

## Предголоценовый таймырский мамонт Петя: минералого-изотопно-геохимические свойства костей, мягких тканей, кожи, волос и палеоэкологические реконструкции

В. И. Силаев\*, А. С. Шуйский\*, И. В. Смолева\*,  
С. Н. Шанина\*, Е. А. Васильев\*\*,  
Д. В. Киселёва\*\*\*, А. Ф. Хазов\*, Б. А. Макеев\*,  
А. Е. Сухарев\*, А. К. Фокина\*\*\*

\* Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина  
Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук,  
г. Сыктывкар

\*\* Санкт-Петербургский горный университет,  
г. Санкт-Петербург

\*\*\* Институт геологии и геохимии  
имени академика А. Н. Заварицкого УрО РАН,  
г. Екатеринбург  
silaev@geo.komisc.ru

### Аннотация

Обсуждаются впервые полученные результаты комплексных минералогических, спектроскопических, хроматографических, изотопно-геохимических исследований новых остатков таймырского мамонта, включающих кости, костный коллаген, волосы, кожу и мягкие – мышечные и жировые – ткани. Сделаны выводы о биологическом возрасте, палеоклиматических условиях существования, пищевом рационе животного и о формах и степени фоссилизации его ископаемых остатков.

### Ключевые слова:

таймырский мамонт Петя, кости, костный коллаген, мягкие ткани, кожа, волосы, минералогические, спектроскопические, хроматографические, изотопно-геохимические свойства, палеоэкологические реконструкции

### Введение

До настоящего времени в исследованиях остатков мамонтовой фауны сохраняется традиционное преобладание результатов радиоуглеродного датирования и сугубо органолептической информации с акцентом на решение тафономических, морфолого-анатомических, остеометрических, зоономенклатурных и т. п. задач [1–8]. Тем не менее последние 15–20 лет в палеонтологическую практику стали внедряться химические и изотопные исследования, существенно повлиявшие на развитие представлений

## Pre-Holocene Taymyr mammoth Petya: mineralogical-isotope-geochemical properties of bones, soft tissues, skin, hairs and paleoecologic reconstructions

V. I. Silaev\*, A. S. Shuyskiy\*, I. V. Smoleva\*,  
S. N. Shanina\*, E. A. Vasiliev\*\*,  
D. V. Kiseleva\*\*\*, A. F. Khazov\*, B. A. Makeev\*,  
A. E. Sukharev\*, A. K. Fokina\*\*\*

\* Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin,  
Komi Science Centre of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
Syktyvkar

\*\* Saint-Petersburg Mining University,  
Saint-Petersburg

\*\*\* Institute of Geology and Geochemistry named  
after academician A. N. Zavaritskiy of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg  
silaev@geo.komisc.ru

### Abstract

The paper highlights the results of complex mineralogical, spectroscopic, chromatographic, isotope-geochemical studies of the remains of the Taimyr mammoth, including bones, bone collagen, hairs, skin and soft – muscle and fatty – tissues, obtained for the first time. The authors have drawn conclusions about the animal's biological age, paleoclimatic conditions of existence, diet, as well as about the forms and degree of fossilization of its fossil remains.

### Keywords:

Taymyr mammoth Petya, bones, bone collagen, soft tissues, skin, hairs, mineralogical, spectroscopic, chromatographic, isotope-geochemical properties, paleoecologic reconstructions

о доисторической биосфере [9–18]. А уже в текущем десятилетии появились и примеры экспериментальных исследований костного детрита мамонтов с комплексным применением весьма информативных минералого-изотопно-геохимических методов [19–26]. Однако при всем этом в современной практике изучения остатков мамонтов остается большой пробел из-за отсутствия полноценных исследований мягких тканей, часто присутствующих на скелетах, не говоря уже о значительном фонде мало

реализованных в научном смысле находок мумифицированных туш [10, 18, 27–32]. Существование до настоящего времени такого пробела представляется весьма удивительным, поскольку еще в самом начале XX в. именно российским зоологом Е. В. Пфиценмайером (рис. 1) было сделано первое в мировой истории научное описание мягких тканей мамонта [33], усиленное впоследствии результатами гистологических и микрохимических анализов [34].

В 2019 г. на р. Гусиной (Западный Таймыр) начальником геологической партии ВСЕГЕИ Петром Андреевичем Громовым был найден сохранившийся на 80 % (без бивней, с расколотым черепом и без зубов) скелет мамонта с фрагментами мягких тканей и волос на участке ребер (рис. 2). Скелет располагался у современного уреза воды, залегая на субстрате терригенных отложений казанцевской морской трансгрессии [35] среди более молодых аллювиальных осадков. Морские отложения в этом районе датируются 120–68 тыс. лет, что соответствует межледниковью МИС 5, предшествующему Зырянскому (Ермаковскому) оледенению. Калиброванный радиоуглеродный возраст



Рисунок 1. Березовский мамонт, обнаруженный на притоке р. Колымы. Май 1901 г. 1 – Отто Герц, энтомолог Зоологического музея в г. Санкт-Петербурге, руководитель экспедиции; 2 – Евгений Васильевич Пфиценмайер, палеозоолог.

Figure 1. The Berezovka mammoth discovered on a tributary of the Kolyma River. May 1901. 1 – Otto Herz, entomologist of the Zoological Museum in Saint-Petersburg, leader of the expedition; 2 – Evgeniy Vasilievich Pfitsenmayer, paleozoologist.

костных остатков составил  $12\ 870 \pm 110$  лет<sup>1</sup>. Имя Петьа мамонту дали в честь первооткрывателя его останков.

## Объекты и методы

Непосредственным объектом минералого-геохимических исследований послужили переданные нам геологом одной из партий ВСЕГЕИ Дмитрием Николаевичем Костиным образцы: 1) вмещающих и перекрывающих скелет мамонта Пети осадков (грунта); 2) костей, волос, кожи (ороговевшей ткани) и мягких тканей, определенных нами как мышечные и жировые. В ходе исследований применялся комплекс современных аналитических методов, хорошо зарекомендовавший себя в приложении ко многим палеонтологическим и археологическим объектам. В комплекс вошли: оптическая микроскопия (компьютеризированный комплекс OLYMPUS BX51); аналитическая сканирующая электронная микроскопия (JSM-6400 Jeol; TESCAN VEGA3 LMN); термический анализ (DTG-60A/60 AH, Shimadzu); рентгеновская дифрактометрия (XRD-6000, Shimadzu); рентгенофлуоресцентный анализ (XRD-1800, Shimadzu); определение нанопористости по кинетике адсорбции/десорбции азота (Nova 1200e, Quantachrome Instruments); анализ содержания микроэлементов методом ИСП-МС (NexION 300S Perkin Elmer); хромато-масс-спектрометрическое определение аминокислотного состава в органических веществах (GC-17A); инфракрасная спектроскопия биоапатита (ФТ-2 Инфралюм) и органических веществ (VERTEX-70 с микроскопом HYPERION 1000); масс-спектрометрический анализ изотопного состава серы, С, О в биоапатите и С, N в костном коллагене (Delta V. Advantage с аналитическим процессором Gas-Bench II (сера) и Thermo Fisher Scientific).

ИСП-МС анализы на микроэлементы выполнены в ЦКП «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН в рамках госбюджетной темы № 123011800012-9. Спектры ИКС для органических веществ были получены в Санкт-Петербургском горном университете. Все остальные аналитические работы осуществлены в ЦКП

<sup>1</sup> Чуть древнее голоценового мамонта Таймырского (11 500 лет), найденного в 1948 г.

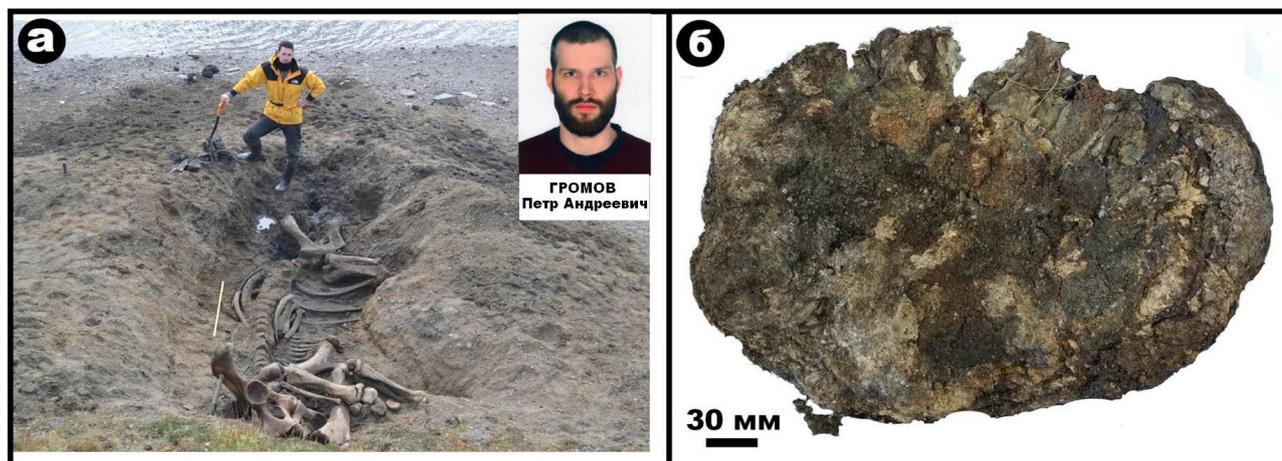


Рисунок 2. Скелет (а) и типичный фрагмент мягких тканей (б) мамонта Пети. У канавы стоит Д. Н. Костин.  
Figure 2. Skeleton (a) and a soft tissue fragment (б) of the mammoth Petya. D. N. Kostin stands by the ditch.

«Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН в рамках госбюджетной темы № 1021062211108-5-1.5.2 «Фундаментальные проблемы минералогии и минералобразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий».

Для сравнения использовались данные, полученные ранее в процессе исследований костных остатков мамонта Шнейдера<sup>2</sup>.

### Грунт, смытый с костно-тканевых остатков

Сохранившийся на скелетизированных остатках мамонта грунт характеризуется галечно-песчаным гранулометрическим составом (содержание фракций в вес. %): гравийно-галечный материал (+2 мм) – 23.9; песок грубозернистый (-2+1 мм) – 11.81; песок крупнозернистый (-1+0.5 мм) – 2.75; песок среднезернистый (-0.5+0.25 мм) – 30.65; песок мелкозернистый (-0.25+0.1 мм) – 22.81; песок тонкозернистый и алеврит (-0.1 мм) – 8.71 (рис. 3). Судя по гранулометрии, налипший на костные остатки грунт вполне соответствует речным осадкам.

По химическому и нормативно-минеральному составу (табл. 1) рассматриваемый грунт тоже отвечает месту нахождения скелета, варьируясь между современными речными осадками и тиллами (рис. 4).

### Костно-волосо-коже-тканевые остатки мамонта

В качестве непосредственных объектов исследований выступали фрагменты костного скелета (ребра и позвонки) и сохранившиеся на скелете волосы, кожа и мягкие ткани, подразделенные по внешнему виду на мышечную и жировую.

Исследованные *кости* сравнительно прочные, имеют светло-бурую окраску (рис. 5). Под микроскопом (рис. 6) они обнаруживают хорошую сохранность первичного микростроения, большей частью губчатый тип костной ткани с типичной для ребер и позвонков трабекулярной структурой. На участках с более плотным типом ткани появляются остеон-структуры с гаверсовской системой каналов. Диаметр остеонов достигает 200 мкм. В режиме скрещенных николей наблюдается характерная для костей такого рода волокнистость, костный апатит имеет характерные для него интерференционные окраски, не обнаруживая признаков коллофанизации. В полостях костной ткани наблюдаются включения терригенных минералов, среди которых преобладает кварц.

Судя по валовому химическому составу (табл. 2), содержание иллювирированной в кости исследуемого мамонта минеральной примеси колеблется в пределах 5–20 %.

<sup>2</sup> Находка Г. В. Шнейдера на р. Траутфеттер (Центральный Таймыр): крупный фрагмент конечности и обломки бивня. Радиоуглеродный возраст остатков – 13 490±240 лет назад.



Рисунок 3. Гранулометрический состав аллювиальных осадков, вмещающих и перекрывающих скелет мамонта: 1–6 – гранулометрические фракции: 1 – гравийно-галечная; 2 – грубозернистого песка; 3 – крупнозернистого песка; 4 – среднезернистого песка; 5 – мелкозернистого песка; 6 – тонкозернистого песка и алеврита.

Figure 3. Granulometric composition (texture) of alluvial sediments surrounding and overlying the mammoth's skeleton: 1–6 – granulometric (texture) fractions: 1 – gravel-pebble; 2 – coarse sand; 3 – coarse sand; 4 – medium-grained sand; 5 – fine-grained sand; 6 – fine-grained sand and silt.



Рисунок 4. Нормативно-минеральный состав грунта, смытого с костей мамонта Пети (синие квадраты), и иллювирированной в кости терригенной примеси (синие кружки). Красные точки – состав терригенной примеси в костных остатках мамонта Шнейдера (МШБ – бивень, МШН – нога); черные звезды – нормативно-минеральный состав терригенной примеси в костных остатках мамонтовой фауны на территории Печорского Приуралья; черные квадраты – средний состав литотипов.

Figure 4. Standard-mineral composition of the soil ground washed from the bones of the mammoth Petya (blue squares) and terrigenous admixture illuviated into its bones (blue circles). Red dots – composition of the terrigenous admixture in the bone remains of the Schneider mammoth (МШБ – tusk, МШН – leg); black stars – standard-mineral composition of the terrigenous admixture in the bone remains of the mammoth fauna in the Pechora Cis-Urals; black squares – average composition of lithotypes.

При этом она по нормативно-минеральному составу существенно отличается от выше охарактеризованных грунтов. В костях содержится значительно больше филлосиликатов, особенно хлоритов (рис. 4). На основании последнего можно сделать вывод о том, что место нахождения скелета мамонта Пети не является местом первичного его захоронения, для которого был свойственен гораздо более глинистый состав грунтов. Предполагаемое место первичного захоронения туши мамонта располагалось, вероятно, гипсометрически выше, например на надпойменной террасе. Следует отметить, что подобную ситуацию уже предполагали в отношении первой находки скелета мамонта на Таймыре – на левом притоке р. Шренк [27].

Важной микроструктурной характеристикой костей как органоминерального композита является их ультрапористость в нанометровом диапазоне. Проведенные исследования показали, что кости мамонта по состоянию

Таблица 1  
Химический (мас. %) и нормативно-минеральный (мол. %) составы грунта, смытого с костей мамонта

Table 1  
Chemical (wt. %) and standard-mineral (mol. %) compositions of ground washed from the mammoth's bones

Компоненты и нормативные минералы	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	67.73	71.54	76.04	73.36	68.56	64.67	65.5	66.11
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.42	0.31	0.31	0.35	0.5	0.42	н. о.
ZrO <sub>2</sub>	0.06	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
RbO <sub>2</sub>	н. о.	0.01	н. о.					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.19	13.51	12.08	13.84	15.85	17.9	17.58	19.94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.71	3.31	2.9	3.01	3.74	5.17	5.52	0.23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	н. о.
CuO	0.06	0.02	0.01	н. о.				
ZnO	0.01	н. о.	н. о.	«	«	0.01	0.01	«
MnO	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.09	0.07	«
MgO	2.71	2.38	1.95	2.01	2.45	3.82	3.94	0.15
CaO	3.61	2.67	2.08	2.56	2.84	2.02	1.67	5.11
SrO	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
Na <sub>2</sub> O	1.93	1.65	1.5	1.8	1.98	1.87	2.55	4.92
K <sub>2</sub> O	2.51	2.36	2.10	2.27	2.69	3.01	1.88	2.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4	0.32	0.19	0.17	0.17	0.24	0.24	0.6
SO <sub>3</sub>	1.32	1.43	0.69	0.53	1.2	0.62	0.54	0.04
Кварц	30.69	39.04	48.25	45.77	45.29	20.53	32.34	10.02
Альбит	32.92	26.46	23.2	23.78	18.78	25.75	31.01	64.7
Слюда	20.94	21.55	17.92	19.73	22.66	25.44	16.33	23.28
Хлориты	12.8	10.38	9.26	9.55	11.39	17.74	19.15	0.71
Рутил	0.43	0.3	0.22	0.22	0.25	0.36	0.31	н. о.
Апатит	0.83	0.68	0.41	0.37	0.36	0.52	0.53	1.25
Пирит	1.39	1.52	0.74	0.58	1.27	0.66	0.33	0.04

Примечание. Здесь и в табл. 2: результаты РФА, приведенные к 100 %; н. о. – не обнаружено. Гранулометрические фракции: 1– тонкозернистого песка и алеврита; 2–5 – песков, соответственно мелкозернистого, среднезернистого, крупнозернистого и грубозернистого; 6 – гравия и гальки; 7, 8 – образцы галек, соответственно темных и светлых по окраске.

Note. Here and in Table 2: XRF results reduced to 100 %; н. о. – not determined. Granulometric fractions: 1 - very fine-grained sand and siltstone; 2-5 - fine-grained, medium-grained, coarse-grained and very coarse-grained sands, respectively; 6 - gravel and pebbles; 7, 8 - dark- and light-colored samples of pebbles, respectively.

нанопористости хорошо согласуются со слабоизмененными костями плейстоценовой мамонтовой фауны, отличаться лишь меньшим условным числом пор (рис. 7), соответствующим показателям современных костей. Последнее может свидетельствовать о незначительной в целом степени деградации наноструктуры костных остатков исследованного мамонта.

*Остевые волосы* исследуемого мамонта характеризуются относительно хорошей сохранностью и темным цветом (рис. 8). Последнее в рамках сезонных колебаний соответствует, скорее всего, их летней генерации<sup>3</sup>. По толщине исследованные волосы отчетливо подразделяются на относительно тонкие (150–250 мкм) и толстые (350–500 мкм). Поверхность волосин микроскульптирована, что может иметь как прижизненное, так и посмертное происхождение.

<sup>3</sup> По данным генетиков, ответственность за цвет волос у мамонтов несут доминирующий ген NC1R и рецессивный ген ME1R, обеспечивающие соответственно темную (обычно летнюю) и светлую (обычно зимнюю) окраски.



Рисунок 5. Внешний вид исследованных костных фрагментов скелета.

Figure 5. Appearance of the studied bone fragments of the skeleton.

Кожа представляет собой поверхностный, ороговевший и наиболее темный слой, залегающий на мягких тканях. Последние нами подразделены на *мышечную* – буроватую и более мягкую, чем кожа, и *жировую* – светло-серую до белой и очень мягкую, как сливочное масло (рис. 9). Кроме того, в качестве еще одного варианта органического вещества нами из костей исследуемого мамонта был выделен *коллаген*. Выход последнего при деминерализации костей составил 13–21 %. Коллаген характеризуется хорошо сохранившейся фибриллярной текстурой и буроватым цветом (рис. 10, а), что вообще характерно для неоплейстоценовых ископаемых костей. Следует, впрочем, отметить, что коллаген, выделенный из костных остатков примерно одновозрастного мамонта Шнейдера, отличается гораздо более светлой окраской (рис. 10, б). Возможно, это объясняется большей плотностью костей последнего – бивня и конечностей.

Молекулярный состав органического вещества в остатках мамонта Пети определялся особой модификацией ИК-спектроскопического метода, диагностика пептидных связей проводилась по [36, 37]. Согласно полученным данным (рис. 11–13), линии ИК-поглощения в исследуемых органических объектах могут быть подразделены в направлении от длинноволновой (600 см<sup>-1</sup>) области к коротковолновой (4000 см<sup>-1</sup>) на следующие восемь групп: 1) 3500–2900 см<sup>-1</sup> – валентные колебания групп –NH (амиды А); 2) 2350–2186 см<sup>-1</sup> – валентные колебания групп –NH в костном коллагене (амиды А); 3) 1690–1640 см<sup>-1</sup> – валентные колебания групп –CO (амиды-I); 4) 1600–1540 см<sup>-1</sup> – деформационные колебания NH-групп и валентные колебания CN-групп (амиды-II); 5) 1500–1450 см<sup>-1</sup> – валентные колебания групп CCN и деформационные колебания метильных групп CH<sub>3</sub>; 6) 1400–1230 см<sup>-1</sup> – деформационные колебания групп NH<sub>2</sub> (амиды-III); 7) 1200–930 см<sup>-1</sup> – валентные колебания групп CNOH; 8) 900–600 см<sup>-1</sup> – внеплоскостные вверные колебания групп NH. Сравнение орга-

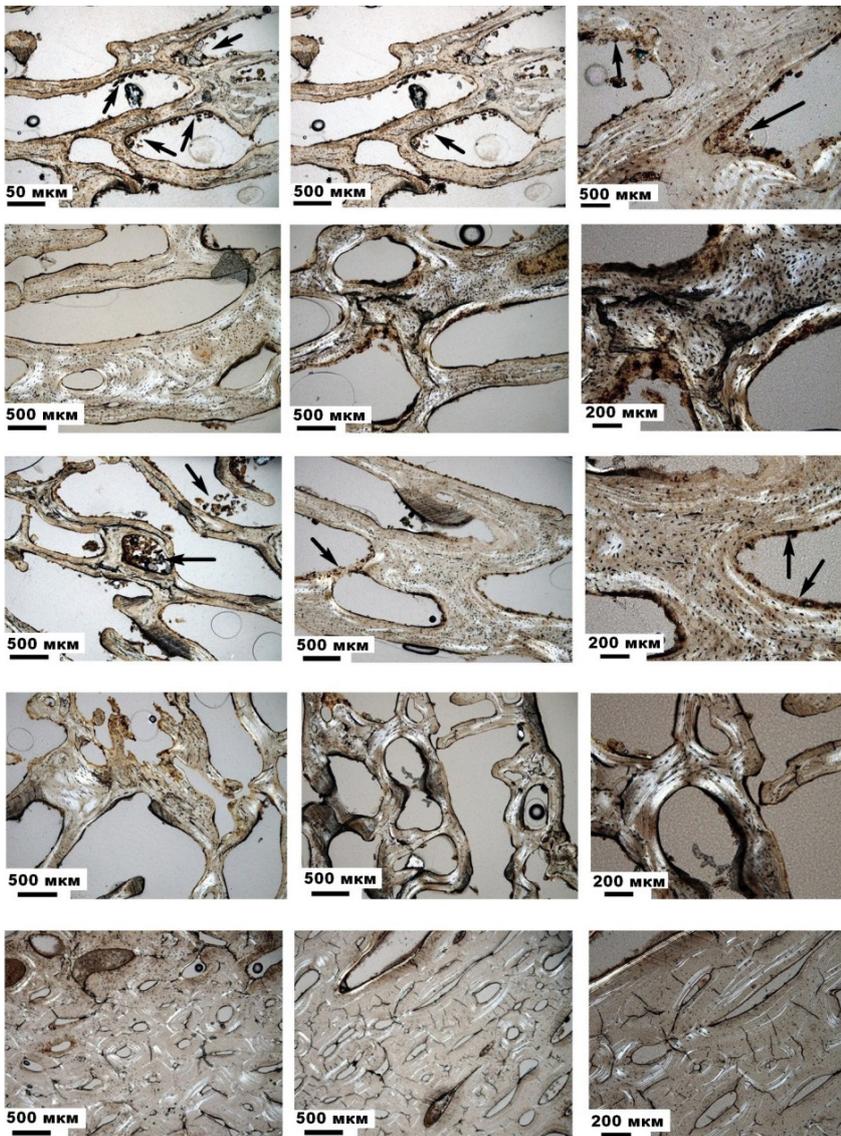


Рисунок 6. Микроструктура костей мамонта под оптическим микроскопом в режимах параллельных и скрещенных николей. Стрелками показано заполнение микрополостей минеральными зернами.  
Figure 6. Microstructure of the mammoth's bones revealed with an optical microscope in parallel and crossed nicols. The arrows indicate the filling of microcavities with mineral grains.

нических веществ в исследованных образцах по ИК-спектрам приводит к следующему заключению.

Костный *коллаген* характеризуется наиболее простым спектром ИК-поглощения, образованным двумя полосами близкой интенсивности, в которые объединились соответственно линии первой и второй групп (амиды А). *Волосы* отличаются более сложными ИК-спектрами, в которых интенсивности линий в группах уменьшаются в последовательности:  $1=4 > 3 > 6 > 8$ , т. е. в направлении от линий поглощения на пептидных связях в амидах А и амидах-II к линиям в амидах-I и далее в амидах-III. *Кожа* характеризуется еще более сложными ИК-спектрами, в которых наблюдаются линии шести групп и интенсивности снижаются в последовательности:  $1 > 3 > 4 > 6 > 8 > 7$ , т. е. в направлении от линий амидов А к линиям амидов-I, амидов-II, амидов-III и далее к линиям поглощения на химических связях NH и C=O. В ИК-спектрах *мышечной* ткани реализуются линии всех групп, причем с интенсивностями, снижающимися в идеальной последовательности:  $1 > 3 > 4 > 5 > 6 > 7 > 8$ , т. е. в направлении от амидов А к амидам-I, амидам-II, химическим связям в C=O и C-N, амидам-III, химическим связям в C=O и NH. При этом наблюдается расщепление первой группы линий на две подгруппы с волновыми числами 3340-3345 и 2850-2925  $\text{cm}^{-1}$ . *Жировые* ткани обнаруживают несколько менее сложные, хотя и довольно упорядоченные по интенсивностям линий, спектры

Таблица 2  
Химический (мас. %) и нормативно-минеральный (мол. %) составы костей мамонта Пети

Table 2  
Chemical (wt. %) and standard-mineral (mol. %) compositions of the mammoth Petya's bones

Компоненты	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	5.86	4.34	5.71	1.47	1.26	5.08
TiO <sub>2</sub>	0.08	н. о.	0.1	н. о.	н. о.	0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.89	2.0	2.79	0.69	0.61	2.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.43	4.8	4.85	4.26	3.64	5.5
ZnO	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05
MnO	0.75	0.34	0.91	0.4	0.3	0.51
MgO	1.5	1.22	1.3	0.85	0.83	1.12
CaO	49.1	50.0	50.0	53.09	54.02	49.31
SrO	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.61	1.21	0.66	0.57	0.57	0.68

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
K <sub>2</sub> O	0.27	0.25	0.27	0.11	0.11	0.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32.99	35.3	32.86	38.08	38.17	34.38
SO <sub>3</sub>	0.39	0.42	0.43	0.39	0.39	0.5
Кварц	21.31	0.95	н. о.	н. о.	н. о.	17.76
Альбит	33.21	н. о.	31.91	61.0	«	н. о.
Слюда	9.61	16.85	11.95	10.68	16.21	20.33
Хлориты	35.54	82.2	55.77	28.32	83.79	61.2
Рутил	0.53	н. о.	0.37	н. о.	н. о.	0.71
Апатит	80.82	87.42	85.84	93.98	94.06	82.11
Ca/P <sub>ар</sub> в биоапатите	1.89	1.8	1.93	1.77	1.79	1.82

Примечание. 1-6 – гранулометрические фракции: тонкозернистых песков и алевритов (1); песков мелкозернистых (2), среднезернистых (3), крупнозернистых (4) и грубозернистых (5); гравия и галек (6).

Note. 1-6 - granulometric fractions: very fine-grained sands and siltstones (1); fine-grained (2), medium-grained (3), coarse-grained (4) and very coarse-grained (5) sands; gravel and pebbles (6).

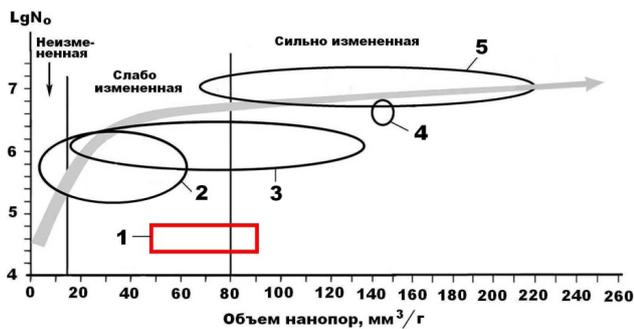


Рисунок 7. Нанопористость костей мамонта Пети (1) на фоне аналогичных данных, полученных нами для мамонтовой фауны (шерстистый мамонт, шерстистый носорог, северные олени, древние лошади) с Печорского Приуралья (2) и Омского Прииртышья (3), для плейстоценовых лошадей со стоянки Заозерье в Пермской области (4) и плейстоценовых млекопитающих со стоянки Ушбулак в Восточном Казахстане (5). Заливкой показан генеральный тренд деградации нанопористости ископаемых костей в ходе их фоссилизации.

Figure 7. Nanoporosity of the bones of the mammoth Petya (1) against the similar data we obtained for the mammoth fauna (woolly mammoth, woolly rhinoceros, reindeer, ancient horses) of the Pechora Cis-Urals (2) and the Omsk Irtysh Land (3), for the Pleistocene horses from the Zaozerye site in the Perm Region (4) and the Pleistocene mammals from the Ushbulak site in Eastern Kazakhstan (5). The arrow shows the general trend of nanoporosity degradation of fossil bones during fossilization.

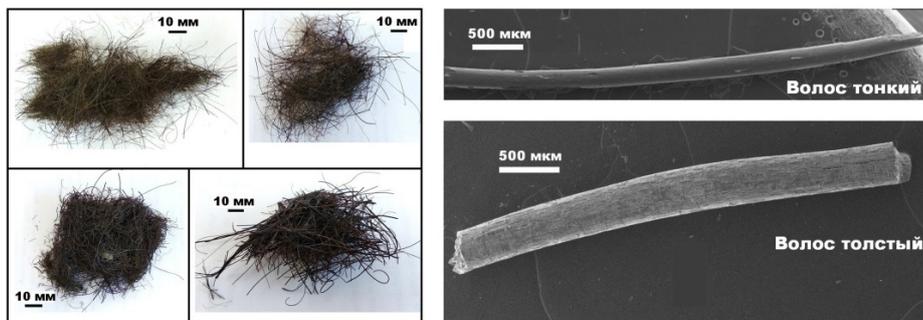


Рисунок 8. Внешний вид исследованных остевых волос мамонта.  
Figure 8. Appearance of the examined mammoth's guard hairs.

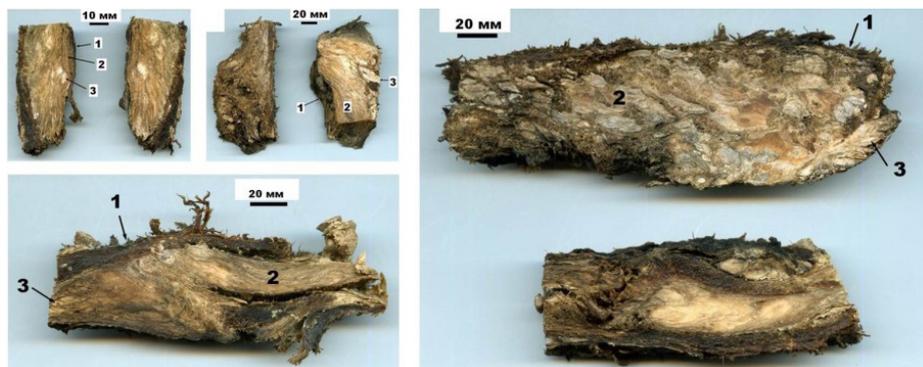


Рисунок 9. Внешний вид кожи (1) и мягких тканей – мышечной (2) и жировой (3), сохранившихся на скелете.  
Figure 9. Appearance of skin (1) and soft tissues – muscle (2) and fatty (3), preserved on the skeleton.

ИК-поглощения:  $1=4 > 5 > 8 > 7$  – со снижением интенсивностей в направлении от амидов А к амидам-II, химическим связям в  $CCN$  и  $CH_2$ , химическим связям в  $NH$  и  $CNOH$ . Таким образом, отчетливо выявляется нетождественность молекулярного состава исследованных вариантов органических материалов исследуемого мамонта, что свидетельствует о сравнительно хорошей сохранности не только его костей, но органических тканей.

Степень измененности *коллагена* в ископаемых костях определяется термическим методом [38, 39]. На полученных нами кривых нагревания в диапазоне 20–600 °С зарегистрированы все три характерных для таких костей термических эффекта (рис. 14): 1) эндотермический с экстремумом при 70–85 °С, обусловленный низкотемпературной дегидратацией (удалением абсорбированной воды) кости; 2) экзотермический В1 с экстремумом при 310–335 °С, отражающий выгорание липидо-белкового органического вещества; 3) экзотермический В2 с экстремумом при 400–440 °С, иногда расщепляющийся на два подпика, – выгорание более устойчивого к нагреванию преимущественно белкового вещества. Как известно, на кривых нагревания костей современных млекопитающих по интенсивности сильно преобладает высокотемпературный пик В2. В рассматриваемом же случае доминирующим пиком является В1, что отражается колебанием отношения интенсивностей В1/В2 в диапазоне от 2.5 до 7.5. Полученные данные говорят о преобладании в коллагене костей мамонта Пети относительно низкомолекулярного, существенно липидного органического вещества, что можно объяснить как результатом фоссилизации, так и исходной особенностью костного коллагена мамонтов.

#### Микроэлементы

В составе костных, волосяных и тканевых остатков исследованного мамонта обнаружено более 50 микроэлементов (табл. 3), в том числе 12 *элементов-эссенциалов* (жизненно-необходимых), имеющих биологическое происхождение, – Li, Be, As, Se, Rb, Mo, Ag, Cd, Pb, Bi, Th, Zn; 17 *физиогенно-активных*, которые могут иметь как биологическое, так и эпигенетическое происхождение, – Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, Sr, Y, Zr, Sn, Sb, Cs, Ba, Hf, U; 22 *элемента-абионта*, обусловленных фоссилизацией, – B, Sc, Ge, Nb, Te, Ln (14), Ta, W, Tl. По суммарному содержанию микроэлементов исследованные объекты резко разделились на две группы: 1) кости и мышечная ткань с аномально высоким валовым

содержанием микроэлементов в пределах 5600–6600 г/т; 2) волосы, кожа и жировая ткань с валовым содержанием микроэлементов от 305 до 485 г/т.

Отношение групповых содержаний микроэлементов биогенного и абиогенного происхождения (Э/АБ) во всех проанализированных объектах превышает 1 (преобладание элементов-эссенциалов), снижаясь в последовательности волосы > кости > кожа > жировая ткань > мышечная

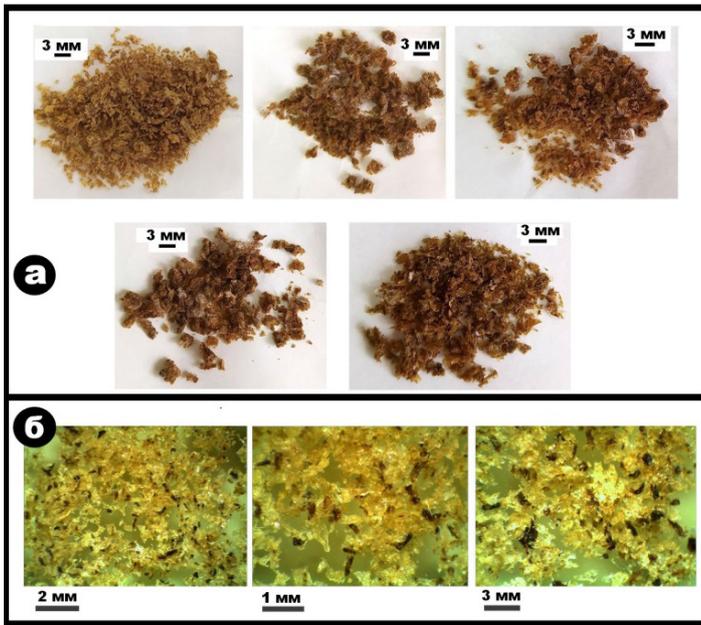


Рисунок 10. Внешний вид костного коллагена мамонта Пети (а) и мамонта Шнейдера (б).  
Figure 10. Appearance of bone collagen of the mammoth Petya (a) and the Schneider mammoth (б).



Рисунок 11. Типичный спектр ИК-поглощения на пептидных связях в коллагене, выделенном из кости мамонта Пети.  
Figure 11. Typical IR absorption spectrum of peptide bonds in collagen isolated from bone of the mammoth Petya.

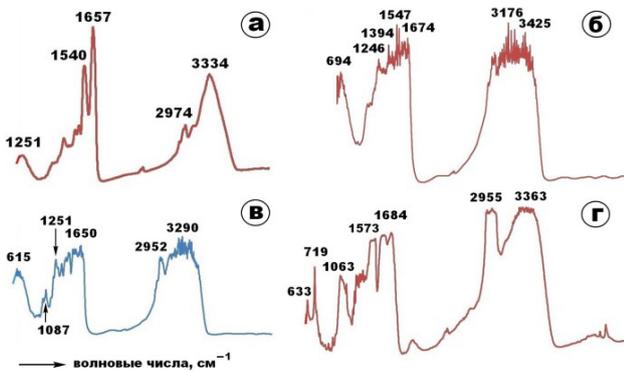


Рисунок 12. Спектры ИК-поглощения на пептидных связях в волосах (а, б) и коже (в, г) мамонта Пети.  
Figure 12. IR absorption spectra of peptide bonds in hairs (а, б) and skin (в, г) of the mammoth Petya.

ткань. Отношение содержания важнейшего эссенциального микроэлемента **цинка** к физиогенно-активной **меди**, повышенная концентрация которой обычно отражает или факт прижизненного микрохимического отравления, или интенсивность фоссиллизации, тоже варьируется, сокращаясь в последовательности кости > волосы > жировая ткань > мышечная ткань > кожа. Значения указанных выше отношений (табл. 3) свидетельствуют об относительно низкой степени фоссиллизационного изменения костей и тканей мамонта Пети, но при этом нетождественной. Судя

по отношениям Э/АБ, кости и волосы сохранились несколько лучше, чем кожа и мягкие ткани.

Важно отметить, что на фоне остатков мамонта Пети кости близкого по геологическому возрасту мамонта Шнейдера оказались гораздо менее обогащенными микроэлементами: *кость ноги* – сумма микроэлементов 615.15 г/т, Э/АБ=150.04, Zn/Cu=131.6; *бивень* – сумма микроэлементов 851.501 г/т, Э/АБ=70.79, Zn/Cu=6.26.

Особенности относительного обогащения костно-тканевых остатков мамонта Пети микроэлементами иллюстрируются на генеральной диаграмме (рис. 15). Из диаграммы следует, что по этому свойству упомянутые остатки подразделяются на две контрастные группы: 1) волосы, кожа, жировая ткань, относительно бедные микроэлементами; 2) кости и мышечная ткань, аномально обогащенные микроэлементами. При этом первая группа остатков сопоставима с костными остатками мамонта Шнейдера, а вторая значительно преобладает по сумме микроэлементов даже над костными остатками ранне-среднеплейстоценовой мамонтовой фауны

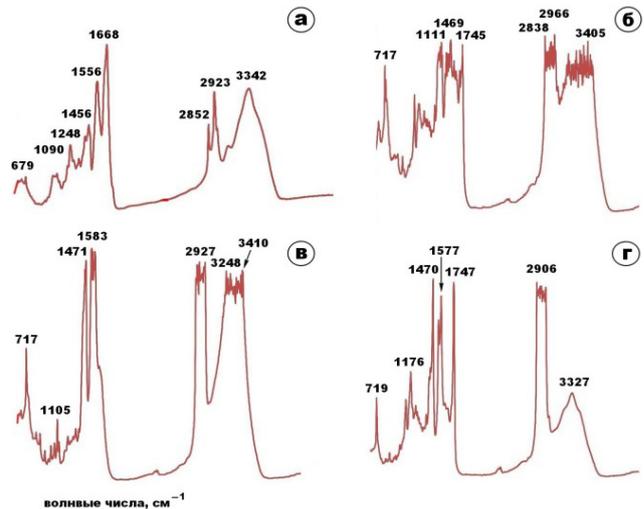


Рисунок 13. Спектры ИК-поглощения на пептидных связях в мышечной (а, б) и жировой (в, г) тканях мамонта Пети.  
Figure 13. IR absorption spectra of peptide bonds in muscle (а, б) and fatty (в, г) tissues of the mammoth Petya.

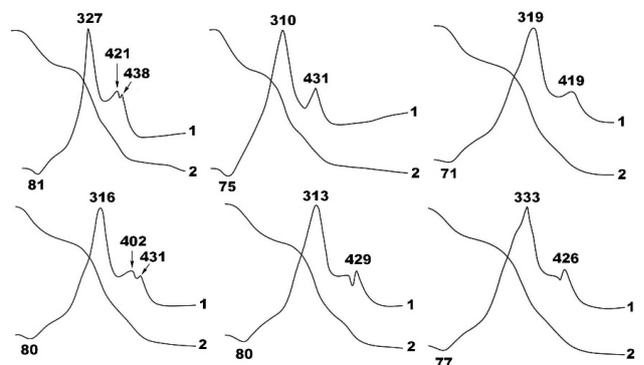


Рисунок 14. Результаты термического анализа костей мамонта Пети, кривые: 1 – нагревания, 2 – потери веса.  
Figure 14. Thermal analysis results of bones of the mammoth Petya, curves: 1 – heating, 2 – weight loss.

## Trace elements in the remains of the mammoth Petya and the important biogeochemical parameters

Микроэлементы	Содержания (г/т) и соотношения в объектах исследований				
	Кости	Мышечная ткань	Жировая ткань	Кожа	Волосы
Эссенциальные, Э (12)	227.423±20.659	171.472±104.058	5.731±1.897	15.848±9.015	92.328±86.001
Физиогенно-активные, ФА (17)	5359.29±1399.121	6343.496±745.074	473.63±235.447	329.449±162.291	199.743±140.499
Абиотические, АБ (22)	34.906±12.977	144.973±90.616	4.223±1.236	7.287±6.179	12.937±9.965
Среднее валовое содержание	5621.619	5740.871	483.584	352.584	319.615
Э/АБ	6.52	1.18	1.36	2.17	7.14
Zn/Cu	5.16	1.05	1.38	0.53	1.59

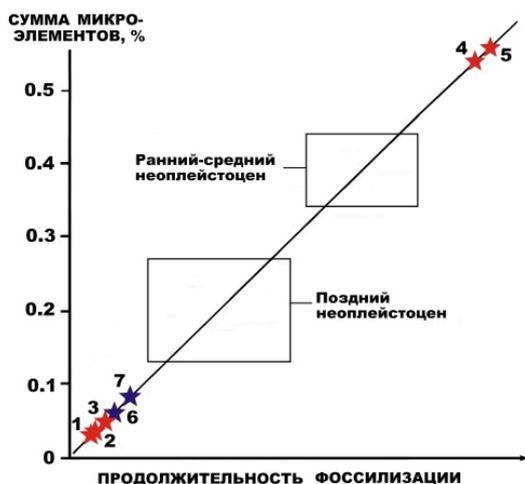


Рисунок 15. Суммарное содержание микроэлементов в костно-тканевых остатках таймырских мамонтов – Пети (1–5) и Шнейдера (6, 7). 1– волосы, 2 – кожа, 3 – жировая ткань, 4 – кости, 5 – мышечная ткань, 6 – кость ноги, 7 – бивень. Рамками показаны данные, полученные по костным остаткам плейстоценовой мамонтовой фауны Прииртышского региона (коллекция А. А. Бондарева).

Figure 15. Total content of microelements in bone and tissue remains of the Taymyr mammoths – Petya (1–5) and the Schneider mammoth (6, 7). 1 – hairs, 2 – skin, 3 – fatty tissue, 4 – bones, 5 – muscle tissue, 6 – leg bone, 7 – tusk. The frames show the data obtained on bone remains of the Pleistocene mammoth fauna of the Irtysh Region (collection of A. A. Bondareva).

из местонахождений в Западной Сибири. Выявленный парадокс объясняется тем, что аномальное обогащение микроэлементами костей и мышечной ткани мамонта Пети обеспечено только двумя элементами – марганцем (3500–4000 г/т) и стронцием (750–1350 г/т). По сумме остальных микроэлементов кости и мышечная ткань вполне сопоставимы с остатками предголоценовых животных. Таким образом, отклонение костей и мышечной ткани мамонта Пети по валовой концентрации микроэлементов объясняется в основном аномальным их обогащением марганцем и стронцием, что может иметь локальную причину.

#### Костный биоапатит

На рентгеновских дифрактограммах исследованных костных образцов зарегистрирована серия уширенных пиков (рис. 16), характерных для биоапатита ( $\text{\AA}$ , в скобках индексы соответствующих плоскостей): 3.46–3.44 [002]; 2.82–2.79 [121]; 2.74–2.72 [300]; 2.64–2.63 [202]; 1.953–1.941 [222]; 1.850–1.838 [123]; 1.726–1.723 [004]. Отражение 2.27–2.26 может отвечать фазовой примеси кальцита. Рассчи-

танные для биоапатита параметры элементарной ячейки оказались вполне сопоставимыми с параметрами карбонатапатита В-типа (нм):  $a_0 = 0.9315 - 0.9373$ ;  $c_0 = 0.6916 - 0.6913$ . Кристалличность этого биоминерала в нашем случае находится на достаточно низком уровне, что обусловлено относительно молодым геологическим возрастом костей. Вхождение углерода в его структуру доказывается спектрами ИК-поглощения, в которых проявились полосы анионов  $[\text{PO}_4]^{3-}$ , замещающих их анионов  $[\text{CO}_3]^{2-}$  и анионов  $[\text{SO}_3]^{2-}$ , замещающих группы  $(\text{OH})^-$  (рис. 17). То есть биоапатит в костях исследуемого мамонта может быть отнесен не только к В-, но и АВ-типу. Судя по значению апатитового модуля –  $\text{Ca}/\text{P}_{\text{ат}} = 1.83 \pm 0.06$ , этот биоапатит может быть отнесен к незначительно и умеренно измененному в условиях fossilization.

#### Элементный и аминокислотный составы органических остатков

Полученные данные об элементном составе костного коллагена, кожи, волос и жировой ткани (табл. 4) более или менее соответствуют стандартным данным для современных млекопитающих. В случае мышечной ткани наши данные в три раза уступают стандартным, что, возможно, объясняется смешанным белково-жировым составом мышечной ткани исследуемого мамонта. Исходя из полученных результатов, значения атомных отношений C/N в изучаемых органических веществах составляют в среднем для коллагена – 3.21, волос – 3.65, кожи – 3.56, что тоже лежит вблизи стандартных величин. Для мышечной ткани это отношение в среднем составило 18.22, что указывает на значительную примесь в этой ткани жиров. В целом полученные данные свидетельствуют о весьма умеренной степени измененности органических компонентов в останках мамонта Пети.

Особый интерес представляют выявленные в органических веществах примеси неорганических элементов: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, P, S, Cl. Как известно, эти элементы всегда присутствуют в тканях млекопитающих, входя в состав металлоорганических соединений. Но при патологических изменениях происходит распад металло-содержащих белково-липидных составляющих, в результате чего концентрация металлов в органических тканях возрастает [40–43]. Анализ показал, что суммарное содержание металлов в коже и мягких тканях мамонта Пети не превышает 1 мас. %, в костном коллагене состав-

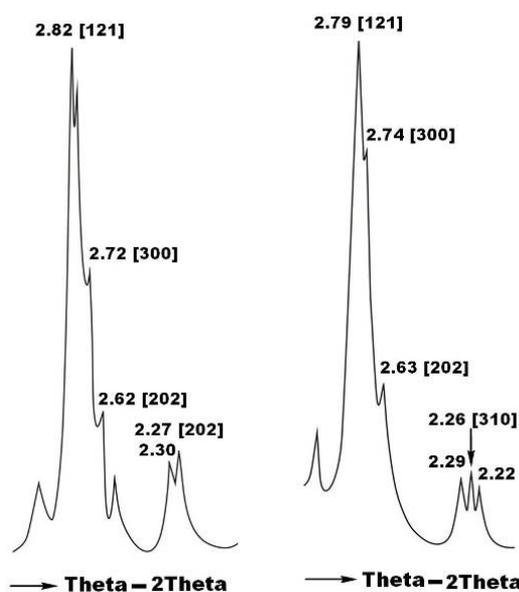


Рисунок 16. Типичные рентгеновские дифрактограммы, полученные от биоапатита в костных остатках мамонта Петя.  
Figure 16. Typical X-ray diffraction patterns obtained from bioapatite in bone remains of the mammoth Petya.

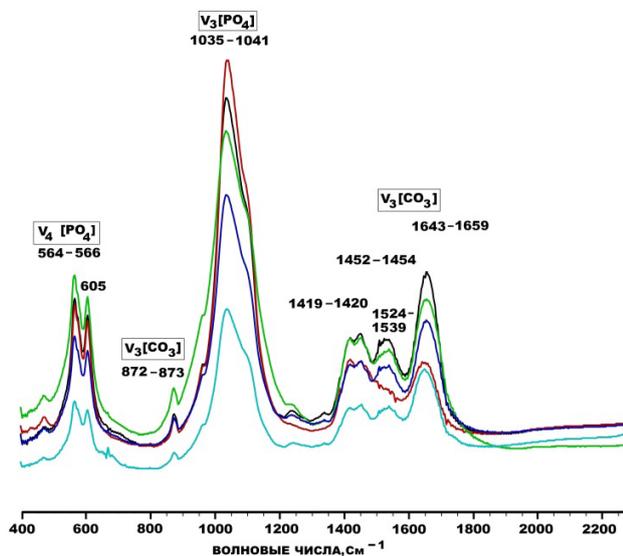


Рисунок 17. Спектры ИК-поглощения в биоапатите костных остатков мамонта Петя.  
Figure 17. IR absorption spectra in bioapatite in bone remains of the mammoth Petya.

ляет в среднем 2.75 мас. % и только в волосах достигает 9.5 мас. %. Отсюда следует, что мамонт Петя не имел существенных внутренних патологий и в этом смысле погиб вполне здоровым животным.

В составе костного коллагена, кожи, жировой ткани и волос обнаружены 14 аминокислот (АК; табл. 5), представляющих обе серии (незаменимые и заменимые) и шесть групп – алифатические (А), ароматические (АР), основные (О), кислые (К), гидроксильные (Г), имино (И). В исследованных образцах отсутствует серусодержащая аминокислота – метионин, что, возможно, связано с ее неустойчивостью при фоссилизации органических веществ [44].

Общее содержание АК колеблется в пределах 55–750 мг/г, снижаясь в последовательности костный коллаген > кожа > волосы > мышечная ткань > жировая ткань.

Полученные данные показали, что большинство выявленных аминокислот присутствует в виде L-форм, D-формы установлены только для аланина (в костном коллагене, коже и волосах) и аспарагиновой кислоты (в волосах). Как известно, появление D-форм аминокислот обусловлено рацемизацией – самопроизвольным неферментативным превращением первичной L-формы в D-форму. Такое превращение при жизни происходит очень медленно, но ускоряется после смерти животного и поэтому может служить важным критерием как биологического возраста, так и степени фоссилизации ископаемого биоорганического вещества в геологических объектах [45–47]. В рассматриваемом случае величина весовой пропорции D/L в упомянутых выше аминокислотах колеблется в пределах 0.01–0.04, что характеризует мамонта Петю как молодое животное, а его костно-органические остатки как хорошо сохранившиеся [48]. Однако следует учитывать и тот факт, что D-формы аланина и аспарагиновой кислоты могут также являться маркерами жизнедеятельности микроорганизмов.

По распределению групп и отдельных аминокислот исследованные органические вещества выглядят следующим образом.

**Коллаген:** глицин (А) > пролин (И) > аланин (А) > глутаминовая кислота (К) > гидроксипролин (И) > лизин (О) > серин (Г) > аспарагиновая кислота (К) > лейцин (А) > фенилаланин (АР) > тиразин (АР) > треонин (Г) > валин (А) > изолейцин (А). Отношение суммарных содержаний незаменимых и заменимых аминокислот (НЗ/З) составляет 0.23.

**Мышцы:** глицин > пролин > аланин > гидроксипролин > глутаминовая кислота > серин > лизин > лейцин > аспарагиновая кислота > фенилаланин > тиразин > валин > треонин > изолейцин. НЗ/З=0.27.

**Жир:** глицин > пролин > аланин > гидроксипролин > глутаминовая кислота > лизин > серин > фенилаланин > аспарагиновая кислота > лейцин > треонин > валин (нет тирозина и изолейцина). НЗ/З=0.23.

**Кожа:** глицин > пролин > аланин > гидроксипролин > глутаминовая кислота > серин > аспарагиновая кислота > лейцин > тиразин > валин > лизин > треонин > фенилаланин > изолейцин. НЗ/З=0.17.

**Волосы:** глутаминовая кислота > серин > лейцин > треонин > пролин > аспарагиновая кислота > валин > аланин > глицин > лизин > изолейцин > фенилаланин > тиразин (нет гидроксипролина). НЗ/З=0.66.

Из приведенных последовательностей следует, что во всех проанализированных нами органических остатках, кроме волос, преобладают алифатические аминокислоты, на втором месте – кислые. В волосах на первое место переходят кислые аминокислоты. По пропорции между незаменимыми и заменимыми аминокислотами большая часть органических веществ в остатках мамонта Петя заметно отличается от средних данных по живому и ископаемому органическому веществу (НЗ/З=0.5–0.56).

Высокие содержания аминокислот в костном органическом веществе, коже и волосах свидетельствуют об их белковой природе и хорошей сохранности [26]. Коллагеновый состав органического матрикса в костях подтвержда-

## Элементный состав органических компонентов мамонта Пети (мас. %)

## Elemental composition of organic components of the mammoth Petya (wt. %)

Статистические данные	C	N	O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	S	Cl
Костный коллаген													
Среднее	42.72	16.64	36.25	1.26	0.56	0.41	0.05	0	0.03	0.03	0.06	0.12	0.23
СКО	9.62	7.22	16.51	1.92	0.88	0.8	1.1		0.07	0.09	0.15	0.14	0.45
Волосы													
Среднее	44.66	15.31	30.52	0.81	0.32	3.11	0.19	0.24	0	0	0.02	4.83	0
СКО	4.66	1.59	2.87	0.72	0.31	4.0	0.12	0.48			0.04	1.62	
Кожа													
Среднее	61.55	21.61	16.04	0.01	0	0.21	0.06	0.22	0	0	0.25	0.09	0
СКО	6.98	4.03	5.22	0.02		0.58	0.11	0.62			0.03	0.23	
Жировая ткань													
Среднее	77.98	0	21.27	0.07	0	0	0.47	0	0	0	0	0.2	0
СКО	2.19		2.06	0.19		0.41	0.22						
Мышечная ткань													
34	75.05	5.35	19.24	0	0	0	0.19	0	0	0	0	0.17	0

ется повышенными содержаниями глицина, аланина, пролина и гидроксипролина. В коже основным сохранившимся белком также является коллаген. Присутствие эластина, еще одного из наиболее распространенных белков кожи, характеризующегося повышенными содержаниями валина и аланина и пониженными – гидроксипролина, не установлено.

АК-состав волос с преобладанием кислых, основных аминокислот и лейцина соответствует кератину – фибриллярному белку, доминирующему в роговых слоях. К сожалению, использованный в нашей работе метод газохроматографического анализа не позволяет идентифицировать такие серусодержащие аминокислоты, как цистин и цистеин, высокие значения которых могли бы указать на присутствие кератина.

В мышечной и жировой тканях содержание аминокислот значительно ниже, а их белковый состав также представлен коллагеном – доминирование глицина, аланина, пролина, гидроксипролина. Относительно низкое содержание аминокислот в собственно мышечной ткани может быть объяснено двумя причинами. Во-первых, тем, что среди белков соединительной ткани (мышц) микрофибриллярные белки (актин, миозин и др.), составляющие в мышцах более 80 %, значительно легче разрушаются, чем белки сарколеммы (коллаген, эластин, липопротейды), содержащиеся в белках в очень низких количествах. Во-вторых, это может быть обусловлено примесью в мышцах мамонтов жирового материала. Жировая ткань теоретически не может содержать аминокислот, поскольку она сложена небелковыми компонентами. Поэтому обнаружение нами в жировых образцах аминокислот может свидетельствовать о примеси мышечного материала. В общем все указывает на белково-жировое смешение в мягких тканях мамонта.

#### Изотопные индикаторы палеоэкологических условий обитания и рациона питания мамонта

Изотопным исследованиям были подвергнуты костный биоапатит ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ) и органическое вещество – костный коллаген, волосы, кожа, мышечная и жировая ткани ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ ,  $\text{C}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ ).

В случае биоапатита (рис. 18) изотопный состав углерода и кислорода варьируется в пределах соответственно  $-15\text{...}-13$  и  $15\text{--}21$  ‰, закономерно встраиваясь в отчетливый тренд сопряженного изотопного облегчения углерода и кислорода в костном биоапатите мамонтов в направлении с юго-запада (Западная Европа) на северо-восток (таймырское побережье Северного Ледовитого океана). Обнаруженный факт представляется весьма ценным, поскольку он имеет вполне рациональное объяснение. Как известно [14, 15], изотопный состав углерода и кислорода в карбонатной компоненте биоапатита определяется климатом, составом атмосферы и поверхностных вод. Чем ниже климатическая температура и степень освещенности, тем меньше в атмосфере и, соответственно, в поверхностных водах концентрация  $\text{CO}_2$ , и, следовательно, углерод и кислород в костном биоапатите проживающих в таких условиях животных становятся изотопно более легкими. Следовательно, выявленный тренд изотопного облегчения карбонатного углерода и кислорода в костном биоапатите мамонтов в направлении с юга-запада на северо-восток является вполне закономерным, прямо указывая на климатическую природу.

Картина изотопной неоднородности органических веществ в остатках мамонтов выглядит гораздо сложнее (рис. 19). В этом случае изотопный коэффициент углерода в костном коллагене колеблется в пределах от  $-20$  до  $-24$  ‰, а азота – в диапазоне  $4\text{--}12$  ‰. Данные по костному коллагену мамонтов Пети и Шнейдера хорошо вписываются в эти рамки, составляя:  $\delta^{13}\text{C} = -23\text{...}-21$  ‰,  $\delta^{15}\text{N} = 6.5\text{--}7.5$  ‰. Волосы и ткани мамонта Петра демонстрируют более изотопно-легкий углерод – в пределах  $-23\text{...}-29$  ‰, что

Таблица 5  
Аминокислотный состав костного коллагена и тканей мамонта Пети, мг/г (%)  
Table 5  
Amino acid composition of bone collagen and tissues of the mammoth Petya, mg/g (%)

АК	Костный коллаген	Мышцы	Жир	Кожа	Волосы
Глицин	172.42 (23.07)	29.42 (25.24)	11.8 (21.49)	190.47 (26.66)	29.86 (4.79)
D-Аланин	1.27 (0.17)	н. о.	н. о.	3.08 (0.43)	0.84 (0.13)
L-Аланин	71.5 (9.57)	13.32 (11.43)	7.94 (14.46)	78.33 (10.96)	39.01 (6.25)
L-Валин	18.84 (2.52)	3.9 (3.35)	1.41 (2.57)	19.3 (2.7)	44.9 (7.2)
L-Лейцин	31.44 (4.21)	5.13 (4.4)	1.98 (3.61)	26.14 (3.66)	67.82 (10.87)
L-Изолейцин	8.68 (1.16)	1.98 (1.7)	0	9.24 (1.29)	27.09 (4.34)
Алифатические	304.15 (40.7)	53.75 (46.12)	23.13 (42.13)	326.56 (45.7)	209.52 (33.58)
L-Фенилаланин	20.66 (2.76)	4.82 (4.14)	2.45 (4.46)	15.22 (2.13)	18.16 (2.91)
L-Тирозин	20.14 (2.69)	н. о.	н. о.	22.37 (3.13)	6.25 (1)
Ароматические	40.8 (5.45)	4.82 (4.14)	2.45 (4.46)	37.59 (5.26)	24.41 (3.91)
L-Лизин	42.91 (5.74)	5.57 (4.78)	2.93 (5.34)	18.63 (2.61)	28.12 (4.51)
Основные	42.91 (5.74)	5.57 (4.78)	2.93 (5.34)	18.63 (2.61)	28.12 (4.51)
L-Глутаминовая кислота	68.37 (9.15)	8.44 (7.24)	5.43 (9.89)	60.8 (8.51)	103.95 (16.67)
D-Аспарагиновая кислота	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	1.46 (0.23)
L-Аспарагиновая кислота	39.97 (5.35)	5.04 (4.32)	2.74 (4.99)	35.53 (4.97)	49.89 (8)
Кислые	108.34 (140.5)	13.48 (11.56)	8.17 (14.88)	96.33 (13.48)	155.3 (24.9)
L-Серин	42.55 (5.69)	5.77 (4.95)	2.09 (3.81)	36.88 (5.16)	87.16 (13.98)
L-Треонин	19.3 (2.58)	3.2 (2.75)	1.31 (2.39)	17.57 (2.46)	62.43 (10.01)
Гидроксильные	61.85 (8.27)	8.97 (7.7)	3.4 (6.2)	54.45 (7.62)	149.59 (23.99)
L-Пролин	120.95 (16.18)	19.71 (16.91)	9.04 (16.47)	109.36 (15.31)	56.73 (9.11)
Гидроксипролин	68.3 (8.66)	10.24 (8.79)	5.78 (10.52)	71.46 (10.02)	н.о.
Имино	189.25 (24.84)	29.95 (25.7)	14.82 (26.99)	180.82 (25.33)	56.73 (9.11)
ИТОГО	747.3	116.54	54.9	714.38	623.67
D/L Аланин	0.01	н. о.	н. о.	0.04	0.02

Примечание. н. о. – не обнаружено.  
Note: н. о. – not determined.

в части растительной пищи соответствует потреблению растений преимущественно C3-типа, и гораздо более широкий разброс по изотопному составу азота – от 0.3 до 12 ‰, выстраиваясь в следующую последовательность (‰): кожа ( $\delta^{13}\text{C} = -25 \dots -23$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 6.5 - 7$ ) → волосы ( $-25 \dots -23.5$ ;  $3 - 4$ ) → мышцы ( $-29 \dots -26.5$ ;  $7.5 - 12$ ) → жир ( $-29.2 \dots -28.5$ ;  $0.3 - 5.2$ ). Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

В части костного коллагена вариации изотопного состава азота отражают, прежде всего, большие колебания в пищевом рационе. Считается, что для мамонтов, проживавших в особенно некомфортных условиях, например, на территориях современной Западной Европы, севера Восточной Сибири и Аляски, была характерна копрофагия, обуславливающая изотопное утяжеление азота – от 8 ‰ [11]. В более комфортных условиях обитания, например, на территориях Печорского Приуралья и Прикаспийской низменности мамонты употребляли естественную для себя растительную пищу, что приводило к изотопному облегчению азота. Именно этим и можно объяснить наблюдающуюся на рис. 19 изотопную неоднородность костного коллагена мамонтов. В такой трактовке мамонта Петю можно отнести ко второй группе мамонтов, питавшихся преимущественно растительной пищей.

В этой связи есть еще одна интересная гипотеза, трактующая колебания изотопного состава азота с позиций аллохтонности-автохтонности мамонтов [17]. В рамках

этой гипотезы мамонты-мигранты, испытывающие дефицит качественной пищи, характеризуются изотопией азота в пределах 5–9 ‰, а оседлые мамонты, обеспеченные естественной кормовой базой, – в пределах 3–5.5 ‰. С таких позиций таймырские мамонты Петя и Шнейдера могут быть отнесены, скорее, к мигрантам.

Кожа по изотопному составу углерода и азота близка к костному коллагену, а волосы – к коллагену по изотопии углерода, но гораздо изотопно-легче по азоту. Очевидно, что последнее согласуется именно с летней генерацией этих волос, изотопный состав которых определялся растительной пищей. В части мышечных и жировых тканей вопрос трактовки изотопных характеристик не столь прост. В целом ткани гораздо легче коллагена кожи и волос по изотопному составу углерода, но при этом сильно варьируются по изотопному составу азота – от

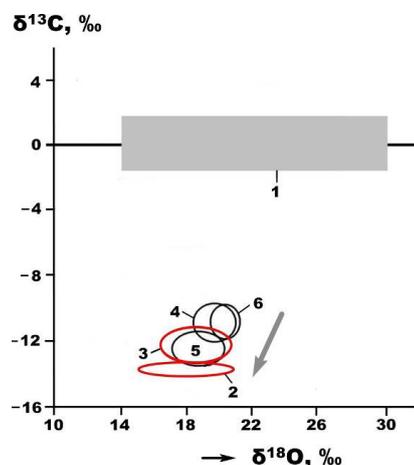


Рисунок 18. Изотопные характеристики морских осадочных карбонатолитов (1) и костного биоапатита мамонтовой фауны (2–6): 2 – мамонт Петя, 3 – мамонт Шнейдера, 4 – мамонтовая фауна с Печорского Приуралья, 5 – мамонтовая фауна со Среднего Прииртышья (коллекция А. А. Бондарева), 6 – мамонтовая фауна с Западной Европы [49]. Стрелкой показан тренд сопряженного изотопного облегчения углерода и кислорода в костном биоапатите мамонтов в направлении с юго-запада (Западная Европа) на северо-запад (таймырское побережье Северного Ледовитого океана).  
Figure 18. Isotopic characteristics of marine sedimentary carbonatolites (1) and bone bioapatite of the mammoth fauna (2–6): 2 – mammoth Petya, 3 – Schneider mammoth, 4 – mammoth fauna from the Pechora Cis-Urals, 5 – mammoth fauna from the Middle Irtysh Region (collection of A. A. Bondarev), 6 – mammoth fauna from Western Europe [49]. The arrow shows the trend of conjugate isotopic lightening of carbon and oxygen in bone bioapatite of mammoths in the direction from the south-west (Western Europe) to the north-west (Taymyr coast of the Arctic Ocean).

весьма изотопно-легкой жировой ткани до весьма изотопно-тяжелой мышечной.

К изложенному выше остается добавить данные по изотопии органической серы. Проведенный анализ показал, что в костном коллагене, волосах и тканях мамонта Пети значение  $\delta^{34}\text{S}_{\text{СОТ}}$  варьируется в относительно узких пределах – от  $-2.5$  до  $1$  ‰, что вполне вписывается в интервал для хорошо сохранившихся остатков мамонтовой фауны [17].

В целом полученные по исследованным нами органическим остаткам изотопные данные свидетельствуют о том, что мамонт Пети погиб в конце лета и, скорее всего, как жертва людей-охотников.

Таким образом, в результате комплексного исследования костей и тканей впервые обнаружена большая изотопная неоднородность органического вещества мамонтов, свидетельствующая, во-первых, о многолетних и сезонных колебаниях климата, а во-вторых, о большой способности мамонтов к адаптации, что, в частности, отражается в естественных для них сезонных сменах рационов питания. Так, в случае мамонта Пети тяжелый изотопный состав азота в костном коллагене, формирующийся на

протяжении всей жизни мамонта, соответствует смешанному растительно-«копрофагическому» рациону питания, а вот более изотопно-легкий азот в волосах летней генерации указывает на преимущественно растительную диету. Получается, что в условиях предголоценового Таймыра существовал климатический контраст – зимы были длинными, холодными и в части кормовой базы относительно некомфортными, а лето – коротким, но достаточно теплым, чтобы появлялась обильная растительность. Известные палеоклиматические реконструкции вполне подтверждают такой вывод. Согласно последним средние зимние палеотемпературы в конце неоплейстоцена на Таймыре составляли  $-26...-29$  °С, а средние температуры в середине-конце лета достигали  $6$  °С [50]. В связи с приведенными выше оценками следует отметить следующий факт. Волосы мамонта, проживавшего на о-ве Большой Ляховский в самом конце Молого-Шекснинского межледниковья в условиях очень холодного климата, показали для азота  $\delta^{15}\text{N}=8.6\pm 0.16$  ‰ [13]. Это более чем в два раза изотопно-тяжелее, чем в волосах мамонта Пети, и вполне соответствует сугубо «копрофагическому» рациону питания.

## Заключение

С использованием широкого комплекса оптических, электронно-микроскопических, термических, рентгеноструктурных, ИК-спектроскопических, масс-спектрометрических, хроматографических, изотопно-спектроскопических методов исследованы остатки мамонта, обнаруженные в 2019 г. на территории Западного Таймыра геологами ВСЕГЕИ, включающие кости скелета и сохранившиеся на них мягкие мышечные и жировые ткани, кожу и волосы. Калиброванный радиоуглеродный возраст остатков составил  $12\,870\pm 110$  лет.

Вмещающие скелет гравийно-песчаные осадки по химическому и нормативно-минеральному составу варьируются между речными осадками и тиллами. Кости под микроскопом обнаруживают хорошую сохранность первичной микроструктуры. По состоянию нанопористости они ближе всего согласуются со слабоизмененными костями плейстоценовой мамонтовой фауны, отличаясь лишь меньшим условным числом пор, близким к показателям современных костей. Остевые волосы исследуемого мамонта характеризуются относительно хорошей сохранностью и темным цветом, что в рамках сезонных колебаний соответствует летней их генерации. Поверхность волосин микроскульптирована, что может иметь как прижизненное, так и посмертное происхождение. Кожа представляет собой поверхностный, ороговевший и наиболее темный слой, залегающий на мягких тканях: мышечной – буроватой и более мягкой, чем кожа, и жировой – светло-серой до белой и очень мягкой. Выделенный из костей коллаген (выход составил 13–21 %) характеризуется хорошо сохранившейся фибриллярной текстурой и буроватым цветом.

По данным ИК-спектроскопии молекулярный состав органического вещества в остатках мамонта характери-



Рисунок 19. Изотопные характеристики органических веществ в остатках плейстоценовых животных. 1–14 – костный коллаген: 1 – мамонтовая фауна с Западной Европы [49]; 2 – монгоченский мамонт [18]; 3 – мамонт с острова Большой Ляховский; волосы [13]; 4 – мамонты Якутии [13]; 5 – мамонт со стоянок Межиричи, 6 – Бужанка-2, 7 – Юдиново, 8 – Елисеевичи в Прикаспийской низменности [17]; 9 – мамонты из Калининградской области [7]; 10 – мамонтовая фауна с Печорского Приуралья [20]; 11 – мамонтовая фауна со Среднего Прииртышья (коллекция А. А. Бондарева); 12 – мамонтенок Люба [30]; 13 – оймаконский мамонт [30]; 14 – таймырский мамонт Шнейдера. 15–19 – остатки мамонта Пети: 15 – костный коллаген, 16 – волосы, 17 – кожа, 18 – мышечная и 19 – жировая ткани.

Figure 19. Isotopic characteristics of organic substances in remains of Pleistocene animals. 1–14 – bone collagen: 1 – mammoth fauna from Western Europe [49]; 2 – Mongochen mammoth [18]; 3 – mammoth from the Bolshoi Lyakhovsky Island; hairs [13]; 4 – mammoths of Yakutia [13]; 5 – mammoth from the sites of Mezhirichi, 6 – Buzhanka-2, 7 – Yudinovo, 8 – Eliseevichi in the Caspian Lowland [17]; 9 – mammoths from the Kaliningrad Region [7]; 10 – mammoth fauna from the Pechora Cis-Urals [20]; 11 – mammoth fauna from the Middle Irtysh Region (collection of A. A. Bondarev); 12 – baby mammoth Lyuba [30]; 13 – Oymyakon mammoth [30]; 14 – Schneider mammoth from Taymyr. 15–19 – remains of the mammoth Petya: 15 – bone collagen, 16 – hairs, 17 – skin, 18 – muscle and 19 – fatty tissues.

зается сложной комбинацией пептидных связей в разнообразных амидах, по сочетаниям которых костный коллаген, волосы, кожа и мягкие ткани заметно различаются, что свидетельствует о сравнительно хорошей сохранности органических компонентов в исследованных остатках.

На полученных нами кривых нагревания в диапазоне 20–600 °С зарегистрированы все три характерных для таких костей термических эффекта: 1) эндотермический с экстремумом при 70–85 °С, обусловленный низкотемпературной дегидратацией (абсорбированная вода) кости; 2) экзотермический В1 с экстремумом при 310–335 °С, отражающий выгорание липидо-белкового органического вещества; 3) экзотермический В2 с экстремумом при 400–440 °С, иногда расщепляющийся на два подпика, – выгорание более устойчивого к нагреванию белкового вещества. Характер выгорания органического вещества свидетельствует о преобладании в нем относительно низкомолекулярного, существенного липидного компонента, что можно объяснить как результатом фоссилизации, так и исходной особенностью костного коллагена мамонтов.

В составе костных, волосных и тканевых остатков исследованного мамонта обнаружено более 50 микроэлементов, по суммарному содержанию которых остатки подразделяются на две группы: 1) кости и мышечная ткань с аномально высоким валовым содержанием микроэлементов в пределах 5600–6600 г/т (обусловлено аномальными содержаниями Mn и Sr); 2) волосы, кожа и жировая ткань с валовым содержанием микроэлементов от 305 до 485 г/т. Отношения групповых содержаний микроэлементов биогенного и абиогенного происхождения свидетельствуют об относительно низкой степени фоссилизации костей и тканей мамонта.

Кристалличность биоапата находится на умеренно-низком уровне, что характерно для мало измененных ископаемых костей. Вхождение углерода в его структуру доказывается спектрами ИК-поглощения, в которых проявились полосы как анионов  $[\text{PO}_4]^{3-}$ , так и замещающих их и гидроксил-ионы анионов  $[\text{CO}_3]^{2-}$ . Из этого следует, что биоапатит в костях исследованного мамонта относится к В- и АВ-типам.

Полученные данные об элементном составе костного коллагена, кожи, волос и жировой ткани соответствуют стандартным для современных млекопитающих. В случае мышечной ткани наши данные в три раза уступают стандартным, что, возможно, объясняется смешанным белково-жировым ее составом. Результаты анализа аминокислотного состава органических веществ показали хорошую сохранность коллагена в костных остатках и ороговевшей коже мамонта, а также кератина в волосах. В мягких тканях содержится значительно меньше белковых компонентов, которые согласно аминокислотному составу в основном представлены коллагеном.

Изотопным исследованиям были подвергнуты костный биоапатит ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ) и органическое вещество – костный коллаген, волосы, кожа, мышечная и жировая ткани ( $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ ). В случае биоапата изотопный состав углерода и кислорода варьируется в пределах

соответственно –15...–13 и 15–21 ‰, закономерно встраиваясь в отчетливый тренд сопряженного изотопного облегчения углерода и кислорода в костном биоапате мамонтов в направлении с юго-запада (Западная Европа) на северо-восток (таймырское побережье Северного Ледовитого океана). Такой тренд прямо указывает на климатическую природу формирования изотопного состава карбонатной компоненты в костном биоапате мамонтов.

Изотопные коэффициенты углерода и азота в костном коллагене колеблются в пределах:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -23...-21$  и  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}} = 6.5-7.5$  ‰. Волосы, кожа и ткани мамонта Петра демонстрируют более изотопно-легкий углерод – в пределах –23...–29 ‰ и гораздо более широкий разброс по изотопному составу азота – 0.3–12 ‰, выстраиваясь в следующую последовательность (‰): кожа ( $\delta^{13}\text{C} = -25...-23$ ;  $\delta^{15}\text{N} = 6.5-7$ ) → волосы (–25...–23.5; 3–4) → мышцы (–29...–26.5; 7.5–12) → жир (–29.2...–28.5; 0.3–5.2). В части костного коллагена вариации изотопного состава азота отражают большие колебания в пищевом рационе мамонтов. В случае мамонта Пети можно полагать, что он питался преимущественно растительной пищей. Кожа по изотопному составу углерода и азота близка к костному коллагену, а волосы – к коллагену по изотопии углерода, но гораздо более изотопно-легкие по азоту. Очевидно, что последнее согласуется именно с летней генерацией этих волос, изотопный состав которых определялся растительной диетой. Мышечные и жировые ткани гораздо легче коллагена, кожи и волос по изотопному составу углерода, но при этом сильно варьируются по изотопному составу азота – от весьма изотопно-легкой жировой ткани до весьма изотопно-тяжелых мышц.

По изотопии органической серы значения в костном коллагене, волосах и тканях мамонта Пети варьируются в относительно узких пределах – от –3.5 до 2 ‰, что вполне вписывается в интервал для хорошо сохранившихся остатков мамонтовой фауны.

В целом в результате проведенных исследований впервые обнаружена большая изотопная неоднородность органического вещества мамонтов, отражающая, с одной стороны, сезонные и многолетние колебания климата, а с другой, большую способность мамонтов к адаптации. Изотопный состав азота в костном коллагене, формировавшийся на протяжении всей жизни мамонта Пети, и волосах летней генерации свидетельствует о смешанном растительно-копрофагическом рационе его питания в зимнее время и преимущественно растительном – в летнее. В частности, относительно изотопно-легкий азот в волосах летней генерации указывает на качественную растительную диету. Судя по результатам проведенных исследований, мамонт Петя погиб молодым, в конце лета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

1. Косинцев, П. А. Крупные млекопитающие неоплейстоцена широтного отрезка Нижнего Иртыша / П. А. Косинцев, Н. Е. Бобковская // Четвертичная палеозоо-

- логия на Урале. – Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2003. – С. 223–232.
2. Улитко, А. И. Остатки шерстистых носорогов в музеях гг. Кирова и Сыктывкара / А. И. Улитко, Д. В. Пonomarev // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2007. – № 5. – С. 13–16.
  3. Lister, A. M. The West Runton mammoth (*Mammuthus trogontherii*) and its evolutionary significance / A. M. Lister, A. J. Stuart // *Quaternary International*. – 2010. – V. 228 (1–2). – P. 254–264.
  4. Kirillova, I. V. Kastykhtakh mammoth from Taimyr (Russia) / I. V. Kirillova, F. K. Shidlowski, V. V. Titov // *Quaternary International*. – 2012. – V. 276–277. – P. 269–277.
  5. Kosinzev, P. A. Living environments and diet of the Mgochen mammoth, Gydan Peninsula / P. A. Kosinzev, E. G. Lapteva, O. M. Korona, O. G. Zanina // *Quaternary International*. – 2012. – V. 276–277. – P. 253–268.
  6. Шпанский, А. В. Четвертичные млекопитающие из местонахождения Кожамжар (Павлодарская область, Казахстан) / А. В. Шпанский, С. А. Ильина, В. Н. Алиясова // Вестник Пермского ун-та. – 2015. – № 39. – С. 254–264.
  7. Кузьмин, Я. А. Первые радиоуглеродные даты по костям мамонтов (*Mammuthus primigenius*) в Калининградской области (Россия) / Я. А. Кузьмин, Й. ван дер Плихт, Н. В. Мартинович, Г. В. Гришанов // Евразия в кайнозое: стратиграфия, палеоэкология, культуры. – Иркутск, 2016. – Вып. 5. – С. 38–43.
  8. Oliveira, E. V. A new late Pleistocene ichnological site with mammal footprints from Brazil / E. V. Oliveira, P. S. Belo, G. L. Fambrini, A. N. Sial, A. K. B. Silva, A. M. F. Barretto // *J. of South Amer. Earth Sciences*. – 2019. – Vol. 94. – P. 1–6.
  9. Price, T. D. Multi-element studies of diagenesis in prehistoric bone / T. D. Price // *The chemistry of diagenesis in prehistoric human bone*. Cambridge : Cambridge Univer. Press. – 1989. – P. 126–154.
  10. Price, T. D. Diagenesis in prehistoric bone : Problems and solutions / T. D. Price, J. Blitz, J. Burton, J. A. Ezzo // *J. Archaeol. Sci.* – 1992. – V. 19. – P. 513–529.
  11. Bocherens, H. Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of isotopic biogeochemistry of late interglacial Neandertal and mammal bones in Scladina Cave (Belgium) / H. Bocherens, D. Billion, M. Paton-Mathis, D. Bonyean, M. Tonssaint [et al.] // *J. of Archaeol. Sci.* – 1999. – V. 26 (6). – P. 599–607.
  12. Николаев, В. И. Изотопный состав углерода пищи и костных остатков плейстоценовых мамонтов / В. И. Николаев, С. Давинзо, Л. В. Кузнецова, П. Якунин // Изотопно-геохимические и палеогеографические исследования на севере России. – Москва : Ин-т географии РАН, 2004. – С. 21–40.
  13. Николаев, В. И. Комплексные изотопные исследования мамонтов Якутии / В. И. Николаев, М. Барбиери, С. Даванзо, Т. В. Кузнецова, А. Донжинелли, Л. Д. Сулержицкий, П. Якумин // Квартер-2005: Материалы IV Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. – Сыктывкар : Геопринт, 2005. – С. 297–298.
  14. Якумин, П. Изотопный состав азота пищи плейстоценовых мамонтов / П. Якумин, К. Деванзо, В. И. Николаев, Л. Д. Сулержицкий // Стабильные изотопы в палеоэкологических исследованиях. – Москва, 2006. – С. 70–85.
  15. Iacumin, P. Spatial and temporal variations in the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios of mammoth hairs : Palaeodiet and Palaeoclimate implications / P. Iacumin, C. Devanzo, V. Nikolaev // *Chemical Geology*. – 2006. – № 231. – P. 16–25.
  16. Bocherens, H. L'alimentation et l'environnement (micro-usure et isotopes) des mammoths et elephants du Pleistocene / H. Bocherens, D. Drucker, F. Rivals // *Memmoires de mammoths*. Musee national de Prehistoire-Les Eyzies-de-Tayas. – 2018. – P. 35–39.
  17. Drucker, D. G. Collagen stable isotopes provide insights into the end of the mammoth Steppe in the central East European plains during the Epigravettian / D. G. Drucker, R. E. Stevens, M. Germonpre, M. V. Sablin, S. Pean [et al.] // *Quaternary Research*. – 2018. – № 3. – P. 1–13.
  18. Мазепа, В. С. Изотопный состав углерода и азота шерсти мончегонского мамонта / В. С. Мазепа, Н. Г. Смирнов, Т. А. Веливецкая, С. И. Кияшко, А. В. Игнатъев [и др.] // Динамика экосистем: Материалы II Российской научной конференции. – Екатеринбург, 2010. – С. 123–125.
  19. Roroz, A. Diagenetic history of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) skeletal remains from the archaeological site Cracow Spadzista Street (b), Southern Poland / A. Roroz, Z. Sawlowicz, P. Wojtal // *Polaios*. – 2012. – V. 27. – P. 541–549.
  20. Silaev, V. I. Mineralogical-geochemical characteristics of the bone detritus of Pleistocene mammals as a source of paleontological information / V. I. Silaev, D. V. Ponomarev, D. V. Kiseleva, I. V. Smoleva, Yu. V. Simakova [et al.] // *Paleontological J.* – 2017. – V. 51. – № 13. – P. 1395–1421.
  21. Zolotarev, V. M. Investigation of mammoth tusk from the Paleolithic sites of the European part of Russia by the IR reflection spectroscopy / V. M. Zolotarev, G. A. Khlopachev // *Global J. Archaeology, Anthropology*. – 2018. – № 7. – P. 82–85.
  22. Силаев, В. И. Опыт использования минералого-геохимических свойств костных остатков для реконструкции среды обитания на палеолитической стоянке Заозерье (Средний Урал) / В. И. Силаев, С. Н. Шанина, И. В. Смолева, Д. В. Киселёва, Н. В. Чередниченко [и др.] // ПАЖМИ. – 2019. – № 2. – С. 35–77.
  23. Силаев, В. И. Минералого-геохимические особенности пещерной фоссилизации ископаемых костей на примере пещеры Иманай (Южный Урал) / В. И. Силаев, М. Н. Паршукова, Д. О. Гимранов, В. Н. Филиппов, Д. В. Киселёва [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. – 2020. – Т. 19, № 4. – С. 323–358.
  24. Силаев, В. И. Костные остатки млекопитающих с палеолитической стоянки Ушбулак (Северо-Восточный Казахстан): археологический контекст, минералого-геохимические свойства и палеоэкологические реконструкции / В. И. Силаев, А. А. Анойкин, Г. Д. Павленок, А. Ф. Хазов, В. Н. Филиппов [и др.] // Вестник геонаук. – 2022. – № 4. – С. 3–37.

25. Павлова, В. В. Исследования структуры бивня мамонта методом ИК спектроскопии / В. В. Павлова, Е. С. Петухова, Т. А. Исакова, Е. С. Колесова, А. А. Чириков [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2022. – Т. 130, вып. 3. – С. 369–375.
26. Силаев, В. И. Плейстоценовый морж на р. Печоре: минералого-геохимические данные и палеоэкологические реконструкции / В. И. Силаев, И. В. Смолева, В. Н. Филиппов, С. Н. Шанина, А. Ф. Хазов [и др.] // Известия Коми НЦ УрО РАН. Серия «Науки о Земле». – 2023. – № 2. – С. 56–66.
27. Попов, А. И. Таймырский мамонт и проблема сохранения остатков мамонтовой фауны в четвертичных отложениях Сибири / А. И. Попов // Ледниковый период на территории Европейской части СССР и Сибири. – Москва : – Изд-во МГУ, 1959. – С. 259–275.
28. Косинцев, П. А. Находка остатков трупа мамонта (*Mammuthus primigenius* (Blum.)) на Гыданском полуострове (Западная Сибирь) / П. А. Косинцев // Материалы IV Международной мамонтовой конференции. – Якутск, 2007. – С. 88.
29. Fisher, D. C. Anatomy, death, and preservation of a woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) calf, Yamal Peninsula, northwest Siberia / D. C. Fisher, A. N. Tikhonov, P. A. Kosinzev, A. N. Rountrey, B. Buignes [et al.] // Quaternary International. – 2012. – V. 255. – P. 94–105.
30. Rountrey, A. N. Early tooth development, gestation, and season of birth in mammoths / A. N. Rountrey, D. S. Fisher, A. N. Tikhonov, P. A. Kosintsev, P. A. Lasarev [et al.] // Quaternary International. – 2012. – V. 255. – P. 196–205.
31. Mashchenko, E. N. The Zhenya Mammoth (*Mammuthus primigenius* (Blum.)) : Taphonomy, geology, age, morphology and ancient DNA of a 48.000 year old frozen mummy from western Taimyr, Russia / E. N. Mashchenko, O. R. Potapova, A. Vershinina, B. Shapiro, I. D. Streletskaia [et al.] // Quaternary International. – 2017. – V. 445. – P. 104–134.
32. Шпанский, А. В. О мамонтах и их спутниках. Палеоэкология мамонтовой фауны / А. В. Шпанский. – Москва : Изд-во «Фитон XXI», 2021. – 152 с.
33. Пфиценмайер, Е. В. В Сибирь за мамонтом. Очерки из путешествия в Северо-Восточную Сибирь / Е. В. Пфиценмайер. – Москва–Ленинград : Госиздателство, 1928. – 184 с.
34. Бялыницкий-Бируля, Ф. А. Гистологические и микрохимические наблюдения над тканями Березовского мамонта / Ф. А. Бялыницкий-Бируля // Научные результаты экспедиции, снаряженной Императорской Академией наук для раскопки мамонта, найденного на реке Березовке в 1901 году. – Санкт-Петербург, 1903. – Т. 2.
35. Гусев, Е. А. Отложения казанцевской трансгрессии (МИС 5) Енисейского севера / Е. А. Гусев, А. Н. Молодьков, Н. Ю. Аникина, С. А. Бондаренко, Л. Г. Деревянко [и др.] // Геология и геофизика. – 2016. – № 4. – С. 743–757.
36. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Практическое руководство / К. Наканиси. – Москва : Мир, 1965. – 216 с.
37. Беллами, Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул / Л. Беллами. – Ленинград–Москва : Мир, 1971. – 318 с.
38. Смирнов, В. И. Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста / В. И. Смирнов, С. Л. Вотяков, Н. О. Садыкова, Д. В. Киселёва, Ю. В. Щапова // Термический и масс-спектрометрический элементный анализ. – Екатеринбург : «Гошицкий», 2009. – 118 с.
39. Садыкова, Н. О. Термические свойства и элементный состав костных остатков млекопитающих как показатели степени фоссилизации / Н. О. Садыкова, Н. Г. Смирнов, С. Л. Вотяков, Д. В. Киселёва // Динамика экосистем в голоцене: Материалы Второй Российской научной конференции. – Екатеринбург–Челябинск : Рифей, 2010. – С. 182–186.
40. Ламанова, Л. М. Оксиды железа, хрома, титана в кровеносной системе человека / Л. М. Ламанова // Структура и разнообразие минерального мира: Материалы Минералогического семинара. – Сыктывкар : Геопринт, 2008. – С. 82–85.
41. Ламанова, Л. М. Отложение оксидов кремния в кардиоваскулярной системе / Л. М. Ламанова // Материалы Российского совещания. – Сыктывкар : Геопринт, 2009. – С. 175–177.
42. Ламанова Л. М. Образование минералов в жировой ткани человека / Л. М. Ламанова // Органическая минералогия: Материалы III Российского совещания с международным участием. – Сыктывкар : Геопринт, 2009. – С. 178, 179.
43. Рихванов, Л. П. Химический элементный состав органов и тканей человека и его экологическое значение / Л. П. Рихванов, Н. В. Барановская, Т. Н. Игнатова, А. Ф. Судыко, Г. П. Сандиминова [и др.] // Геохимия. – 2011. – № 7. – С. 779–784.
44. Шанина, С. Н. Аминокислоты в шунгитах Карелии / С. Н. Шанина, Е. А. Голубев // Геохимия. – 2010. – № 9. – С. 972–987.
45. Анищенко, Л. А. Аминокислоты как возможные индикаторы условий накопления и консервации органического вещества / Л. А. Анищенко, С. Н. Шанина // Органическая минералогия: Материалы Российского совещания. – Сыктывкар : Геопринт, 2009. – С. 71–74.
46. Котельникова, Е. Н. Особенности проявления изомерии, хиральности, четности и упаковки молекул в кристаллической структуре природных органических веществ / Е. Н. Котельникова // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения -2014). – Сыктывкар : Геопринт, 2014. – С. 201–208.
47. Каткова, В. И. Хиральные соединения в уrolитах / В. И. Каткова, С. Н. Шанина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2019. – № 4. – С. 38–41.
48. Youce, D. J. Chronology and new research on the Schaefer mammoth (*Mammuthus primigenius*) site, Kenosha County, Wisconsin, USA / D. J. Youce // Quaternary International. – 2006. – № 142. – P. 44–57.

49. Bocherens, H. Isotopic biogeochemistry and the palaeoecology of the mammoth steppe fauna / H. Bocherens // *Advances in Mammoth Research (Proceeding of the Second International Mammoth Conference, Rotterdam, May 16–20 1999)*. Deinesea. – 2003. – P. 57–76.
50. Васильчук, Ю. К. Новые данные о популяции мамонтов в позднплейстоценовой криолитозоне Евразии / Ю. К. Васильчук, А. К. Васильчук, О. Лонг, Э. Дж. Т. Джалл, Л. Л. Сулержицкий // *Доклады РАН*. – 2000. – Т. 370, № 6. – С. 815–818.

## References

1. Kosintsev, P. A. Krupnye mlekopitayushchiye neopleystotsena shirotnogo otrezka Nizhnego Irtysya [Large mammals of the Neo-Pleistocene of the latitudinal segment of the Lower Irtys River] / P. A. Kosintsev, N. E. Bobkovskaya // *Chetvertichnaya paleozoologiya na Urale [Quaternary Paleozoology in the Ural Region]*. – Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2003. – P. 223–232.
2. Ulitko, A. I. Ostatki sherstistyykh nosorogov v muzeyakh gg. Kirova i Syktyvkar [Remains of woolly rhinoceroses in museums of Kirov and Syktyvkar] / A. I. Ulitko, D. V. Ponomarev // *Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. – 2007. – № 5. – P. 13–16.
3. Lister, A. M. The West Runton mammoth (*Mammuthus trogontherii*) and its evolutionary significance / A. M. Lister, A. J. Stuart // *Quaternary International*. – 2010. – V. 228 (1–2). – P. 254–264.
4. Kirillova, I. V. Kastykhtakh mammoth from Taimyr (Russia) / I. V. Kirillova, F. K. Shidlowski, V. V. Titov // *Quaternary International*. – 2012. – V. 276–277. – P. 269–277.
5. Kosinzev, P. A. Living environments and diet of the Mgochen mammoth, Gydan Peninsula / P. A. Kosinzev, E. G. Lapteva, O. M. Korona, O. G. Zanina // *Quaternary International*. – 2012. – V. 276–277. – P. 253–268.
6. Shpanskiy, A. V. Chetvertichnyye mlekopitayushchiye iz mestonakhozhdeniya Kozhamzhar (Pavlodarskaya oblast', Kazakhstan) [Quaternary mammals from the Kozhamzhar locality (Pavlodar Region, Kazakhstan)] / A. V. Shpanskiy, S. A. Il'ina, V. N. Aliysova // *Bulletin of the Perm University*. – 2015. – № 39. – P. 254–264.
7. Kuzmin, Ya. A. Pervyye radiouglerodnyye daty po kostyam mamontov (*Mammuthus primigenius*) v Kaliningradskoy oblasti (Rossia) [The first radiocarbon dates on the bones of mammoths (*Mammuthus primigenius*) in the Kaliningrad Region (Russia)] / Ya. A. Kuzmin, Y. van der Plikht, N. V. Martinovich, G. V. Grishanov // *Yevraziya v kaynozoye : stratigrafiya, paleoekologiya, kul'tury [Eurasia in the Cenozoic : stratigraphy, paleoecology, cultures]*. – Irkutsk, 2016. – Issue 5. – P. 38–43.
8. Oliveira, E. V. A new late Pleistocene ichnological site with mammal footprints from Brazil / E. V. Oliveira, P. S. Belo, G. L. Fambrini, A. N. Sial, A. K. B. Silva [et al.] // *J. of South Amer. Earth Sciences*. – 2019. – V. 94. – P. 1–6.
9. Price, T. D. Multi-element studies of diagenesis in prehistoric bone / T. D. Price // *The chemistry of diagenesis in prehistoric human bone*. Cambridge : Cambridge Univer. Press. – 1989. – P. 126–154.
10. Price, T. D. Diagenesis in prehistoric bone : Problems and solutions / T. D. Price, J. Blitz, J. Burton, J. A. Ezzo // *J. Archaeol. Sci.* – 1992. – V. 19. – P. 513–529.
11. Bocherens, H. Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of isotopic biogeochemistry of late interglacial Neandertal and mammal bones in Scladina Cave (Belgium) / H. Bocherens, D. Billion, M. Paton-Mathis, D. Bonyean, M. Tonssaint [et al.] // *J. of Archaeol. Sci.* – 1999. – V. 26 (6). – P. 599–607.
12. Nikolaev, V. I. Izotopnyy sostav ugleroda pishchi i kostnykh ostatkov pleystotsenovykh mamontov [Isotope composition of carbon in food and bone remains of Pleistocene mammoths] / V. I. Nikolaev, S. Davanzo, L. V. Kuznetsova, P. Yakunin // *Izotopno-geokhimicheskiye i paleogeograficheskiye issledovaniya na severe Rossii [Isotope-geochemical and paleogeographic studies in the North of Russia]*. – Moscow : Institute of Geography RAS, 2004. – P. 21–40.
13. Nikolaev, V. I. Kompleksnyye izotopnyye issledovaniya mamontov Yakutii [Complex isotope studies of mammoths of Yakutia] / V. I. Nikolaev, M. Barbieri, S. Davanzo, T. V. Kuznetsova, A. Donzhinelli [et al.] // *Kvarter-2005 : Materials of the IV All-Russian Meeting on the Quaternary Period*. – Syktyvkar : Geoprint, 2005. – P. 297, 298.
14. Yakumin, P. Izotopnyy sostav azota pishchi pleystotsenovykh mamontov [Isotopic composition of nitrogen in the food of Pleistocene mammoths] / P. Yakumin, K. Devanzo, V. I. Nikolaev, L. D. Sulerzhitsky // *Stabil'nyye izotopy v paleoekologicheskikh issledovaniyakh [Stable Isotopes in Paleoecological Studies]*. – Moscow, 2006. – P. 70–85.
15. Iacumin, P. Spatial and temporal variations in the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ratios of mammoth hairs : Palaeodiet and Palaeoclimate implications / P. Iacumin, C. Devanzo, V. Nikolaev // *Chemical Geology*. – 2006. – № 231. – P. 16–25.
16. Bocherens, H. L'alimentation et l'enviromeunement (micro-usure et isotopes) des mammoths et elephants du Pleistocene / H. Bocherens, D. Drucker, F. Rivals // *Memoires de mammoths. Musee national de Prehistoire-Les Eyzies-de-Tayas*. – 2018. – P. 35–39.
17. Drucker, D. G. Collagen stable isotopes provide insights into the end of the mammoth Steppe in the central East European plains during the Epigravettian / D. G. Drucker, R. E. Stevens, M. Germonpre, M. V. Sablin, S. Pean [et al.] // *Quaternary Research*. – 2018. – № 3. – P. 1–13.
18. Mazepa, V. S. Izotopnyy sostav ugleroda i azota shersti monchegonskogo mamonta [Isotope composition of carbon and nitrogen in the wool of the Monchegon mammoth] / V. S. Mazepa, N. G. Smirnov, T. A. Velivetskaya, S. I. Kiyashko, A. V. Ignatiev [et al.] // *Dinamika ekosistem [Dynamics of ecosystems] : Proceedings of the II Russian Scientific Conference*. – Ekaterinburg, 2010. – P. 123–125.
19. Roroz, A. Diagenetic history of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) skeletal remains from the archaeological site Cracow Spadzista Street (b), Southern Poland

- / A. Roroz, Z. Sawlowicz, P. Wojtal // *Polaios*. – 2012. – V. 27. – P. 541–549.
20. Silaev, V. I. Mineralogical-geochemical characteristics of the bone detritus of Pleistocene mammals as a source of paleontological information / V. I. Silaev, D. V. Ponomarev, D. V. Kiseleva, I. V. Smoleva, Yu. V. Simakova [et al.] // *Paleontological J.* – 2017. – V. 51. – № 13. – P. 1395–1421.
  21. Zolotarev, V. M. Investigation of mammoth tusk from the Paleolithic sites of the European part of Russia by the IR reflection spectroscopy / V. M. Zolotarev, G. A. Khlopachev // *Global J. Archaeology, Anthropology*. – 2018. – № 7. – P. 82–85.
  22. Silaev, V. I. Opyt ispol'zovaniya mineralogo-geokhimicheskikh svoystv kostnykh ostatkov dlya rekonstruktsii sredy obitaniya na paleoliticheskoy stoyanke Zaozer'ye (Sredniy Ural) [Experience of using the mineralogical and geochemical properties of bone remains to reconstruct the habitat at the Paleolithic site of Zaozerye (Middle Urals)] / V. I. Silaev, S. N. Shanina, I. V. Smoleva, D. V. Kiseleva, N. V. Cherednichenko [et al.] // *PAZHMI*. – 2019. – № 2. – P. 35–77.
  23. Silaev, V. I. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti peshchernoj fossilizatsii ikopayemykh kostey na primere peshchery Imanay (Yuzhnyy Ural) [Mineralogical and geochemical features of cave fossilization of fossil bones using the example of the Imanai cave (Southern Urals)] / V. I. Silaev, M. N. Parshukova, D. O. Gimranov, V. N. Filippov, D. V. Kiseleva [et al.] // *Bulletin of the Perm University. Geology*. – 2020. – Vol. 19. – № 4. – P. 323–358.
  24. Silaev, V. I. Kostnyye ostatki mlekopitayushchikh s paleoliticheskoy stoyanki Ushbulak (Severo-Vostochnyy Kazakhstan) : arkheologicheskiy kontekst, mineralogo-geokhimicheskiye svoystva i paleoekologicheskiye rekonstruktsii [Bone remains of mammals from the Paleolithic site of Ushbulak (North-Eastern Kazakhstan) : archaeological context, mineralogical and geochemical properties and paleoecological reconstructions] / V. I. Silaev, A. A. Anoykin, G. D. Pavlenok, A. F. Khazov, V. N. Filippov [et al.] // *Bulletin of Geosciences*. – 2022. – № 4. – P. 3–37.
  25. Pavlova, V. V. Issledovaniya struktury bivnya mamonta metodom IK spektroskopii [Study of the structure of a mammoth tusk using IR spectroscopy] / V. V. Pavlova, E. S. Petukhova, T. A. Isakova, E. S. Kolesova, A. A. Chirikov [et al.] // *Optika i spektroskopiya [Optics and Spectroscopy]*. – 2022. – Vol. 130. – Issue 3. – P. 369–375.
  26. Silaev, V. I. Pleystotsenovyy morzh na r. Pechore : mineralogo-geokhimicheskiye dannyye i paleoekologicheskiye rekonstruktsii [Pleistocene walrus on the Pechora River : mineralogical and geochemical data and paleoecological reconstructions] / V. I. Silaev, I. V. Smoleva, V. N. Filippov, S. N. Shanina, A. F. Khazov [et al.] // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences"*. – 2023. – № 2. – P. 56–66.
  27. Popov, A. I. Taymyrskiy mamont i problema sokhraneniya ostatkov mamontovoy fauny v chetvertichnykh otlozheniyakh Sibiri [Taimyr mammoth and the problem of preserving the remains of mammoth fauna in Quaternary deposits of Siberia] / A. I. Popov // *Lednikovyy period na territorii Yevropeyskoy chasti SSSR i Sibiri [Ice Age on the Territory of the European Part of the USSR and Siberia]*. – Moscow : Moscow State University Publishing House, 1959. – P. 259–275.
  28. Kosintsev, P. A. Nakhodka ostatkov trupa mamonta (*Mammuthus primigenius* (Blum.)) na Gydanskom poluostrove (Zapadnaya Sibir') [Finding the remains of a mammoth corpse (*Mammuthus primigenius* (Blum.)) on the Gydan Peninsula (Western Siberia)] / P. A. Kosintsev // *Materials of the IV International Mammoth Conference*. – Yakutsk, 2007. – P. 88.
  29. Fisher, D. C. Anatomy, death, and preservation of a woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) calf, Yamal Peninsula, northwest Siberia / D. C. Fisher, A. N. Tikhonov, P. A. Kosintsev, A. N. Rountrey, B. Buignes [et al.] // *Quaternary International*. – 2012. – V. 255. – P. 94–105.
  30. Rountrey, A. N. Early tooth development, gestation, and season of birth in mammoths / A. N. Rountrey, D. S. Fisher, A. N. Tikhonov, P. A. Kosintsev, P. A. Lasarev [et al.] // *Quaternary International*. – 2012. – V. 255. – P. 196–205.
  31. Mashchenko, E. N. The Zhenya Mammoth (*Mammuthus primigenius* (Blum.)) : Taphonomy, geology, age, morphology and ancient DNA of a 48.000 year old frozen mummy from western Taimyr, Russia / E. N. Mashchenko, O. R. Potapova, A. Vershinina, B. Shapiro, I. D. Streletskaya [et al.] // *Quaternary International*. – 2017. – V. 445. – P. 104–134.
  32. Shpansky, A. V. O mamontakh i ikh sputnikakh. Paleoekologiya mamontovoy fauny [About mammoths and their companions. Paleoecology of mammoth fauna] / A. V. Shpansky. – Moscow : Fiton XXI Publishing House, 2021. – 152 p.
  33. Pfizenmayer, E. V. V. Sibir' za mamontom. Ocherki iz puteshestviya v Severo-Vostochnuyu Sibir' [To Siberia for the mammoth. Essays from a trip to North-Eastern Siberia] / E. V. Pfizenmayer. – Moscow-Leningrad : State Publishing House. – 1928. – 184 p.
  34. Byalynitsky-Birulya, F. A. Gistologicheskie i mikrokhimicheskie nablyudeniya nad tkanyami Berezovskogo mamonta [Histological and microchemical observations of the tissues of the Berezovkamammoth] / F. A. Byalynitsky-Birulya // *Nauchnyye rezul'taty ekspeditsii, snaryazhennoy Imperatorskoy Akademiyey nauk dlya raskopki mamonta, naydannogo na reke Berezovke v 1901 godu [Scientific results of the expedition equipped by the Imperial Academy of Sciences to excavate a mammoth found on the Berezovka River in 1901]*. – Saint-Petersburg, 1903. – Vol. 2.
  35. Gusev, E. A. Otlozheniya kazantsevskoy transgressii (MIS 5) Yeniseyskogo severa [Sediments of the Kazantsev transgression (MIS 5) of the Yenisei North] / E. A. Gusev, A. N. Molodkov, N. Yu. Anikina, S. A. Bondarenko, L. G. Derevyanko [et al.] // *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*. – 2016. – № 4. – P. 743–757.
  36. Nakanishi, K. Infrakrasnyye spektry i stroyeniye organicheskikh soyedineniy. Prakticheskoe rukovodstvo [Infrared spectra and structure of organic compounds. Practi-

- cal Guide] / K. Nakanishi. – Moscow : Mir, 1965. – 216 p.
37. Bellamy, L. Novyye dannyye po IR-spektram slozhnykh molekul [New data on the IR spectra of complex molecules] / L. Bellamy. – Leningrad–Moscow, Mir. – 1971. – 318 p.
  38. Smirnov, V. I. Fiziko-khimicheskiye kharakteristiki iskopayemykh kostnykh ostatkov mlekopitayushchikh i problema otsenki ikh odnositel'nogo vozrasta [Physico-chemical characteristics of fossil bone remains of mammals and the problem of estimating their relative age] / V. I. Smirnov, S. L. Votyakov, N. O. Sadykova, D. V. Kiseleva, Yu. V. Shchapova // Termicheskiy i mass-spektrometricheskiy elementnyy analiz [Thermal and Mass Spectrometric Elemental Analysis]. – Ekaterinburg : "Goshchitsky", 2009. – 118 p.
  39. Sadykova, N. O. Termicheskie svoystva i elementnyy sostav kostnykh ostatkov mlekopitayushchikh kak pokazateli stepeni fossilizatsii [Thermal properties and elemental composition of bone remains of mammals as indicators of the degree of fossilization] / N. O. Sadykova, N. G. Smirnov, S. L. Votyakov, D. V. Kiseleva // Dinamika ekosistem v golotsene [Dynamics of Ecosystems in the Holocene] : Materials of the Second Russian Scientific Conference. – Ekaterinburg–Chelyabinsk : Rifey, 2010. – P. 182–186.
  40. Lamanova, L. M. Oksidy zheleza, khroma, titana v krovenosnoy sisteme cheloveka [Oxides of iron, chromium, titanium in the human circulatory system] / L. M. Lamanova // Struktura i raznoobraziye mineral'nogo mira [Structure and Diversity of the Mineral World] : Materials of the Mineralogical Seminar. – Syktyvkar : Geoprint, 2008. – P. 82–85.
  41. Lamanova, L. M. Otlozheniye oksidov kremniya v kardiovaskulyarnoy sisteme [Deposition of silicon oxides in the cardiovascular system] / L. M. Lamanova // Materials of the Russian Meeting. – Syktyvkar : Geoprint, 2009. – P. 175–177.
  42. Lamanova, L. M. Obrazovaniye mineralov v zhirovoy tkani cheloveka [Formation of minerals in human adipose tissue] / L. M. Lamanova // Organicheskaya mineralogiya [Organic Mineralogy] : Materials of the III Russian Meeting with International Participation]. – Syktyvkar : Geoprint, 2009. – P. 178, 179.
  43. Rikhvanov, L. P. Khimicheskiy elementnyy sostav organov i tkaney cheloveka i yego ekologicheskoye znachenie [Chemical elemental composition of human organs and tissues and its environmental significance] / L. P. Rikhvanov, N. V. Baraznovskaya, T. N. Ignatova, A. F. Sudyko, G. P. Sandimirova [et al.] // Geokhimiya [Geochemistry]. – 2011. – № 7. – P. 779–784.
  44. Shanina, S. N. Aminokisloty v shungitakh Karelii [Amino acids in shungites of Karelia] / S. N. Shanina, E. A. Golubev // Geokhimiya [Geochemistry]. – 2010. – № 9. – P. 972–987.
  45. Anishchenko, L. A. Aminokisloty kak vozmozhnyye indikatory usloviy nakopleniya i konservatsii organicheskogo veshchestva [Amino acids as possible indicators of the conditions of accumulation and conservation of organic matter] / L. A. Anishchenko, S. N. Shanina // Organicheskaya mineralogiya [Organic Mineralogy] : Materials of the Russian Meeting. – Syktyvkar : Geoprint, 2009. – P. 71–74.
  46. Kotelnikova, E. N. Osobennosti proyavleniya izomerii, khiral'nosti, chetnosti i upakovki molekul v kristallicheskoy strukture prirodnykh organicheskikh veshchestv [Features of the manifestation of isomerism, chirality, parity and packing of molecules in the crystal structure of natural organic substances] / E. N. Kotelnikova // Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya - 2014) [Modern Issues of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin Readings - 2014)]. – Syktyvkar : Geoprint, 2014. – P. 201–208.
  47. Katkova, V. I. Khiral'nye soedineniya v urolitakh [Chiral compounds in uroliths] / V. I. Katkova, S. N. Shanina // Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – № 4. – P. 38–41.
  48. Joyce, D. J. Chronology and new research on the Schaefer mammoth (*Mammuthus primigenius*) site, Kenosha County, Wisconsin, USA / D. J. Joyce // Quaternary International. – 2006. – № 142. – P. 44–57.
  49. Bocherens, H. Isotopic biogeochemistry and the palaeoecology of the mammoth steppe fauna / H. Bocherens // Advances in Mammoth Research (Proceeding of the Second International Mammoth Conference, Rotterdam, May 16–20 1999). Deinesea. – 2003. – P. 57–76.
  50. Vasilchuk, Yu. K. Novyye dannyye o populyatsii mamontov v pozdnepleysttsenovoy kriolitozone Yevrazii [New data on the mammoth population in the Late Pleistocene cryolithozone of Eurasia] / Yu. K. Vasilchuk, A. K. Vasilchuk, O. Long, E. J. T. Jall, L. L. Sulerzhitsky // Reports RAS. – 2000. – Vol. 370. – № 6. – P. 815–818.

#### Благодарность (госзадание)

Авторы благодарят сотрудника ВСЕГЕИ Д. Н. Костина и главного геолога Норильского филиала ВСЕГЕИ Г. В. Шнейдера за предоставленную для исследования уникальную коллекцию костных и костно-волосо-кожно-тканевых остатков таймырских мамонтов из новых местонахождений.

#### Acknowledgements (state task)

The authors would like to thank the staff member of the A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI) D. N. Kostin and Chief Geologist of the VSEGEI Norilsk Branch G. V. Shneider for a unique collection of bone and bone-hair-skin-tissue remains of Taymyr mammoths from new locations given to us for research.

#### Информация об авторах:

**Силаев Валерий Иванович** – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus ID: 7003764179, <https://orcid.org/0000-0002-4653-5233> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [silaev@geo.komisc.ru](mailto:silaev@geo.komisc.ru)).

**Шуйский Александр Сергеевич** – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus Author ID: 5721240694, <https://orcid.org/0000-0002-6928-9354> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [self88@yandex.ru](mailto:self88@yandex.ru)).

**Смолева Ирина Владимировна** – ведущий инженер-химик группы изотопной геохимии Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [smolewa@geo.komisc.ru](mailto:smolewa@geo.komisc.ru)).

**Шанина Светлана Николаевна** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus ID: 6603449438, <https://orcid.org/0000-0002-9889-8968> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [shanina@geo.komisc.ru](mailto:shanina@geo.komisc.ru)).

**Васильев Евгений Алексеевич** – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ЛИВС ЦКП, Санкт-Петербургский горный университет; Scopus ID: 57188645545, <https://orcid.org/0000-0003-2216-0956> (199106, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2; [simphy12@mail.ru](mailto:simphy12@mail.ru)).

**Киселёва Дарья Владимировна** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук; <https://orcid.org/0000-0002-8682-1541> (620110, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, д. 15; e-mail: [podarenka@mail.ru](mailto:podarenka@mail.ru)).

**Хазов Антон Федорович** – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus ID: 10044533600, <https://orcid.org/0000-0003-4048-8509> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [akhazov@geo.komisc.ru](mailto:akhazov@geo.komisc.ru)).

**Макеев Борис Александрович** – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus ID: 26664800600, <https://orcid.org/0000-0001-6001-8278> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [makboris@mail.ru](mailto:makboris@mail.ru)).

**Сухарев Александр Евгеньевич** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; Scopus ID: 7005044695, <https://orcid.org/0000-0003-1732-0134> (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: [sukharev@geo.komisc.ru](mailto:sukharev@geo.komisc.ru)).

**Фокина Анастасия Константиновна** – инженер-исследователь Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук; <https://orcid.org/0009-0002-9667-0799> (620110, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. академика Вонсовского, д. 15, e-mail: [fokina.a.k@yandex.ru](mailto:fokina.a.k@yandex.ru)).

#### About the authors:

**Valery I. Silaev** – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Chief Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus ID: 7003764179, <https://orcid.org/0000-0002-4653-5233> (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: [silaev@geo.komisc.ru](mailto:silaev@geo.komisc.ru)).

**Alexander S. Shuyskiy** – Junior Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus Author ID: 5721240694, <https://orcid.org/0000-0002-6928-9354> (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: [self88@yandex.ru](mailto:self88@yandex.ru)).

**Irina V. Smoleva** – Leading Chemist Engineer of the Isotope Geochemistry Group at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: [smolewa@geo.komisc.ru](mailto:smolewa@geo.komisc.ru)).

**Svetlana N. Shanina** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus ID: 6603449438, <https://orcid.org/0000-0002-9889-8968> (Institute of

Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: shanina@geo.komisc.ru).

**Evgeny A. Vasiliev** – Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Leading Researcher at the Saint-Petersburg Mining University; Scopus ID: 57188645545, <https://orcid.org/0000-0003-2216-0956> (21st Line, Vasilievsky Island, Saint-Petersburg, Russian Federation, 199106; e-mail: simphy12@mail.ru).

**Darya V. Kiseleva** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher at the Institute of Geology and Geochemistry named after academician A. N. Zavaritskiy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; <https://orcid.org/0000-0002-8682-1541> (15 Academician Vonsovskiy st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110, e-mail: podarenka@mail.ru).

**Anton F. Khazov** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus ID: 10044533600, <https://orcid.org/0000-0003-4048-8509> (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: akhazov@geo.komisc.ru).

**Boris A. Makeev** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus ID: 26664800600, <https://orcid.org/0000-0001-6001-8278> (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: makboris@mail.ru).

**Alexander E. Sukharev** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS; Scopus ID: 7005044695, <https://orcid.org/0000-0003-1732-0134> (Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: sukharev@geo.komisc.ru).

**Anastasia K. Fokina** – Research Engineer at the Institute of Geology and Geochemistry named after academician A. N. Zavaritskiy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; <https://orcid.org/0009-0002-9667-0799> (15 Academician Vonsovskiy st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110, e-mail: fokina.a.k@yandex.ru).

#### Для цитирования:

Силаев, В. И. Предголоценовый таймырский мамонт Петя: минералого-изотопно-геохимические свойства костей, мягких тканей, кожи, волос и палеоэкологические реконструкции / В. И. Силаев, А. С. Шуйский, И. В. Смалева, С. Н. Шанина, Е. А. Васильев, Д. В. Киселёва, А. Ф. Хазов, Б. А. Makeev, А. Е. Сухарев, А. К. Фокина // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 3 (69). – С. 116–135.

#### For citation:

Silaev, V. I. Predgolocenovyj tajmyrskij mamont Petya: mineralogo-izotopno-geohimicheskie svoystva kostej, myagkih tkanej, kozhi, volos i paleoekologicheskie rekonstrukcii [Pre-Holocene Taymyr mammoth Petya: mineralogical-isotope-geochemical properties of bones, soft tissues, skin, hairs and paleoecologic reconstructions] / V. I. Silaev, A. S. Shuyskiy, I. V. Smoleva, S. N. Shanina, E. A. Vasiliev, D. V. Kiseleva, A. F. Khazov, B. A. Makeev, A. E. Sukharev, A. K. Fokina // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2024. – № 3 (69). – P. 116–135.

Дата поступления рукописи: 18.12.2023

Прошла рецензирование: 27.12.2023

Принято решение о публикации: 27.03.2024

Received: 18.12.2023

Reviewed: 27.12.2023

Accepted: 27.03.2024