

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

УДК 553.8+550.42

DOI: 10.15507/2658-4123.030.202001.149-161



Исследование физическими методами нефритов различной окраски

И. Ю. Шелехов*, **Т. И. Шишелова**, **Е. И. Смирнов**
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск, Россия)
**promteplo@yandex.ru*

Введение. В статье представлен анализ различного применения кристаллов, описываются исторические и культурные основы использования минерального сырья для различных целей, в том числе медицинских. Показывается, что особое место в этом списке занимает нефрит, который является одним из самых распространенных минералов, применяемых в терапевтическом оборудовании. Причем стоимость этого оборудования определяется окраской применяемого материала, поэтому ставится задача провести исследования нефритов различной окраски физическими методами. *Материалы и методы.* Для исследования были выбраны образцы желтого, зеленого, черного и белого нефрита. Образцы различных цветов нефрита изготавливались по типу «шлиф» и имели плоскую поверхность. Фазовый анализ нефритов проводился на дифрактометре ДРОН-1. Регистрация дифракционной картины проводилась с помощью сцинтилляционного счетчика с амплитудной дискриминацией. Дифракционная картина регистрировалась последовательно по мере вращения образца и счетчика, которые расположены на гониометре ГУР-5. Отчет углов поворота производится с погрешностью до 0,005°.

Результаты исследования. В статье приводятся результаты исследования химического анализа нефритов различной окраски, представлена дифрактограмма нефритов желтого, зеленого, черного и белого цветов. Авторами также приводится таблица расшифровки межплоскостных расстояний и интенсивности главных линий исследуемых образцов нефрита.

Обсуждение и заключение. Исследования показали, что изучаемые образцы по химическому составу относятся к тремолитам. Химический анализ черного нефрита показал, что за счет возрастания закисного железа и снижения доли магния отмечается переход к актинолиту. В образце черного нефрита также наблюдается понижение на один порядок содержания фтора. Проведенные исследования открывают новые возможности по расширению общих понятий области создания здоровой среды, где все события связываются в единую логическую цепочку. Представленный материал дает возможность добавить в логическую цепочку исследования из области химии, биологии и медицины.

Ключевые слова: минералы, нефрит, физические методы исследования, оптическая абсорбционная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, здоровая среда, терапевтическое оборудование

Финансирование: Исследование проводилось при поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» (договор № 20-48-380002\20).

© Шелехов И. Ю., Шишелова Т. И., Смирнов Е. И., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Шелехов, И. Ю. Исследование физическими методами нефритов различной окраски / И. Ю. Шелехов, Т. И. Шишелова, Е. И. Смирнов. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202001.149-161 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 149–161.

Physical Methods for Studying Jades of Different Colors

I. Yu. Shelekhov*, T. I. Shishelova, E. I. Smirnov
National Research Irkutsk State Technical University
(Irkutsk, Russia)

**promteplo@yandex.ru*

Introduction. The article presents an analysis of the various applications of crystals, describes the historical and cultural foundations of using mineral raw materials for various purposes, including medical ones. It is shown that a special place in this list is occupied by jade (nephrite), which is one of the most common minerals used in therapeutic equipment. Moreover, the cost of this equipment is determined by the color of the material used. Therefore, the task is to conduct a study of jade of different colors by physical methods.

Materials and Methods. For the study samples of yellow jade, green jade, black jade, and white jade were made; samples of different colors of jades were made according to the “thin section” type and had a flat surface. The phase analysis of jades was carried out on the DRON-1 diffractometer. The diffraction pattern was recorded using a scintillation counter with amplitude discrimination. The diffraction pattern was recorded sequentially as the sample and counter, which were located on the GUR-5 goniometer, rotated. The report of rotation angles was made with an error of up to 0.005°.

Results. The article presents the results of studying the chemical analysis of jades of different colors and a diffractogram of yellow, green, black and white jades. The authors also provide a table for deciphering the interplanar distances and the intensities of the main lines of the studied jade samples.

Discussion and Conclusion. The studies have shown that the studied samples are tremolites by chemical composition. The chemical analysis of black jade showed that because of an increase in ferrous iron and a decrease in the proportion of magnesium, a transition to actinolite is noted. A decrease in fluorine content by an order of magnitude is also observed in the black jade sample. The conducted studies offer new possibilities for expanding the general concepts of creating a healthy environment, where all events are connected in a single logical chain. The presented material gives the opportunity to add research from the fields of chemistry, biology, and medicine to the logical chain.

Keywords: minerals, jade, physical research methods, optical absorption spectroscopy, X-ray diffraction analysis, healthy environment, therapeutic equipment

Funding: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Contract No. 20-48-380002/20).

For citation: Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I., Smirnov E.I. Physical Methods for Studying Jades of Different Colors. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(1):149-161. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.149-161>

Введение

Использование различных минералов и камней не ограничивается их применением в качестве украшений и поделочного материала. В последнее время широкое применение они

нашли в виде терапевтического оборудования, которое используется по всему миру и имеет особое значение для азиатских народов. Актуальность работы в данном направлении признают многие научные школы, считая,

что знания, которые использовались в древности, имеют под собой научную основу¹, и, чтобы обосновать эти знания, необходимо проводить исследования физическими, химическими, биологическими и другими методами.

Обзор литературы

Результаты исследования физическими методами материалов и сопоставление их с результатами натуральных исследований дают новые знания, что является особенно интересным для науки, если результаты имеют практическое применение. При участии ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск) осуществляется внедрение в производство нагревательных приборов, теплопередающая поверхность которых изготавливается из нефрита, добытого в Восточных Саянах (бассейн рек Китой, Онон, Урик, Белая) [1]. Процесс работы нагревательных приборов описан в одной из наших статей «Комбинированная электрическая система отопления для частных домов» [2].

Исследования в этой области ведутся, но их недостаточно, чтобы получить общую картину влияния минералов на окружающий мир. Например, методом оптической абсорбционной спектроскопии исследовался нефрит Баженовского месторождения [3], для объективного измерения и описания окраски нефрита использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ [4]. Оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV-3600 в диапазоне длин волн 185–3300 нм и на стандартизированном спектро-

фотометре МСФУ-К в интервале длин волн 400–800 нм с шагом 1 нм. По этой методике было определено, что коэффициент отношения интенсивности полос на длинах волн 3 646, 3 662 и 3 675 см⁻¹ ОН-колебаний около 1 свойственен белому нефриту, 0,98–1 – светло-зеленому, 0,90–0,98 – голубовато-зеленому и менее 0,91 – ярко-зеленому. Расчет данного коэффициента позволил стандартизировать определение цвета нефрита, выявить и дать оценку дополнительных оттенков, которые присутствуют в окраске нефрита. Авторами было определено, что коэффициент отношения интенсивности полос колебаний ОН-групп нефрита Баженовского месторождения составляет 0,94–0,95, а зеленая окраска нефрита связана исключительно с ионами Fe²⁺.

Действительно, основным хромофорным компонентом нефрита является железо (закисное и окисное), входящее как видообразующий элемент в слагающие нефрит амфиболы, и прежде всего актинолит. Окраска высоко железистых нефритов светло-зеленая. Основная роль в окраске нефритов отводится закисному железу. Предполагается также красящее действие хрома, который является характерной изоморфной примесью минералов² [5]. Все имеющиеся сведения о составе нефрита не позволяют с уверенностью судить об индивидуальной роли каждого из хромофорных элементов Fe²⁺, Fe³⁺, Cr²⁺ в окраске этого камня³ [6–8].

Имеется ряд натуральных исследований, показывающих благоприятное воздействие на живой организм нефрита, особенно при контактном термическом воздействии, при этом цвет не всегда является определяющим фактором [9].

¹ Голубева Е. О., Швайко Е. С. Использование минералов в медицине древности // Фундаментальная наука в современной медицине 2016: материалы сателлитной дистанционной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. М., 2016. С. 89–93.

² Болдырев А. И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976. 199 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007736757> (дата обращения: 26.02.2020).

³ Балицкий В. С., Платонов А. Н., Таран М. Н. Природа окраски минералов. М.: Недра, 1984. 196 с. URL: <http://www.geokniga.org/books/7233> (дата обращения: 26.02.2020).

Доказательством благоприятного медицинского воздействия могут служить только длительные клинические исследования, но при изучении мы можем получить только фактический результат, а не объяснение определенных лечебных свойств. Для объяснения результатов исследований служат специальные физические методы, которые определяют структуру материала и могут охарактеризовать свойство материала. Целью нашей работы является исследование характеристик нефрита разной окраски физическими методами.

Известно множество трудов ученых древности, где они описывали полезные свойства препаратов минерального происхождения, например, в работе Педания Диоскорида «О лекарственных веществах» (*De Materia Medica*) представлено более ста таких медицинских препаратов. Целебную силу минералов изучали в своих работах такие известные врачи древности, как Гиппократ, Гален, Плиний Старший и Корнелий Цельс⁴ [10; 11].

В своей работе член-корреспондент РАН А. А. Сидоров отметил, что свойствами камней интересовались не только известные писатели (У. Коллинз, А. Куприн, А. К. Дойль, П. Бажов, И. В. Гете, О. Уайльд), но и ученые, которые внесли неоценимый вклад в современную науку (Н. Коперник, Р. Бойль, А. Я. Ферсман, И. Баумер) [12].

Исследования современных ученых показывают, что ИК-излучение от нагретых минералов стимулирует терморегуляционную реакцию поверхностной сосудистой сети, развивается временная гиперемия. Поглощенная тепловая энергия активизирует мигра-

цию лейкоцитов, пролиферацию и дифференцировку фибробластов. Имеет место активизация обменных процессов, ускоряются процессы заживления⁵. Имеются экспериментальные данные о продлении жизни у лабораторных животных на 25–30 % при регулярных термических воздействиях различными минералами. На текущий момент существует множество установок, предназначенных для лечения отдельных заболеваний через воздействие на определенные сегменты, участки тела⁶ [13].

Материалы и методы

Методы спа-терапии реализуются во многих лечебно-профилактических центрах, причем не только в виде терапевтических установок. В ряде гостиниц и отелей используется метод созерцания камней, которые оказывают биостимулирующее воздействие на организм, компенсируя такое явление, как «световой голод». Построенные архитектурные ансамбли из таких камней в парках, усадьбах и садах, безусловно, воздействуют на психологическое состояние людей, оказывая желаемое положительное влияние [14]. Ярким примером создания архитектурных лечебных ансамблей является клинический санаторий «Роцца» (г. Харьков), где реализована на практике возможность такого лечения⁷.

Особое внимание среди минералов уделяется нефриту. Медики древности считали, что нефрит облегчает почечные колики, лечит боли в печени, также помогает при мигрени и при болезнях глаз. Считалось, что вода, в которой лежал нефрит, укрепляет мышцы, кости и очищает кровь. Из нефрита даже делали пломбы для зубов.

⁴ **Jouanna J.** Greek Medicine from Hippocrates to Galen. Leiden: Koninklijke Brill, 2012. URL: <https://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctt1w76vxx> (дата обращения: 26.02.2020).

⁵ **Yang Hu., Liu G., Tang Ch.** The Origin of Jade in East Asia. Jades of the Xinglongwa Culture. Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong, 2007. 323 p.

⁶ **Валеев Р. Г.** Камни лечат! Новеллы о драгоценных камнях. Киев: Радянський письменник, 1971. 191 с.

⁷ **Журавлев В. А., Тондий Л. Д.** Книга о клиническом санатории «РОЦА». Харьков: Слово, 2014. 260 с.

Нефрит по праву занимает ведущее место среди замечательных самоцветов и поделочных камней, изделия из нефрита вызывают восхищение уже не одно тысячелетие. Одним из основных достоинств нефрита, привлекающих к нему внимание специалистов, является его замечательная окраска, которая включает в себя все оттенки листвы⁸. Нефрит является одним из самых распространенных минералов, который применяется в терапевтическом оборудовании. Ценность этого оборудования, зачастую определяется окраской применяемого минерала. Сложно перечислить всех ученых, которые утверждали, что одним из целебных факторов камней является их цвет: данный метод лечения носит название хромотерапия (колортерапия). По запасам нефрита Иркутская область занимает одно из лидирующих положений, добываемый нефрит имеет светло-зеленую окраску, бывает белым, темно-зеленым и черным, поэтому научные исследования в этой сфере будут полезны в различных отраслях народного хозяйства [15–17].

Для исследования были изготовлены образцы желтого, зеленого, черного и белого цветов типа «шлиф», имеющие плоскую поверхность.

Результаты исследования

Для определения химического состава нефрита в основном пользуются расчетом по А. А. Булаху. Используя данный метод, определялся химический состав исследуемых образцов⁹. Несмотря на имеющиеся работы, связанные с окраской нефрита, этот вопрос не решен полностью, поэтому исследования в этом направлении являются необходимыми и актуальными.

Развитие знаний в данной области во многом обязано применению физических методов анализа: изотопный, спектроскопический, рентгеновский и др.

Атомная структура кристаллических тел может быть изучена методом рентгеноструктурного анализа, в основе которого лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества, в результате возникает дифракция рентгеновских лучей. Дифракционная картина зависит от длины волны используемого рентгеновского излучения и строения объекта. Рентгеновский фазовый анализ является наиболее эффективным методом установления фазового состава вещества. Каждая кристаллическая фаза дает индивидуальную дифракционную картинку. Рентгенограмма смеси нескольких фаз может быть произведена путем сопоставления рентгенограммы исследуемого и известных веществ методом сравнения межплоскостных расстояний d и интенсивности отражения.

Каждая фаза имеет кристаллическую решетку. Семейства атомных плоскостей, образующих эту решетку, обладают характерным для данной решетки набором значений межплоскостных расстояний d_{HKL} . Межплоскостные расстояния определяются по формуле Вульфа – Брэггов:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

или

$$\frac{d}{n} = d_{HKL} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}, \quad (1)$$

где n – порядок отражения; λ – длина волны характеристического рентгеновского излучения; d – межплоскостное расстояние; θ – угол дифракции.

Знание межплоскостного расстояния исследуемого объекта позволяет охарактеризовать его кристаллическую решетку, так как значения $d_{HKL} =$

⁸ Смелый В. М. Нефрит. Обработка нефрита // Образование. Наука. Производство: сборник статей IX Международного молодежного форума. Белгород, 2017. С. 3423–3427.

⁹ Булах А. Г. Ручководство и таблицы для расчета формул минералов. М.: Недра, 1967. 140 с.

$= d_{hkl}/n$ можно рассматривать как межплоскостные расстояния для фиктивных плоскостей с индексами HKL , где HKL – индексы интерференции, равные произведению соответствующих индексов плоскости hkl на порядок отражения, то есть $H = nh$; $K = nk$; $L = nl$.

Поскольку λ величина известная, то задача определения межплоскостных расстояний d/n сводится к нахождению углов θ для всех линий рентгенограммы.

Для идентификации фаз не требуется высокой точности измерений (достаточно сотых долей градуса $\Delta\theta$) При этом удается оценивать межплоскостные расстояния с ошибкой 0,01–0,001 Å. По мере приближения угла θ к 90° небольшая ошибка дает исчезающе малую ошибку в d . Это видно, если продифференцировать уравнение Вульфа – Брэггов:

$$\left| \frac{\Delta d}{d} \right| = \text{ctg} \theta \Delta \theta. \quad (2)$$

Средняя чувствительность метода к содержанию фазы в образце составляет несколько процентов.

Фазовый анализ нефритов проводился в ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на дифрактометре ДРОН-1. Регистрация дифракционной картины проводилась с помощью сцинтилляционного счетчика с амплитудной дискриминацией. Дифракционная картина регистрировалась последовательно по мере вращения образца и счетчика, которые расположены на гониометре ГУР-5. Отчет углов поворота производится с погрешностью до $0,005^\circ$.

В результате исследования был определен химический состав исследуемых образцов нефритов (1 – желтый нефрит, 2 – зеленый нефрит, 3 – черный

нефрит, 4 – белый нефрит), результаты представлены в таблице 1.

Характеристики нефритов различной окраски были исследованы рентгеновским методом, съемка проводилась на дифрактометре ДРОН-1 с использованием медного излучения Cu-K_α с длиной волны $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$. Режим съемки: напряжение на аноде $U = 25 \text{ кВ}$ (3 ступень), анодный ток $I = 20 \text{ мА}$, скорость поворота счетчика 2 град/мин , скорость протяжки ленты на потенциометре 600 мм/ч , отчет поворота счетчика начинался с 2 градусов . Дифрактограмма нефритов различной окраски представлена на рисунке 1.

Расшифровка о межплоскостных расстояниях и интенсивности главных линий представлена в таблице 2.

Обсуждение и заключение

Исследования показали, что образцы по химическому составу относятся к тремолитам. Химический анализ черного нефрита показал, что за счет возрастания закисного железа и снижения доли магния отмечается переход к актинолиту. В пособии для высших учебных заведений предлагается относить к актинолитам только те амфиболы, в которых отношение $100 \text{ Mg} : (\text{Mg} + \text{Fe}^{+2} + \text{Fe}^{+3} + \text{Mn})$ колеблется от 80 до 20. Исследованные минералы попадают в интервал $100-80$ и относятся к тремолитам¹⁰. В образце черного нефрита также наблюдается понижение на один порядок содержания фтора. В остальном существенных отклонений в составах исследуемых образцов не отмечается. Общей особенностью тремолитов является постоянное участие Al, состоящее в координации с Si. Незначительное снижение Al в исследуемой серии образцов имеет место и соответствует увеличению мольной доли актинолита, то есть не исключено, что Al, участвующий в качестве иона-компенсатора Si как главного компонента,

¹⁰ Краснощекова Л. А. Породообразующие минералы и структуры кристаллических пород: учебное пособие. Изд. 3-е. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. 83 с.

Химический состав нефритов разной окраски
The chemical composition of jades of different colors

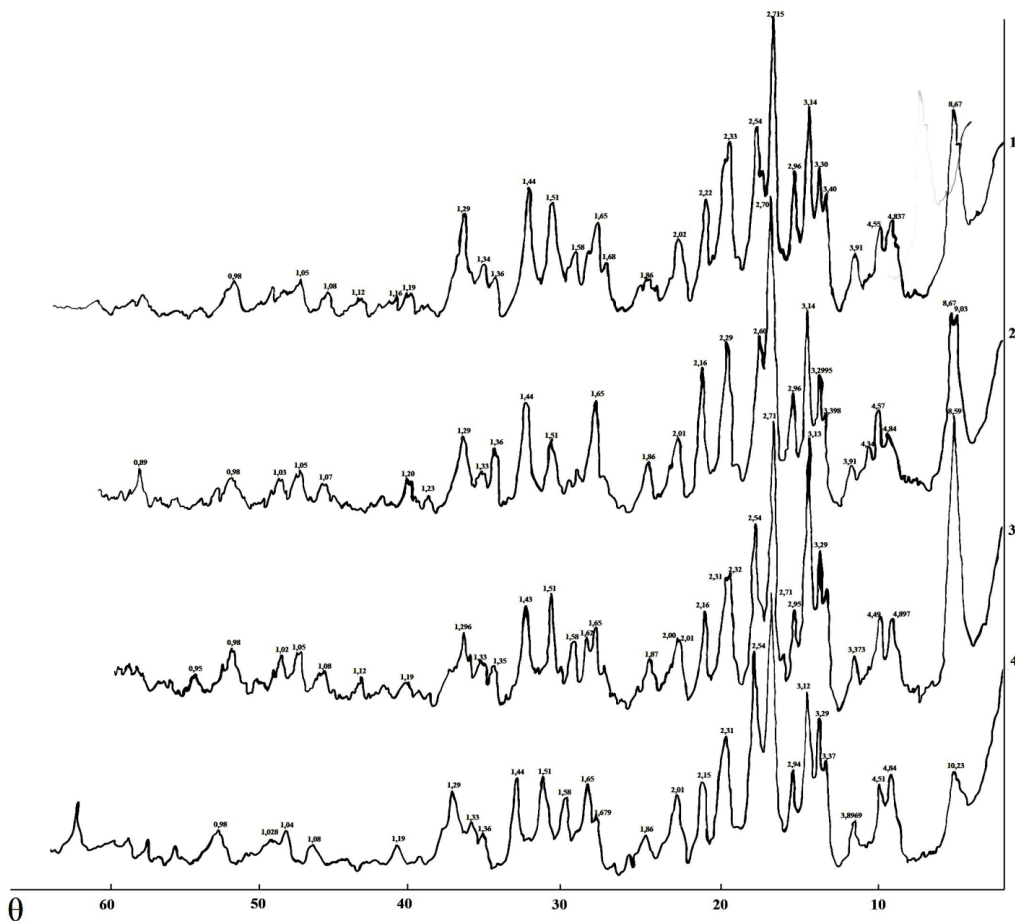
Химический элемент / Chemical element	1	2	3	4
SiO ₂	56,9800	56,7300	56,310	56,9700
Al ₂ O ₃	1,2000	1,2000	0,600	1,1000
TiO ₂	0,0500	0,0500	0,050	0,1500
FeO	0,0800	0,1700	3,500	0,0800
Fe ₂ O ₃	0,6200	0,6200	0,320	0,3200
CaO	13,4900	13,2700	12,940	13,1600
MgO	25,2000	25,6000	23,600	25,4000
MnO	0,1000	0,1100	0,160	0,0900
P ₂ O ₅	н/о	0,0110	н/о	0,0500
K ₂ O	0,0600	0,1300	0,036	0,1500
Na ₂ O	0,1300	0,1700	0,046	0,1800
Li ₂ O	0,0024	0,0030	н/о	0,0008
Rb ₂ O	0,0030	0,0090	н/о	0,0010
Cs ₂ O	н/о	н/о	н/о	н/о
H ₂ O	1,2800	1,4800	2,390	2,2200
F	0,5000	0,6300	0,100	0,7100
S	0,0400	0,0500	0,030	0,0400

Рентгенограммы образцов нефрита различной окраски
X-ray diffraction patterns of jade samples of different colors

ASTM тремолит / ASTM tremolite		Черный нефрит / Black jade		Белый нефрит / White jade		Зеленый нефрит / Green jade		Желтый нефрит / Yellow jade	
d/n	(I/I ₁)* 100%	d/n	(I/I ₁)* 100%	d/n	(I/I ₁)* 100%	d/n	(I/I ₁)* 100%	d/n	(I/I ₁)* 100%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8,9800	16	8,588	100,0	10,230	45,0	9,0300	68	8,6700	72
8,3800	100	4,897	42,0	4,840	44,0	8,6700	69	6,8100	20
5,0700	16	4,494	47,0	4,510	41,0	4,8400	40	4,8968	40
4,8700	10	3,373	54,0	3,896	30,0	4,5700	46	4,5483	39
4,7600	20	3,290	64,0	3,370	47,5	4,3500	34	3,9139	30
4,5100	20	3,130	94,0	3,290	60,0	3,9100	31	3,3984	49
4,2000	35	2,950	49,0	3,120	62,0	3,3980	44	3,2995	58
3,8700	16	2,710	99,0	2,940	45,0	3,2995	54	3,1400	73

Окончание табл. 2 / End of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,3760	40	2,540	71,0	2,710	100	3,1400	70	2,9600	55
3,2680	75	2,320	58,0	2,540	80	2,9600	49	2,9000	32
3,1210	100	2,310	57,0	2,340	54	2,7000	100	2,7150	100
3,0280	10	2,160	48,0	2,150	40	2,6000	65	2,6100	55
2,9380	40	2,020	40,0	2,010	36	2,2900	64	2,5980	56
2,8050	45	2,000	40,0	1,860	24	2,1600	55	2,5400	68
2,7300	16	1,870	35,0	1,680	29	2,0100	32	2,3300	63
2,7050	90	1,820	28,0	1,640	39	1,8600	31	2,3100	59
2,5920	30	1,680	33,0	1,570	34	1,6500	46	2,2200	30
2,4070	40	1,650	43,0	1,510	40	1,5800	29	2,1700	48
2,3800	8	1,620	41,0	1,440	39	1,5600	26	2,0800	35
2,3350	30	1,580	9,0	1,350	24	1,5100	36	1,9000	22
2,3210	40	1,440	4,9	1,330	26	1,4400	46	1,8600	23
2,2980	12	1,350	33,0	1,290	35	1,3600	34	1,7500	15
2,2730	16	1,330	34,0	1,190	19	1,3300	28	1,6900	28
2,2060	6	1,310	35,0	1,080	17	1,2900	32	1,6500	40
2,1800	6	1,300	41,0	1,040	22	1,2300	21	1,6200	31
2,1630	35	1,190	27,0	1,030	19	1,19500	26	1,5800	31
2,0242	18	1,130	28,0	0,980	21	1,1800	21	1,5100	46
2,0150	45	1,080	30,0	0,920	20	1,1300	19	1,4400	50
2,0020	16	1,050	34,0	0,910	18	1,0890	20	1,3600	25
1,9630	6	1,030	34,0	0,890	18	1,0760	24	1,3400	28
1,9290	6	1,020	29,0	–	–	1,0590	20	1,2900	43
1,8920	50	–	–	–	–	1,0480	27	1,2300	15
–	–	–	–	–	–	1,0250	25	1,2000	18
–	–	–	–	–	–	1,0150	22	1,1900	18
–	–	–	–	–	–	1,0080	20	1,1600	17
–	–	–	–	–	–	0,9890	20	1,1200	18
–	–	–	–	–	–	0,9800	25	1,1200	18
–	–	–	–	–	–	0,9700	23	1,0800	19
–	–	–	–	–	–	0,9500	20	1,0500	22
–	–	–	–	–	–	0,9300	20	0,9800	16
–	–	–	–	–	–	0,9200	20	0,9500	22
–	–	–	–	–	–	0,9000	21	0,9300	14
–	–	–	–	–	–	0,8900	21	0,9100	18
–	–	–	–	–	–	–	–	0,9000	15
–	–	–	–	–	–	–	–	0,8800	15
–	–	–	–	–	–	–	–	0,8700	15



Р и с. 1. Дифрактограммы нефритов различной окраски: 1 – желтый нефрит; 2 – зеленый нефрит; 3 – черный нефрит; 4 – белый нефрит

F i g. 1. Diffraction patterns of jades of different colors: 1 – yellow jade; 2 – green jade; 3 – black jade; 4 – white jade

мог оказывать регулирующее влияние на состояние кристаллической решетки. Иначе говоря, перераспределение элементов в исследуемых образцах происходит таким образом, что повышение мольной доли актинолита соответственно сопровождается снижением мольной доли тремолита. Рентгеновский метод исследования показал, что существенной разницы в дифрактограммах нефритов различной окраски не обнаружено.

Проведенные нами исследования открывают новые возможности по расширению общих понятий области *Physics and mathematics*

создания здоровой среды, где все события связываются в единую логическую цепочку. Наши исследования простирались от создания технологий по изготовлению нагревательных и термоэлектрических элементов [18], конструкций нагревательных и термоэлектрических элементов [19; 20] и до физико-математического модулирования конструкции нагревательного прибора [21; 22]. Используя представленный материал, можно в данную логическую цепочку добавить исследования из области химии, биологии и медицины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент № 177507 Российская Федерация, МПК F24H 3/04(2006.01), H05B 3/20(2006.01). Нагревательный прибор для комбинированной системы обогрева помещений с низкой теплоизоляцией : № 2016149900 : заявл. 16.12.2016 : опубл. 28.02.2018 / Шелехов И. Ю., Шелехова И. В., Шелехов М. И. [и др.] ; патентообладатель ООО «Термостат+». – 8 с. : ил. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU177507U1_20180228.pdf (дата обращения: 26.02.2020).
2. Шелехов, И. Ю. Комбинированная электрическая система отопления для каркасных домов / И. Ю. Шелехов, Т. И. Шишелова, Е. И. Смирнов [и др.]. – DOI: 10.15507/0236-2910.027.201702.198-214 // Вестник Мордовского университета. – 2017. – Т. 27, № 2. – С. 198–214. URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/ru/articles2/51-17-2/316-10-15507-0236-2910-027-201702-05> (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.
3. Николаев, А. Г. Природа окраски и кристаллохимические особенности нефрита Баженовского месторождения хризотил-асбеста (Средний Урал) / А. Г. Николаев, М. П. Попов, А. В. Низамова // Металлогения древних и современных океанов. – 2019. – № 1. – С. 241–244. URL: https://krfu.ru/publication?p_id=203226&p_lang=2 (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.
4. Feng, X. Characterization of Mg and Fe Contents in Nephrite Using Raman Spectroscopy / X. Feng, Y. Zhang, T. Lu [и др.]. – DOI 10.5741/GEMS.53.2.204 // Gems and Gemology. – 2017. – Vol. 53, № 2. – Pp. 204–212. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/summer-2017-mg-fe-nephrite> (дата обращения: 26.02.2020).
5. Попов, М. П. Новые данные о генетической связи хромофоров берилла и хризоберилла изумрудных копей Урала с хромшпинелидами Баженовского офиолитового комплекса / М. П. Попов, Е. С. Сорокина, Н. Н. Кононкова [и др.]. – DOI 10.31857/S0869-56524866699-703 // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 486, № 6. – С. 699–703. URL: <https://journals.eco-vector.com/0869-5652/article/view/14519> (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.
6. Emmett, J. L. The Role of Silicon in the Color of Gem Corundum / J. L. Emmett, J. Stone-Sundberg, Y. Guan [et al.] // Gems & Gemology. – 2017. – Vol. 53, № 1. – Pp. 42–47. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/spring-2017-role-silicon-color-gem-corundum> (дата обращения: 26.02.2020).
7. Pham, V. L. Update on Gemstone Mining in Luc Yen / V. L. Pham, V. Pardieu, G. Giuliani // Gems & Gemology. – 2013. – Vol. 49, № 4. – Pp. 233–245. URL: <https://www.gia.edu/doc/WN13.pdf> (дата обращения: 26.02.2020).
8. Оранска, О. И. Рентгенодифракційне та термічне дослідження деяких харчових та косметичних бентонітових глин / О. И. Оранска, Ю. И. Горников. – DOI 10.15407/hftp10.01.013 // Хімія, фізика та технологія поверхні. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 13–21. URL: <http://www.cpts.com.ua/index.php/cpts/article/view/490> (дата обращения: 26.02.2020).
9. Стрельченко, О. В. Информатизация как важнейший фактор успешного развития учреждения здравоохранения / О. В. Стрельченко, М. И. Воевода, А. Л. Заиграев [и др.]. – DOI 10.15372/SSMJ20190216 // Сибирский научный медицинский журнал. – 2019. – Т. 39, № 2. – С. 110–115. URL: http://sibran.ru/journals/issue.php?ID=176369&ARTICLE_ID=176407 (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.
10. Risse, G. B. Ancient Egyptian Medicine / G. B. Risse. – DOI 10.1086/384532 // A Journal of the History of Science Society. – 1999. – Vol. 90, № 4. – Pp. 800. URL: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdfplus/10.1086/384532> (дата обращения: 26.02.2020).
11. Šedinova H. Stones in the Ancient and Early-medieval Medicine Scripts / H. Šedinova // Listy filologické. – 2000. – Vol. 123, № 1.
12. Сидоров, А. А. Об исцелении камнями / А. А. Сидоров // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 8. – С. 774–776. URL: http://www.ras.ru/publishing/rasherale/rasherale_article-info.aspx?articleid=4e61a196-fc90-4984-82b5-bb0f288e2f5e (дата обращения: 26.02.2020).
13. Тондий, Л. Д. Лечат ли камни? / Л. Д. Тондий, Е. Л. Закревская. – DOI 10.15407/internalmed2016.02.033 // Восточноевропейский журнал внутренней и семейной медицины. – 2016. – № 2 (5). – С. 34–36. URL: <http://www.internalmed-journal.in.ua/archives/932> (дата обращения: 26.02.2020).

14. **Wang, R.** Progress Review of the Scientific Study of Chinese Ancient Jade / R. Wang. – DOI: 10.1111/j.1475-4754.2010.00564.x // *Archaeometry*. – 2011. – Vol. 53, № 4. – Pp. 674–692. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-4754.2010.00564.x> (дата обращения: 26.02.2020).

15. **Бурцева, М. В.** Нефриты Восточной Сибири: геохимические особенности и проблемы генезиса / М. В. Бурцева, Г. С. Рипп, В. Ф. Посохов [и др.]. – DOI 10.15372/GiG20150303 // *Геология и геофизика*. – 2015. – Т. 56, № 3. – С. 516–527. URL: http://sibran.ru/journals/issue.php?ID=163519&ARTICLE_ID=163525 (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.

16. **Ван, Н.** Перспективы развития экономического сотрудничества провинции Хэнань и Иркутской области / Н. Ван // *Известия Иркутской государственной экономической академии*. – 2015. – Т. 25, № 3. – С. 512–518. URL: <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.aspx?id=20190> (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.

17. **Татаринов, А. В.** Первая находка нефрита с аксессуарными минералами платиновой группы / А. В. Татаринов, Л. И. Ялович, С. В. Канакин [и др.]. – DOI 10.7868/S0869565217080217 // *Доклады Академии наук*. – 2017. – Т. 473, № 2. – С. 201–204. URL: <https://www.libnauka.ru/item.php?doi=10.7868/S0869565217080217> (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.

18. **Патент № 2463748 Российская Федерация, МПК H05B 3/00(2006.01).** Способ изготовления толстопленочного резистивного нагревателя : № 2011103148/07 : заявл. 28.01.2011 : опубл. 10.08.2012 / Шелехов И. Ю., Шелехова И. В., Иванов Н. А. [и др.]; заявитель ООО «Термостат». – 1 с. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2011103148A_20120810.pdf (дата обращения: 26.02.2020).

19. **Патент № 109628 Российская Федерация, МПК H05B 3/14 (2006.01).** Нагревательный элемент : № 2011110667/07 : заявл. 21.03.2011 : опубл. 20.10.2011 / Шелехов И. Ю., Шелехова И. В., Иванов Н. А. [и др.]; патентообладатели ООО «Термостат», Институт кооперации науки и промышленности Пусанского национального университета. – 9 с. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU109628U1_20111020.pdf (дата обращения: 26.02.2020).

20. **Шелехов, И. Ю.** Применение новых технических решений в конструировании термоэлектрических систем / И. Ю. Шелехов, Т. И. Шишелова, Е. И. Смирнов. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201801.048-061 // *Вестник Мордовского университета*. – 2018. – Т. 28, № 1. – С. 48–61. URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles-2en/58-18-1/381-10-15507-0236-2910-028-201801-04> (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.

21. **Шелехов, И. Ю.** Конструкции отопительных приборов на основе физико-математического моделирования / И. Ю. Шелехов, Е. И. Смирнов, В. П. Иноземцев // *Научное обозрение*. – 2016. – № 1. – С. 42–48.

22. **Шишелова, Т. И.** Разработка отопительного оборудования и исследование его эффективности в системах жизнеобеспечения / Т. И. Шишелова, И. Ю. Шелехов // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2007. – Т. 1, №1 (29). – С. 104–109. URL: http://journals.istu.edu/vestnik_irtgu/journals/2007/01a (дата обращения: 26.02.2020). – Рез. англ.

Поступила 02.09.2019; принята к публикации 06.11.2019; опубликована онлайн 31.03.2020

Об авторах:

Шелехов Игорь Юрьевич, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Института архитектуры, строительства и дизайна ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), кандидат технических наук, Researcher ID: V-3045-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>, promteplo@yandex.ru

Шишелова Тамара Ильинична, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), доктор технических наук, Researcher ID: V-2981-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2372-8144>, tamara.shishelova@gmail.com

Смирнов Евгений Игоревич, аспирант кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения Института архитектуры, строительства и дизайна ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83), Researcher ID: V-3117-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-7342>, jeka7.7.7@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

И. Ю. Шелехов – анализ литературных данных, научное руководство, постановка задачи исследования, обработка данных, написание текста статьи; Т. И. Шишелова – анализ литературных данных, редактирование текста; Е. И. Смирнов – анализ литературных данных, подготовка образцов, сбор и анализ аналитических и практических материалов, разработка методики проведения эксперимента, компьютерная реализация решения задачи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Heater for Combined System for Heating Rooms with Low Thermal Insulation: Patent 177507 Russian Federation. No. 2016149900; appl. 16.12.2016; publ. 28.02.2018. Bulletin No. 7. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU177507U1_20180228.pdf (accessed 26.02.2020). (In Russ.)
2. Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I., Smirnov Ye.I., et al. Combined Electric Heating System for Timber Frame Houses. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2017; 27(2):198-214. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.027.201702.198-214> (accessed 26.02.2020).
3. Nikolaev A.G., Popov M.P., Nizamova A.V. Color Nature and Crystallochemical Features of Nephrite at Bazhenovsky Chrysotile-Asbestos Deposit (Middle Urals). *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov* = Metallogeny of Ancient and Modern Oceans. 2019; (1):241-244. Available at: https://kpfu.ru/publication?p_id=203226&p_lang=2 (accessed 26.02.2020). (In Russ.)
4. Feng X., Zhang Y., Lu T., et al. Characterization of Mg and Fe Contents in Nephrite Using Raman Spectroscopy. *Gems and Gemology*. 2017; 53(2):204-212. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.5741/GEMS.53.2.204>
5. Popov M.P., Sorokina E.S., Kononkova N.N., et al. New Data on the Genetic Linkage of Beryll and Chromoberyl Chromophors of the Ural's Emerald Mines with Chromium-Bearing Spinels of the Bazhenov Ophiolite Complex. *Doklady Akademii nauk* = Reports of the Academy of Sciences. 2019; 486(6):699-703. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652486699-703>
6. Emmett J.L., Stone-Sundberg J., Guan Y., et al. The Role of Silicon in the Color of Gem Corundum. *Gems & Gemology*. 2017; 53(1):42-47. Available at: <https://www.gia.edu/gems-gemology/spring-2017-role-silicon-color-gem-corundum> (accessed 26.02.2020). (In Eng.)
7. Pham V.L., Pardieu V., Giuliani G. Update on Gemstone Mining in Luc Yen. *Gems & Gemology*. 2013; 49(4):233-245. Available at: <https://www.gia.edu/doc/WN13.pdf> (accessed 26.02.2020). (In Eng.)
8. Oranska O.I., Gornikov Yu.I. X-Ray Diffraction and Thermal Studies on Some Food and Cosmetic Bentonite Clays. *Khimiya, fizika ta tekhnologiya poverkhni* = Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019; 10(1):13-21. (In Ukr.) DOI: <https://doi.org/10.15407/hftp.10.01.013>
9. Strelchenko O.V., Voevoda M.I., Zaigraev A.L., et al. Informatization as the Most Important Factor in the Successful Development of Healthcare Facilities. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal* = The Siberian Scientific Medical Journal. 2019; 39(2):110-115. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15372/SSMJ20190216>
10. Risse G.B. Ancient Egyptian Medicine. *A Journal of the History of Science Society*. 1999; 90(4):800. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1086/384532>
11. Šedinova H. Stones in the Ancient and Early-medieval Medicine Scripts. *Listy filologické*. 2000; 123(1). (In Eng.)
12. Sidorov A.A. On Healing by Stones. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk* = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2012; 82(8):774-776. Available at: http://www.ras.ru/publishing/raserald/raserald_articleinfo.aspx?articleid=4e61a196-fc90-4984-82b5-bb0f288e2f5e (accessed 26.02.2020). (In Russ.)
13. Tondiy L.D., Zakrevskaya E.L. May the Stones Do Clinic Effect? *Vostochnoevropeyskiy zhurnal vnutrenney i semeynoy meditsiny* = East European Journal of Internal and Family Medicine. 2016; (2):34-36. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15407/internalmed2016.02.033>

14. Wang R. Progress Review of the Scientific Study. *Archaeometry*. 2011; 53(4):674-692. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2010.00564.x>
15. Burtseva M.V., Ripp G.S., Posokhov V.F., et al. Nephrites of East Siberia: Geochemical Features and Problems of Genesis. *Geologiya i geofizika* = Russian Geology and Geophysics. 2015; 56(3):516-527. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15372/GiG20150303>
16. Wang N. Prospects of Economic Cooperation Development between Henan Province and Irkutsk Oblast. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii* = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy. 2015; 25(3):512-518. Available at: <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.aspx?id=20190> (accessed 26.02.2020). (In Eng.)
17. Tatarinov A.V., Yalovik L.I., Kanakin S.V., et al. The First Discovery of Nephrite With Platinum Group Accessory Minerals. *Doklady Akademii nauk* = Reports of the Academy of Sciences. 473(2):201-204. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869565217080217>
18. Method for Production of Thick Film Resistance Heater: Patent 2463748 Russian Federation. No. 2011103148/07; appl. 28.01.2011; publ. 10.08.2012. Bulletin No. 28. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU2011103148A_20120810.pdf (accessed 26.02.2020). (In Russ.)
19. Heating Element: Patent 109628 Russian Federation. No. 2011110667/07; appl. 21.03.2011; publ. 20.10.2011. Bulletin No. 29. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU109628U1_20111020.pdf (accessed 26.02.2020). (In Russ.)
20. Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I., Smirnov Ye.I. New Technical Solutions for Designing Thermoelectric Systems. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(1):48-61. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201801.048-061>
21. Shelekhov I.Yu., Smirnov Ye.I., Inozemtsev V.P. Heating Appliance Designs Based on Physical and Mathematical Modeling. *Nauchnoye obozreniye* = Scientific Review. 2016; (1):42-48. (In Russ.)
22. Shishelova T.I., Shelekhov I.Yu. Development of Heating Equipment and Study of Its Efficiency in Life Support Systems. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Irkutsk State Technical University Bulletin. 2007; 1(1):104-109. Available at: http://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2007/01a (accessed 26.02.2020). (In Russ.)

Received 02.09.2019; revised 06.11.2019; published online 31.03.2020

About the authors:

Igor Yu. Shelekhov, Associate Professor of Chair of Urban Construction and Economy of Institute of Architecture, Construction and Design, Irkutsk National Research Technical University (83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia), Ph.D. (Engineering), Researcher ID: V-3045-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>, promptplo@yandex.ru

Tamara I. Shishelova, Professor of Chair of Physics, Irkutsk National Research Technical University (83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia), D.Sc. (Engineering), Researcher ID: V-2981-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2372-8144>, tamara.shishelova@gmail.com

Evgeniy I. Smirnov, Postgraduate Student of Chair of Engineering Communications and Life Support Systems of Institute of Architecture, Construction and Design, Irkutsk National Research Technical University (83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia), Researcher ID: V-3117-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4999-7342>, jeka7.7.7@mail.ru

Contribution of the authors:

I. Yu. Shelekhov – literary data analysis, scientific guidance, research task definition, data processing, article writing; T. I. Shishelova – literature analysis, text editing; E. I. Smirnov – analysis of literary data, preparation of samples, collection and analysis of analytical and practical materials, development of the experiment's methodology, computer implementation of the problem solution.

All authors have read and approved the final manuscript.