пределах месторождения, структурно-тектонических особенностей, вещественного состава и технологических характеристик нефрита. Информация об особенностях геологического строения месторождения приводится по фондовым материалам, результатам разведки и эксплуатации 2014–2017 гг.

В геологическом строении района принимают участие архейские и верхнепротерозойские метаморфические породы, юрские и меловые отложения, слагающие участки среди разновозрастных гранитоидов. Широким распространением пользуются четвертичные отложения. К образованиям архейского возраста

отнесены кристаллические сланцы, гнейсы, мраморы и кальцифиры, метаморфизованные в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций, залегающие без видимого углового несогласия друг на друге.

Рудовмещающие и содержащие выявленные месторождения апокарбонатного нефрита — породы суванихинской свиты витимканской серии верхнего протерозоя. Общая мощность свиты более 900 м. Породы толщи слагают изолированные участки на левобережье р. Ципа. Наибольшие по площади участки расположены в среднем и верхнем течении ее притока — р. Кавокта. К ним приурочено собственно Кавоктинское месторождение нефрита. На месторождении развиты амфиболиты, метапесчаники, порфирированные и крупнозернистые граниты, кристаллосланцы, доломитовые мраморы, диориты, эпидот-тремолитовые и кальцит-тремолитовые скарны витимканского комплекса. 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, которые имеют незначительные размеры и крайне сложную морфологию. Нефрит в залежах образует различных размеров гнезда, линзы, прослои, прожилки, обособления.

Внешне кальцит-тремолитовые скарны — это белые, массивные, полосчатые, пятнистые, рассланцованные скрытокристаллические породы. Сложены агрегатом тонкозернистого, тонколучистого кальцита и волокнистого тремолита. Количественные соотношения между ними в диапазоне 0–100 %. Второстепенные минералы — серпентин, рудные (до 2 %).

Обособления мономинерального нефрита в пределах зон скарнирования характеризуются прожилковой и линзовидной формами малой мощности (от 1 мм до первых см). Крупные, представляющие промышленный интерес обособления нефрита, как правило, имеют четкие контакты с кальцит-тремолитовыми скарнами, часто сопровождаются зеркалами и бороздами скольжения, по которым развивается длиноволокнистый тремолит. Месторождение представлено мелкими телами с резко изменчивой мощностью и весьма неравномерным распределением сырья.

Участок Прозрачный

Нефритоносная зона 1 (залежи № 1, 4, 9)

Залежь № 1 имеет сложную морфологию с пережимами, раздувами и расположена вблизи контакта ксенолита доломитовых мраморов с эпидотизированными амфиболитами. Вскрыта на глубину 15 м. Представляет мономинеральное нефритовое тело с тектоническими контактами. Длина 15 м, мощность 0,2–2,8 м, падение крутое на юго-запад под углом 60–70°. На глубине характерна сложная пропеллереобразная морфология за счет изменения углов падения от 20 до 65°. Отмечаются две системы крутопадающих трещин субширотного и северо-западного простирания, разбивающие нефрит, а также вмещающие породы на плоскопараллельные блоки толщиной 5–15 см и длиной 70–80 см. Окраска

нефрита от голубовато-серой до грязно-зеленой за счет примесей (до 7–10 %) хлорита, амфибола, эпидота.

Залежь № 4 имеет сложную морфологию, расположена вблизи контакта мраморов с амфибол-эпидотовыми породами. Сложена кальцит-тремолитовыми скарнами, линзами и блоками мономинерального нефрита. Падение залежи крутое — 70–80°. С глубиной содержание нефрита сокращается, увеличивается трещиноватость. В западной части залежи нефрит образует мономинеральное тело длиной до 15 м, мощностью 0,1–1,6 м, на контактах — тектонические трещины с зеркалами скольжения. Окраска нефрита салатно-зеленая, светло-зеленая, серовато-голубоватая. В восточной части залежь представлена в основном кальцит-тремолитовыми скарнами с незначительными прожилками нефрита мощностью до 10 см. Трещинами нефрит разбит на плитообразные блоки размерностью 0,1×0,3×0,4 м. На данный момент залежь № 4 отработана.

Залежь № 9 представлена линзообразной зоной скарнирования мраморов и приурочена к контакту мраморов и эпидотизированных амфиболитов. Кальцит-тремолитовые скарны слагают большую часть залежи. Нефрит образует прожилки, гнезда, линзы различной формы и размеров (до 1–2 м). Залежь вскрыта карьером на глубину 15 м. Ее протяженность около 60 м, мощность до 4 м, падение на юго-запад под углом 25–80°. Нефрит светло- и салатно-зеленого цвета, интенсивно трещиноватый (разбит трещинами на пластины 1–5 см).

Нефритоносная зона 2 (залежи № 2, 3, 5–8, 10–14)

Зона выявлена в 1984 г. поисковыми работами, оконтурена полностью с поверхности горными выработками, скважинами до глубины 15 м (в центральной и восточных частях). Протяженность зоны около 500 м, ширина до 100–120 м, простирание — субширотное.

Залежь № 7 представляет линзовидное сложноветвящееся нефритовое тело с включением в нем линзовидных блоков эпидот-тремолит-роговообманковых скарнов. Длина вскрытой части залежи 16 м, мощность 0,1–1,0 м, простирание субширотное, падение на юг, юго-восток 20–60°. Залежь вскрыта уступами карьера на глубину до 10 м. На глубине она распадается на ряд маломощных жил с общим тяготением к ксенолиту мраморов (суммарная мощность залежи составляет от 0,5 до 3,0 м). Залежь № 7 была полностью отработана в ходе добычных работ.

Участок Медвежий (нефритоносные зоны 3, 4, 5)

Нефритоносная зона № 3 (залежи № 19, 20)

Залежь № 19 объединяет серию блоков мономинерального нефрита и зон скарнирования. Строение залежи сложное. Она имеет восточное падение с азимутом 85° под углом 56–60°. Вскрыта расчистками на длину 22 м. На глубину до 10 м вскрыта скважинами по сети 10×5 м. Нефрит плотный, в приконтактных частях незначительно рассланцованный, окраска от салатно-зеленой до ярко-коричневой. Крутопадающими трещинами разбит на плитообразные блоки толщиной 3–15 м, в отдельных блоках нефрит низкого качества — темно-зеленый, рассланцованный, трещиноватый.

Залежь № 20 представляет собой маломощную (0,8–2,5 м) субмеридионально вытянутую зону скарнирования мраморов длиной 20 м на контакте с амфибол-эпидотовыми породами, амфиболитами, эпидозитами. Приурочена к контакту двух линзовидных тел мраморов, сложно ветвится в плане и на глубину. Внутреннее строение залежи характеризуется неравномерным распределением линз и блоков нефрита в кальцит-тремолитовых скарнах. Залежь вскрыта до глубины 10 м, разбурена по сети 10×5 м. Качество нефрита высокое.

Общая протяженность продуктивной зоны залежей № 19, 20 составляет 42 м, при ширине 5–13 м на поверхности. Сложное строение обусловлено серией небольших (5–8 протяженностью до 7–15 м) удлинённых ксенолитов карбонатных пород, ориентированных в субмеридиональном направлении, расположенных в толще амфиболитов. По периферии ксенолитов развиты зоны кальцит-тремолитовых скарнов, содержащих мономинеральный нефрит. Морфология зон скарнирования весьма прихотливая, характерны резкие раздувы и пережимы мощности, быстрое выклинивание как по падению, так и по простиранию, изменение углов падения (как по площади, так и на глубину).

Залежь № 22 представлена серией сближенных зон нефритоносных кальцит-тремолитовых скарнов, развивающихся на периферии мелких блоков мраморов. Протяженность юго-восточной части залежи около 25 м при максимальной ширине до 7 м. Простирание северо-западное, падение на северо-восток под углами 60–70°. Выявлено развитие карста вблизи зоны тектонического нарушения. Залежь изучена до глубины 8 м. Нефрит образует мономинеральные скопления различных размеров линзовидной и каплевидной форм, характеризуется бежевыми, светло-кремовыми до белого тонами окраски.

Нефритоносная зона № 4 (залежи № 15, 16)

Зона является юго-восточным продолжением зоны № 3, отделенной разломом субширотного простирания. Характерна насыщенность телами гранитоидов.

Залежь № 15 представляет собой ряд разрозненных тел нефрита линзообразной и блоковой формы в зоне скарнирования амфиболитов. Зона скарнирования ориентирована субмеридионально и сложена кальцит-тремолитовыми скарнами. Длина зоны скарнирования до 17 м, ширина от 0,2 до 3–5 м. Нефрит расланцованный, окраска зеленовато-серая.

Нефритоносная зона № 5 (залежь № 18)

Залежь № 18 имеет сложную морфологию и расположена на контакте линзы мраморов с эпидот-тремолитовыми породами, а также микролинизированными амфиболитами. Простирание залежи 320°, длина 28 м, средняя мощность 0,9 м, пологопадающая по азимуту 240° под углом 40–50°. Залежь сложена кальцит-тремолитовыми скарнами с блоками, прожилками 1–3 см, линзами, гнездами нефрита. Нефрит разного качества: в северной части голубовато-серый до желтовато-серого, массивный; на северо-восточном контакте светло-зеленый с коричневой корочкой прокрашивания; в центральной части — коричневый с немногочисленными хлопьевидными вкрапленниками кальцит-тремолитовых скарнов, а также зеленый различных оттенков; в южной части — нежно-зеленый, массивный, но расланцованный вблизи контактов.

Таким образом, метасоматический генезис предопределил сложную, не поддающуюся прогнозу морфологию как продуктивных кальцит-тремолитовых скарнов, так и обособлений нефрита, содержащихся в них. Такая геолого-генетическая совокупность пород и получила наименование «залежи». Сближенные в пространстве залежи получили название «нефритоносных зон». Фактически при разведке делается попытка оконтурить два типа крайне изменчивых геологических тел: кальцит-тремолитовые скарны с прихотливо изменяющимися контурами и незакономерно распределенные в них обособления нефрита самых разнообразных форм и размеров.

Текстурные особенности нефритов Кавоктинского месторождения определяются неравномерным прояв-

Таблица 1
Состав амфибола нефрита Кавоктинского месторождения

Компонент	Образец № 6	Образец № 7	Образец № 8	Образец № 9
	Желтовато-зеленоватый нефрит	Салатово-зеленый нефрит	Нефрит молочного цвета	Темно-зеленый нефрит
SiO ₂	<u>58,37–60,56</u> 59,7	<u>56,37–60,85</u> 59,9	<u>57,11–61,1</u> 60,13	<u>59,05–61,11</u> 60,01
Al ₂ O ₃	<u>0,88–1,32</u> 1,07	<u>0,81–1,21</u> 1,00	<u>0,31–1,33</u> 0,76	<u>0–0,31</u> 0,018
FeO	<u>0,11–0,43</u> 0,30	<u>0,46–0,96</u> 0,77	<u>0–0,31</u> 0,06	<u>0,66–1,11</u> 0,88
MgO	<u>21,76–25,17</u> 24,41	<u>23,06–25,64</u> 24,8	<u>23,74–26,01</u> 24,87	<u>23,97–24,99</u> 24,47
CaO	<u>13,48–17,87</u> 14,03	<u>12–14,38</u> 12,96	<u>12,56–14,95</u> 13,99	<u>11,91–13,71</u> 13,2
Na ₂ O	<u>0–0,27</u> 0,13	<u>0–0,34</u> 0,13	<u>0–0,2</u> 0,03	<u>0–0,23</u> 0,04
K ₂ O	<u>0–0,32</u> 0,15	<u>0–0,6</u> 0,2	<u>0–0,1</u> 0,02	<u>0–0,35</u> 0,1
MnO	—	—	—	<u>0–0,16</u> 0,005
Cl	—	<u>0–0,09</u> 0	—	—

Примечание: в числителе – пределы вариаций, в знаменателе – среднее содержание, прочерк – ниже предела обнаружения. Анализы выполнены в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург) на растровом электронном микроскопе JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED 2200 (JEOL, Япония).

Таблица 2
Содержание хромофоров в нефритах, масс. %

Тип нефрита	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cr
Нефриты белые со слабым зеленоватым, голубоватым оттенком	<0,03	<0,03	0,003
Нефриты темно-зеленые с различными оттенками	0,96	0,6	0,005
Нефриты коричневые, медово-желтые	<0,03	0,12	0,003

Примечание: содержание в породе катиона Fe³⁺ рассчитывалось при помощи программного комплекса MINAL.

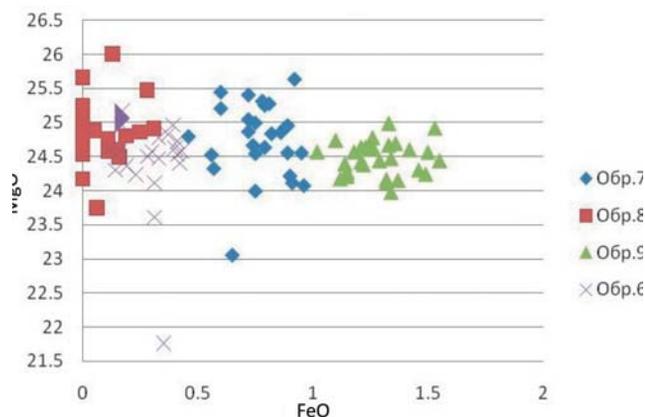


Рис. 2. Диаграмма соотношения FeO-MgO в тремолитах нефрита Кавоктинского месторождения

нием окраски и наличием включений. В большинстве своем нефриты имеют массивную текстуру. При наличии включений текстурный рисунок имеет пятнистый, полосчатый, брекчиевидный облик. Из посторонних минеральных включений в нефритах наиболее часто наблюдаются обособления кальцит-тремолитовых скарнов и диопсидитов, реже дендриты гидроксидов марганца и хлопьеобразные агрегаты гидроксидов железа.

Нефриты Кавоктинского месторождения характеризуются спутано-волокнистой (фибробластовой) структурой. Слагающие нефрит иголки тремолита имеют размеры длиной от 0,01 до 0,1 мм, толщиной от 0,01 до 0,001 мм. У тремолита, слагающего нефрит, колебания показателей преломления по *N_p* составляют от 1,600 до 1,647 и по *N_g* от 1,624 до 1,667. Волокнистые и игольчатые индивиды тремолита обычно группируются в снопо-, метелковидные пучки, объединяющие несколько десятков волокон. Характерно наличие теневых текстур, вероятно, вследствие замещения зерен широкопризматического тремолита волокнистым с приобретением субпараллельной ориентировки волокон в пределах каждого замещенного зерна.

В редких случаях наблюдаются мелкие прожилки нефрита второй генерации длиной первые сантиметры, мощностью 1–2 мм. Прожилки сложены параллельно волокнистым тремолитом, волокна которого ориентированы субперпендикулярно стенкам прожилков. По своему генезису это прожилки замещения.

Кальцит-тремолитовые скарны — белые, бледно-зеленые, образуют гнездо-, линзовидные, прожилковые обособления в нефритовой массе, имея с ней по-

степенные переходы. Следует отметить, что хотя посторонние минеральные включения формально снижают выход сортового нефрита, визуально они повышают его художественно-декоративные качества, придавая ему пейзажный облик. Несомненным украшением нефрита являются дендриты марганца, врастающие в нефрит со стороны трещин и включений кальцит-тремолитовых скарнов.

Окраска является одним из признаков нефрита, определяющим его качество как ювелирно-поделочного камня. Для нефритов Кавоктинского месторождения характерен широкий диапазон окрасок, обусловленный многообразием переходов между тремя основными цветовыми разновидностями: белой, зеленой, коричневой.

Проведен микрозондовый анализ четырех прозрачно полированных пластинок из штучных образцов, отобранных во время полевых работ. Проведено 138 анализов различных минералов, из них 114 анализов тремолитов (табл. 1). В результате показано, что изменение окраски нефрита связано с изменением содержания FeO в тремолите (табл. 2, рис. 2). При микрозондовых исследованиях содержания Cr не были установлены.

Белый нефрит, наиболее ликвидный, по химическому составу соответствует практически чистому тремолиту. Остальные разновидности отличаются различным содержанием FeO: медовый — до 0,31 %, желто-зеленый — до 0,43 %, зеленый — 0,96 %, темно-зеленый — до 1,11 %.

Из всей приведенной цветовой гаммы нефрита наиболее популярный и редко встречаемый — белый. В большинстве случаев наблюдаются зеленоватые, голубоватые, серые, коричневые оттенки.

Повышенное содержание железа, вероятно, обусловлено участием в формировании нефрита пород с повышенными содержаниями этого элемента — кристаллическими сланцами и амфиболитами. Нефриты светлых тонов окраски внутри залежей располагаются ближе к контакту с мраморами (рис. 3). По мере приближения к контакту с алюмосиликатными метаморфическими породами нефрит приобретает салатно-зеленую окраску. Нефриты, залегающие вблизи контактов с измененными алюмосиликатными метаморфическими породами, а также слагающие отдельные обособленные тела среди



Рис. 3. Приуроченность жилы белого нефрита к мраморам



Рис. 4. Приуроченность жилы салатного нефрита к амфиболитам

них, наиболее богаты железом и имеют зеленый цвет (рис. 4). Зеленая и темно-зеленая окраска характерна для блоков нефрита, расположенных среди эпидотизированных амфиболитов. Такие блоки не имеют общих контактов с карбонатными породами. В этом случае по нефритам в различной степени развиваются эпидот и хлориты.

При этом изменение цвета апокарбонатных нефритов обусловлено не только эндогенными, но и экзогенными процессами. Наиболее бедны железом белые нефриты, не подвергавшиеся каким-либо изменениям. В нефритах, подвергшихся изменениям в экзогенных условиях, отмечается существенное увеличение содержания трехвалентного железа при стабильном в целом содержании двухвалентного железа. Это приводит к появлению бурой (медовой) окраски по внешним поверхностям нефритовых тел и вдоль трещин. Мощность зоны прокрашивания достигает нескольких сантиметров. Наличие подобных каемок прокрашивания значительно повышает художественно-декоративные качества камня.

В экзогенных условиях при обогащении нефритов трехвалентным железом колориметрические параметры меняются следующим образом: смещение значений цветового тона в длинноволновую область; значительное повышение значений насыщенности (чистоты) цвета; снижение значений яркости (светлоты) цвета.

Вопросы генезиса и цветовой окраски во многом остаются дискуссионными. Возможность путем анализа условий залегания и состава рудовмещающих структур (мраморы, амфиболиты, кальцит-тремолитовые скарны) прогнозировать качество сырья позволит в дальнейшем наиболее достоверно разведывать и добывать высококачественный белый нефрит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурцева, М.В. Нефриты Восточной Сибири: геохимические особенности и проблемы генезиса / М.В. Бурцева, Г.С. Рипп, В.Ф. Посохов, А.Е. Мурзинцева // Геология и геофизика. — 2015. — Т. 56. — № 3. — С. 516–527.
2. Сутурин, А.Н. Месторождения нефритов / А.Н. Сутурин, Р.С. Замалетдинов, Н.В. Секерина — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. — 377 с.
3. Юргенсон, Г.А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья / Г.А. Юргенсон — Новосибирск: Наука, 2001. — 390 с.

© Гомбоев Д.М., Андросов П.В., Кислов Е.В., 2017

Гомбоев Доржи Мунхоевич // dorzhigomboev@gmail.com
Андросов Петр Витальевич // androsov_pv@mail.ru
Кислов Евгений Владимирович // evg-kislov@yandex.ru

УДК 550.812

Кулецкий В.Н., Платов Е.В., Игнатьев Н.Н. (АО «Разрез Тугнуйский»)

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ УГЛЕНОСНОСТИ ТУГНУЙСКОЙ ВПАДИНЫ И ЕЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Статья посвящена истории геологического изучения и промышленного освоения Тугнуйского угольного бассейна. Описаны все основные этапы геологических работ, про-

веденных на данной территории, а также события, повлиявшие на дальнейшую судьбу угольной отрасли Республики Бурятия. Освещается вклад геологов и горняков прошлого и настоящего в развитие региона и отрасли в целом. Отдельно рассматривается вклад АО «Разрез Тугнуйский» как крупнейшего предприятия республики.
Ключевые слова: уголь каменный, уголь бурый, геолого-разведочные работы, месторождение, добыча.

Kuletskiy V.N., Platov E.V., Ignatev N.N. (Razrez Tugnuyskiy)
HISTORY OF GEOLOGICAL STUDY OF PLANSNOTE TUGNUYSKY DEPRESSION AND ITS INDUSTRIAL DEVELOPMENT

*The purpose of this article is to describe the history of geological research and mining exploration of the Tugnuysky coal basin, as well as all major stages of geological exploration carried out in this territory and the events that had affected further development of the coal industry in Republic of Buryatia. The paper explores the contribution of miners and geologists to the development of the region under examination and to the coal industry of Russia. Another objective of the article is to analyze the overall input of JSC «Tugnuisky Open-pit mine» into the economy of the region mentioned above. **Keywords:** stone coal, brown coal, geological exploration, oilfield, mining.*

Тугнуйский угольный бассейн приурочен к одной из межгорной впадине «забайкальского» типа (рис. 1). По площади он занимает около 200 км² в центральной и восточной частях впадины. Административно большая часть его площади находится в Мухоршибирском районе Республики Бурятия, крайняя восточная — в Петровск-Забайкальском районе Забайкальского края [1].

Пространственно угольный бассейн приурочен к долине р. Тугнуй, которая протягивается на 110–120 км от р. Хилок на восток. Долина представляет собой корытообразную пологую равнину шириной от 4–6 до 10–15 км. С севера она ограничена предгорьями хребта Цаган-Дабан, с юга — сглаженными увалами Тугнуйских гор. Горное обрамление Тугнуйской впадины сложено преимущественно гранитоидами палеозоя и вулканогенными образованиями позднего палеозоя и мезозоя. Угленосные отложения тугнуйской свиты среднеюрского возраста выполняют центральную часть впадины, практически повсеместно согласно подстилаются эффузивно-осадочными породами мезозоя и перекрываются чехлом рыхлых четвертичных отложений.

На площади Тугнуйского угольного бассейна известно 5 месторождений: одно крупное (Эрдэм-Галгатайское), два средних (Олонь-Шибирское, Никольское) и два малых (Бомское, Мунханское).

Первые работы по геологическому изучению и поискам полезных ископаемых Иркутской губернии и Забайкалья (на территории современной Бурятии) пришлись на дореволюционный период — 1888–1905 гг. [2]. Проводились они горными инженерами под руководством тогда еще малоизвестного В.А. Обручева, назначенного по рекомендации И.В. Мушкетова на первую госу-