

УДК 569.73:549.8:54.02

**В.И. Силаев¹, В.И. Юрин², П.А. Косинцев³,
И.В. Смолева¹, Д.В. Киселёва⁴, М.Н. Паршукова⁵**

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

²Центр историко-культурного наследия, г. Челябинск

³Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург

⁴Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

⁵Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар

БИВЕНЬ УНИКАЛЬНОГО ИСКОПАЕМОГО СЛОНА (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ): МИНЕРАЛОГО-ИЗОТОПНО- ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Впервые проведены минералого-изотопно-геохимические исследования бивня плейстоценового слона из самого восточного местонахождения такого рода млекопитающих. Полученные данные комплексных минералого-изотопно-геохимических исследований позволяют сделать следующее заключение. Судя по свойствам бивня, обнаруженный в Челябинской области ископаемый слон обитал в некомфортных для себя по климату и рациону питания условиях, практиковал копрофагию и, скорее всего, погиб в результате несчастного случая. Можно предполагать, что он принадлежал популяции вымерших слонов, мигрировавших на восток в период сильного похолодания в середине средне-валдайского (каргинского) интерстадиала (42–38 тыс. л. н), максимально проявившегося на территории современной Западной Европы.

Ключевые слова: ископаемый слон, бивень, Челябинская область, минералого-изотопно-геохимические свойства, палеоэкологические реконструкции.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2024.125

Впервые проведены минералого-изотопно-геохимические исследования бивня плейстоценового слона (*Palaeoloxodon conf. antiquus*) из самого восточного местонахождения такого рода млекопитающих (рис. 1). Слабо изогнутый («прямой») бивень длиной 187 см был найден В. И. Юриным в августе 2015 г. на территории деревни Ключёвка в Челябинской области на левом берегу р. Зюзелга в плейстоценовых гравийно-песчаных отложениях предположительно древней поймы на глубине 2.5 м.

Объекты и методы. Исследовались очищенные от примазок вмещающего грунта фрагменты внутренней и внешней частей бивня, фрагменты бивня с примазками грунта и собственно костевмещающий грунт



Рис. 1. Местонахождение (а), автор находки – Владимир Иванович Юрин (б) и внешний вид исследованного бивня (г). На в – примерная реконструкция облика прямобивневого слона

(рис. 2). При этом использовались оптическая и 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); 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 (сепа) и Thermo Fisher Scientific).

Вмещающий бивень грунт по гранулометрическому составу – гравийно-песчаный с незначительной алевропелитовой примесью. По литологическому составу – карбонатно-терригенный, по минеральному составу – альбит-кварц-гидрослюдисто-хлоритовый с небольшой примесью карбонатов кальцит-родохрозитового ряда. Вблизи бивня грунт содержит примесь обломочного костного материала (фрагменты гравийно-песчаной размерности).

Бивень на 97–99 мас. % сложен хорошо сохранившимся биоапатитом состава $(\text{Ca}_{9.96-10}\text{Sr}_{0-0.04})[(\text{P}_{5.05-5.46}\text{S}_{0.02-0.03}\text{C}_{0.52-0.92})_6\text{O}_{24}](\text{OH})_{1.11-1.50}$. Величина атомного отношения $\text{Ca/P} = 1.73-2.13 (1.91 \pm 0.12)$, что в основном соответствует умеренно-измененным ископаемым костям. Иллювирированная в бивень терригенная примесь имеет кварц-гидрослюдисто-хлоритовый состав, отмечается примесь гётита как результат наложенного оксигидроксидного ожелезнения. В качестве эпигенетических

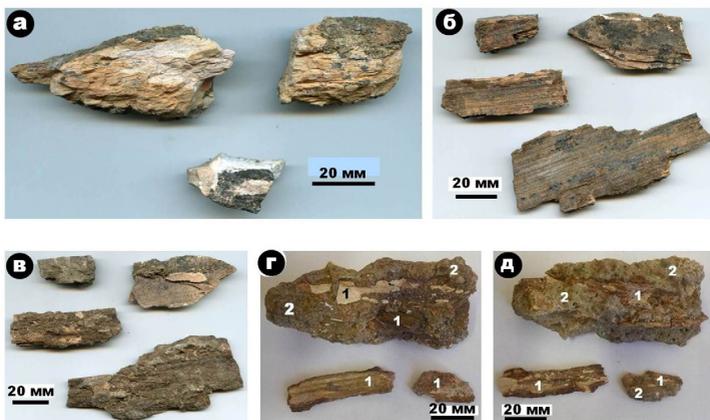


Рис. 2. Объекты исследований: а, б – фрагменты бивня соответственно из внутренней части и с поверхности; в – фрагменты поверхностной части бивня с примазками вмещающего грунта; г, д – грунт (2) с реликтами бивня (1)

минеральных примесей, обусловленных фоссиллизацией, установлены карбонаты состава $(\text{Ca}_{0.09-0.93}\text{Mn}_{0-0.8}\text{Mg}_{0.04-0.12}\text{Fe}_{0-0.1}\text{Sr}_{0-0.02}\text{Ba}_{0-0.01})[\text{CO}_3]$, аналогичные карбонатам в грунтах (результат перерождения); монацит – $(\text{Ce}_{0.38-0.52}\text{La}_{0.23-0.3}\text{Pr}_{0.03-0.08}\text{Nd}_{0.1-0.18}\text{Sm}_{0-0.07}\text{Mg}_{0-0.12}\text{Sr}_{0-0.05}\text{Th}_{0-0.02})[\text{PO}_4]$; $[\text{SO}_4]_{0-0.12}$; ильменит – $(\text{Fe}_{0.96-1}\text{Mn}_{0-0.03})(\text{Ti}_{0.98-1}\text{V}_{0-0.02})\text{O}_3$; ульвит – $(\text{Fe}_{1.88}\text{Mn}_{0.03}\text{Zn}_{0.03}\text{Cu}_{0.05})_{1.99}\text{TiO}_4$; манганит – $(\text{Mn}_{0.86-0.88}\text{Fe}_{0.1-0.12}\text{Cu}_{0-0.03})\text{O}(\text{OH})$; самородное железо – $\text{Fe}_{0.76-0.97}\text{Cu}_{0-0.01}\text{Zn}_{0-0.01}\text{Ti}_{0-0.17}\text{Si}_{0-0.04}\text{Mn}_{0-0.01}$ и самородный селен $\text{Se}_{0.77-0.87}\text{S}_{0-0.03}\text{Si}_{0-0.09}\text{Fe}_{0-0.03}\text{Cu}_{0-0.05}\text{Zn}_{0-0.05}\text{Mo}_{0-0.06}\text{Cl}_{0-0.09}$.

Бивень характеризуется сильно измененной нанопористостью, сходной с таковой, например, в костях мамонтовой фауны Омского Прииртышья. В составе кости выявлено более 50 микроэлементов, в том числе 12 элементов-эссенциалов (групповое содержание 36–49 г/т), 17 физиоактивных (2618–3450 г/т) и 22 элемента-антибионта (7–8.5 г/т). В число элементов с наибольшими содержаниями входят As, Se, Zn, Mn, Sr, Ba, U, В. Валовое содержание микроэлементов достигает 0,27–0.35 мас.%, что отвечает ископаемым костям мамонтовой фауны с геологическим возрастом между средним и поздним неоплейстоценом (250–50 тыс. л. н.). Судя по отношению групповых содержаний элементов-эссенциалов и антибионтов (4.3–6.6), органическое вещество в исследованном бивне находится в относительно хорошем состоянии.

Костный коллаген в исследованном бивне – светло-бурый, содержание его составило 1.5–2 мас. %. Атомное отношение C/N в коллагене

колеблется пределах 3.3–3.7, что примерно соответствует аналогичным данным для бивней мамонтов и вполне приемлемо для проведения изотопных исследований органического вещества.

Таким образом, относительно малая степень иллювиирования бивня терригенными примесями при признаках переотложения карбонатов из вмещающих грунтов, хорошая сохранность биоапатита и костного коллагена – все это свидетельствует об относительно молодом геологическом возрасте кости, условиях ее открытого захоронения и автотонности залегания на месте находки.

Изотопные данные и реконструкция палеоэкологических условий обитания. Изотопным исследованиям в бивне были подвергнуты биоапатит ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}, \delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$) и органическое вещество – костный коллаген ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}, \delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$). В случае биоапатита разложение происходило в ортофосфорной кислоте, а измерение изотопного состава углерода и кислорода производилось в режиме непрерывного потока гелия (метод CF-IRMS) на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific (Бремен, Германия), включающем в себя систему подготовки и ввода проб GasBench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта V-PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – стандарта V-SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS 18 и NBS 19. Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляет $\pm 0.15\%$ (1σ). Измерения изотопного состава углерода и азота в коллагене проводилось в режиме непрерывного потока гелия (CF-IRMS) на аналитическом комплексе, включающем в себя элементный анализатор Flash EA 1112, соединенный через газовый коммутатор Conflo IV с масс-спектрометром Delta V Advantage (фирма Thermo Fisher Scientific). В процессе работы были использованы международный стандарт USGS-40 (L-Glutamic acid) и лабораторный стандарт Acetanilide ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}$). Значения $\delta^{13}\text{C}$ проведены относительно стандарта V-PDB. Ошибка измерений составляет $\pm 0.15\%$.

В *биоапатите* (рис. 3) изотопный состав углерода и кислорода варьируется в пределах соответственно ($-8.5\dots-7$) и ($15-21$) ‰, довольно близко подстраиваясь к характерному тренду 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 актуальным, поскольку может иметь вполне рациональное объяснение. Как известно [1, 2], изотопный состав углерода и кислорода в карбонатной компоненте биоапатита определяется климатом, составом атмосферы и поверхностных вод. Чем ниже климатическая

температура и степень годовой освещенности, тем меньше в атмосфере и соответственно в поверхностных водах концентрация CO_2 , а следовательно углерод и кислород в костном биоапатите животных, проживающих в таких условиях, становятся изотопно более легкими. На таком фоне выявленные значения изотопного коэффициента для кислорода в биоапатите исследованного бивня могут свидетельствовать о существовании челябинского слона в условиях холодного климата. Более изотопно-тяжелый углерод в его биоапатите по сравнению с типичными мамонтами можно объяснить более южными широтами существования.

В костном коллагене исследованного бивня изотопные коэффициенты углерода и азота оцениваются соответственно в 20.9–21 и 12–12.24 ‰. Эти данные по углероду вполне согласуются с аналогичными

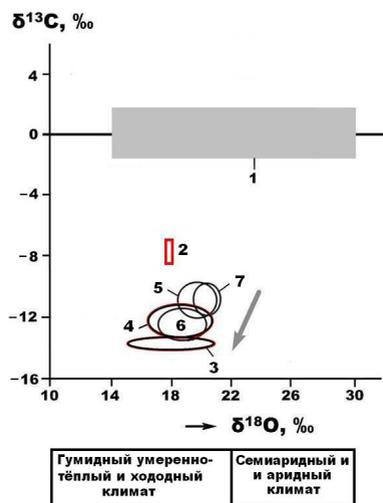


Рис. 3. Изотопные характеристики морских осадочных карбонатолитов (1) и костного биоапатита мамонтовой фауны (2–6): 2 – челябинский слон; 3 – мамонт Петя, 4 – мамонт Шнейдера, 5 – мамонтовая фауна с Печорского Приуралья, 6 – мамонтовая фауна со Среднего Прииртышья (коллекция А. А. Бондарева), 7 – мамонтовая фауна с Западной Европы [3]. 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)

данными для мамонтовой фауны, но по азоту являются для растениеядных животных весьма аномальными (рис. 4). Известно, что колебания изотопного состава азота в костном органическом веществе отражают, прежде всего, особенности пищевого рациона. Для типичных

растениеядных животных, обитающих в относительно комфортных условиях, значения изотопного коэффициента $\delta^{15}\text{N}$ не превышают 5 ‰. Считается, что для мамонтов, проживавших в некомфортной по пищевой базе обстановке позднего неоплейстона, например, на территориях Западной Европы, севера Восточной Сибири и Аляски, была характерна копрофагия, обуславливающая изотопное утяжеление азота – до 8 и более ‰ [4]. 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. С таких позиций полученные данные по изотопному составу азота в коллагене исследованного бивня соответствуют именно копрофагическому сценарию питания, а, следовательно, подтверждают сделанное выше предположение об обитании челябинского слона в некомфортных для него условиях холодного кли-

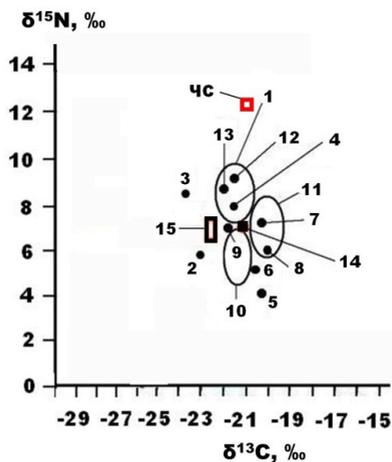


Рис. 4. Изотопные характеристики костного коллагена в остатках плейстоценовых животных: ЧС – челябинский слон; 1–13 – мамонтовая фауна с Западной Европы [3]; монгоченский мамонт [5]; мамонты с о-ва Бол. Ляховский и из Якутии [6, 7]; мамонт со стоянок Межиричи, Бужанка-2, Юдиново, Елисеевичи в Прикаспийской низменности [8]; мамонты из Калининградской области [9]; мамонтовая фауна с Печорского Приуралья [10]; мамонтовая фауна со Среднего Прииртышья [коллекция А.А. Бондарева]; мамонтенок Люба и оймьконский мамонт [11]; 14, 15 – таймырские мамонты соответственно Шнейдера и Костина (мамонт Петя)

мата и недостатка растительной пищи, как минимум, в зимние сезоны.

Полученные данные комплексных минералого-изотопно-геохимических исследований позволяют сделать следующее заключение. Судя

по свойствам бивня, обнаруженный в Челябинской области ископаемый слон обитал в некомфортных для себя по климату и рациону питания условиях, практиковал копрофагию и, скорее всего, погиб в результате несчастного случая. Можно предполагать, что он принадлежал популяции вымерших слонов, мигрировавших на восток в период сильного похолодания в середине средне-валдайского (каргинского) интерстадиала (42–38 тыс. л. н), максимально проявившегося на территории современной Западной Европы.

Библиографический список

1. *Iacumin P., Devanzo C., Nikolaev V.* 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 // *Chemical Geology*. 2006. № 231. P. 16–25.
2. *Якумин П., Деванзо К., Николаев В. И., Сулержицкий Л. Д.* Изотопный состав азота пищи плейстоценовых мамонтов // *Стабильные изотопы в палеоэкологических исследованиях*. М., 2006. С. 70–85.
3. *Bocherens H.* Isotopic biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe fauna // *Advances in Mammoth research (Proceeding of the Second International Mammoth Conference, Rotterdam, May 16–20 1999)*. Deinesea, 2003. P. 57–76.
4. *Bocherens H., Billion D., Paton-Mathis M., Bonyean D., Tonssaint M., Mariotti A.* Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of isotopic biogeochemistry of late interglacial Neandertal and mammal bones in Scladina Cave (Belgium) // *J. of Archaeol. Sci.* 1999. V. 26 (6). P. 599–607.
5. *Мазепа В. С., Смирнов Н. Г., Веливецкая Т. А., Кияшко С. И., Игнатьев А. В., Косинцев П. А.* Изотопный состав углерода и азота шерсти монггонского мамонта // *Динамика экосистем: Материалы II Российской научной конференции*. Екатеринбург, 2010. С. 123–125.
6. *Николаев В. И., Давинзо С., Кузнецова Л. В., Якунин П.* Изотопный состав углерода пищи и костных остатков плейстоценовых мамонтов // *Изотопно-геохимические и палеогеографические исследования на севере России*. М.: Ин-т географии РАН, 2004. С. 21–40.
7. *Николаев В. И., Барбиери М., Даванзо С., Кузнецова Т. В., Донжинелли А., Сулержицкий Л. Д., Якумин П.* Комплексные изотопные исследования мамонтов Якутии // *Квартер-2005: Материалы IV Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода*. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 297–298.
8. *Drucker D. G., Stevens R. E., Germonpre M., Sablin M. V., Pean S., Bocherens H.* Collagen stable isotopes provide insights in to the end of the mammoth Steppe in the central East European plains during the Epigravettian // *Quaternary Research*. 2018. № 3. P. 1–13.
9. *Кузьмин Я. А., Плихт Й ван дер, Мартинович Н. В., Гришанов Г. В.* Первые радиоуглеродные даты по костям мамонтов (*Mammuthus primigenius*) в Калининградской области (Россия) // *Евразия в кайнозое: стратиграфия, палеоэкология, культуры*. Вып. 5. Иркутск, 2016. С. 38–43
10. *Silaev V. I., Ponomarev D. V., Kiseleva D. V., Smoleva I. V., Simakova Yu. V., Martirosyan O. V., Vasiliev E. A., Khazov A. F., Tropnikov E. M.* Mineralogical-Geochemical Characteristics of the Bone Detritus of Pleistocene Mammals as a Source of Paleontological Information // *Paleontological J.*, 2017. V.51. № 13. P. 1395–1421.
11. *Rountry A. N., Fisher D. S., Tikhonov A. N., Kosintsev P. A., Lasarev P. A., Boeskorov G., Buigues B.* Early tooth development, gestation, and season of birth in mammoths // *Quaternary International*, 2012. V. 255. P. 196–205.

TUSK OF UNIQUE FOSSIL ELEPHANT (CHELYABINSK REGION): MINERALOGICAL-ISOTOPIC-GEOCHEMICAL PROPERTIES AND PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTIONS
V.I. Silaev, V.I. Yurin, P.A. Kosintsev, I.V. Smoleva, D.V. Kiselyova, M.N. Parshukova

E-mail: Silaev@geo.komisc.ru

For the first time, mineralogical, isotope, and geochemical studies have been carried out on a Pleistocene elephant tusk from the easternmost location of this type of mammal. The obtained data from complex mineralogical-isotope-geochemical studies allow us to draw the following conclusion. Judging by the properties of the tusk, the fossil elephant discovered in the Chelyabinsk region lived in conditions that were uncomfortable for itself in terms of climate and diet, practiced coprophagy and, most likely, died as a result of an accident. It can be assumed that it belonged to a population of extinct elephants that migrated east during a period of severe cooling in the middle of the Middle Valdai (Kargin) interstadial (42–38 thousand years ago), which peaked in the territory of modern Western Europe.

Key words: fossils elephant, tusk, Chelyabinsk region, mineralogical-isotopic-geochemical properties, paleoecological reconstructions.