

Палеогляциология

УДК 550.84:551.7

Изотопные исследования костных остатков якутских плейстоценовых лошадей

© 2013 г. А. Ди Маттео¹, Т.В. Кузнецова², В.И. Николаев³, Н.Н. Спасская⁴, П. Якумин¹¹Университет г. Парма (Италия); ²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;³Институт географии РАН, Москва;⁴Зоологический музей Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

dr.v.nikolaev@mail.ru

Статья принята к печати 16 октября 2012 г.

Лошади, палеонтологические останки, поздний плейстоцен, стабильные изотопы.
Late Pleistocene, horses, palaeontological remains, stable isotopes.

Условия многолетней мерзлоты в северо-восточных районах Сибири позволили сохраниться здесь останкам крупных млекопитающих, которые жили на этих территориях в более ранние геологические эпохи. Мумии лошадей среди них встречаются довольно редко, а вот костные останки распространены повсеместно. Проведены комплексные изотопные исследования пяти мумий и нескольких костей позднеплейстоценовых лошадей, обнаруженных на севере Якутии. Полученные результаты позволяют предположить, что изотопный состав углерода карбонат-гидроксилапатита костей якутских лошадей может использоваться в качестве палеоклиматического индикатора. Установлено, в каких климатических условиях жили лошади (тёплых или холодных, влажных или сухих), останки которых исследованы нами. По предварительным данным, условия обитания позднеплейстоценовых лошадей Якутии и Западной Европы были близкими.

Введение

С конца плиоцена, в плейстоцене и до начала голоцена на севере Восточной Сибири обитали самые разные виды лошадей. Ископаемые останки лошадей этого региона исследовал ещё И.Д. Черский [13], который отмечал их морфологическую неоднородность и высказал предположение о существовании разных рас лошадей. Позже В.И. Громова [3] и Э.А. Вангенгейм [2] выделили следующие три расы лошадей: крупные нижнего плейстоцена; среднеплейстоценовые длинномордые и мелкозубые; верхнеплейстоценовые среднемордые и среднелобые. Лошадей этого региона от одновозрастных лошадей Восточной Европы отличали более тонкие метаподии и более длинный протокон коренных зубов. Б.С. Русанов [10] выделил три подвида кабаллоидных лошадей, сменяющих друг друга и постепенно мельчающих: *Equus caballus nordostensis* из нижнего плейстоцена; *E.s. orientalis* из среднего плейстоцена и раннего верхнего плейстоцена; *E.s. lenensis* из верхнего плейстоцена. П.А. Лазарев перевёл описанные подвиды в ранг самостоятельных видов и описал для раннего плейстоцена Якутии ещё один вид — *E. coliemensis* [5, 7]. Плейстоценовая ленская лошадь

(*E. lenensis* Russanov, 1968) обитала на территории Якутии до позднего голоцена [28], а по историческим свидетельствам — до конца XVIII в. [13].

В северо-восточных районах Сибири сохранение останков крупных млекопитающих, живших в более ранние геологические эпохи, обусловлено развитием здесь многолетней мерзлоты. Среди мумифицированных останков лошади встречаются довольно редко. С 1970-х годов известно только о шести почти полных тушах [6, 7, 12, 13 и др.] и двух фрагментах конечностей лошадей [1], найденных в этом регионе. Все находки описаны как ленская лошадь (*E. lenensis* Russanov, 1968) — вид, распространённый здесь в конце плейстоцена — начале голоцена. Зимой 2004/05 г. в многолетнемёрзлых осадках на золотом прииске на р. Ангара, в 200 км к юго-западу от пос. Билибино (Западная Чукотка) была найдена частично сохранившаяся ископаемая мумия лошади. Специфические черты и пропорции черепа этой мумии делают её не похожей на *E. lenensis* и позволяют предположить её видовую самостоятельность [11] (рис. 1).

В плейстоцене — начале голоцена на северо-востоке Сибири и в Якутии в частности существовал своеобразный климат, обусловленный рядом

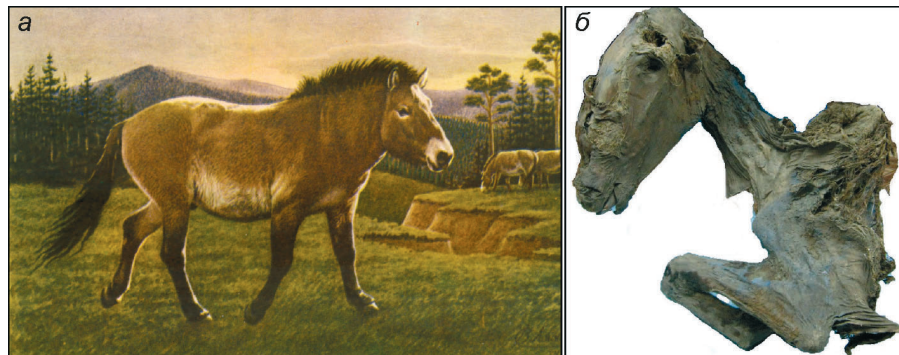


Рис. 1. Верхнеплейстоценовая (ленская) якутская лошадь (*Equus lenensis*) (реконструкция В.Н. Ляхова, 1977 г.) (а) и мумия билибинской лошади (фото Т.В. Кузнецовой) — (б)
Fig. 1. Appearance of Late Pleistocene Yakutian horse (*Equus lenensis*) (reconstructed by V.N. Lyakhov, 1977) (a) and Mummy of horse from Bilibino (photo by T.V. Kuznetsova) (b)

физико-географических условий. Это отмечал ещё И.Д. Черский [13], а позже подтвердили и результаты современных исследований. В раннем плейстоцене в Якутии установился умеренно-холодный климат, который по сравнению с современным был значительно теплее и отличался большей влажностью: на севере среднегодовая температура составляла $0 \div -4^\circ\text{C}$, а на юге — $0 \div +5^\circ\text{C}$ [Б.С. Русанов, 1975 — цит. по 5]. В среднем плейстоцене климат становится холоднее. В начале второй половины среднего плейстоцена начинается эпоха максимального оледенения — самарская и тазовская ледниковые фазы — с кратковременным мессовским межледниковьем. Оледенения, имеющие горнодолинный характер, охватили горные массивы восточной, южной и северо-западной Якутии. Ледники, формируясь на горных вершинах, сползали по долинам рек и лишь иногда выходили на равнинные участки. С эпохой максимального оледенения связаны отложения среднечетвертичных лёссовидных суглинков и формирование многолетней мерзлоты. В позднем плейстоцене климат становится резко континентальным. Зырянское и сартанское горнодолинные оледенения по масштабам значительно уступали максимальному среднеплейстоценовому оледенению и охватывали только наиболее возвышенные хребты. Самое сильное плейстоценовое похолодание характерно для сартанского времени, после чего наступает голоценовый климатический оптимум: на севере Якутии среднегодовая температур составляла -10°C , а в Центральной Якутии была равна -13°C . Небольшое потепление отмечается в казанцевское и каргинское межледниковья. Климатический оптимум, начавшийся в раннем голоцене и продолжавшийся около 4–5 тыс. лет, вызвал интенсивное развитие термокарстовых процессов и образование озёрно-аласных и заболоченных тундровых ландшафтов [5 и др.].

Селериканская лошадь погибла в каргинский межледниковый период, продолжительностью

50–25 тыс. лет, с оптимумом в малохетское потепление около 40 тыс. лет, когда климат был несколько теплее и влажнее современного [12]. Судя по датировкам, остальные исследованные мумии также погибли в этот период, за исключением мойчоонской лошади. К сожалению, кроме селериканской лошади, условия обитания древних животных не изучались. Решению этой задачи изотопными методами и посвящена настоящая статья.

Материалы и методы исследований

Нами выполнены комплексные изотопные исследования пять мумий (мягкие ткани, кости, кожа) якутских лошадей (табл. 1). Дополнительно проведены анализы двух датированных по ^{14}C костей лошадей с п-ова Быковский (дельта р. Лена) и зуба из района р. Реброво (южный берег пролива Дмитрия Лаптева) (рис. 2). При подготовке образцов для масс-спектрометрического анализа видимые загрязнения с них удалялись бормашинной и/или ультразвуком в дистиллированной воде с последующим морозным высушиванием. При изотопном анализе (изотопный состав углерода и азота коллагена, углерода и гидроксилатапата карбоната, кислорода костного фосфата и карбоната) использовались стандартные методы, которые уже неоднократно описаны нами [см., например, 8].

Изотопный состав образцов измеряли одновременно с процентным содержанием углерода и азота (а также с атомным отношением C/N) на CHN-анализаторе Carlo Erba EA 1110 в линии с масс-спектрометром ThermoFinnigan delta plus XP. В данной работе все изотопные данные выражены как относительное отклонение содержания тяжёлого изотопа в образце (δ) от его содержания в международных стандартах в промилле (‰). Изотопные результаты выражены: 1) относительно стандарта PDB (морской карбонат биогенного происхождения) в случае углерода; 2) относительно атмосферного N_2 для азота; 3) относительно PDB и

Таблица 1. Исследованные мумии верхнеплейстоценовых лошадей

Вид, порода лошади	Пол и возраст	Музей, номер экспоната	Место находки, автор находки, год
1*. <i>Equus lenensis</i> , мумия (муксунуохская)	Самец <i>adultus</i> , 16 лет	Геологический музей Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, № 3750	Якутия, Усть-Янский район (у г. Муксунуоха), 220 км к северо-востоку от пос. Казачье; И.П. Попов, 1980 г.
2. <i>Equus lenensis</i> , мумия (дюкарская)	Пол (?) <i>subadultus</i> , 4,5 года	Музей мамонта Института прикладной экологии Севера АН РС (Я), Якутск	Якутия, оз. Дюкарское, район устья р. Индигирка, в 5 км к северу от пос. Чокурдах, 1981 г.
3. <i>Equus lenensis</i> , мумия (мойчоонская)	Самка <i>adultus</i>		Якутия, оз. Мойчоон, верховья р. Лапча, район Хромской губы, в 100 км к северо-западу от пос. Чокурдах; К.К. Слепцов, 1976 г.
4. <i>Equus lenensis</i> , мумия (селериканская)	Самец <i>adultus</i>	Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, № 82134. Геологический музей Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, № 4442	Якутия, бассейн верхнего течения р. Индигирка, руч. Балхан, правый приток р. Селерикан, 92 км к юго-западу от пос. Усть-Нера; 1968 г.
5. <i>Equus conf. lenensis</i> , мумия (билибинская)	Самка <i>subadultus</i> , 1–1,5 года	Музей «Ледниковый период», Москва, F-200	Западная Чукотка, р. Ангарка, в 200 км к юго-востоку от пос. Билибино; Ф.К. Шидловский, 2005 г.

*На рис. 2 местоположение находок показано теми же номерами.

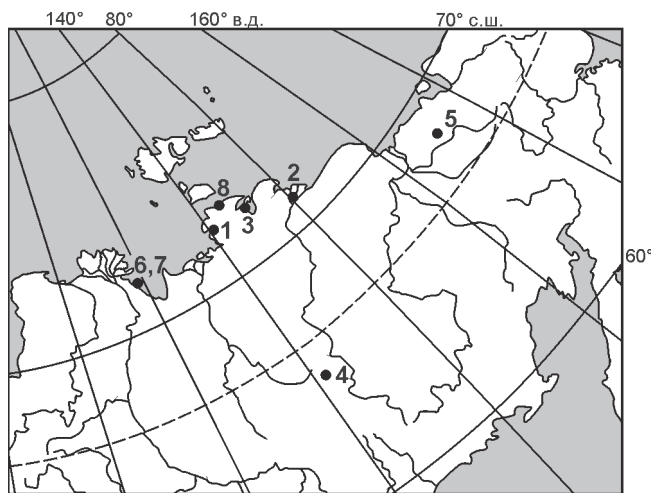


Рис. 2. Местонахождение палеонтологических остатков позднелейстоценовых лошадей, изученных в настоящей работе.

1 – муксунуохская лошадь; 2 – дюкарская лошадь; 3 – мойчоонская лошадь; 4 – селериканская лошадь; 5 – билибинская лошадь; 6, 7 – кости с Быковского полуострова; 8 – зуб из района р. Реброво

Fig. 2. Location palaeontological remains of Late Pleistocene horses analyzed in present study:

1 – Mount. Mouksounuokha; 2 – Dukarskoje lake area; 3 – Moichoonkoje lake area; 4 – the Selerikan river area; 5 – Bilibono settlement area; 6, 7 – bones from Bykovsky peninsula; 8 – tooth from the Rebrovo river area

V-SMOW (Венский стандарт среднеокеанической воды) для кислорода фосфатов. Воспроизводимость единичного изотопного анализа 1σ для углерода была меньше $\pm 0,1\text{‰}$, азота $\pm 0,2\text{‰}$ и кисло-

рода от $\pm 0,1$ до $\pm 0,15\text{‰}$. Результаты приведены в табл. 2. Для сравнения там же даны результаты изотопных исследований якутских лошадей [22]. С целью идентификации возможного искажения первичного изотопного состава коллагена была разработана определённая процедура [15], предусматривающая измерение содержания C и N в коллагене и расчёт отношения C/N. Для хорошо сохранившихся образцов содержание C и N должно быть не меньше 13 и 5% соответственно, а величина отношения C/N должна находиться в пределах 2,9–3,6. Все изученные нами образцы костей показали значения C, N и C/N, характерные для хорошо сохранившегося коллагена.

Стабильные изотопы в костных останках травоядных млекопитающих

Исследования стабильных изотопов углерода и азота костного коллагена важны для реконструкции диет как человека, так и животных [17 и др.]. В частности, показано, что стабильные изотопы углерода и азота могут дать информацию об источнике протеинов в пище [19, 34]. Согласно результатам, полученным разными авторами, изотопный состав углерода и азота коллагена костей и зубов больших млекопитающих зависит от питания – около 5 ‰ для углерода и около 3 ‰ для азота [см., например, 29 и др.]. В обзоре вариаций изотопов азота в континентальных пищевых цепях S.H. Ambrose [16] показал, что изотопные значения коллагена обусловле-

Таблица 2. Результаты изотопных исследований палеонтологических остатков позднелейстоновых лошадей Якутии

Исследуемый материал	Образец		Коллаген					Карбонат-гидроксилапатит, ‰		Метеорная вода, ‰		Δ ¹³ C ^{2*}
	возраст ±σ, лет	номер	δ ¹³ C _{coll} ‰ (PDB) ^{1*}	δ ¹⁵ N _{coll} ‰ (Air)	C, %	N, %	C/N	δ ¹³ C _{carb} (PDB)	δ ¹⁸ O _{carb} (V-SMOW)	δ ¹⁸ O _p (V-SMOW)	δ ¹⁸ O _w (V-SMOW)	
Муксуноухская лошадь – г. Муксуноуха, Усть-Янский улус, Якутия												
Мышцы	26 340±140	GrA-43065	-21,9	5,7	44,1	14,3	3,1					
Мягкая ткань			-21,9	5,5	43,6	15,4	3,3					
Кость			-20,5	4,3	41,1	16,7	2,9	-12,2	16,1	7,3 ^{3*}	-20,8	8,3
Нижняя челюсть			-21,1	4,3	38,5	14,3	3,1					
Дюкарская лошадь – оз. Дюкарское, Алаиховский улус, Якутия												
Кожа	29 500±? [6]	–	-23,5	10,6	42,4	13,4	3,2					
Кожа с шеи			-24,4	10,1	30,8	8,3	4,3					
Мышцы			-25,2	10,5	44,9	10,2	4,4					
Кость			-22,1	7,0	42,8	15,7	3,2	-12,9	14,6	5,8 ^{3*}	-22,9	9,2
Мойчонокская лошадь – Хромская губа, оз. Мойчонок, Алаиховский улус, Якутия												
Кость	2310±80 [5]	ЛУ-1084	-23,9	7,1	41,7	13,6	3,1	-14,4	17,3	8,5 ^{3*}	-19,2	9,5
Селериканская лошадь – бассейн верхнего течения р. Индигирка, Оймяконский улус, Якутия												
Мышцы	37 000 [12];		-22,9	7,0	42,6	14,3	3,0					
Билибинская лошадь – Западная Чукотка, р. Ангарка												
Кожа	31 700±1300	ГИН-12770	-22,6	4,4	42,6	13,9	3,1					
Мышцы			-21,7	4,5	41,1	13,8	3,0					
Кость			-21,3	3,3	41,8	16,6	2,9	-15,0	14,0	5,2 ^{3*}	-23,7	6,4
Дельта р. Лены, п-ов Быковский, Булунский улус, Якутия												
Лучевая кость	16 380±120 [31]	ГИН-10233	-21,6	4,2	43,7	15,2	3,3	-13,0	18,6	9,5 ^{4*}	-17,8	8,6
Бедренная кость	35 900±600 [31]	ГИН-10269	-20,8	4,4	42,4	16,2	3,0	-12,8	15,4	6,7 ^{4*}	-22,6	8,0
Р. Реброво, Усть-Янский улус, Якутия												
Зуб	≥ 40 000 [8]	–	-21,4	4,8	–	–	3,3					
«Безымянная кость», Якутия												
Кость	–	–	-22,7	6,8	42,3	15,2	3,2					

^{1*}В скобках даны названия изотопных стандартов. ^{2*}Δ¹³C = δ¹³C_{coll} – δ¹⁸O_{carb}. ^{3*}Значение рассчитано из δ¹⁸O_{carb}. ^{4*}Значение измерено. Жирным шрифтом выделены результаты, заимствованные в работе [22]; прочерки – нет сведений.

ны климатом, в котором жили животные, и их физиологией; кроме того, существуют значительные их вариации как внутри экосистем, так и между различными экосистемами и трофическими уровнями. Так, при переходе на более высокий трофический уровень значения $\delta^{15}\text{N}$ коллагена людей и животных выше (на 2–4 ‰) по сравнению с потребляемыми протеинами [32].

Значения изотопного состава углерода коллагена контролируются соотношением в пище травоядных растений, которые усваивают углерод при фотосинтезе через циклы Кальвина (растения C_3) или Хетча–Слэка (растения C_4). Растения C_3 типичны для умеренных и холодных природных условий, а растения C_4 лучше растут в тёплых и аридных условиях (в северной части Якутии растения C_4 отсутствуют). Значения $\delta^{13}\text{C}$ костного коллагена травоядных могут достигать –20 ‰ и более (в случае практически 100%-й доли растений C_3 в диете). У современных крупных растительноядных животных Сибири значения $\delta^{13}\text{C}$ костного коллагена варьируют от –23,4 до –18,9 ‰, а у древних животных – от –23,1 до –21,4 ‰ [22]. Для якутских позднелайстоценовых мамонтов мы установили более низкие значения – от –27,7 до –20,0 ‰ (–21,9±0,95 ‰, число образцов $n = 111$). В случае лошадей полученные значения варьируют от –23,9 до –20,5 ‰ (–21,8±1,05 ‰, $n = 8$; см. табл. 2).

Наиболее низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в Якутии принадлежат, как правило, мамонтам (а по нашим данным и лошадям). Обычно, они выше для других травоядных (–20,6 ‰ – северный олень; –20,8 ‰ – шерстистый носорог; от –19,3 до –21,7 ‰ – бизон; –19,9 ‰ – мускусный бык) и хищников – около –20 ‰, исключение составляет собака –22,9 ‰ [8, 22].

Изотопный сдвиг между значениями $\delta^{13}\text{C}$ коллагена и карбонат-гидроксилапатита ($\Delta^{13}\text{C} = \delta^{13}\text{C}_{\text{carb}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{coll}}$) костей изученных лошадей типичен для растительноядных животных (8–10 ‰ [21]): для дюкарской, максунуохской и мойчоонской лошадей эти значения соответственно равны 9,2, 8,3 и 9,5 ‰. Значения $\Delta^{13}\text{C}$ лошадей из дельты р. Лена также укладываются в указанный диапазон (8,0 и 8,6 ‰). Однако они существенно отличаются от величин, характерных для плотоядных животных – около 4 ‰ [29 и др.]. Для билибинской лошади это значение составляет 6,4 ‰, т.е. находится в промежутке, что, видимо, обусловлено её юным возрастом и продолжением потребления материнского молока на момент смерти.

Значения $\delta^{15}\text{N}$ коллагена в костях современных травоядных изменяются от 1,8 до 6,1 ‰ [22]. Для мамонтов эти значения варьируют в пределах 7,2–11,4 ‰ (тот же источник), а по нашим данным – от 6,5 до 13 ‰ (10,1±1,4 ‰, $n = 111$) [14]. Для образцов лошадей установлен разброс от 3,3 до 7,1 ‰ (5,2±1,5 ‰; $n = 8$; см. табл. 2), а для других травоядных – от 4,3 до 8,4 ‰ [22]. Значения $\delta^{15}\text{N}$ образца мягких тканей дюкарской лошади более высокие – 10,1–10,6 ‰ (см. табл. 2); $\delta^{15}\text{N}$ коллагена современных волков – 8,2 и 9,4 ‰, лисицы 9,9 ‰. У древних хищников $\delta^{15}\text{N}$ изменяется от 9,8 до 13,7 ‰ с максимумом у собаки [22].

В образцах мягких тканей отношение C/N изменяется от 3,0 до 4,4 ‰, а значения $\delta^{13}\text{C}$ – от –25,2 до –21,7 ‰ (см. табл. 2). Самые низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ мягких тканей имеют самые высокие значения C/N. В то же время, если значения C/N мягких тканей и кости того же самого животного близки, то близки и значения $\delta^{13}\text{C}$. Значения $\delta^{15}\text{N}$ мягких тканей и костного коллагена близки: в большинстве случаев разница составляет менее 1,5 ‰. Это особенно чётко видно, когда по двум фрагментам кожи дюкарской лошади получают разные результаты: образец со значением C/N 4,3 ‰ имеет значение $\delta^{13}\text{C} = -24,4$ ‰, а фрагмент со значением C/N, равным 3,2 ‰, имеет $\delta^{13}\text{C} = -23,5$ ‰, что ближе к величине для коллагена кости ($\delta^{13}\text{C} = -22,1$ ‰, C/N = 3,2) этой же лошади.

Гистологические и биохимические исследования замороженной туши показали, что большая часть мягких тканей представлена коллагеном [27 и др.]. Таким образом, отношения C/N более 3,6, вероятно, отражают присутствие углеводов и липидов; известно, что они облегчены изотопом ^{13}C по сравнению с коллагеном данного фрагмента мягких тканей [22 и др.]. Это может объяснить низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ таких образцов относительно костного коллагена и близкие величины $\delta^{13}\text{C}$ костного коллагена и мягких тканей, когда они имеют похожие значения C/N. Использовать значения $\delta^{13}\text{C}$ «целых» сохранённых мягких тканей трудно из-за разной сохранности различных компонентов. Вместе с тем более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ по образцам с соотношением C/N > 3,6 могут быть обусловлены загрязнением почвенной органикой. Потому значения $\delta^{13}\text{C}$, полученные по таким образцам (образцы мышц и кожи с шеи дюкарской лошади), следует рассматривать как сомнительные.

В изученных образцах останков отмечаются небольшие различия в значениях $\delta^{15}\text{N}$ мягких тканей и костного коллагена (см. табл. 2), которые могут быть

обусловлены изменениями изотопных значений азота, вызванными распадом и бактериальным ростом, иногда наблюдаемым на мягких тканях [24]. Вместе с тем это возможно и при изменении во времени изотопного состава азота, а также за счёт того, что костный коллаген изменяется много медленней по сравнению с протеином мягких тканей [33], поэтому две изотопные датировки не соответствуют одному и тому же периоду времени в течение индивидуальной жизни. Если второе предположение верно, то оно означает, что в случае более высокого значения $\delta^{15}\text{N}$ мягких тканей чем для костного коллагена (как для дюкарской лошади) диета за несколько месяцев до смерти была обогащена ^{15}N по сравнению со средней диетой в последние годы перед смертью и/или животное обитало перед смертью в более сухих ландшафтах, чем раньше.

Палеоклиматические аспекты изотопных исследований

Климат также может косвенно влиять на значения $\delta^{13}\text{C}$ коллагена животных через климатообусловленные изотопные эффекты в растениях. Установлено, что обусловленные климатом вариации $\delta^{13}\text{C}$ растений могут достигать 3 ‰ [см., например, 35 и др.]. Современные представления о фракционировании изотопов углерода растениями C_3 типа фотосинтеза показывают, что большая часть наблюдаемых вариаций $\delta^{13}\text{C}$ целлюлозы обусловлена изменениями геометрии устьиц листьев при колебаниях освещённости, относительной влажности и температуры [25]. Некоторые факторы окружающей среды воздействуют на значения $\delta^{13}\text{C}$ растений, среди которых: повторная ассимиляция выдыхаемого CO_2 ; сокращение освещённости под густым и закрытым пологом леса; сокращение содержания питательных веществ в почве и др. В условиях тундры указанными факторами можно пренебречь [9]. Чтобы проверить возможности предлагаемого палеоклиматического индикатора, авторы исследовали изотопный состав углерода карбоната костей (надёжно датированных радиоуглеродным методом) позднеплейстоценовых мамонтов из района дельта р. Лена — о. Большой Ляховский — Ойягосский Яр. Основные выявленные климатические события (переход от стадии MIS3 к стадии MIS2 — 24–26 тыс. л.н.; оптимум стадии MIS3 с возрастом 32–33 тыс. л.н.; похолодание — 38–34 тыс. л.н. и др.) подтверждаются независимыми палеогеографическими данными. Вместе с этими результатами на один и тот же рисунок мы нанесли изотопные данные по костному карбонату лошадей и бизонов (рис. 3). Анализируя его, мы можем сде-

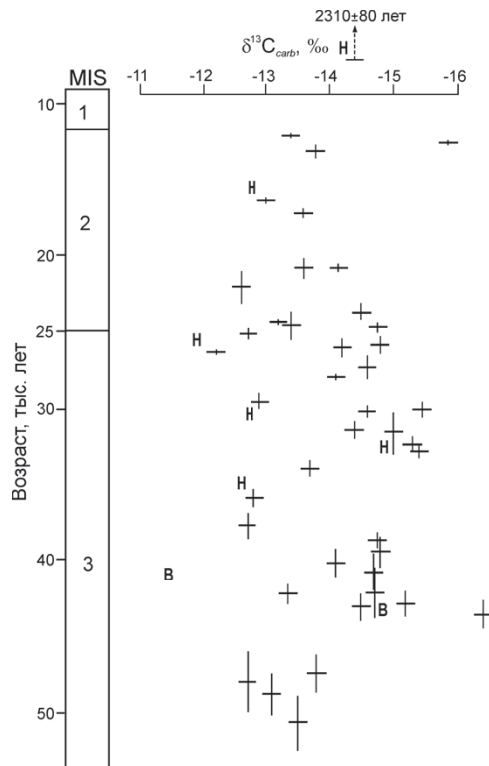


Рис. 3. Эволюция изотопного состава углерода карбоната-гидроксила костей крупных растительноядных Северной Якутии в позднем плейстоцене (‰, PDB).

MIS — морские изотопные стадии; H — лошадь; B — бизон; по умолчанию — мамонт

Fig. 3. Evolution of stable carbon isotope composition of large herbivorous mammals' bones carbonate hydroxylapatite in Northern Yakutia in Late Pleistocene.

MIS — marine isotope stages; H — horse; B — bison; by default — mammoth

лать вывод, что новые результаты, полученные по костям лошадей, не противоречат полученным ранее данным по мамонтам. Возможный вывод — нестабильность позднеплейстоценового климата Северной Якутии, которая выражалась в резких кратковременных (500–2000 лет) нерегулярных эпизодах относительно мягкого климата, по интенсивности имеющих ранг интерстадиалов.

Дополнительно мы нанесли наши данные по изотопному составу углерода карбоната костей лошадей на график изменения изотопного состава кислорода гренландского льда в керне станции GRIP (рис. 4). Наиболее низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ по костям лошадей соответствуют более высоким значениям $\delta^{18}\text{O}$ льда, т.е. отмечается синфазность данных. Таким образом, можно сделать заключение, что мойчоонская и билибинская лошади жили в эпоху сравнительно тёплого климата, а остальные — во время холодных стадий.

Известно, что на соотношение изотопов азота в костях животных влияют климатические условия и что значения $\delta^{15}\text{N}$ коллагена костей травоядных из аридных регионов, как правило, выше по сравнению с результатами для животных из гумидных областей, т.е. значения $\delta^{15}\text{N}$ увеличиваются при уменьшении количества осадков. Обзор результатов исследований, проведённых в Южной Африке, показал уменьшение значений $\delta^{15}\text{N}$ на 1,1–1,3 ‰ при росте атмосферных осадков на 100 мм в год [16]. Причину этой корреляции частично можно объяснить существованием параллельных вариаций значений $\delta^{15}\text{N}$ растений, с одной стороны, и процессами сохранения воды животными и выделения мочевины, обеднённой изотопом ^{15}N в аридных районах, с другой [см. 18 и др.]. Используя полученные значения $\delta^{15}\text{N}$, мы можем сделать вывод, что мойчоонская, дюкарская и «безыманная» лошади обитали в сухих ландшафтах, а муксунухская, билибинская и обе лошади с Быковского полуострова и из района р. Реброво — в более влажных условиях.

Предшествующие исследования авторов [8 и др.] показали, что мамонты, обитавшие на разных территориях (Русская равнина, Таймыр, Аляска, Северная и Центральная Якутия), на диаграмме $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{15}\text{N}$ занимают разные поля и средние значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ костного коллагена мамонтов с указанных территорий имеют статистически значимые различия. Для объяснения этого феномена использовались следующие аргументы:

1) большое видовое разнообразие растений от места к месту и, следовательно, значительный диапазон изотопного состава углерода и азота;

2) значительные вариации температурных и влажностных условий Северной Евразии (от Европейской части России до Аляски) в позднем плейстоцене, хотя данная территория и представляла собой единую растительную зону (преимущественно перигляциальные степные сообщества при участии лесных и тундровых элементов) [4];

3) различия в изотопном составе растений могут быть также обусловлены климатическими факторами;

4) мамонтам нужно было много растений для питания, поэтому в периоды глобальных похолоданий возникали проблемы с поиском достаточного количества пищи, что приводило к сезонным миграциям мамонтов и использованию иных (иного соотношения) видов пищи.

В нашем случае средние значения костного коллагена позднелейстоценовых якутских лошадей составили $\delta^{13}\text{C} = -21,8 \pm 1,05$ ‰ и $\delta^{15}\text{N} = 5,2 \pm 1,2$ ‰ ($n = 8$), что, в пределах точности расчётов, соответствует сред-

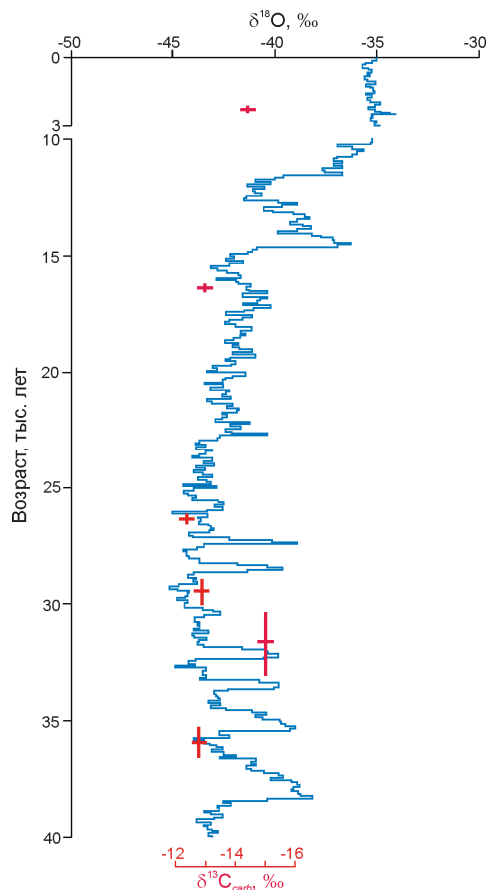


Рис. 4. Эволюция изотопного состава кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) гринландского льда (станция GRIP) [30] и изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) карбоната костей якутских лошадей в позднем плейстоцене

Fig. 4. Evolution of stable oxygen isotope composition ($\delta^{18}\text{O}$) of Greenland ice core GRIP [30] and stable carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$) of Yakutian horses bones hydroxylapatite carbonate in Late Pleistocene

ним значениям для позднелейстоценовых лошадей Западной Европы (Франция, Великобритания, Бельгия) — $\delta^{13}\text{C} = -21,0 \pm 0,7$ ‰ и $\delta^{15}\text{N} = 5,6 \pm 1,5$ ‰ ($n = 44$) [20]. Таким образом, вероятно, условия обитания позднелейстоценовых лошадей Якутии и Западной Европы были довольно близки.

Около 40 лет назад А. Лонжинелли предположил, что должна существовать количественная связь между изотопным составом фосфата $\delta^{18}\text{O}_\text{p}$ (PO_4^{3-}) костей и зубов млекопитающих и средним изотопным составом $\delta^{18}\text{O}_\text{w}$ местных метеорных вод. Действительно, если крупные млекопитающие имеют постоянную температуру тела, то изотопный состав кислорода их костного фосфата прямо связан с изотопным составом жидкостей тела ($\delta^{18}\text{O}$), которые, в свою очередь, учитывая метаболическое фракционирование, определяются изо-

топным составом потребляемой воды. По крайней мере, в случае немигрирующих животных изотопный состав жидкостей их тела тесно связан со средним изотопным составом локальных метеорных вод ($\delta^{18}\text{O}_w$). Многолетняя скрупулезная проверка реалистичности гипотезы А. Лонжинелли позволила перейти к калибровке уравнений связи значений $\delta^{18}\text{O}_p$ костей и $\delta^{18}\text{O}_w$ атмосферных осадков для конкретных видов млекопитающих, используя образцы костей современных животных. Так, для всех существующих в настоящее время видов лошадей получено единое уравнение связи [23]

$$\delta^{18}\text{O}_p = 0,72\delta^{18}\text{O}_w + 22,29 \quad (r^2 = 0,90). \quad (1)$$

К сожалению, изотопный состав кислорода костного фосфата изучался не во всех случаях (см. табл. 2), однако значения первичного изотопного состава кислорода костного карбоната и фосфата между собой тесно связаны [26]:

$$\delta^{18}\text{O}_p = 0,98\delta^{18}\text{O}_{carb} - 8,5. \quad (2)$$

Используя это уравнение, по данным из табл. 2 мы рассчитали недостающие значения $\delta^{18}\text{O}_p$. Для контроля в двух случаях в одних и тех же пробах были измерены как $\delta^{18}\text{O}_p$, так и $\delta^{18}\text{O}_{carb}$.

Расчёт изотопного состава кислорода метеорных вод (использованных в жизнедеятельности нашими лошадьми) по уравнению (1) показал разброс значений $\delta^{18}\text{O}_w$ метеорных вод от $-17,8$ до $-23,7$ ‰ (см. табл. 2). Эти значения заметно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из распределения изотопного состава современных атмосферных осадков на исследуемой территории [8]. Более того, «разумного» соответствия этих данных с полученными выше результатами по увлажнённости и температуре не отмечается. Отсюда мы можем сделать заключение, что лошади использовали для водопоя водоёмы, подвергавшиеся сильному испарению. Иными словами: изотопный состав воды такого водоёма в первую очередь зависит от его объёма, средней глубины и других характеристик, а не от климатических условий.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать некоторые предположения.

1. Мягкие ткани мумий менее благоприятны для изотопных исследований, чем кости, так как они содержат набор биосоединений (коллаген, липиды, углеводы), имеющих разный изотопный состав и разную устойчивость.

2. Изотопный состав углерода карбоната-гидроксилатапатита костей якутских лошадей может использоваться как палеоклиматический индикатор.

Новые результаты по костям лошадей, как и полученные ранее данные по мамонтам, позволяют считать, что позднелейстоценовый климат севера Якутии отличался нестабильностью, которая выражалась в резких кратковременных (500–2000 лет) нерегулярных эпизодах относительно мягкого климата, по интенсивности имеющих ранг интерстадиалов.

3. По значениям $\delta^{13}\text{C}$ костного карбоната установлено, что мойчоонская и билибинская лошади жили в эпоху сравнительно тёплого климата, остальные — во время холодных стадий. Используя полученные значения $\delta^{15}\text{N}$, мы можем предположить, что мойчоонская, дюкарская и «безымянная» лошади обитали в сухих ландшафтах, а муксунуохская, билибинская и обе лошади с Быковского п-ва и из района р. Реброво — в более влажных условиях.

4. Предполагается, что диета дюкарской лошади за несколько месяцев до смерти была обогащена ^{15}N по сравнению со средней диетой в последние годы перед смертью и/или животное обитало перед смертью в более сухих ландшафтах, чем раньше.

5. Лошади использовали для водопоя небольшие водоёмы, подверженные сильному испарению.

6. Условия обитания позднелейстоценовых лошадей Якутии и Западной Европы довольно близки.

Благодарности. Авторы благодарны за содействие работе П.А. Лазареву, Л.Д. Сулержицкому, И.Н. Белолубскому, Г.Г. Боескову, Ф.К. Шидловскому и И.В. Кирилловой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-05-00217) и Программы по международному научному сотрудничеству между Российской академией наук и Советом национальных исследований Италии.

Литература

1. Белолубский И.Н., Боесков Г.Г., Сергеенко А.И., Томшин М.Д. Каталог коллекции четвертичных млекопитающих Геологического музея Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. Якутск: изд. ЯНЦ СО РАН, 2008. 204 с.
2. Вангенгейм Э.А. Палеонтологическое обоснование стратиграфии антропогенных отложений севера Восточной Сибири // Тр. ГИН. 1961. Вып. 48. 184 с.
3. Громова В.И. История лошадей (рода Equus) в Старом Свете. Часть 1. Обзор и описание фор // Тр. Палеонтологического ин-та АН СССР. 1949. Т. 17. Вып. 1. 373 с.
4. Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет / Ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
5. Лазарев П.А. Антропогенные лошади Якутии. М.: Наука, 1980. 190 с.
6. Лазарев П.А. Кадастр местонахождений фауны млекопитающих позднего кайнозоя Якутии. Новосибирск: Наука, 2002. 55 с.

7. Лазарев П.А. Крупные млекопитающие антропогена Якутии. Новосибирск: Наука, 2008. 160 с.
8. Николаев В.И., Женони Л., Якумин П., Лонжинелли А., Никольский П.А., Сулержицкий Л.Д. Изотопно-геохимические исследования позднелейстоценовой мегафауны Северной Евразии. М.: изд. Ин-та географии РАН, 2000. 94 с.
9. Николаев В.И., Кузнецова Т.В., Якумин П., Ду Маммео А. Изотопный состав углерода палеонтологических останков — источник информации о климате прошлого // Лёд и Снег. 2011. № 3 (115). С. 105–113.
10. Русанов Б.С. Биостратиграфия кайнозойских отложений Южной Якутии. М.: Наука, 1968. 458 с.
11. Спасская Н.Н., Кузнецова Т.В., Шер А.В. Морфометрическое исследование черепа позднелейстоценовой мумии Билибинской лошади с западной Чукотки // Палеонтологический журнал. 2012. № 1. С. 89–101.
12. Фауна и флора антропогена Северо-Востока Сибири / Ред. О.А. Скарлато // Тр. ЗИН РАН. 1977. Т. 63. 294 с.
13. Черский И.Д. Описание коллекции послетретичных млекопитающих животных, собранных Ново-Сибирской экспедицией 1885–1886 г. СПб.: изд. АН, 1891. 706 с.
14. Якумин П., Даванзо С., Николаев В.И., Сулержицкий Л.Д. Изотопный состав азота пищи плейстоценовых мамонтов // Стабильные изотопы в палеоэкологических исследованиях. М.: изд. Ин-та географии РАН, 2006. 158 с.
15. Ambrose S.H. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis // Journ. of Archaeological Science. 1990. V. 17. P. 431–451.
16. Ambrose S.H. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs // Journ. of Archaeological Sciences. 1991. V. 18. P. 293–317.
17. Ambrose S.H. Isotopic analysis of paleodiets: Methodological and interpretative considerations // Investigations of Ancient Human Tissue, Chemical Analyses in Anthropology / Ed. M.K. Sandford. Langhorne: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. P. 59–130.
18. Ambrose S.H., DeNiro M.J. Climate and habitat reconstruction using stable carbon and nitrogen isotope ratios of collagen in prehistoric herbivore teeth from Kenya // Quaternary Research. 1989. V. 31. P. 407–422.
19. Ambrose S.H., Norr L. Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratio of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate // Prehistoric Human Bone. Archaeology at the Molecular Level / Eds. J.B. Lambert and G. Grupe. Berlin: Springer-Verlag, 1993. P. 1–37.
20. Bocherens H. Isotopic biogeochemistry and the palaeoecology of mammoth steppe fauna // Advances in Mammoth Research: Proc. of the Second International Mammoth Conference (Rotterdam, May 16–20 1999) / Eds. J.W.F. Reumer, J. De Vos, D. Mol. Deinsea, 2003. V. 9. P. 57–76.
21. Bocherens H., Fizet M., Mariotti A. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: implications for Pleistocene bears // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1994. V. 107. P. 213–225.
22. Bocherens H., Picaud G., Lazarev P.A., Mariotti A. Stable isotope abundances (^{13}C , ^{15}N) in collagen and soft tissues from Pleistocene mammals from Yakutia: Implications for the palaeobiology of the Mammoth Steppe // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1996. V. 126. P. 31–44.
23. Delgado Huertas A., Iacumin P., Stenni B., Sanchez Chillon B., Longinelli A. Oxygen isotope variations in mammalian bone and tooth enamel // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. P. 4299–4305.
24. Farrand W.R. Frozen mammoths and modern geology // Science. 1961. V. 133. P. 729–755.
25. Francey R.J., Farquhar G.D. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in the tree rings // Nature. 1982. V. 297. № 5861. P. 28–31.
26. Genoni L., Iacumin P., Nicolaev V., Gribchenko Yu., Longinelli A. Oxygen isotope measurements of mammoth and reindeer skeletal remains: an archive of Late Pleistocene environmental conditions in Eurasian Arctic // Earth and Planetary Science Letters. 1998. V. 160. P. 587–592.
27. Goodman M., Birk D.E., Romero-Herrera A.E., Lande M.A., Dene H., Barnhart M.I. Collagen preservation in soft tissue from the Magadan mammoth // FEBS Letters. 1980. V. 114. № 1. P. 30–34.
28. Kuznetsova T.V., Sulerzhitskiy L.D., Siegert Ch. New data on the «Mammoth» fauna of the Laptev Shelf Land (East Siberian Arctic) // The World of Elephants. Proc. of the 1st Intern. Congress. Rome. 2001. P. 289–292.
29. Lee-Thorp J.A., van der Merwe N.J., Brain C.K. Isotopic evidence for dietary differences between two extinct baboon species from Swartkrans, South Africa // Journ. of Human Evolution. 1989. V. 18. P. 183–190.
30. North Greenland Ice Core Project members. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period // Nature. 2004. V. 431. № 7005. P. 147–151.
31. Schirrmeister L., Siegert Ch., Kuznetsova T., Kuzmina S., Andreev A., Kienast F., Meyer H., Bobrov A. Paleoenviromental and paleoclimatic records from permafrost deposits in the Arctic region of Northern Siberia // Quaternary International. 2002. V. 89. P. 97–118.
32. Schoeninger M.J., DeNiro M.J. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. V. 48. P. 625–639.
33. Tieszen L.L., Boutton T.W., Tesdahl K.G., Slade N.A. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis for diet // Oecologia (Berlin). 1983. V. 57. P. 32–37.
34. Tieszen L.L., Fagre T. Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO_2 , bone collagen, bioapatite, and soft tissues // Prehistoric Human Bone. Archaeology at the Molecular Level / Eds. J.B. Lambert and G. Grupe. Berlin: Springer-Verlag. 1993. P. 121–155.
35. Van Klinken G.J., Van der Plich H., Herges R.E.M. Bone $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios reflect (palaeo-) climatic variations // Geophys. Research Letters. 1994. V. 21. № 6. P. 445–448.

Summary

Well-conserved carcasses of ancient large mammals can be found in permafrost of North-eastern Siberia. Mummified remains of ancient horses are rather rare ones. Complex stable isotope studies of 5 mummies and several horses' bones from Northern Yakutia were carried out. Results obtained testify to possibility to use carbon isotope composition of hydroxylapatite carbonate from horses' bones as palaeoclimatic indicator. It was determined relative (warmer or cooler, more dry or humid) environmental conditions during our horses' lives. Preliminary data allow us to suppose that in Late Pleistocene lived in similar landscapes as well in Yakutia as Western Europe.