

УДК 550.42:569.614(571.56)

ПРИЧИНЫ ПАТОЛОГИЙ БИВНЕЙ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ЯКУТСКИХ МАМОНТОВ (по данным изотопно-геохимических исследований)

© 2017 г. Владимир И. Николаев¹, Андрей О. Алексеев², Евгений Н. Машченко³,
Татьяна В. Кузнецова⁴, Паола Якумин⁵

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

³Палеонтологический институт имени А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵Отделение физики и наук о Земле “Маседонио Меллони” Пармского университета, Парма, Италия
e-mail: dr.v.nikolaev@mail.ru

Поступила в редакцию 03.03.2016 г.

Аннотация. Среди остатков позднеплейстоценовых млекопитающих, собранных на побережье моря Лаптевых, присутствуют бивни шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius*) с патологиями. Был проведен анализ изотопного состава углерода из их костного карбонат гидроксилатапата, а также геохимические исследования вещества таких бивней (35 элементов, всего 38 образцов) рентгено-флуоресцентным методом. Выявлены существенные различия в химическом составе бивней с патологиями и “нормальных” бивней по таким элементам, как Sr, Mg, Si, Al, Mn, Fe, Zn и др. Сделана попытка выразить полученные аномалии химического состава в терминах, принятых при описании микроэлементозов. Установлено, что большинство изученных мамонтов жили в холодные эпохи, тем не менее, патологии бивней отмечены для животных, живших как в холодные, так и в теплые эпохи позднего плейстоцена. Причины возникновения патологий, вероятно, связаны с разными типами нарушения физиологии, влияющими на рост и развитие бивней и, возможно, с изменениями геохимического фона, влияющего на популяцию шерстистого мамонта на севере Якутии.

Ключевые слова: мамонты, геохимические исследования, поздний плейстоцен, Якутия, стабильные изотопы углерода.

DOI:10.15356/0373-2444-2017-1-84-90

Reasons of Pathologies of Yakutian Mammoths' Tusks in Late Pleistocene by Data of Isotopic and Geochemical Investigations

Vladimir I. Nikolaev¹, Andrei O. Alekseev², Evgeniy N. Mashchenko³, Tatiana V. Kuznetsova⁴,
and Paola Iacumin⁵

¹Institute of Geography, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

²Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science,
Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

³Paleontological Institute, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

⁴Moscow State University, Moscow, Russia

⁵Universita' degli Studi di Parma, Department of Physics and Earth Science, “Macedonio Melloni”, Parma, Italy
e-mail: dr.v.nikolaev@mail.ru

Abstract. Among the remnants of Late Pleistocene mammals collected on the coast of the Laptev Sea, there are the tusks of woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) with abnormalities. An analysis of the isotopic composition of carbon from their bone carbonate hydroxylapatite, as well as geochemical studies of the substance of such tusks (35 items, a total of 38 samples) by x-ray fluorescence method was conducted. Significant differences in the chemical composition of the tusks with abnormalities and “normal” tusks in such the elements as Sr, Mg, Si, Al, Mn, Fe, Zn, etc. were revealed. An attempt to express the obtained anomalies of the

chemical composition in the terms adopted in the description of microelementoses was made. It was determined that most studied mammoths lived in the cold epochs, however, the pathology of the tusks were observed for animals living both in the cold and warm epochs of the Late Pleistocene. The causes of occurrence of pathologies probably were linked to different types of physiological disorders affecting the growth and development of the tusks and, possibly, with changes in the geochemical background influencing the population of woolly mammoth in the North of Yakutia.

Keywords: mammoths, geochemical studies, Late Pleistocene, Yakutia, stable carbon isotopes.

Введение. Мы переживаем эпоху прогрессивно развивающегося антропогенно спровоцированного глобального экологического кризиса, угрожающего не только привычному нам современному состоянию биосферы Земли, но и цивилизации. Единственный опыт, которым располагает человечество, – это опыт истории. Поэтому естественным представляется интерес к экологическим кризисам ближайшего геологического прошлого. Без этих знаний невозможен прогноз долгосрочных последствий переживаемого нами экологического кризиса и выработка адекватной стратегии поведения в условиях его все ускоряющегося развития.

Крупные размеры животного предъявляют повышенные требования к уровню его специализации и в то же время позволяют, например, крупным млекопитающим оставаться более резистентными к изменениям условий окружающей среды. При этом изменения среды и адаптации, которыми сопровождаются такие изменения, обычно хорошо фиксируются на морфологии крупных животных. Рассматриваемый в статье вид *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) является одним из основных видов мамонтовой фауны позднего плейстоцена и с этой точки зрения интересен в роли “индикатора” циклических изменений климата позднего плейстоцена. Он обладал рядом уникальных адаптаций, позволяющим ему выживать в условиях сурового климата, и вместе с тем этот вид был одним из наиболее специализированных представителей семейства слонов *Elephantidae* (Gray, 1821). По этой причине вымирание (изменения образа жизни) крупных млекопитающих мамонтовой фауны особенно интересно для понимания процессов адаптаций и критических/пороговых изменений среды для крупных млекопитающих.

Причинами вымирания мамонтов разными авторами называются: охота человека позднего палеолита, истощение пищевых ресурсов самой популяцией мамонтов, изменение ландшафтно-климатических условий и др. [4, 10, 11].

Ареал шерстистого мамонта в позднем плейстоцене был большим и включал районы с разными климатическими условиями. Значительное

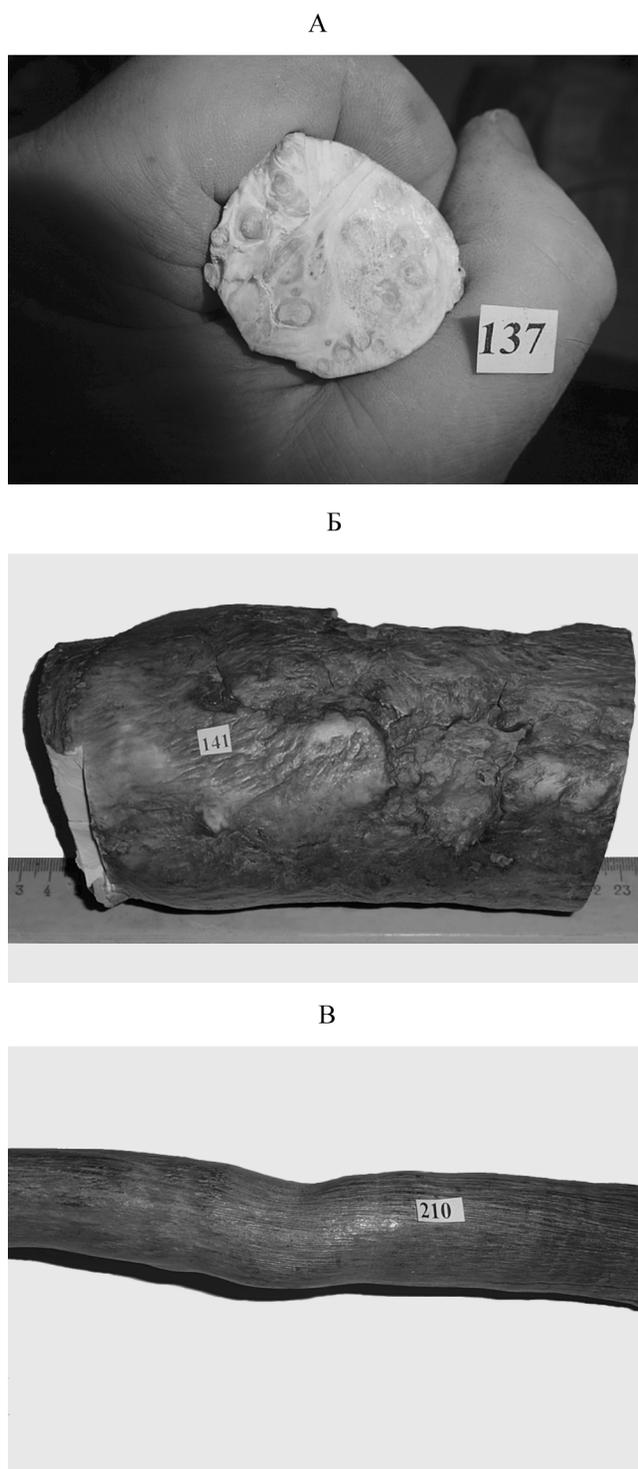


Рис. 1. Образцы бивней мамонтов с патологией.

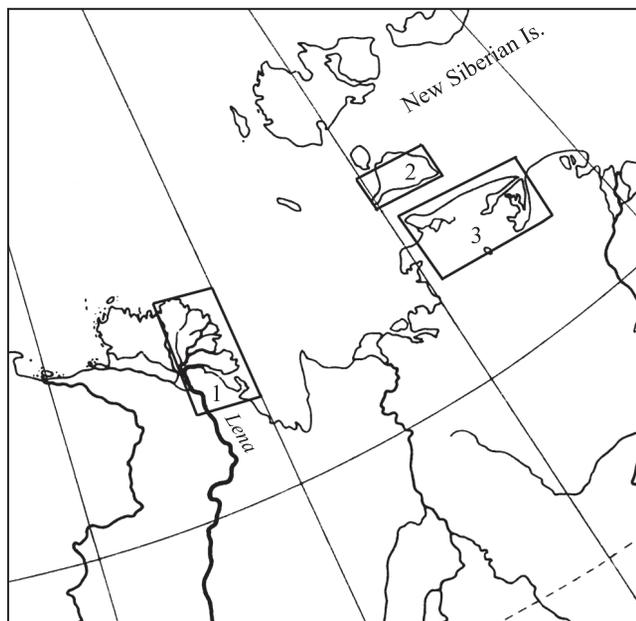


Рис. 2. Районы палеонтологических сборов: 1 – устье р. Лены; 2 – Большой Ляховский остров; 3 – Ойягосский Яр. Бивни с патологией собраны в районах 2 и 3, контрольные образцы “нормальных” бивней – в районах 1–3.

количество местонахождений его остатков приходится на области, где была распространена вечная мерзлота, выступающая своего рода лимитирующим фактором распространения вида [25]. Многолетняя мерзлота при близком залегании ее границы к дневной поверхности выполняет важнейшую роль геохимического и физического барьера, способствуя концентрации и накоплению в приповерхностном слое почвы широкой группы биофильных элементов. Мамонт – гигантское млекопитающее, которому требуется значительное количество минералов для нормального хода физиологических процессов. Как и современные слоны, мамонты периодически посещали “солонцы” [7, 11, 24].

Авторы полагают, что результаты данных геохимических и изотопных исследований палеонтологических остатков позволят понять, могли ли эти геохимические изменения среды влиять на физиологические процессы у отдельных особей мамонтов в конкретных популяциях, и позволят установить региональные особенности экологии животных.

Палеонтологические остатки с нарушениями развития скелета встречаются относительно не часто. Стабилизирующий отбор всегда и достаточно эффективно элиминирует таких особей из популяций, в случае если патологии сильно снижают способности выживания. Среди большого

количества бивней шерстистого мамонта позднего плейстоцена Якутии бивни с аномалиями составляют не более долей процента [5]. В нашем исследовании были использованы именно бивни с нарушениями их развития: полицентрическое строение бивня, искривленный не крупный бивень, искажения формы, изменения диаметра, раковистая поверхность, желобки от линии мягких тканей альвеолы бивня, патология роста наружного слоя, каверны поверхности (см. рис. 1).

Исследование изотопов в бивнях шерстистого мамонта были начаты относительно недавно и связаны с определением состава изотопов азота, кислорода, углерода, а также некоторых микроэлементов в дентине бивней [22]. Основным направлением исследований являлось установление динамики изменения $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в зависимости от индивидуального возраста. По мнению этих исследователей, возрастание значений $\delta^{13}\text{C}$ и уменьшение значений $\delta^{15}\text{N}$ в дентине показывает прогрессивное увеличение в питании детенышей мамонта протеинов растительной пищи и уменьшение доли материнского молока в абсолютном объеме питания.

Изотопный состав стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ бивней мамонтов используется для локализации ареала их обитания [17].

Кроме того, исследователи с разной степенью точности пытаются интерпретировать данные об изменении соотношения содержания Zn/Ca в дентине бивней и зубов [19, 23]. Например, по мнению указанных специалистов, его возрастание маркирует неонатальную линию в дентине формирующихся зубов и бивней, указывающую на переход от пренатального к постнатальному онтогенезу. Кроме того, исследование изотопов углерода в различных слоях дентина может свидетельствовать о продолжительности лактации у шерстистого мамонта.

Массовые послойные геохимические исследования бивней мамонтов авторам неизвестны. Исключением является работа [14], посвященная изучению геохимического состава костей мамонтов малого и нормального размера, обнаруженных на севере Якутии.

Образцы и методы. Настоящая публикация посвящена изучению геохимического состава бивней с патологиями. Всего было изучено 8 таких бивней, собранных на Ойягосском Яру и Большом Ляховском острове. Кроме этого было проанализировано 30 контрольных образцов нормальных бивней (по 10 из дельты р. Лена, с Ойягосского Яра и Большого Ляховского острова) (рис. 2).

Ранее [15] авторами была проведена оценка существенности расхождений трех выборочных средних (среднее значение, стандартное отклонение, максимальное и минимальное значения полученных изотопных данных) для трех наших районов исследования. Результаты расчетов (t-тест и др.) показывают, что различия между ними незначимы (при $P > 0.06$). Таким образом, аналитические данные, полученные для всех трех регионов, могут быть использованы совместно.

Проведено определение химического состава (содержания 35 элементов и их соединений) в бивнях якутских мамонтов. Химический состав валовых образцов определялся на рентгеновском аппарате Спектроскан МАКС – GV по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах методом рентгенфлуоресцентного анализа. Средняя проба измельчалась до пудры и помещалась в специальную кювету. Стандартная навеска была не менее 2 г. Количественные калибровки производились с помощью комплекта Государственных стандартных образцов состава почв и пород, а также стандартных пород и почв, полученных от Института геологии Университета Мехико (Мексика).

Концентрации разных элементов в пробах различались на несколько порядков, поэтому для простоты были вычислены средние содержания элементов во всех изученных образцах, а конкретные результаты анализов нормировались по этим средним. Таким образом, теперь они представляли собой не концентрации элементов, а их отклонения от среднего (от 1).

Ранее нами было установлено [15, 21], что, изучая изотопный состав углерода минеральной (hydroxapatite carbonate = карбонат гидроксил-апатит) части кости, мы можем зарегистрировать “метку” (климатический сигнал), зафиксированную в процессе фотосинтеза и прошедшую по пищевой цепи до нашего образца.

Для измерения изотопного состава углерода карбонат гидроксил-апатита около 100 мг образца растиралось до пудрообразного состояния и подвергалось воздействию раствора 2% NaOCl

в течение дня. Затем образец несколько раз отмывался в дистиллированной воде и выщелачивался 1M ацетатным буферным раствором в течение 20 часов для удаления диагенетического карбоната кальция. После отмывания и высушивания образец в течение ночи растворялся в вакууме при 50 °C в 100% ортофосфорной кислоте для выделения CO₂. После очистки газа изотопный состав углерода исследовался на масс-спектрометре [см., например, 15, 20].

Изотопные результаты выражены относительно международного стандарта PDB для углерода (в ‰). Воспроизводимость единичного изотопного анализа (1σ) составила ±0.1‰.

Результаты и их обсуждение. Были получены средние значения всех элементов для бивней с патологиями и контрольных образцов (по 3 регионам Якутии отдельно). Большинство элементов показали значения, близкие к 1 во всех случаях. Исключения приведены в табл. 1.

В настоящее время в биологии и в медицине активно развивается учение о микроэлементах – заболеваниях и патологиях, обусловленных дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов в организме [3, 18 и др.].

Среди элементов, представленных в таблице, выделяются эссенциальные (необходимые для нормальной жизнедеятельности) (Fe, Zn, Mn), условно эссенциальные (Si) и токсичные (Al, Ba, Rb, Zr, Sr) элементы.

Из материалов табл. 1 видно, что различия средних концентраций химических элементов для “нормальных” и “больных” могут различаться на 50–1000% и более. В “больных” бивнях выявлен дефицит Mg и Ba и избыток остальных элементов, приведенных в таблице.

Рассматривая приведенные данные, следует учитывать, что теория микроэлементозов [3, 18 и др.] разработана на базе изучения преимущественно сельскохозяйственных и лабораторных животных и в меньшей степени человека, а отнюдь не слонов. Мы располагаем результатами изучения химического состава бивней, а не жизненно важных

Таблица 1. Вариации средних концентраций элементов в бивнях с патологией (X) и в контрольных образцах из разных регионов (I–III)

Регионы исследований	Sr	Na ₂ O	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn	Rb	Ba	Zr	Cs
I*	0.99	0.53	1.37	0.55	0.19	0.75	0.83	0	0.06	1.89	1.05	0.97	0.78
II*	0.84	0.88	0.83	0.70	0	1.27	0	0	1.16	0	1.08	0.81	0.78
III*	0.85	0.56	1.28	0.85	0	0.38	0.31	0.04	0.68	0	1.04	0.89	1.01
X*	1.40	2.29	0.40	2.13	4.52	1.76	3.32	4.70	2.37	2.37	0.79	1.41	1.54

Примечания. I* – нормальные бивни из дельты р. Лена; II* – Большого Ляховского острова; III* – Ойягосского Яра; X* – бивни с патологиями с Большого Ляховского острова и Ойягосского Яра. Жирным курсивом показаны максимальные значения элементов.

органов животных и оперируем значениями повышения концентраций тех или иных элементов в “больных” бивнях по сравнению со “здоровыми”. Но, к сожалению, мы не знаем, какие их значения безопасны, а какие приводят к тяжелым последствиям. Можно уверенно говорить о том, что патологии бивней не являются теми факторами, которые увеличивают или уменьшают выживаемость и в значительной степени они “нейтральны”, а особи с нарушением развития бивней доживали до глубокой старости [5]. Вместе с тем изменения в состоянии бивней показывают реальные нарушения в функционировании пульпы бивня. В данном случае можно говорить только о том, что зафиксированные аномалии химического состава лишь повышают вероятность тех или иных заболеваний у исследованных мамонтов.

Приведем несколько примеров болезней, вызванных недостатком или избытком тех или иных микроэлементов (см. табл. 1):

- избыток рубидия ведет к аритмии, аллергическим реакциям, хроническим воспалениям дыхательных путей, раздражению кожи и слизистых оболочек;

- избыточное накопление железа в организме может спровоцировать цирроз печени, сердечную недостаточность, сахарный диабет, артрит;

- избыток цинка приводит к нарушению обмена веществ и пищеварительной функции;

- имеются сообщения о нарушении обмена кремния в организме при развитии злокачественных опухолей. В частности, установлено высокое содержание Si в опухолевой ткани [6]. Можно также отметить, что высокие содержания Sr и Zn в почвах ведут к повышению частоты злокачественных опухолей костей;

- повышенное поступление в организм кремния на фоне избытка других микроэлементов ведет к мочекаменной болезни;

- избыток алюминия часто ведет к повышенной ломкости костей. К этому же, а также к деформации костей ведет и повышенное поступление стронция в организм (стронциевый рахит);

- избыток марганца ведет к расстройству двигательной активности, а избыток железа к анемии;

- избыток натрия ведет к повышенному артериальному давлению, нарушению работы почек и надпочечников, образованию камней в почках, к остеопорозу, повышенному уровню инсулина;

- при недостатке магния у больных отмечается анемия, аритмия, скачки давления, сбои в работе сердца, остеопороз.

Учитывая вышесказанное, тем не менее, различия в концентрациях в несколько раз (см. табл. 1)

позволяют нам говорить об устойчивых трендах к микроэлементозным заболеваниям у мамонтов с патологией бивней. Нужно отметить, что некоторые заболевания (например, предрасположенность к злокачественным опухолям) диагностируются у нас по нескольким элементам.

Зафиксированные аномалии химического состава бивней могут быть как причиной, так и следствием заболеваний отдельных особей. Основной вопрос, который мог быть интересен для данного исследования, – привязанность возникновения нарушений развития бивней к определенным (холодным или теплым) эпохам внутри позднего плейстоцена и установление связи между климатом и проявлениями таких отклонений.

Так, ранее нами было установлено [14, 21], что представители вида *M. primigenius* обычного размера тела в Якутии были представлены как в теплые, так и холодные эпохи позднего плейстоцена (изучен интервал 50–12 тыс. лет). Некрупные представители вида обнаружены только в теплые интервалы позднего плейстоцена. Некрупные особи и особи обычного размера, возможно, предпочитали разные ландшафты (первые более влажные, вторые более сухие, из-за разной кормовой базы).

Для определения термического режима времени обитания изученных мамонтов в нашем случае был использован анализ изотопного состава углерода карбонат гидросилапатита мамонтовых бивней. Проведенные исследования показали, что исследованные мамонты как с прижизненными патологиями бивней, так и “здоровые” жили преимущественно в холодные эпохи и только 4 (2 и 2, соответственно) мамонта жили в теплые (имели значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}} \leq -14\%$, см. [8, 14, 21]).

Таким образом, мамонты с патологиями бивней жили как в теплые, так и в холодные эпохи, и зафиксированные аномалии, скорее всего, связаны с нарушениями физиологии у конкретных особей и не связаны с переходами климата от теплых эпох к холодным, и наоборот. Вместе с тем мы можем отметить реальные различия в содержании конкретных элементов в бивнях мамонтов, живших в теплые и холодные эпохи (табл. 2). Физиологические механизмы, которые позволяют преодолеть изменения среды и компенсаторные возможности организма, не всегда ясны, но на нашем материале ясно проявляются.

Вариации химического состава обусловлены, с одной стороны, тем, что природно-биогеохимические условия Севера, являясь экстремальными, предъявляют к организму повышенные требования в смысле “биосоциальной платы” за адаптацию. Для Севера эти требования особенно жестки. Наиболее ярким примером является “сезонный

Таблица 2. Вариации средних концентраций элементов в бивнях мамонтов, живших в холодные (I) и теплые (II) эпохи

Климатические эпохи	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MnO	Fe ₂ O ₃	Cu	Zn	As	Rb	Hg	Sn	Cd
I	1.06	0.91	1.06	1.08	1.08	0.83	0.89	0.58	1.15	1.13	1.15
II	0.60	1.56	0.59	0.45	0.45	2.12	1.70	3.73	0	0.16	0

остеопороз” современных крупных млекопитающих, возникающий в зимний период и полностью исчезающий летом. Лучше всего он изучен у копытных [2, 9]. “Сезонный остеопороз” отмечался и у шерстистого мамонта, но при анализе принимается за различные виды заболеваний, связанные с нарушением минерального обмена [12]. Структурные адаптации шерстистого мамонта предполагали еще более глубокие, но компенсаторные изменения, сопровождавшиеся перестройкой обменных процессов. В частности, в условиях Севера происходят существенные изменения микроэлементарного гомеостаза в организме человека и животных, которые при улучшении условий или изменении состава пищи в благоприятные сезоны компенсируются организмом. Метаболическая перестройка в организме при адаптации к холоду настолько существенна, что позволяет нам говорить о развитии акклиматизационного дефицита микроэлементов [1], который успешно преодолевается при длительной адаптации видов к условиям Севера. Учитывая, что в холодные эпохи позднего плейстоцена средние январские температуры на севере Якутии были ниже современных на 18–20 °С, а экстремальные морозы могли достигать –70 °С [13], эти положения применимы к мамонтам, жившим в холодные этапы.

С другой стороны, многолетняя мерзлота при близком залегании ее границы к дневной поверхности выполняет важнейшую роль геохимического и физического барьера. Ее деградация при потеплениях приводила к изменению геохимических процессов в деятельном слое и, соответственно, к изменению состава почв (растительности – пищи крупных травоядных). К сожалению, из изученных нами костных материалов в теплые интервалы времени жили только 2 “здоровых” мамонта и 2 мамонта с патологиями бивней. Такая относительно небольшая “статистика” не позволяет делать надежные выводы по полученным геохимическим данным.

Заключение. Подводя итоги анализа, можно констатировать следующее. Мамонты с патологиями бивней жили как в холодные, так и в теплые эпохи позднего плейстоцена. Причиной патологий, вероятно, были болезни и изменения физиологии у конкретных особей. Учитывая,

что известные на данный момент находки бивней с патологиями локализованы Ойягосским Яром и Большим Ляховским островом, можно заключить, что одной из возможных причин патологий является неблагоприятный геохимический фон в данных регионах. Он на части ареала обитания, безусловно, снижал выживаемость популяций шерстистого мамонта, но в целом преодолевался этим видом за счет адаптаций. Распространение этого вида в Арктике в конце плейстоцена показывает, что для его вымирания был важен большой комплекс условий, включающий в себя и наличие/отсутствие/дефицит необходимых микроэлементов. В эндемичных регионах манифестные признаки заболевания встречаются обычно не более, чем у 20% животных (по мнению Е. Н. Машенко не больше 5%), в то время как основная масса поголовья адаптируется к избытку или дефициту определенных микроэлементов в данной геохимической среде [16]. Длительное существование популяций крупных млекопитающих мамонтовой фауны в различные эпохи позднего плейстоцена как раз показывает высокие адаптивные способности этого вида к условиям геохимического “стресса”, который сам по себе не является единственной причиной вымирания.

Таким образом, логично предположить, что если причиной патологий бивней являлся неблагоприятный геохимический фон территории обитания изученных мамонтов, то его результатом были патологии только у небольшой части популяции, что и наблюдается при изучении палеонтологических коллекций.

Благодарности. Авторы благодарят администрацию Геологического музея им. В. И. Вернадского за предоставленные палеонтологические коллекции для исследований.

Работы выполнены в соответствии с научной темой ИГ РАН № 08-2014-0004 “Реконструкция климата и оледенения в голоцене на ЕТР и Северном Кавказе, природные условия позднего плейстоцена Северной Якутии” (Пер. № 01201352473).

Acknowledgements. The authors are grateful to Vernadsky Geological Museum for the provision of paleontological collections for research. The study was performed within the Institute of Geography, RAS scientific theme no. 08-2014-0004 “Reconstruction

of climate and glaciation during the Holocene in the European territory of Russia and North Caucasus, the natural conditions of the Late Pleistocene in the north of Yakutia” (reg. no. 01201352473).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С.* Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. *Барабаш-Никифоров И. И., Формозов А. Н.* Териология. М.: Высшая школа, 1963. 395 с.
3. Биологическая роль микроэлементов / Ред. В. В. Ковальский, И. Е. Воротницкая. М.: Наука, 1983. 238 с.
4. *Верещагин Н. К.* Морфометрическое описание мамонтенка // Магаданский мамонтенок *Mammuthus primigenius* (Blumenbach) / Ред. Н. К. Верещагин, В. М. Михельсон. Л.: Наука, 1981. С. 52–80.
5. *Верещагин Н. К., Тихонов А. Н.* Экстерьер мамонта. Якутск: ИМ СО АН СССР, 1990. 40 с.
6. *Воронков М. Г., Зелчан Г. И., Лукевиц Э. Я.* Кремний и жизнь. Рига: Зинатне, 1978. 587 с.
7. *Деревянко А. П., Молодин В. И., Зенин В. Н., Лещинский С. В., Мащенко Е. Н.* Позднепалеолитическое местонахождение Шестаково. Новосибирск: СО РАН, Институт археологии и этнографии, 2003. 168 с.
8. *Ди Маттео А., Кузнецова Т. В., Николаев В. И., Спаская Н. Н., Якумин П.* Изотопные исследования костных остатков якутских плейстоценовых лошадей // Лёд и снег. 2013. № 2 (122). С. 93–101.
9. *Домнич В. И.* Особенности зимнего питания лося на северо-востоке Сибири // III съезд Всесоюз. териол. общ-ва. Т. 1. М.: Наука, 1982. С. 188–189.
10. *Леви К. Г., Задонина И. В.* Позднеплейстоцен – голоценовое вымирание. Причины и следствия // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2012. № 1 (1). С. 68–90.
11. *Мащенко Е. Н.* Интерпретация археозоологических данных Зарайской стоянки в связи с биологией шерстистого мамонта (*Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799)). Исследования палеолита в Зарайске (1999–2005) / Отв. ред. Х. А. Амирханов. М.: Палеограф, 2009. С. 375–401.
12. *Лещинский С. В.* Минеральное голодание, энзоотические заболевания и вымирание мамонтов Северной Евразии // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 6. С. 840–842.
13. *Михалев Д. В., Николаев В. И., Романенко Ф. А.* Реконструкция условий формирования подземных льдов Колымской низменности в позднем плейстоцене – голоцене по результатам изотопных исследований // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. Геогр. 2012. № 5. С. 35–42.
14. *Николаев В. И., Кузнецова Т. В., Алексеев А. О., Ди Маттео А., Мащенко Е. Н., Якумин П.* Предварительные результаты изотопных и геохимических исследований позднеплейстоценовых мамонтов Северной Якутии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 2. С. 78–88.
15. *Николаев В. И., Кузнецова Т. В., Якумин П., Ди Маттео А.* Изотопный состав углерода палеонтологических останков – источник информации о климате прошлого // Лёд и снег. 2011. № 3 (115). С. 105–113.
16. *Раяцкая Ю. И.* Биогеохимия и проблемы микроэлементов в животноводстве // Современные задачи и проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1979. С. 178–182.
17. *Barbieri M., Kuznetsova T. V., Nikolaev V. I., and Palombo M. R.* Strontium isotopic composition of Late Pleistocene mammalian bones // Quaternary International. 2007. V. 179. № 1. P. 72–78.
18. *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements / Ed. Frieden E.* New York – London: Plenum Press, 1984. 432 p.
19. *Fisher D. C., Tikhonov A. N., Kosintsev P. A., Rountrey A. N., Buigues B., and van der Plicht J.* Anatomy, death, and preservation of a woolly mammoth (*Mammuthus primigenius*) calf, Yamal Peninsula, north-west Siberia // Quaternary International. 2012. V. 255. P. 94–105.
20. *Iacumin P., Di M. A., Nikolaev V., and Kuznetsova T. V.* Climate information from C, N and O stable isotope analyses of mammoth bones from northern Siberia // Quaternary International. 2010. V. 212. № 2. P. 206–212.
21. *Nikolaev V. I., Iacumin P., Di M. A., and Kuznetsova T. V.* Reconstruction of past climate basing on the isotopic composition of carbon from fossil remains // Geography, Environment, Sustainability. 2012. V. 5. № 3. P. 14–27.
22. *Rountrey A. N., Fisher D. C., Vartanyan S., and Fox D. L.* Carbon and nitrogen isotope analyses of a juvenile woolly mammoth tusk: Evidence of weaning // Quaternary International. 2007. V. 169–170. P. 166–173.
23. *Rountrey A. N., Fisher D. C., Tikhonov A. N., Kosintsev P. A., Pyotr A., Lazarev P. A., Boeskorov G. G., and Buigues B.* Early tooth development, gestation, and season of birth in mammoths // Quaternary International. 2012. V. 255. P. 196–205.
24. *Shoshani J., Phyllis C. L., Sukumar R., Barnett B. Sc., Lyn de Awis F. Z. S., Lahiri-Choudhury D. K., and Luxmoore R. L.* The Illustrated encyclopedia of Elephants. From their origins and evolution to their ceremonial and working relationship with man. L.– N.Y.: Salamander Books L., 1991. 188 p.
25. *Velichko A. A. and Kurenkova E. I.* Environmental conditions and human occupation of Northern Eurasia during the Late Valdai // The World at 18000 BP / Ed. O. Soffer, C. Gamble. London: Unwin Hyman. 1990. V. 1. P. 255–265.