

СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ

Научная статья

УДК 006.91:543.08+599.61

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-65-76>



Разработка комплекта стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта

Е. П. Собина¹  , Д. Д. Ноговицын², Н. М. Куприков^{3,4} , И. П. Аронов¹ , Д. О. Доронин⁴,
А. Н. Тихонов⁵ 

¹УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», г. Екатеринбург, Россия

 sobina_egor@uniim.ru

²ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Саха (Якутия)», г. Якутск, Россия

³Институт 9 Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

⁴ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, Россия

⁵ФГБУН «Зоологический институт Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Бивень мамонта востребован в ювелирной промышленности, в народных промыслах и при изготовлении косметических средств. Этот уникальный природный ресурс является альтернативой запрещенной к добыче слоновой кости. Потребителям принципиально важно идентифицировать исходное сырье однозначно как бивень мамонта, точно определять сортность материала.

В статье представлены результаты исследования, по итогам которого разработан комплект стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта различных сортов. Образцы представляют собой цилиндры внешним диаметром 30 мм и высотой 30 мм. Аттестованные значения открытой пористости определены методом газовой пикнометрии. Стандартные образцы предназначены для аттестации методик измерений и контроля точности результатов измерений открытой пористости бивня мамонта в лабораторных условиях. Стандартные образцы можно применять для различных видов метрологического контроля при соответствии метрологических характеристик стандартных образцов установленным требованиям.

Материалы исследования имеют прикладной характер для целого ряда отраслей экономики, где в качестве сырья применяют бивень мамонта. Стандартные образцы бивня мамонта востребованы в материаловедении, биологии, геологии, других естественных науках, в экспертной деятельности – для определения подлинности изделий из бивня мамонта. Статья может быть интересна также обучающимся и преподавателям естественнонаучных специальностей высшей школы, а также всем, кого интересуют артефакты древней фауны.

Ключевые слова: открытая пористость, стандартный образец, пикнометр газовый, мамонтовый бивень

Ссылка при цитировании: Разработка комплекта стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта / Е. П. Собина [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2024. Т. 20, № 2. С. 65–76. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-65-76>

Статья поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 02.04.2024; принята к публикации 25.06.2024.

REFERENCE MATERIALS

Research Article

Development of Certified Reference Materials Set for Open Porosity of Mammoth Ivory

Egor P. Sobina¹  , Dmitriy D. Nogovitsyn², Nikita M. Kuprikov^{3,4} , Ilya P. Aronov¹ ,
Denis O. Doronin⁴, Alexey N. Tikhonov⁵ 

¹UNIIM – Affiliated branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia
 sobina_egor@uniim.ru

²FBI State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Republic of Sakha (Yakutia), Russia

³Institute 9 of the Moscow Aviation Institute (NIU), Moscow, Russia

⁴D. I. Mendeleev Institute of Metrology, St.-Petersburg, Russia

⁵Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia

Abstract: Mammoth ivory is in demand in the jewelry industry, folk crafts and in the manufacture of cosmetics. This unique natural resource is an alternative to the prohibited extraction of ivory. It is fundamentally important for consumers to identify the raw material unambiguously as mammoth ivory and to accurately determine the grade of the material.

The article presents the results of a study, which resulted in the development of a reference materials set of open porosity of the mammoth ivory. The reference materials are cylinders with an outer diameter of 30 mm and a height of 30 mm. Certified values of open porosity were determined by gas pycnometry. Reference materials are intended for certification of measurement methods and control of the accuracy of measurement results of open porosity of mammoth ivory in laboratory conditions. Reference materials can be used for various types of metrological control if the metrological characteristics of reference materials correspond to the established requirements.

The research materials are of an applied nature for a number of economic sectors where mammoth ivory is used as a raw material. Reference materials of mammoth ivory are in demand in materials science, biology, geology, and other natural sciences, and in expert activities to determine the authenticity of products made from mammoth ivory. The article may also be of interest to students and teachers of natural sciences in higher education, as well as anyone interested in artifacts of ancient fauna.

Key words: opened porosity, reference material, gas pycnometer, mammoth ivory

For citation: Sobina E. P., Nogovitsyn D. D., Kuprikov N. M., Aronov I. P., Doronin D. O., Tikhonov A. N. Development of certified reference materials set for opened porosity of mammoth ivory. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2024;20(2):65–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-65-76>

The article was submitted 04.03.2024; approved after reviewing 02.04.2024; accepted for publication 25.06.2024.

Введение

Бивень мамонта – это уникальный природный ресурс биогенного происхождения. Бивень мамонта являются перспективным материалом для изготовления художественных и ювелирных изделий, косметических средств. В последнее время бивни мамонта привлекают не только палеонтологов и археологов для воссоздания экосистем палеолита, но и исследователей биоминералов. Мамонтовая кость является уникальным природным сырьём биогенного происхождения и с древних времён используется человеком [1–4].

В настоящее время аналогичный материал – слоновая кость запрещена к добыче и продаже в рамках Конвенции о международной торговле видами фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС)¹. Учитывая, что правила торговли слоно-

¹ Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой уничтожения, подписанная 3 марта 1973 года в г. Вашингтоне: принята Постановлением Совета Министров СССР № 612 от 4 августа 1976 года и Постановлением Совета

вой костью не распространяются на вымершие виды, вырос спрос мирового рынка на ископаемую мамонтовую кость – бивень мамонта [5]. Этот законно добытый источник бивня мамонта, зачастую вызывает затруднения идентификации как у потребителя, так и у таможенных служб, ведь сложно визуальным образом различить изделия, изготовленные из мамонтовой и слоновой кости.

Научные исследования физико-технических свойств состава и структуры мамонтовой кости показали, что бивень мамонта – это трёхкомпонентный композит, состоящий из органического материала (коллаген), минерального материала (образованную из слоев цемента, эмали и дентина, с костномозговой полостью пульпы) и жидкостей (вода) [6–14]. Костные ткани как типичные биоминеральные агрегаты представляют из себя сложные образования и содержат минеральные и органические составляющие, имеют неповторимый рельеф, форму, текстуру поверхности, микро- и нанопоры, специфический микроэлементный и изотопный состав. Его характерной отличительной особенностью, указывающей на то, что бивень принадлежал именно мамонту, является наличие узора, образованного линиями Шрегера – пересекающимися линиями дентина на поперечном срезе бивня у хоботных млекопитающих. Для бивня мамонта угол, образованный линиями Шрегера всегда меньше 90° [15–17].

Структура бивня мамонта, однородная и плотная, имеет тонкий слой наружной эмали, который называется «коркой бивня» из-за его высокой минерализации. Корка бивня пригодна для рельефной резьбы экранов (декоративных панелей) или подставок для основного изделия.

Сортность бивня мамонта определяется наличием радиальных и продольных трещин, образовавшихся вследствие продолжительного пребывания в грунте. Цвет бивня предопределен условиями залегания в грунте, степенью разложения (мергелизации) и минерализации – от белого, бежевого с оттенками до темно-коричневого.

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует единая система классификации мамонтовых бивней. Разработанные в 80–90 годы XX века отраслевые документы ТУ 421-001-92 «Технические условия на ископаемый бивень и его обломки, добываемые на территории Республики Саха (Якутия)» и ТУ 41-07-006-81 «Кость мамонтовая в сырье» устарели.

Можно предположить, что при добыче, для более точной идентификации бивня мамонта, была бы полезной классификация материала, основанная на эмпирических данных. Такая классификация помогла бы

установить систему критериев, по которым можно будет безошибочно определить принадлежность бивня к определенному сорту. Таким образом стоит выделить шесть сортов бивня мамонта: от 1 сорта – экземпляров наилучшего качества, с минимальным количеством трещин и дефектов и до 6 сорта – мелких осколков и порошка.

Отправной точкой стала гипотеза: бивень мамонта представляет собой пористое тело. В связи с этим можно предположить, что разные сорта бивней могут различаться физическими свойствами, а именно – пористостью или плотностью. Следовательно, для лучшего сорта – 1 сорта – характерно наименьшее число дефектов, трещин и прочих изъянов, наличие которых увеличивается по возрастанию нумерации сортов.

Цель работы – разработка стандартных образцов (далее – СО) бивня мамонта для обеспечения разделения по сортам заданной классификации.

Основные задачи работы:

- 1) выбрать исходный материал из бивня мамонта определенных сортов для измерений физических свойств;
- 2) изготовить образцы в виде цилиндров диаметром 30 мм и высотой 30 мм;
- 3) провести экспериментальные исследования физических свойств и оценить их корреляции от различного сорта бивня мамонта;
- 4) разработать стандартные образцы открытой пористости бивня мамонта.

Материалы и методы

Материал

Исходные заготовки для СО открытой пористости бивня мамонта были изготовлены из бивней мамонта I–III сорта (сертификат: серия AA № 001 от 6 сентября 2017 г., выдан ООО «Якутский экспортный перерабатывающий завод»). Часть материалов было оставлено в виде срезов цельного бивня, которые изолировались от атмосферы воздуха с помощью эпоксидной смолы. Из другой части были отобраны по два цилиндра диаметром и высотой 30 мм (рис. 1).

Оборудование

Для характеристики СО использована эталонная установка из состава ГЭТ 210-2019², реализующая метод гелиевой пикнометрии при атмосферных условиях [18, 19]. В состав установки входит следующее оборудование:

² ГЭТ 210-2019 Государственный первичный эталон единиц удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема пор, размера пор, открытой пористости и коэффициента газопроницаемости твердых веществ и материалов.

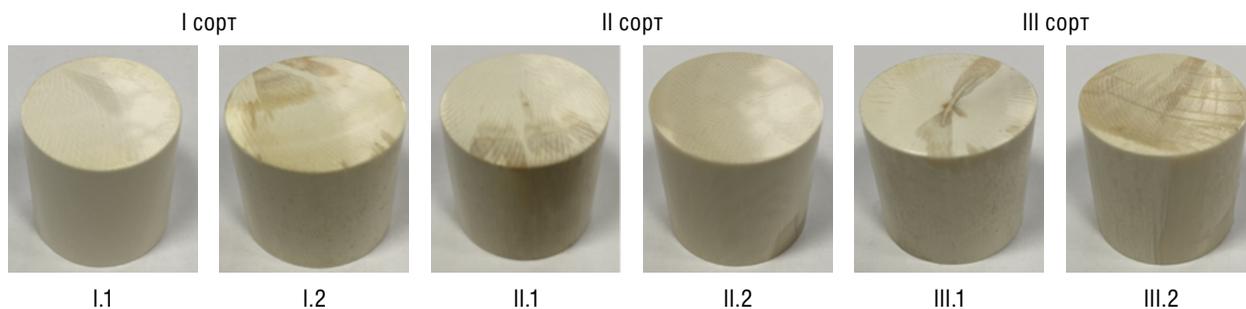


Рис. 1. Внешний вид цилиндров, отобранных в двух параллелях от исходных образцов разного сорта, и их индексы

Fig. 1. Appearance of the cylinders, which were selected in two parallels from the original samples of different types and their indices

– весы электронные GX-1000 (A&D Company Ltd., Япония), I (специальный) класс точности по ГОСТ OIML R76-1-2011 «ГСИ. Весы неавтоматического действия. Ч. 1. Метрологические и технические требования. Испытания (с Поправкой)», ФИФ № 20325–06, наименьший предел взвешивания 0,1 г, наибольший предел взвешивания 1 100 г, дискретность показаний массы 0,001 г, пределы допускаемой погрешности измерений в диапазонах (0,1–500) г и (500–1 100) г – соответственно $\pm 0,01$ и $\pm 0,02$ г при уровне доверия $P=0,95$;

– пикнометр газовый Русномат АТС (Thermo Fisher Scientific, Италия), ФИФ № 64386–16, диапазон измерений объема (3–100) см³, пределы допускаемой относительной погрешности измерений $\pm 0,5\%$ при $P=0,95$;

– микрометр цифровой 293-241-30 (Mitutoyo Corporation, Япония), ФИФ № 30740–12, диапазон измерений длины (25–50) мм, пределы допускаемой погрешности измерений ± 2 мкм при $P=0,95$;

– термогигрометр электронный CENTER313 (CENTER Technology Corp., Тайвань), ФИФ № 2212909, диапазон измерений температуры (10–35) °С и пределы допускаемой погрешности измерений $\pm 0,7$ °С при $P=0,95$, диапазон измерений относительной влажности (10–90)% с пределами допускаемой погрешности измерений $\pm 2,5\%$ при $P=0,95$;

– СО открытой пористости твердых веществ, материалов (имитаторы) утвержденного типа ГСО 10583–2015 (комплект ОПТВ СО УНИИМ), диапазон аттестованных значений открытой пористости (5–50)%, границы абсолютной погрешности аттестованных значений $\pm 0,05\%$ при $P=0,95$ (расширенная неопределенность аттестованного значения 0,05% при $k=2$);

– гелий газообразный высокой чистоты (сжатый), марка А по ТУ 0271-001-37924839-2014.

Методика измерений

Метод измерений открытой пористости бивня мамонта с помощью газового пикнометра основан

на изменении давления газа в измерительной камере пикнометра в результате расширения газа и его вытеснения из вспомогательной камеры в измерительную камеру с исследуемым образцом [20]. В ходе экспериментов регистрировали показания встроенного в пикнометр датчика давления до и после открытия клапана в измерительную камеру с исследуемым образцом. Измерительная камера пикнометра оснащена термостатом, измерения проводили в термостатированных условиях при температуре 20 °С.

Для измерения объема твердой фазы образец помещали в измерительную камеру (кювету) пикнометра номинальным объемом 20 или 40 см³ и термостатировали в ней на протяжении 1 ч. После этого вводили в управляющую программу пикнометра Русномат АТС параметры анализа (время продувки потоком гелия 60 с, количество циклов очистки 10, время установления давления 20 с, среднее квадратическое отклонение (СКО) не более 0,1%, число измерений 10) и начинали измерение.

После измерения объема твердой фазы измеряли геометрические параметры образца. Для этого термостатированный образец извлекали из измерительной камеры пикнометра и в максимально короткое время (не более 5 мин) микрометром измеряли его длину и диаметр. Длину l_i и диаметр d_i образца измеряли соответственно в равноотстоящих друг от друга точках.

Открытую пористость A вычисляли по формулам:

$$A = (1 - \bar{V}/V_{06}) \cdot 100; \quad (1)$$

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i; \quad (2)$$

$$V_0 = \pi \bar{d}^2 l / 4, \quad (3)$$

где \bar{V} – среднее значение объема твердой фазы, см³; V_{06} – объем образца, см³; N – количество измерений;

V_i – i -й результат измерений объёма твёрдой фазы, см³; \bar{l} , \bar{d} – средние значения длины и диаметры, которые рассчитывают аналогично формуле (2), см.

Истинное значение открытой пористости A с учётом всех источников неопределённости для данного СО можно представить в виде

$$A = A_{am} + \delta A_x + \delta A_{нд} + \delta A_{нс}, \quad (4)$$

где δA_x , $\delta A_{нд}$, $\delta A_{нс}$ – погрешности аттестованного значения СО, обусловленные соответственно характеристикой, неоднородностью и нестабильностью СО (в расчётах математическое ожидание принимается равным нулю, а в общий бюджет неопределённости аттестованного значения СО добавляется соответствующая стандартная неопределённость, связанная с характеристикой, неоднородностью и нестабильностью), %.

С учётом уравнений (1)-(3) аттестованное значение СО вычисляли как

$$A_{am} = \left(1 - \frac{4\bar{V}}{\pi \bar{l} \bar{d}^2} \right) \cdot 100. \quad (5)$$

Оценивание стандартной неопределённости, обусловленной характеристикой стандартного образца

Оценивание проводили в соответствии с ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Модель источников неопределённости аттестованного значения СО $\delta A_{хар}$ формируется из следующих вкладов:

$$\delta A_{хар} = \delta A_{п} + \delta A_{ин}, \quad (6)$$

где $\delta A_{п}$ – погрешность аттестованного значения СО, зависящая от повторяемости измерений открытой пористости (оценивается как стандартная неопределённость измерений по типу А), %; $\delta A_{ин}$ – погрешность аттестованного значения СО, связанная с инструментальными погрешностями измерений открытой пористости (оценивается как стандартная неопределённость измерений по типу В исходя из сертификатов калибровки применяемых средств измерений), %.

Стандартную неопределённость типа А результата измерения открытой пористости рассчитывали по формуле

$$u_A(A) = \sqrt{[c_l u_A(l)]^2 + [c_d u_A(d)]^2 + [c_V u_A(V)]^2}, \quad (7)$$

где c_l , c_d , c_V – коэффициенты чувствительности; $u_A(l)$, $u_A(d)$, $u_A(V)$ – стандартные неопределённости типа А результатов измерений длины l и диаметра d образца, а также объёма V твёрдой фазы образца.

Стандартную неопределённость типа А результата измерения длины вычисляли как

$$u_A(l) = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum (l_i - \bar{l})^2}, \quad (8)$$

где N – количество измерений; l_i – i -й результат измерений длины образца, см; \bar{l} – среднее значение измеренной длины образца, см.

Коэффициенты чувствительности находили по формулам

$$c_l = \frac{\partial A}{\partial l} = \frac{4\bar{V}}{\pi \bar{d}^2 \bar{l}^2} \cdot 100; \quad (9)$$

$$c_d = \frac{\partial A}{\partial d} = \frac{8\bar{V}}{\pi \bar{d}^2 \bar{l}^2} \cdot 100; \quad (10)$$

$$c_V = \frac{\partial A}{\partial V} = -\frac{4}{\pi \bar{d}^2 \bar{l}} \cdot 100. \quad (11)$$

Стандартную неопределённость типа В результата измерения открытой пористости A рассчитывали аналогично формуле (4), где вместо стандартных неопределённостей типа А для входных величин использовали соответствующие значения стандартных неопределённостей типа В, равные стандартным неопределённостям из сертификатов калибровки используемых средств измерений:

$$u_B(A) = \sqrt{[c_l u_B(l)]^2 + [c_d u_B(d)]^2 + [c_V u_B(V)]^2}. \quad (12)$$

Оценивание стандартных неопределённостей измерений, связанных с неоднородностью и нестабильностью стандартного образца

Исследование однородности не проводили, поскольку для каждого экземпляра СО устанавливали индивидуальное значение открытой пористости. В связи с этим неопределённость, обусловленная неоднородностью, отсутствует.

Оценка стандартной неопределённости от нестабильности была взята из результатов исследований корундовых образцов ГСО 11116-2018 – ГСО 11119-2018, которые крошатся при эксплуатации и заведомо менее стабильны чем бивни мамонта.

Результаты и обсуждение

Определение метрологических характеристик стандартного образца

В качестве аттестованных значений СО приняты значения открытой пористости, полученные при

температуре 20 °С. Метрологические характеристики СО приведены в табл. 1, 2.

Проведённые исследования показали, что расширенная неопределённость аттестованных значений СО в диапазоне (5,47–17,43) % находится в интервале (0,04–0,4)%. Прослеживаемость аттестованных значений комплекта, разработанных СО к единице открытой пористости (процентам) обеспечена применением ГЭТ 210-2019.

Значения плотности для исследуемых образцов бивня мамонта графически представлены на рис. 2, на рис. 3 для открытой пористости.

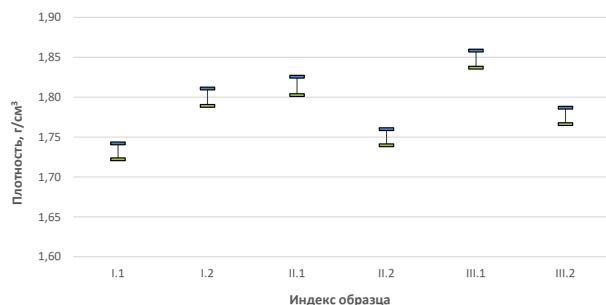


Рис. 2. Значения плотности для исследуемых образцов бивня мамонта

Fig. 2. Density values for the studied mammoth ivory samples

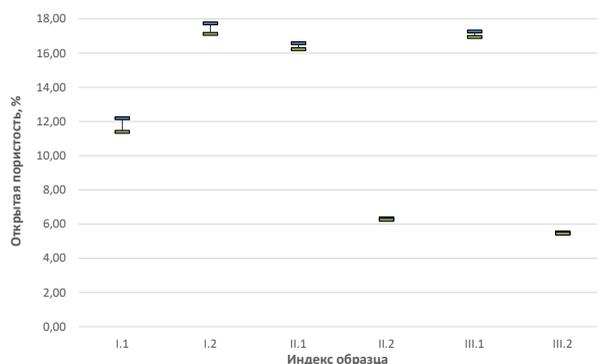


Рис. 3. Значения открытой пористости для исследуемых образцов бивня мамонта

Fig. 3. Open porosity values for the studied mammoth ivory samples

Анализ данных показал, что физические свойства (открытая пористость и плотность) исследуемых образцов не имеют зависимости от сорта происхождения, т. к. их значения внутри сорта от образца к образцу варьируются сильнее чем при переходе от сорта к сорту бивня мамонта.

Гипотеза о том, что разные сорта бивня имеют различную трещиноватость и возможность построения шкалы

Таблица 1. Параметры и аттестованные значения открытой пористости экземпляров СО № I.1, № I.2, II.1
Table 1. Parameters and certified values of open porosity of RM № I.1, № I.2, II.1

Индекс СО	I.1		I.2		II.1	
	Значение	$U(k=2)$	Значение	$U(k=2)$	Значение	$U(k=2)$
Диаметр, мм	28,117	0,145	27,222	0,443	27,431	0,239
Длина, мм	29,322	0,019	29,255	0,085	28,947	0,018
Масса, г	27,812	0,004	25,305	0,003	25,942	0,004
Плотность, г/см³	1,732	0,010	1,800	0,011	1,814	0,012
Открытая пористость, %	11,79	0,40	17,428	0,31	16,40	0,18

Таблица 2. Параметры и аттестованные значения открытой пористости экземпляров СО № II.2, № III.1, III.2
Table 2. Parameters and certified values of open porosity of RM № II.2, № III.1, III.2

Индекс СО	II.2		III.1		III.2	
	Значение	$U(k=2)$	Значение	$U(k=2)$	Значение	$U(k=2)$
Диаметр, мм	29,39	0,040	28,098	0,177	30,029	0,025
Длина, мм	29,629	0,123	29,154	0,103	29,976	0,096
Масса, г	33,068	0,004	27,688	0,004	35,648	0,003
Плотность, г/см³	1,750	0,010	1,848	0,011	1,776	0,010
Открытая пористость, %	6,29	0,05	17,10	0,16	5,47	0,04

по физическим свойствам (плотности, открытой пористости) не подтвердилась. Вероятно, это связано с тем, что основные различия (трещины и каверны) в бивне мамонта различного сорта находятся на поверхности, в то время как внутри материал кости бивня мамонта имеет плотную структуру без пустот.

Кроме того, плотность бивня мамонта ($1,73\text{--}1,85\text{ г/см}^3$) близка к плотности бивня слона ($1,72\text{ г/см}^3$) [21].

На рис. 4 представлены макрофотографии срезов СО, на которых видны линии Шрегера, отмеченные черными штрихами, образующие угол меньше 90° . Значение угла меньше 90° , характерно, именно для бивня мамонта, и соответственно, угол Шрегера может быть использован для целей быстрой идентификации артефактов, изготовленных именно из бивня, а не из других костей или зубов мамонта.

Для изучения внутренней структуры бивня мамонта применен метод рентгеновской томографии, который позволил получить трехмерные изображения срезов бивней мамонта и изучить внутреннюю структуру исследуемых исходных образцов бивней (рис. 5). Анализ трехмерных изображений не позволил выявить зависимость сорта бивня мамонта от пористости или плотности.

Заключение

В результате выполненных исследований создан набор из шести стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта. СО бивня мамонта представляют собой цилиндры внешним диаметром 30 мм и высотой 30 мм, изготовленных из бивня мамонта I–III сортов. Аттестованные значения открытой пористости

определены методом газовой пикнометрии. Данная коллекция дополнена исходными срезами бивня мамонта I–III сортов. Разработанный комплект СО можно использовать для контроля точности измерений открытой пористости бивня мамонта.

Однако в ходе исследования установлено существенное ограничение применения СО по их аттестованным значениям открытой пористости. Несмотря на то, что бивень мамонта обладает пористым телом, его материал нельзя идентифицировать только по его физическим свойствам, таким как пористость и плотность. Исследуемые образцы не демонстрировали зависимости пористость и плотность от сорта бивня мамонта. Значения внутри сорта отличались значительно больше, чем значения между разными сортами бивня мамонта. Так, в ходе исследования была проверена гипотеза о различной трещиноватости и возможности создания шкалы по физическим свойствам (плотности, пористости) для разных сортов бивня. Однако эта гипотеза не подтвердилась. Скорее всего это связано с тем, что основные различия (трещины и каверны) в бивне мамонта разных сортов находятся на поверхности или вблизи поверхности, в то время как внутри материала кости бивня мамонта имеется плотная структура без полостей.

Но, несмотря на эти ограничения, разработанный комплект стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта всё равно является ценным инструментом для контроля точности измерений. Благодаря этим образцам можно определить, насколько точными являются измерения открытой пористости, проводимые на реальных образцах бивня мамонта. Это особенно

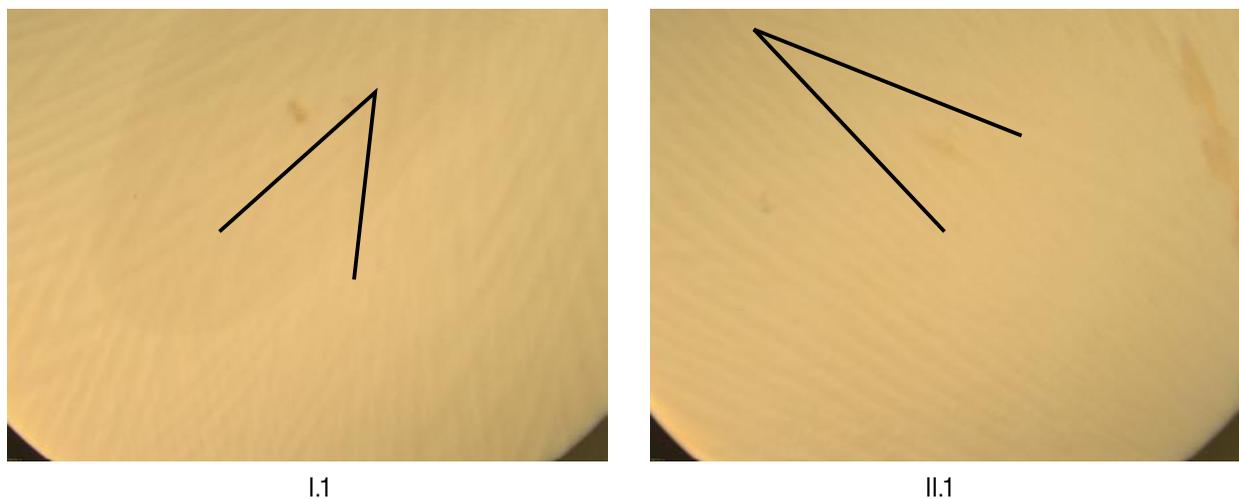
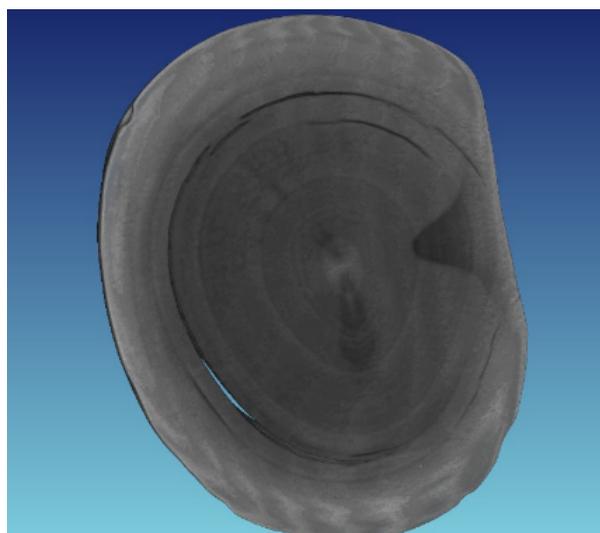
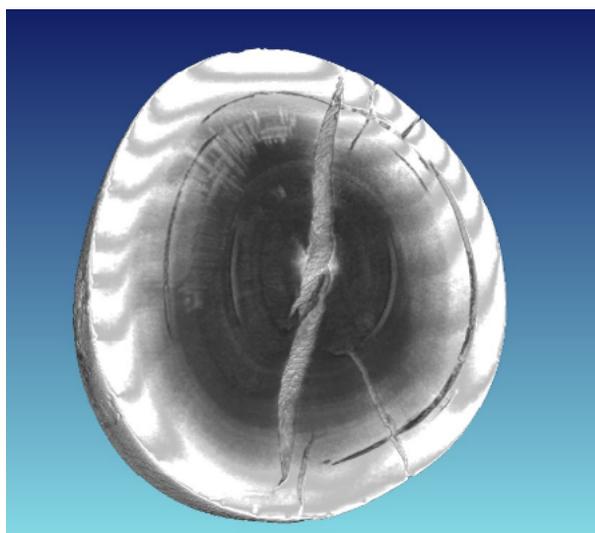


Рис. 4. Макрофотографии отобранных образцов в виде цилиндров бивня мамонта различных сортов с отметками линий Шрегера

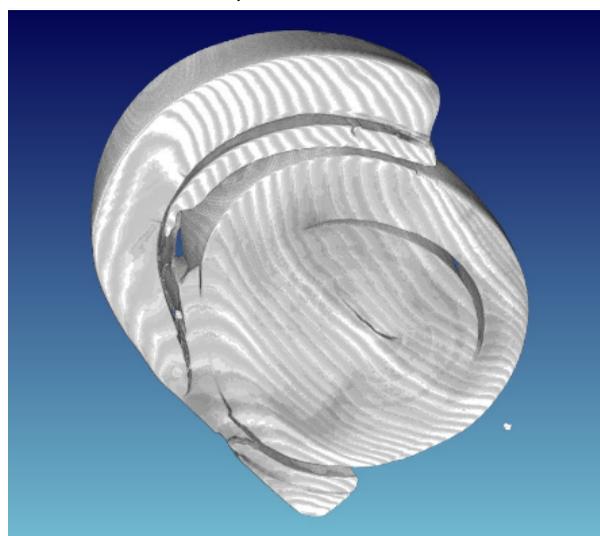
Fig. 4. Macro photographs of selected samples in the form of cylinders of mammoth ivory of various varieties with marks of Schreger lines



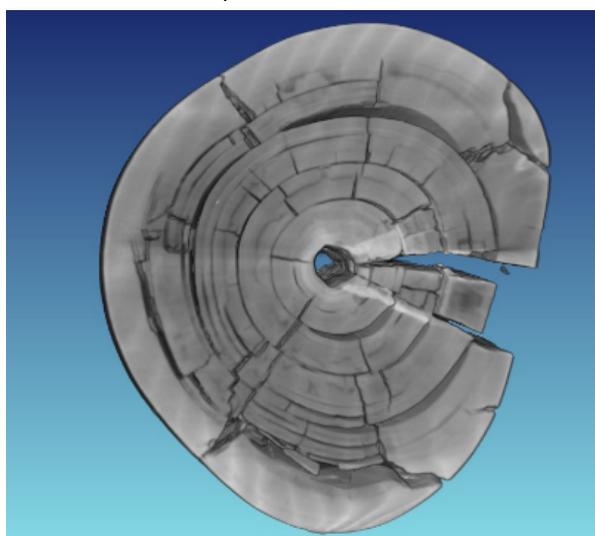
I сорт бивня мамонта



II сорт бивня мамонта



III сорт бивня мамонта



IV сорт бивня мамонта

Рис. 5. Трехмерные изображения образцов исходного бивня мамонта различных сортов, полученные с помощью рентгеновского томографа

Fig. 5. Three-dimensional images of samples of the original mammoth tusk of various types, obtained using an X-ray tomography

важно при производстве сырья из бивня мамонта, так как точность измерений влияет на качество и свойства полученного материала.

Еще одним важным результатом проведенных исследований было обнаружение совпадения плотности бивня мамонта с плотностью бивня слона. Это означает, что эти два вида семейства слоновых млекопитающих имеют схожую плотность бивней, что может быть полезной информацией для палеонтологов и других ученых, занимающихся изучением этих видов.

Методы измерений плоского угла могут быть использованы для определения принадлежности бивня

именно мамонту. Например, углы между линиями Шрегера, которые присутствуют на поверхности поперечного среза бивня слона и мамонта, являются оперативным способом при идентификации бивней. Это может быть полезным при археологических и палеонтологических исследованиях для определения происхождения найденных останков и реконструкции жизни древних видов.

Таким образом, проведенные исследования и разработка комплекта стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта являются важным шагом в области метрологического обеспечения производства сырья

из бивня мамонта и изучения палеонтологических материалов мамонтовой фауны. Данный комплект стандартных образцов открытой пористости бивня мамонта и в дальнейшем может исследоваться различными методами с целью научного поиска необычных свойств, обусловленных уникальным строением бивня мамонта. Проведенное научное исследование будет способствовать более эффективной добыче сырья из бивней мамонта, изучению, использованию, переработке и реализации таких материалов, что является одной из основных задач в современной палеонтологии и археологии. Такой подход также может содействовать развитию научных исследований и сохранению исторического наследия мамонтовой фауны.

Вклад соавторов: Все авторы внесли свой вклад в концепцию и дизайн исследования. Собина Е. П. – разработка концепции исследования, обсуждение и обработка результатов экспериментальных исследований; Ноговицын Д. Д. – подбор материалов и изготовление образцов; Куприков Н. М. – разработка концепции исследования, научно-методическое сопровождение работы; Аронов И. П. – проведение экспериментальных работ; Доронин Д. О. – проведение исследовательских работ по изучению линий Шрегера и углов между ними, подготовка визуальных материалов, редакция текста статьи; Тихонов А. Н. – экспертная оценка материалов, консультации по материалам (бивни мамонта).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. *Третьякова О. Г., Третьяков М. Ф., Третьяков Ф. Ф.* Построение геологической каркасной модели правобережья р. Кюрбелях (Томпонский полигон СВФУ) в ГИС Майкромарк // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2021. № 4. С. 44–52. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2021.24.4.014>
2. *Смирнов А. Н.* Ископаемая мамонтовая кость: проблемы и перспективы изучения и освоения ресурсного потенциала в Российской Арктике // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2005. № 13. С. 255–265.
3. *Смирнов А. Н.* Ресурсный потенциал ископаемой мамонтовой кости в российской Арктике // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 4. С. 21–29.
4. *Кириллин Н. Д., Ноговицын Р. Р.* Ископаемая мамонтовая кость – особый природный ресурс // Наука и техника в Якутии. 2010. № 1(18). С. 19–23.
5. Dealing in items containing ivory or made of ivory // GOV.UK [Internet]. URL: <https://www.gov.uk/guidance/dealing-in-items-containing-ivory-or-made-of-ivory>. [Available: 8 December 2023].
6. Mammoth ivory was the most suitable osseous raw material for the production of Late Pleistocene big game projectile points / *S. J. Pfeifer* [et al.] // Scientific Reports. 2019. Vol. 9, № 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38779-1>
7. Минеральный состав и физико-механические свойства бивней мамонта различных сортов / *Т. М. Соловьев* [и др.] // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28, № 3. С. 495–506. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-495-506>
8. *Климовская Т. Ф.* Структурные и морфологические особенности бивней шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius*: обзор результатов и перспективы исследований // Жизнь Земли. 2022. Т. 44, № 4. С. 456–464. https://doi.org/10.29003/m3120.0514-7468.2022_44_4/456-464
9. Исследование структуры бивня мамонта методом ИК спектроскопии / *В. В. Павлова* [и др.] // Оптика и спектроскопия. 2022. Т. 130, № 3. С. 369–375. <https://doi.org/10.21883/OS.2022.03.52164.2643-21>
10. Анализ состава и структуры бивня мамонта *Mammuthus primigenius* методами термогравиметрического и рентгенофазового анализа / *Т. М. Соловьев* [и др.] // Материаловедение. 2021. № 2. С. 9–12. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2021-0-2-9-12>

Contribution of the authors: All the authors contributed to the concept and design of the research. Sobina E. P. – development of the research concept, discussion and processing of experimental research results; Nogovitsyn D. D. – selection of materials and production of samples; Kuprikov N. M. – development of the research concept, scientific and methodological support of the work; Aronov I. P. – experimental work; Doronin D. O. – research work on the study of Schreyer lines and the angles between them, preparing visual materials, revision of the text; Tikhonov A. N. – expert assessment of materials, consultations on materials (mammoth ivories).

Конфликт интересов: Авторы заявляют, что у них нет потенциального конфликта интересов в связи с исследованием, представленным в данной статье. Собина Е. П. является членом редакционной коллегии журнала «Эталоны. Стандартные образцы».

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest. Egor P. Sobina is a member of the editorial board of the journal «Measurement Standards. Reference Materials».

Финансирование: Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

Funding: This research did not receive financial support in the form of a grant from any governmental, for-profit, or non-profit organizations.

11. Исследование структуры и подходов к сохранению бивня мамонта / *Е. С. Петухова* [и др.] // EURASTRENCOLD-2022: Сборник трудов X Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур, посвященный 100-летию образования ЯАССР и 300-летию Российской Академии наук, Якутск, 12–16 сентября 2022 года / Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2022. С. 361–365.
12. A mammoth task: identifying mammoth ivory using Raman spectroscopy / *R. F. Shepherd* [et al.] // *FASEB Journal*. 2022. Vol. 36, Iss. S1. First published: 13 May 2022. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.S1.R4792>
13. Discrimination of ivory from extant and extinct elephant species using Raman spectroscopy: A potential non-destructive technique for combating illegal wildlife trade / *R. F. Shepherd* // *PLoS ONE*. 2024. Vol. 19, № 4. P. e0299689. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299689>
14. *Locke M.* Structure of ivory // *Journal of Morpholog.* 2008. Vol. 269, № 4. P. 423–450. <https://doi.org/10.1002/jmor.10585>
15. *Espinoza E. O., Mann M. J.* Identification guide for ivory and ivory substitutes. Baltimore: World Wildlife Fund and Conservation Foundation, 1999. 38 p.
16. *Милосердов Д. Ю.* Определение остеологических материалов (кости и рога) в художественных и декоративно-прикладных изделиях на основе коллекций Государственного Дарвиновского музея: методическое пособие / под редакцией директора Государственного Дарвиновского музея, доктора педагогических наук, Заслуженного работника культуры РФ А. И. Ключиной. М.: ГДМ, 2017. 96 с.
17. *Espinoza E. O., Mann M.-J.* The history and significance of the Schreyer pattern in proboscidean ivory characterization // *Journal of the American Institute for Conservation*. 1993. Vol. 32, № 3. P. 241. <https://doi.org/10.1179/019713693806124866>
18. *Собина Е. П.* Исследование метрологических характеристик эталонных установок на основе методов гелиевой пикнометрии и гидростатического взвешивания // Метрология физико-химических измерений: тезисы докладов IV Международной научно-технической конференции, 17–19 сентября 2019 г., Суздаль, Россия. Менделеево: ВНИИФТРИ, 2019. С. 76–79.
19. *Собина Е. П.* Совершенствование эталонного комплекса для метрологического обеспечения порометрии твердых веществ и материалов // Стандартные образцы. 2018. Т. 14, № 1–2. С. 9–24. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-1-2-9-23>
20. *Иваницкий А. В.* Определение коэффициента открытой пористости горных пород методом жидкостенасыщения и газовой люметрическим методом // *Аллея науки*. 2018. № 7. С. 227–231.
21. The spectrum characteristic analysis of mammoth ivory / *Z.-W. Yin* [et al.] // *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 2013. Vol. 33, № 9. P. 2338–2342. [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2013\)09-2338-05](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2013)09-2338-05)

REFERENCE:

1. *Tretyakova O. G., Tretyakov M. F., Tretyakov F. F.* Construction of a geological wireframe model of the right bank of the Kurbelyakh River (Tomponsky training ground of nefu) in GIS Micromine. *Vestnik of North-Eastern Federal University Series «Earth Sciences»*. 2021;(4):44–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.25587/SVFU.2021.24.4.014>
2. *Smirnov A.* Fossil ivory: problems and perspectives of the studies and development of the resource potential in the Russian Arctic. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*. 2005;(13):255–265. (In Russ.).
3. *Smirnov A. N.* Resource potential of fossil mammoth bone in the Russian arctic. *Mineral Recourses of Russia. Economics and Management*. 2007;(4):21–29. (In Russ.).
4. *Kirillin N. D., Nogovitsyn R. R.* Fossil mammoth bone is a special natural resource. *Nauka i tekhnika v Iakutii*. 2010;1(18):19–23. (In Russ.).
5. Dealing in items containing ivory or made of ivory. Available at: <https://www.gov.uk/guidance/dealing-in-items-containing-ivory-or-made-of-ivory>. [Accessed: 8 December 2023].
6. *Pfeifer S. J., Hartrampf W. L., Kahlke R.-D., Müller F. A.* Mammoth ivory was the most suitable osseous raw material for the production of Late Pleistocene big game projectile points. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38779-1>
7. *Solovev T. M., Isakova T. A., Pavlova V. V., Botvin G. V., Chirikov A. A., Petrov V. V.* et al. Mineral composition, physical and mechanical properties of mammoth tusks of different grades. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(3):495–506. (In Russ.). <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-495-506>
8. *Klimovskaya T. F.* Structural and morphological features of the tusks of the woolly mammoth *Mammuthus Primigenius*: a review of results and research perspectives. *Life of the Earth*. 2022;44(4):456–464. (In Russ.). https://doi.org/10.29003/m3120.0514-7468.2022_44_4/456-464
9. *Pavlova V. V., Petukhova E. S., Isakova T. A., Kolesova E. S., Chirikov A. A., Protopopov F. F.* Study of the structure of mammoth tusk by ir spectroscopy. *Optics and Spectroscopy*. 2022;130(3):207–213. (In Russ.). <https://doi.org/10.21883/OS.2022.03.52164.2643-21>
10. *Solovyev T. M., Petukhova E. S., Botvin G. V., Isakova T. A., Pavlova V. V.* Analysis of composition and structure of *Mammuthus Primigenius* mammoth tusk by thermogrammetric and X-ray spectroscopy methods. *Materialovedenie*. 2021;(2):9–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2021-0-2-9-12>
11. *Petyhova E., Isakova T., Solovev T., Pavlova V., Botvin G., Hristoforov I.* et al. Study of the structure and approaches to the preservation of the mammoth tusk. In: *EURASTRENCOLD-2022: Collection of proceedings of the X Eurasian Symposium on problems of strength and resource in conditions of climatic low temperatures, dedicated to the 100th anniversary of the formation of the*

- YASSR and the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, 12–16 September 2022, Yakutsk, Russia. Kirov: Interregional Center for Innovative Technologies in Education; 2022. p. 361–365. (In Russ.).
12. Shepherd R. F., Lister A. M., Roberts A., Taylor A., Kerns J. G. A mammoth task: identifying mammoth ivory using Raman spectroscopy. *FASEB Journal*. 2022;36(S1). First published: 13 May 2022. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.S1.R4792>
 13. Shepherd R. F., Lister A. M., Roberts A. M., Taylor A. M., Kerns J. G. Discrimination of ivory from extant and extinct elephant species using Raman spectroscopy: A potential non-destructive technique for combating illegal wildlife trade. *PLoS ONE*. 2024;19(4): e0299689. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299689>
 14. Locke M. Structure of ivory. *Journal of Morphology*. 2008;269(4):423–450. <https://doi.org/10.1002/jmor.10585>
 15. Espinoza E. O., Mann M. J. Identification guide for ivory and ivory substitutes. Baltimore: World Wildlife Fund and Conservation Foundation; 1999. 38 p.
 16. Miloserdov D. Iu. Determination of osteological materials (bones and horns) in artistic and decorative and applied products based on the collections of the State Darwin Museum: methodological manual. Moscow: GDM; 2017. 96 p. (In Russ.).
 17. Espinoza E. O., Mann M.-J. The history and significance of the Schreyer pattern in proboscidean ivory characterization. *Journal of the American Institute for Conservation*. 1993;32(3):241. <https://doi.org/10.1179/019713693806124866>
 18. Sobina E. P. Study of metrological characteristics of reference installations based on helium pycnometry and hydrostatic weighing methods. In: *Metrology of Physical and Chemical Measurements: Abstracts of the IV international scientific and technical conference, 17–19 September 2019, Suzdal, Russia*. Mendeleev: VNIIFTRI; 2019. p. 76–79. (In Russ.).
 19. Sobina E. P. Improving the measurement standard for the metrological support of the porometry of solid substances and materials. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2018;14(1–2):9–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2018-14-1-2-9-23>
 20. Ivanitsky A. V. Determination of the coefficient of open porosity of rocks by the liquid saturation method and the gas volumetric method. *Alley of Science*. 2018;7(23):227–231. (In Russ.).
 21. Yin Z.-W., Luo Q.-F., Zheng C., Bao D.-Q., Li X.-L., Li Y.-L., Chen Q.-L. The spectrum characteristic analysis of mammoth ivory. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 2013;33(9):2338–2342. [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2013\)09-2338-05](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2013)09-2338-05)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98–3:2008 Неопределенность измерения. Ч. 3. Руководство по выражению неопределенности измерения=Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. М.: Стандартинформ, 2018. 105 с.

ГЭТ 210–2019 Государственный первичный эталон единиц удельной адсорбции газов, удельной поверхности, удельного объема пор, размера пор, открытой пористости и коэффициента газопроницаемости твердых веществ и материалов / институт-хранитель УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [сайт]. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1365157> (дата обращения: 01.02.2024).

Об утверждении Концепции развития сбора, изучения, использования, переработки и реализации палеонтологических материалов мамонтовой фауны на территории Республики Саха (Якутия) : Распоряжение Главы Республики Саха (Якутия) от 13.08.2018 № 649-РГ // Официальный интернет-портал правовой информации. Дата опубликования: 15.08.2018. Номер опубликования: 1400201808150004. <http://publication.pravo.gov.ru/document/1400201808150004?ysclid=lsbej778ng741143939>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Собина Егор Павлович – д-р техн. наук, директор, заведующий лабораторией метрологического обеспечения наноиндустрии, спектральных методов анализа и стандартных образцов УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», академик Метрологической академии
620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: sobina_egor@uniim.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8489-2437>

Ноговицын Дмитрий Дмитриевич – директор ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Саха (Якутия)»
677027, Россия, г. Якутск, ул. Кирова, д. 26
e-mail: ndmdm@mail.ru

INFO ABOUT AUTHORS

Egor P. Sobina – Dr. Sci. (Eng.), Director, UNIIM – Affiliated branch of the D. I. Mendeleev, Head of the Laboratory for Metrological Assurance of Nano Industry, Spectral Methods of Analysis and Reference Materials

4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: sobina_egor@uniim.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8489-2437>

Dmitiy D. Nogovitsyn – director of State Center for Standardization, Metrology and Testing in Republic Sakha (Yakutia)

26 Kirova street, Yakutsk, 677027, Russia
e-mail: ndmdm@mail.ru

Куприков Никита Михайлович – канд. тех. наук, старший научный сотрудник Института 9 Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), доцент кафедры «Теоретическая и прикладная метрология» ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4
e-mail: nkuprikov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3152-0941>

Аронов Илья Петрович – младший научный сотрудник лаборатории метрологического обеспечения nanoиндустрии, спектральных методов анализа и стандартных образцов УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: AronovIP@uniim.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8617-7445>

Доронин Денис Олегович – аспирант, ведущий инженер по стандартизации ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
195427, Санкт-Петербург, А/я 23 Доронину Д. О.
e-mail: doroninden@gmail.com

Тихонов Алексей Николаевич – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Зоологический институт Российской академии наук», председатель технического комитета по стандартизации 487 Росстандарта «Ископаемые остатки мамонтовой фауны»
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 1–3, литер А
e-mail: atikh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7227-5797>
ResearcherID G-7478–2016

Nikita N. Kuprikov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at Institute 9 of the Moscow Aviation Institute (NIU), Associate Professor of «D. I. Mendeleev Institute for Metrology»

4 Volokolamskoe sh., Moscow, 125993, Russia
e-mail: nkuprikov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3152-0941>

Ilya P. Aronov – junior researcher laboratory for metrological support of nano industry, spectral analysis methods and reference materials UNIIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology
4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: AronovIP@uniim.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8617-7445>

Denis O. Doronin – Leading engineer for standardization, of D. I. Mendeleev Institute for Metrology
195427, Saint-Petersburg, P.O. box 23, for Doronin D. O.
e-mail: doroninden@gmail.com

Alexei N. Tikhonov – Candidate for Biological Science, leading researcher of Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Chairman TC487 GOST R

1–3 Universitetskaya embankment, Saint-Petersburg, 199034, Russia
e-mail: atikh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7227-5797>
ResearcherID G-7478–2016