

УДК 569.614;551.89;550.84:551.87

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ И ИЗОТОПНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСТАТКОВ МАМОНТА *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* (PROBOSCIDEA, ELEPHANTIDAE) В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЮЖНАЯ СИБИРЬ)

© 2023 г. Д. Г. Маликов^{a, *}, С. В. Святко^{b, **}, А. Н. Пыряев^{a, ***},
К. А. Колобова^{c, ****}, И. Ю. Овчинников^{a, *****}, Е. Л. Маликова^{a, *****}

^aИнститут геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН,
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия

^b¹⁴CHRONO Centre for Climate, the Environment & Chronology, School of Natural and Built Environment,
Queen's University Belfast, Belfast BT7 1NN, Northern Ireland, UK

^cИнститут археологии и этнографии СО РАН,
пр. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090 Россия

*e-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru

**e-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

***e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru

****e-mail: kolobovak@yandex.ru

*****e-mail: ivovchinnikov@igm.nsc.ru

*****e-mail: malikovael@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 26.05.2023 г.

Радиоуглеродное датирование остатков шерстистых мамонтов Минусинской котловины позволило уточнить особенности и сроки распространения вида на юге Сибири в позднем плейстоцене. В данной работе показано, что на юге Сибири мамонты были наиболее многочисленны в холодные периоды, а максимальной численности этот вид достиг в период последнего ледникового максимума. На данный момент нет ни одной находки мамонта, которую можно было бы с уверенностью отнести к теплому временному интервалу. Возможно, в теплые интервалы позднего плейстоцена условия на юге Сибири были неблагоприятны для постоянного обитания вида *Mammuthus primigenius*. В целом, мамонты Минусинской котловины сохраняют видоспецифические особенности содержания стабильных изотопов углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) в коллагене костей по сравнению с другими крупными травоядными. Для них отмечены максимально высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ с самыми низкими $\delta^{13}\text{C}$; северные олени, напротив, показывают самые низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ и высокие $\delta^{13}\text{C}$. Изотопный сигнал других видов растительноядных млекопитающих располагается между показателями мамонтов и северных оленей. Сравнение полученных данных стабильных изотопов углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) остатков шерстистых мамонтов Минусинской котловины с аналогичными показателями у животных севера Восточной Сибири выявляет существенные различия. Одна из возможных причин такого явления — различия в рационе животных Минусинской котловины и мамонтов других популяций. Однако сходные тенденции (относительно более низкое содержание $\delta^{15}\text{N}$ и более высокое содержание $\delta^{13}\text{C}$) в позднем плейстоцене характерны и для северных оленей, и для шерстистых носорогов Минусинской котловины. Это позволяет предполагать, что различия остатков мамонтов Минусинской котловины и мамонтов северных территорий по изотопному составу углерода и азота связаны не только с типом питания, но и с несколько разным изотопным фоном регионов, обусловленным местной средой.

Ключевые слова: шерстистый мамонт, Южная Сибирь, радиоуглеродное датирование, стабильные изотопы, поздний плейстоцен

DOI: 10.31857/S004451342308007X, **EDN:** GPQLHM

Уточнение времени вымирания различных видов мамонтовой фауны является одной из основных задач в изучении позднего плейстоцена Сибири. Понимание особенностей процесса

вымирания возможно только на основе систематического радиоуглеродного (^{14}C) датирования остатков вымерших видов животных. Среди всех представителей плейстоценовой фауны одним из самых интересных видов является шерстистый мамонт (*Mammuthus primigenius* (Blumenbach 1799)). Вопросу времени вымирания мамонтов посвящено множество работ (Кузьмин и др., 2001; Lister, Stuart, 2008; Puzachenko et al., 2017 и др.), в которых прослежена детальная хронология изменения ареала этого вида и процесса его вымирания. Окончательное вымирание вида произошло на о-ве Врангеля в голоцене — 3685 ± 60 ^{14}C л. н. (Kuitens et al., 2019).

К настоящему времени известно более полутора тысяч ^{14}C дат остатков шерстистого мамонта (Puzachenko et al., 2017). Однако географическое распределение датированных остатков весьма неравномерно. Основная масса ^{14}C дат получена для арктических регионов Сибири и территории Европы, тогда как для южных регионов Сибири радиоуглеродных датировок остатков мамонтов все еще мало. В сравнении с другими регионами Сибири, история фауны Минусинской котловины в целом, и мамонтов в частности, плохо освещена. Для данного региона получено десять ^{14}C дат остатков мамонта, находящихся в пределах 20100–18600 и 12160–11980 ^{14}C лет до н. в. (Кузьмин и др., 2001; Акимова, 2010). Это количество ^{14}C дат существенно меньше, чем для большинства других регионов Сибири.

Для уточнения истории *M. primigenius* в регионе нами было получено четырнадцать новых ^{14}C датировок по костным остаткам этого вида из девяти местонахождений, расположенных в разных частях Минусинской котловины. Тем самым мы смогли существенно увеличить количество ^{14}C определений остатков мамонта и уточнить историю присутствия этого вида на территории котловины. Также был проанализирован состав стабильных изотопов азота и углерода ($\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$) костного коллагена шерстистого мамонта данного региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для исследования был собран Д.Г. Маликовым в ходе экспедиционных работ 2011–2021 гг., а также частично получен в фондах Зоологического музея Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова (ЗМ ХГУ) и Хакасского национального краеведческого музея им. Л.Р. Кызласова (ХНКМ). Для радиоуглеродного и изотопного ($\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$) анализа костного коллагена шерстистого мамонта были отобраны образцы от 12 костных остатков (табл. 1), собранных в различных местонахождениях Минусинской котловины (рис. 1А).

Для распределения радиоуглеродных датировок калиброванный возраст соотносился с климатическими событиями, зафиксированными на климатической кривой керна NGRIP Гренландии (Rasmussen et al., 2014). В данной работе к периоду последнего ледникового максимума (далее LGM) мы относим временной интервал 28660–20520 лет до нашего времени (н. в.) (Kuitens et al., 2019). Чтобы отобразить пространственное распределение находок на территории, авторами была построена карта, основой которой послужила цифровая модель рельефа (ЦМР) с сайта Геологической службы США (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Вся обработка материалов дистанционного зондирования и оформление карты были выполнены в программном комплексе ArcGIS Pro.

Все ^{14}C даты, за исключением трех, были получены бензольно-сцинтилляционным методом; три даты были сделаны методом ускорительной масс-спектрометрии. Бензольно-сцинтилляционное датирование проводилось в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева (ИГМ) СО РАН. Для выделения и очистки коллагена за основу была взята соляно-кислотная методика (Сулержицкий, 1987). Кость обрабатывали раствором HCl 1 : 1 до полного растворения минеральной части, в холодных условиях. Раствор коллагена отфильтровывали от примесей, а затем упаривали на водяной бане. Чтобы избежать омоложения гуминовыми кислотами, коллаген обрабатывали раствором 0.1 M NaOH (Арсланов, Громова, 1970). Далее образцы высушивали, при этом они обугливались без доступа кислорода при температуре 800°C. Из угля был получен счетный препарат — бензол. Определение остаточной активности углерода выполнено на ультра-низкофоновом жидко-сцинтилляционном спектрометре-радиометре QUANTULUS-1220 (код СОАН).

Датирование методом ускорительной масс-спектрометрии выполнялось: на экспериментальной установке Ускорительный масс-спектрометр Института ядерной физики им. Г.И. Будкера (ИЯФ) СО РАН (код NSKA). Одна дата (код UBA) была выполнена в лаборатории ^{14}C CHRONO Centre for Climate, the Environment & Chronology (Queen's University Belfast, UK) на установке MICADAS (Ionplus Mini Carbon Dating System). Пробоподготовка образцов проводилась в соответствии с протоколами данной лаборатории (<http://14chrono.org/radiocarbon-dating/pre-treatment-analysis/>). Для вычисления возраста использован период полураспада ^{14}C , равный 5570 годам, возраст рассчитан от 1950 г. Радиоуглеродные даты были откалиброваны с использованием программы OxCal 4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/ox->

Таблица 1. Результаты ^{14}C датирования и анализа стабильных изотопов ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) остатков *Mammuthus primigenius* Минусинской котловины

Местонахождение	Координаты		№ на рис. 1	Коллекционный №	Кость	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{15}\text{N}$, ‰	C/N _{at}	Лаб. шифр	^{14}C возраст, ВР	Cal ВР 95.4%	Источник
	с. ш.	в. д.										
Матур	~52.64	~89.44	1	ХНКМ 1719/6	Costa	-21.1	8.4	3.3	UBA-45634	36608 ± 1306	43256–39265	Данная работа
Река Оя*	?	?	2	ЗМ ХГУ 6344	Humerus	-22.0	7.2	3.1	NSKA-02215	41440 ± 358	44949–43422	Данная работа
						–	–	–	COAH-9548	27505 ± 240	31881–31121	
Кондаловская	54.17	91.41	3	ЗМ ХГУ 20015	Tibia	–	–	–	COAH-9983	30320 ± 600	34168–31797	Данная работа
Усть-Ерба	54.43	91.18	4	ЗМ ХГУ 6556	Tibia	–	–	–	COAH-9984	24485 ± 300	27297–25925	Данная работа
Новоселово аллювиальное	55.04	91.02	5	ЗМ ХГУ 6429	Scapula	–	–	–	COAH-9550	20490 ± 170	25125–24201	Данная работа
Новоселово аллювиальное	55.04	91.02	5	ЗМ ХГУ 6404	Pelvis	-21.2	5.9	3.1	NSKA-02212	20420 ± 169	25078–24130	Данная работа
						–	–	–	COAH-9549	16710 ± 110	20465–19910	
Река Чулым*	?	?	6	–	–	–	–	–	ГИН-2860	20200 ± 100	24578–23930	Сулержикский, 1997
Первомайское	54.61	90.94	7	**	Vertebra	–	–	–	COAH-9656	20110 ± 280	25020–23427	Данная работа
Средний Енисей*	?	?	8	–	–	–	–	–	ГИН-3017	20100 ± 300	25058–23396	Сулержикский, 1997
Шленка	~55.21	~91.92	9	–	Incisivi	–	–	–	ГИН-2863	20100 ± 100	24419–23838	Свеженцев и др., 1992
Река Чулым*	?	?	6	–	–	–	–	–	ГИН-3016	19960 ± 80	24191–23810	Сулержикский, 1997
Шленка	~55.21	~91.92	9	–	–	–	–	–	ГИН-2861	19700 ± 200	24182–23164	Сулержикский, 1997
Средний Енисей*	?	?	8	–	–	–	–	–	ГИН-2859	19500 ± 200	23845–23015	Сулержикский, 1997
Тарачиха	~55.05	~91.07	10	–	–	–	–	–	ЛЕ-3834	18930 ± 320	23741–22307	Лисицын, 1997
Шленка	~55.21	~91.92	9	–	Incisivi	–	–	–	ГИН-2862	18660 ± 2000	29060–18362	Свеженцев и др., 1992
Первомайское	54.61	90.94	7	**	Vertebra	-20.6	7.3	3.3	COAH-9729	18365 ± 230	22916–21800	Данная работа
Изыхский разрез	53.56	91.49	11	ХНКМ ВФ-1208	Incisivi	-19.7	10.0	3.2	COAH-9783	17955 ± 280	22395–21005	Данная работа
Черноусов лог	54.67	90.75	12	**	Costa	–	–	–	COAH-9673	16760 ± 135	20551–19893	Данная работа
Сартов Улус	54.10	91.50	13	ИГМ б/н	Scapula	-20.2	6.6	3.3	COAH-9890	14220 ± 160	17866–16920	Данная работа
Сартов Улус	54.10	91.50	13	**	Femur	-20.1	6.6	3.3	COAH-9891	14050 ± 145	17435–16610	Данная работа
Конжул	55.33	92.46	14	–	–	–	–	–	COAH-4954	12160 ± 175	14902–13611	Акимова, 2010
Конжул	55.33	92.46	14	–	–	–	–	–	COAH-4953	11980 ± 155	14297–13495	Акимова, 2010

* Точное место находки неизвестно.

** После проведения анализа образец не сохранился.

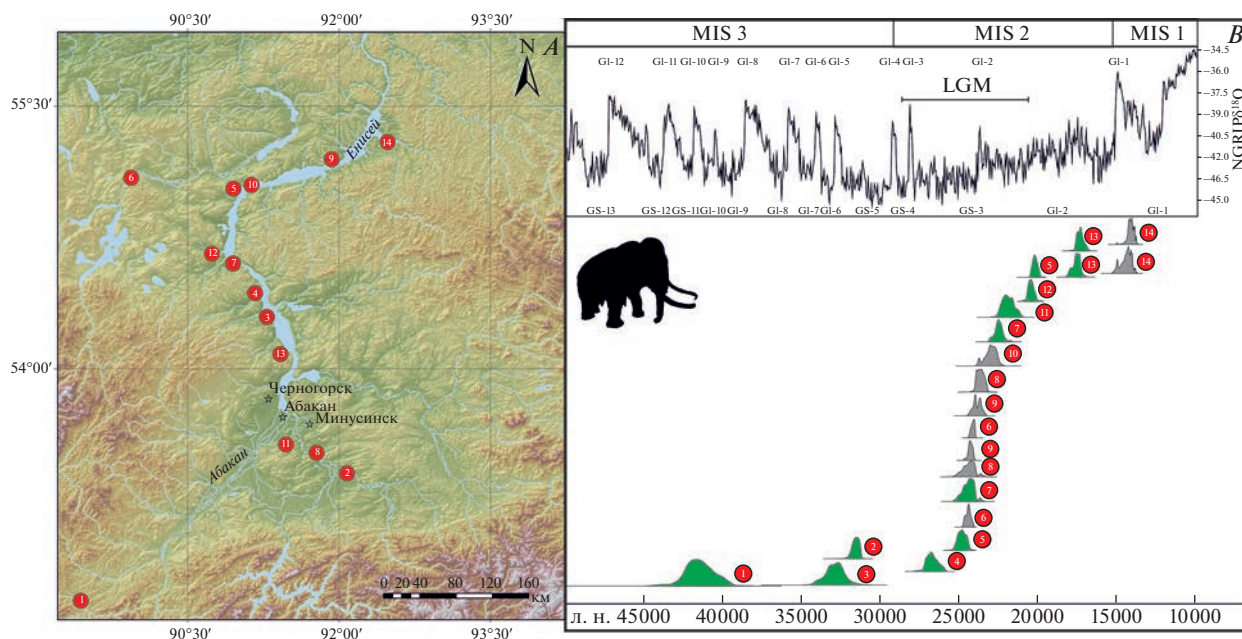


Рис. 1. Карта местонахождений (А) и распределения калиброванных возрастов (В) остатков шерстистых мамонтов *Mammuthus primigenius* из Минусинской котловины вдоль кривой $\delta^{18}\text{O}$ ледяного ядра NGRIP GICC05 (Rasmussen et al., 2014). Графики выражают распределение возраста в калиброванных годах при двух стандартных отклонениях (95.4%), зеленым цветом отмечены новые результаты, серым цветом — ранее опубликованные результаты. Местонахождения (красные кружки) отмечены цифрами, которые соответствуют номерам в табл. 1.

cal/OxCal.html) и калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020). IntCal20 — одна из трех современных калибровочных кривых, предназначенная для калибровки датировок проб Северного полушария. Радиоуглеродная калибровка необходима для сравнения ^{14}C возраста с хронологическими записями, полученными другими методами. Расчет возраста по ^{14}C предполагает, что содержание ^{14}C в атмосфере было постоянным, однако это не так. В атмосфере происходят колебания концентрации ^{14}C , поэтому калибровочная кривая имеет характерный вид с многочисленными вариациями, а график распределения калиброванного возраста может отличаться от нормального распределения (Reimer et al., 2009, 2020). Полученные кривые распределения калиброванных возрастов нанесены на климатическую кривую ядра NGRIP Гренландии (рис. 1В).

Данные о составе стабильных изотопов были получены в Аналитическом центре МИИ ИГМ СО РАН с помощью масс-спектрометра изотопных отношений IRMS FinniganTM MAT 253, снабженного приставкой пробоподготовки Flash EA 1112, работающей в комплексе с интерфейсом проточного режима Conflo III. В качестве газа-носителя использовался гелий марки 6.0. Образцы для масс-спектрометрии изготавливали из коллагена датированных образцов по вышеописанной методике.

Подготовленные пробы были измельчены и гомогенизированы. Полученный порошок заворачивался в оловянные капсулы (Thermo ScientificTM) в массе около 5 мкг, капсулы плотно сжимались для удаления воздуха и затем помещались в предварительную камеру автосемплера, где происходило замещение воздуха гелием. Произошло ли полное замещение воздуха, что было необходимо для анализа изотопного состава углерода и азота в коллагене, при заданных условиях эксперимента проверялось “холостым” запуском последовательности измерения. В качестве реактивов для заполнения реакторов использовались оксид меди и посеребренный оксид кобальта — в окислительном реакторе (900°C), восстановленная медная проволока — в восстановительном реакторе (680°C). Все реактивы были приобретены в Thermo ScientificTM. Температура хроматографической колонки поддерживалась постоянно на уровне 45°C. Изотопный состав углерода и азота определяли как отдельными измерениями, так и единовременным измерением с использованием “прыжка по массам” (mass jump), осуществляемым программными средствами. Измерения для каждого образца осуществляли как минимум до двух сходящихся значений. Все измерения проводились относительно материалов сравнения МАГАТЭ (International Atomic Energy Agency — IAEA): NBS-22 и IAEA-CH-7 для $\delta^{13}\text{C}$, и комплекса стандартов IAEA-N-1, IAEA-N-2,

USGS-25 для $\delta^{15}\text{N}$. Результаты представлены относительно международных стандартов VPDB для $\delta^{13}\text{C}$ и AIR для $\delta^{15}\text{N}$. Погрешность измерения стандартов не превышала 0.1‰ при определении $\delta^{13}\text{C}$ и 0.2‰ при определении $\delta^{15}\text{N}$.

Изотопный анализ образцов, датированных методом ускорительной масс-спектрометрии, проводился в соответствующих лабораториях по принятым в них методикам: в $^{14}\text{CHRONO}$ Centre for Climate, the Environment & Chronology (код UBA) методом EA-IRMS на установке Thermo Delta V Advantage IRMS с элементным анализатором Flash 112 (<http://14chrono.org/stable-isotopes/stable-isotopes-background/>). Аналитические работы проводились в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера (ИЯФ) СО РАН (код NSKA) в соответствии с методикой (Parkhomchuk, Rastigeev, 2011).

Байесовское моделирование представляет собой статистический вероятностный метод, с помощью которого возможно объединение различных геологических/археологических данных (стратиграфических, контекстуальных, культурных и т.д.) для оценки абсолютных определений возраста событий прошлого и для количественного измерения неопределенности этой оценки. Данный подход позволяет:

1. учитывать связи между отдельными датировками в процессе калибровки;
2. генерировать статистически уточненные даты, которые часто точнее, чем индивидуальные датировки;
3. построить надежные распределения вероятностей для определенных последовательных (этапы, фазы, перерывы) событий в контексте построенных моделей;
4. комбинировать абсолютные датировки, полученные различными методами для построения единых моделей.

В ходе построения моделей серии абсолютных дат дополняются контекстуальной (предварительной) информацией, например, взаимной стратиграфической позицией. Затем генерируются вероятности, с учетом введенных дополнительных данных. Полученная модель может включать в себя определение количества этапов (например, этапов функционирования археологического памятника), определение их последовательности, определение “выбросов”, т.е. определения абсолютного возраста, не согласующиеся с моделью.

Важной частью байесовских моделей является индивидуальный индекс согласия, который определяет, насколько хорошо согласуются апостериорные распределения (распределение дат, учитывающее дополнительные данные) со стандартизированной вероятностью (калиброванными датами в модели). Значения индивидуальных индексов со-

гласия конкретных дат должны превышать 60. Те даты, которые имеют индекс согласия ниже, являются статистическими выбросами либо требуют пересмотра построенной модели (Bronk Ramsey, 1995).

Байесовское статистическое моделирование выполнено в программе OxCal 4.4 и калибровочной кривой IntCal20. Поскольку исследуемые даты происходят из различных местонахождений и их невозможно включить в стратиграфические события, то применялось простое моделирование в рамках последовательности для статистического определения начала и конца исследуемого периода, определения выбросов среди дат (функция Sequence). В байесовской модели даты калибровались в рамках двух доверительных интервалов — 68.2 и 95.4% (Bronk Ramsey, 2009; Higham et al., 2014).

Для сравнения изотопных составов мы применяли непараметрические статистические тесты в силу малого количества элементов в выборках, разности дисперсий и ненормального распределения данных в некоторых выборках по тесту Шапиро—Уилка. Две выборки по одной переменной сравнивались с помощью непараметрического критерия Манна—Уитни. Три выборки по одному критерию сравнивались по непараметрическому ранговому тесту Краскела—Уоллиса. Мультивариантный тест PERMANOVA применялся для сравнения трех выборок по двум переменным, поскольку не все выборки продемонстрировали нормальное распределение. PERMANOVA является непараметрическим аналогом MANOVA, который определяет значимые различия между двумя и более группами на основе любой меры расстояния. Тест измеряет сумму квадратов внутри и между группами и использует F-тест для сравнения группы с межгрупповой дисперсией. Этот тест сравнивает результат F-теста с результатом случайных перестановок объектов между группами. В программе PAST учитывается среднее от 9999 перестановок (Anderson, 2001; Hammer et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Корректность полученных радиоуглеродных дат

Для двух остатков мамонта (экз. ЗМ ХГУ 6344, 6404) было получено по две ^{14}C даты в СОАН и NSKA. В обоих случаях были выявлены существенные расхождения в радиоуглеродном возрасте (табл. 1). Для экз. ЗМ ХГУ 6344 разница в возрасте составила 13935 лет. Разброс возраста для экз. ЗМ ХГУ 6404 не столь существенный, но также заметный и составляет 3710 лет. В обоих случаях даты, полученные в СОАН, оказались моложе в сравнении с датировками NSKA. В настоящее время мы не можем оценить, в которой

из лабораторий получен наиболее корректный результат. При этом данные, полученные в каждой лаборатории, неоднократно верифицировались и сравнивались как с данными других лабораторий, так и между собой.

Так, для верхней ископаемой почвы искитимского педокомплекса разреза Белово (Приобское лёссовое плато) в обеих лабораториях были получены ^{14}C даты — $23\,160 \pm 550$ л. н. (СОАН-2499) и $23\,114 \pm 793$ л. н. (NSKA-s821), показавшие одинаковый возраст (Сизикова и др., 2015). Датирование голоценового могильника Воденниково-1 в обеих лабораториях (лаборатория NSKA в этом исследовании отмечена как GV) показало вполне сопоставимые результаты для различного материала — древесины и кости (Матвеева и др., 2022). Проведение датирования 4 образцов ископаемой древесины из долины Актру в лаборатории СОАН и Института географии РАН (ИГАН) также показало достаточно близкий возраст (Назаров и др., 2016). Результаты радиоуглеродного датирования образцов ранненеолитических комплексов памятника Тартас-1 (Среднее Приморье) в лаборатории ИЯФ СО РАН практически полностью совпали с датами, полученными ранее в Центре археометрии им. К. Энгельхорна (Молодин и др., 2019). Таким образом, обе лаборатории (СОАН и NSKA) показывают сходные результаты. Поскольку подавляющее большинство датировок мамонтов в регионе были получены бензольно-сцинтилляционным методом, то для дальнейших хронологических построений для экз. ЗМ ХГУ 6344 и 6404 выбраны даты, сделанные в СОАН.

Распространение шерстистого мамонта в регионе

Для уточнения хронологии обитания шерстистого мамонта на территории Минусинской котловины нами было получено 14 датировок по 12 костям из девяти местонахождений (рис. 1А). Шесть дат были получены по остаткам мамонта из трех местонахождений Северо-Минусинской впадины, четыре даты — из местонахождений Саргов Улус, гора Кондаловская и Усть-Ерба в Сыдо-Ербинской впадине, и четыре — по остаткам из Изыхского карьера, р. Оя и р. Матур в Южно-Минусинской впадине. Таким образом, общее количество ^{14}C дат по остаткам *M. primigenius* (с учетом ранее опубликованных) Минусинской котловины составляет 25 дат по 21 образцу (табл. 1).

Полученная серия новых ^{14}C дат позволяет уточнить время обитания *M. primigenius* в Минусинской котловине (рис. 1В). Датировки, полученные по кости мамонта с р. Оя, фрагменту скелета мамонта с р. Матур, бивню из карьера Изых, а также данные предыдущих исследований по костям мамонта из окрестностей г. Минусинска (Кузьмин и др., 2001) подтверждают, что *M. primi-*

genius населяли всю территорию Минусинской котловины на протяжении второй половины позднего плейстоцена (рис. 1А). К каргинскому горизонту региональной стратиграфической схемы (соответствует морской изотопной стадии MIS 3) относятся три образца. Для образца с р. Оя получено две ^{14}C датировки, которые имеют существенные различия: $41\,440 \pm 358$ ^{14}C л. н. (NSKA-02215) и $27\,505 \pm 240$ ^{14}C л. н. (СОАН-9548). Пока нет возможности определить, какая из этих датировок более вероятная. Однако, несмотря на разницу в этих датах, в обоих случаях они соответствуют холодному интервалу внутри MIS 3: либо стадии GS-12 (NSKA-02215), либо стадии GS-5.2 (СОАН-9548) на NGRIP. Еще одна датировка, относящаяся к MIS 3, получена по ребру мамонта с р. Матур: $36\,608 \pm 1306$ ^{14}C л. н. (UBA-45634), что соответствует границе между GI-10 и GS-11. Последняя дата сделана по большой берцовой кости с пляжного местонахождения гора Кондаловская. Возраст кости составляет $30\,320 \pm 600$ ^{14}C л. н. (СОАН-9983), что соответствует калиброванному возрасту $34\,168\text{--}31\,797$ л. н. В этом временном интервале на кривой NGRIP зафиксировано два теплых события GI-5.2 и GI-6, но медианное значение калиброванного возраста $32\,882$ л. н. приходится на наиболее холодную часть события GS-6 (рис. 1В).

Все остальные даты относятся к MIS 2, при этом практически все (за исключением четырех) соответствуют LGM, причем от самого его начала (СОАН-9984) до финальной стадии (СОАН-9637). Все даты, относимые к периоду LGM, последовательно сменяют друг друга, не допуская существенных разрывов (рис. 1В); это позволяет предполагать постоянное присутствие вида *M. primigenius* в регионе. Еще две датировки по мамонтам с пляжного местонахождения Саргов Улус относятся к холодному этапу, соответствующему GS-2.1a на NGRIP. Самые молодые ^{14}C даты (СОАН-4953, $11\,980 \pm 155$ лет до н. в.; СОАН-4954, $12\,160 \pm 175$ лет до н. в.) получены по одной кости мамонта со стоянки Конжур в предгорьях Восточного Саяна (Акимов, 2010). Эти даты статистически неразличимы на уровне 95% доверительного интервала (статистическая близость была рассчитана с помощью критерия χ -квадрата в программе CALIB 8.1 (Stuiver et al., 2021)). Эти датировки соответствуют европейскому потеплению белинг в интервале от $14\,100$ до $14\,700$ лет до н. в. (Величко и др., 2017). Хотя не исключено, что данная особь проникла в регион в непродолжительный эпизод похолодания, соответствующий GI-1d кривой NGRIP ($13\,954\text{--}14\,075$ л. н. (Rasmussen et al., 2014)).

Несмотря на огромное количество памятников позднего палеолита в Минусинской котловине, обращает на себя внимание отсутствие в этом

регионе остатков мамонта на стоянках палеолитического человека моложе LGM. Единственным исключением является стоянка Кокорево 2, радиоуглеродный возраст которой по древесному углю из культурного горизонта — 13330 ± 110 ^{14}C л. н. Однако исследователи, изучавшие данный объект, считают, что данная датировка некорректна и возраст стоянки определяется в рамках 20000–21000 л. н. (Абрамова и др., 1991). Такая интерпретация была основана на находках орудий афонтовской культуры и на том основании, что на данном памятнике в большом количестве найдены остатки *M. primigenius*. Ранее считалось, что в Минусинской котловине мамонты вымерли не позже 15000 ^{14}C л. н. (18500 кал. л. н.), под влиянием охоты палеолитического человека (Ермолова, 1977). При этом согласно датировкам по мамонтам из местонахождения Саргов Улус (17900–16600 кал. л. н.) и со стоянки Конжул (14900–13500 кал. л. н.), представители этого вида продолжали встречаться в регионе и после LGM. Таким образом, новые данные по распространению мамонта в регионе допускают корректность ^{14}C даты для стоянки Кокорево 2.

Полученные данные указывают на присутствие *M. primigenius* в Минусинской котловине в финале плейстоцена, однако сколь долгим оно было — пока не ясно. Наибольшее количество датированных остатков мамонта относится к LGM, что, по всей видимости, указывает на наиболее подходящие условия для обитания вида в регионе. Небольшое количество остатков пост-LGM, возможно, свидетельствует о меньшей численности популяции или не столь частых миграциях из соседних регионов. Пока нет находок мамонта, которые можно с уверенностью отнести к теплomu временному интервалу. Возможно, в теплые интервалы позднего плейстоцена условия на юге Сибири были неблагоприятны для постоянного обитания вида *M. primigenius*. В то же время, применение байесовского моделирования показало несколько отличные результаты, которые приведены ниже.

Байесовское моделирование

Все имеющиеся даты мы включили в байесовскую модель в качестве единичной продолжительной фазы в рамках одной последовательности. В ходе создания модели все даты были откалиброваны с двумя доверительными интервалами (68.2 и 95.4%). На их основе была построена байесовская последовательность (рис. 2). Как мы видим, начало периода существования мамонта укладывается в промежутки: 1) от 41036 до 38798 л. н. (при доверительном интервале 68.2%), 2) от 42991 до 35841 л. н. (при доверительном интервале 95.4%). Все имеющиеся даты продемонстрировали высокие индивидуальные индексы

согласованности, что способствовало успешному созданию модели не было зафиксировано ни одного выброса. Как видно, наибольшей модификации подверглась дата из Шленки 18660 ± 2000 (ГИН-2862). Очевидно, это связано с большой погрешностью измерения, которая существенно выше, чем у большинства других образцов. Но, даже с учетом высокой погрешности измерения, данный экземпляр был корректно встроен в полученную модель. Конец исследуемого периода определяется периодами: 1) от 12013 до 10496 л. н. (68.2%), 2) от 12219 до 8107 л. н. (95.4%).

Таким образом, проведение байесовского моделирования показало практически непрерывный интервал обитания шерстистых мамонтов в Минусинской котловине на протяжении второй половины позднего плейстоцена. Причем применение данной методики не исключает сохранение популяции вида в регионе даже в начале раннего голоцена (около 10–8 т. л. н.). Такая интерпретация хотя и не может быть полностью исключена, но все фактические данные о распространении шерстистых мамонтов на Юге Сибири говорят об их более раннем вымирании, не позднее 12.5 т. л. н. (Кузьмин и др., 2001; Puzachenko et al., 2017 и др.). Немногочисленная информация из археологических объектов финала плейстоцена—начала голоцена в регионе (Акимова и др., 2017; Поляков и др., 2018) не дает свидетельств обитания вида в регионе в раннем голоцене. Поэтому присутствие мамонта в регионе после наиболее молодой (14.9–13.5 т. л. н.) находки со стоянки Конжул (Акимова, 2010) представляется маловероятным.

Анализ стабильных изотопов

Отличия мамонтов от других млекопитающих региона

Впервые для остатков шерстистых мамонтов Минусинской котловины были проведены измерения состава стабильных изотопов углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) костного коллагена. Для анализа было использовано семь датированных образцов, три из которых относятся к LGM и по два — к периоду пре-LGM и пост-LGM (табл. 1). Для сравнения были взяты собственные и опубликованные данные по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для других млекопитающих этого региона, в том числе для северных оленей (*Rangifer tarandus* L. 1758) LGM (Iacumin et al., 2000), сайги (*Saiga tatarica* L. 1766) LGM (Jürgensen et al., 2017) и шерстистого носорога (*Coelodonta antiquitatis* Blumenbach 1799) пре-LGM (Malikov et al., 2020; Malikov, Pyrayev, 2021; Rey-Iglesia et al., 2021) и LGM (Rey-Iglesia et al., 2021).

Полученные значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для всех четырех отмеченных видов животных показали существенные различия, позволяющие на данный

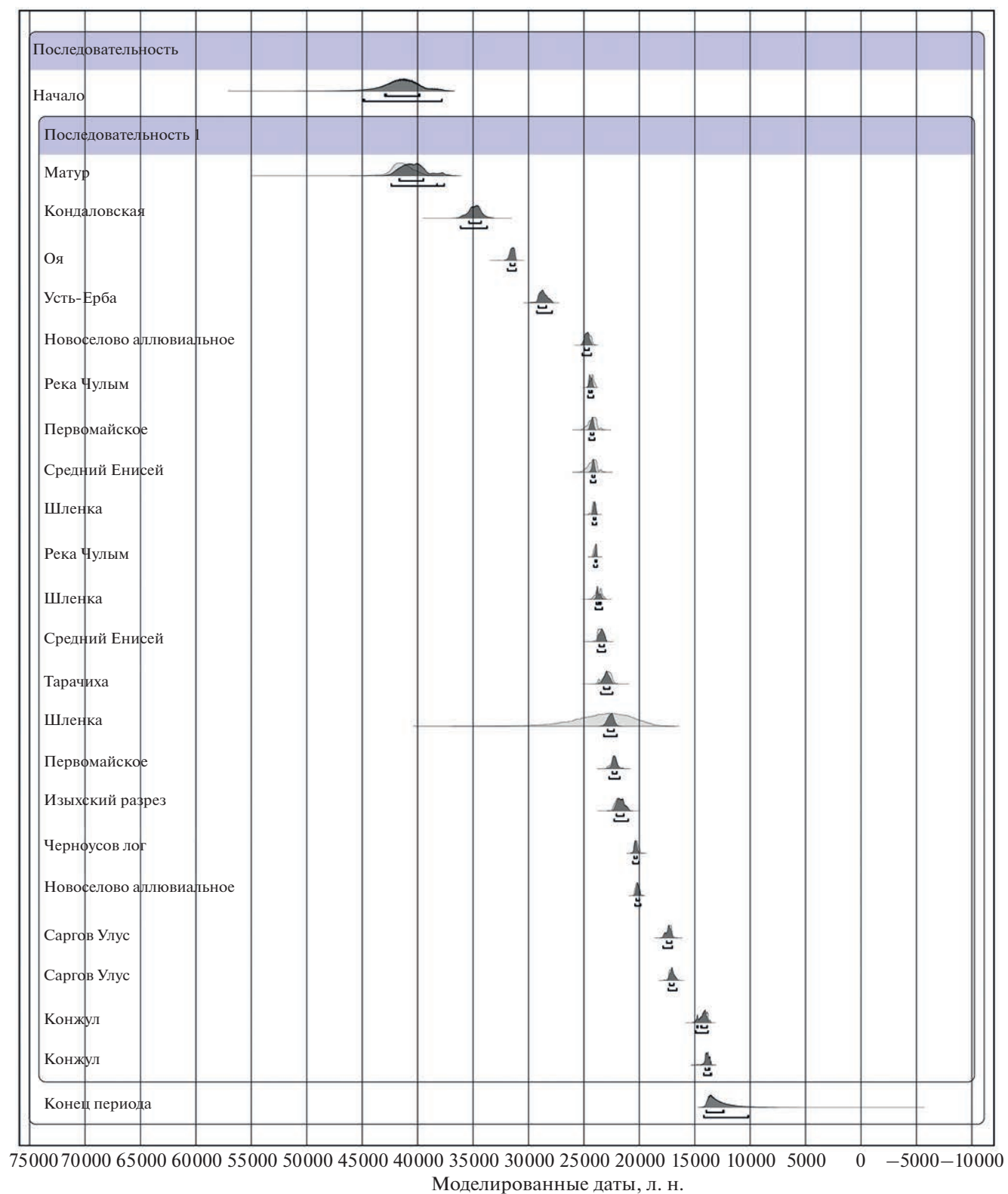


Рис. 2. Байесовская модель для определения хронологических границ обитания мамонтов в Минусинской котловине (создана в программе OxCal 4.4 с использованием калибровочной кривой IntCal20). Светло-серым цветом обозначены калиброванные не моделированные распределения возраста для каждого образца. Темно-серым цветом — моделированные возраста.

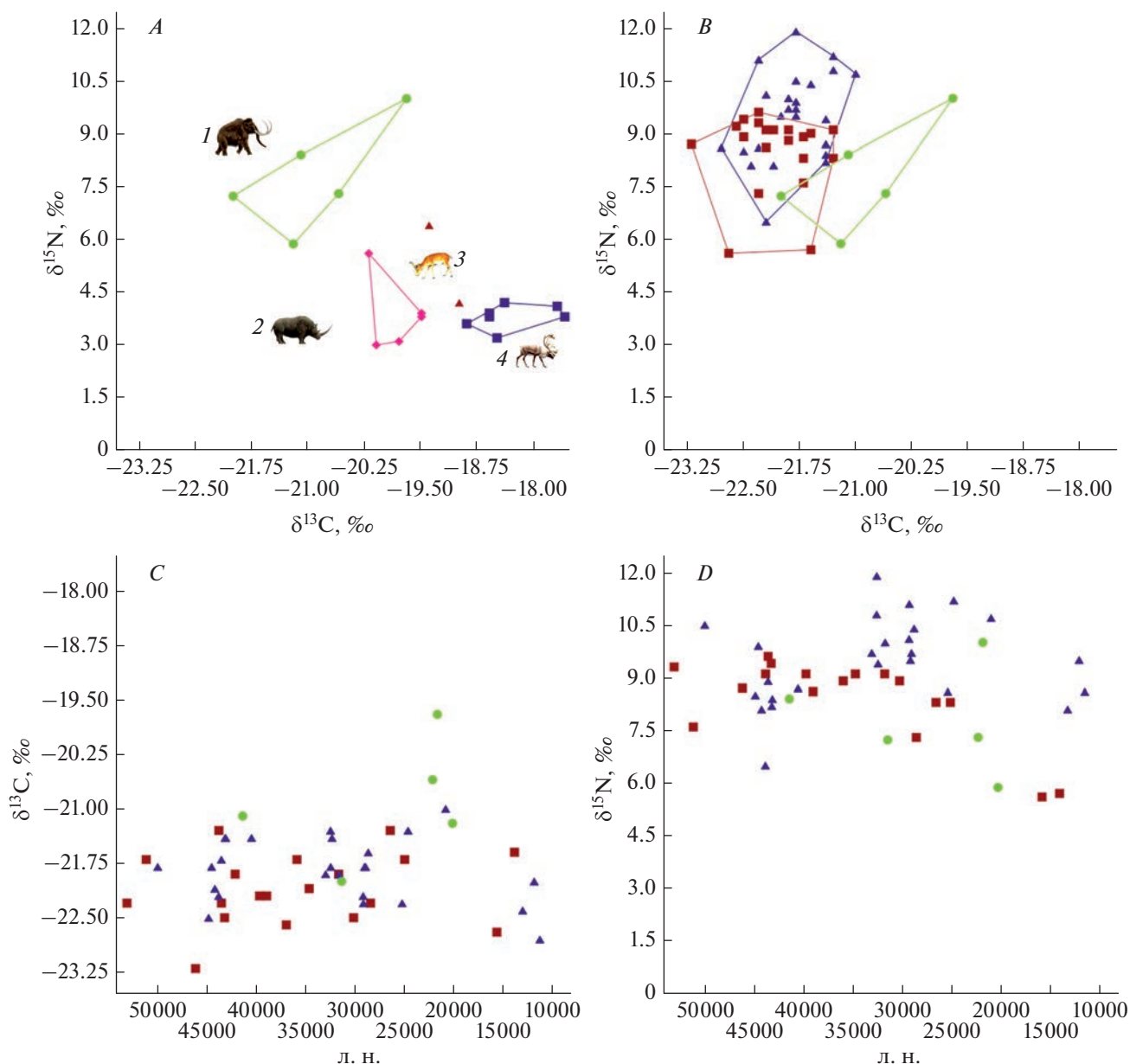


Рис. 3. Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) коллагена мамонтов и других животных мамонтовой фауны. Изотопные показатели некоторых видов ископаемых млекопитающих Минусинской котловины (A): 1 – *Mammuthus primigenius*, 2 – *Coelodonta antiquitatis* (Malikov et al., 2020; Rey-Iglesia et al., 2021), 3 – *Saiga tatarica* (Jürgensen et al., 2017), 4 – *Rangifer tarandus* (Iacumin et al., 2000). Показатели $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ *M. primigenius* различных регионов Сибири (B). Изменение показателей $\delta^{13}\text{C}$ (C) и $\delta^{15}\text{N}$ (D) *M. primigenius* во времени. Для рисунков B–D зеленым кружком отмечены образцы из Минусинской котловины, синим треугольником – с Таймыра, коричневым квадратом – из бассейна р. Лена (Kuitens et al., 2019; Rey-Iglesia et al., 2021).

момент однозначно дифференцировать их на основании изотопных данных (рис. 3A). Так, у костного коллагена шерстистых мамонтов Минусинской котловины самые высокие показатели $\delta^{15}\text{N}$ – от 5.9 до 10‰. При этом значения $\delta^{13}\text{C}$, напротив, самые низкие, от –19.7 до –21.6‰. Полную противоположность показателям мамонта представляют данные по северному оленю (Iacumin et al., 2000): от 3.2 до 4.2‰ для $\delta^{15}\text{N}$ и от –18.9 до –17.6‰

для $\delta^{13}\text{C}$. Сайга и шерстистый носорог имеют промежуточные значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ между шерстистым мамонтом и северным оленем.

Похожая картина, а именно крайние высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ и крайние низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ у мамонтов, по сравнению с другими травоядными видами (в т.ч. лошадьми, северными оленями, бычьими и носорогами, несмотря на существова-

ние этих животных в одних и тех же климатических условиях, а также факт того, что некоторые из них являются нежвачными животными), характерна и для других регионов “мамонтовой степи”, к примеру для памятников Моравии (Bocherens et al., 2015), юго-западной Франции (Bocherens et al., 2005), Якутии, Аляски и Бельгии (Bocherens, 2003), Восточной Берингии (Fox-Dobbs et al., 2008) и др. Таким образом, данное изотопное отличие мамонтов является не результатом местной специфики, а их видовой особенностью, что и было не раз отмечено исследователями (Szpak et al., 2010; Schwartz-Narbonne et al., 2015).

По современным представлениям, мамонты занимали определенную пищевую нишу среди других крупных травоядных “мамонтовой фауны”. Рацион мамонта включал преимущественно злаки и разнотравье, что подтверждается как анализом экскрементов мамонтов, так и изотопными данными, полученными при анализе костного коллагена (Kirillova et al., 2016; Schwartz-Narbonne et al., 2015; Puzachenko et al., 2017). Резкие изменения климата и ландшафтов в конце плейстоцена привели к изменению диеты мамонтов. Животные оказались вынуждены перейти с питания растениями засушливых биотопов, насыщенных минералами и питательными веществами, к растениям более влажных биотопов, имеющим меньшую питательную ценность. Изменения в рационе считаются одним из решающих факторов, вызвавших сокращение ареала и в итоге приведших к вымиранию мамонта (Kirillova et al., 2016; Puzachenko et al., 2017).

Сравнение мамонтов Минусинской котловины с мамонтами Севера Сибири

Проведено сравнение значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ мамонтов Минусинской котловины с аналогичными показателями у животных севера Восточной Сибири (п-ов Таймыр и долины р. Лена (Kuitens et al., 2019; Rey-Iglesia et al., 2021)). Для сравнения изотопного состава образцов мамонтов из трех регионов был применен непараметрический тест PERMANOVA ($F = 10.67$, $p = 0.0002$), который продемонстрировал существенную статистическую разницу между этими выборками. Апостериорный анализ (post-hoc) попарного сравнения выборок с поправкой Бонферрони показал, что все три группы существенно отличаются друг от друга.

Для определения характера этого различия нами было проведено еще несколько тестов. Распределение значений $\delta^{13}\text{C}$ на диаграмме размаха (рис. 4, значения 1–3) визуально демонстрирует сходство между выборками п-ова Таймыр и долины р. Лена, а также отличие этих выборок от вы-

борок мамонтов Минусинской котловины. Критерий Краскела–Уоллиса снова показал значительную разницу между всеми выборками по этой переменной ($H = 13.87$, $p = 0.0009$). Тем не менее, учитывая визуальное сходство значений выборок на диаграмме размаха, мы провели их попарное сравнение с помощью критерия Манна–Уитни. При этом были выявлены сходство выборок мамонтов с п-ова Таймыр и из долины р. Лена ($U = 187$, $p = 0.15$), а также значительное различие между выборками мамонтов Минусинской котловины, мамонтов п-ова Таймыр ($U = 18.5$, $p = 0.0017$) и мамонтов долины р. Лена ($U = 9$, $p = 0.0007$). Те же сравнения были проведены между выборками по показателям $\delta^{15}\text{N}$. На диаграмме размаха все три выборки выглядят различными. По критерию Краскела–Уоллиса все три выборки различны ($F = 11.5$, $p = 0.003$). При этом попарное сравнение по непараметрическому тесту Манна–Уитни показало значительную разницу между выборками п-ова Таймыр и долины р. Лена ($U = 147$, $p = 0.019$), между Минусинской котловиной и п-ова Таймыр ($U = 25$, $p = 0.004$), а также подобие выборок Минусинской котловины и долины р. Лена ($U = 36.5$, $p = 0.07$).

Таким образом, Минусинская котловина отличается от выборок п-ова Таймыр и долины р. Лена по переменной $\delta^{13}\text{C}$, в то время как последние выборки подобны одна другой. По $\delta^{15}\text{N}$ мамонты Минусинской котловины подобны мамонтам долины р. Лена, но отличаются от мамонтов п-ова Таймыр.

Как показало статистическое и визуальное сравнение, наиболее значительны различия в изотопных значениях углерода, в меньшей степени эти различия наблюдаются для азота (рис. 3В–3Д). При этом, если крайние значения диапазонов вариаций во всех трех выборках перекрываются, то медианные значения и межквартильный размах значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ мамонтов Минусинской котловины не перекрываются с таковыми у особей севера Восточной Сибири (рис. 4, 1–3). Высокое перекрытие значений $\delta^{15}\text{N}$, вероятно, обусловлено большей зависимостью непосредственно от климатических колебаний, в первую очередь увлажнения (Iacumin et al., 2006). Признавая существенное перекрытие в значениях $\delta^{15}\text{N}$ указанных выборок мамонтов, мы все же предполагаем, что на уровне тенденции для *M. primigenius* Минусинской котловины характерны более низкие значения $\delta^{15}\text{N}$, чем для животных севера Восточной Сибири. Возможно, достоверность этих различий удастся показать в дальнейшем.

Только у одного образца (мамонт с р. Оя) значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ полностью совпадают с зоной вариации этих показателей у северных популяций. При этом наибольшие с северными популяциями отличия наблюдаются у особей (Новосе-

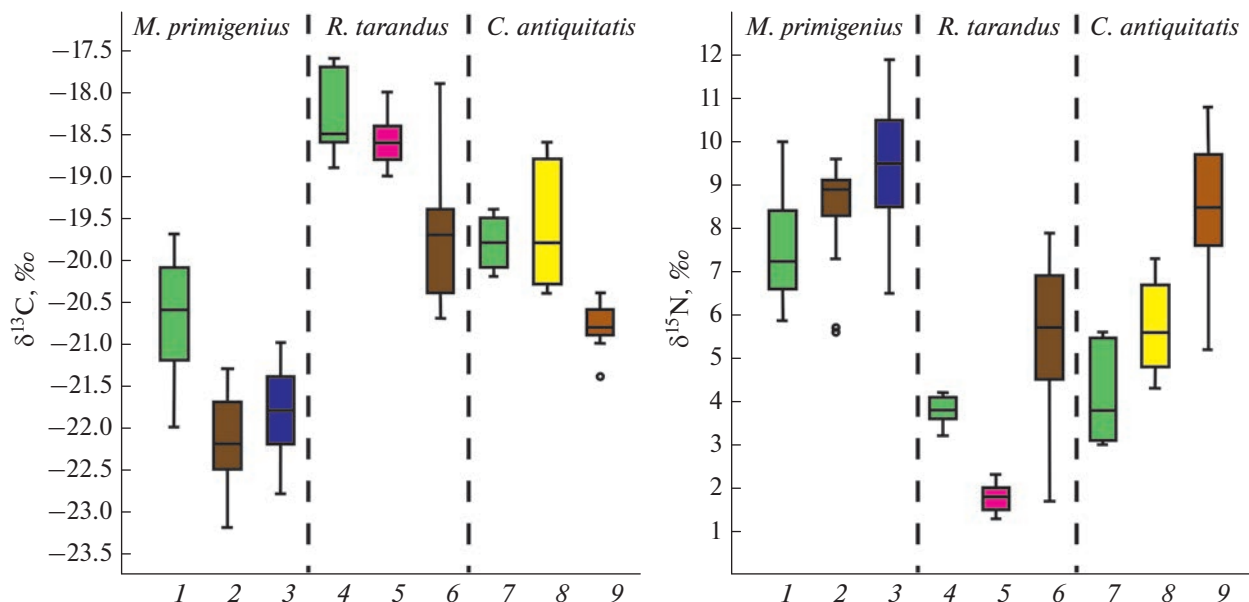


Рис. 4. Диаграммы размаха значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ коллагена мамонтов, северных оленей и шерстистых носорогов различных регионов. Минусинская котловина (1, 4, 7): 1 – *M. primigenius* (эта статья); *R. tarandus* (Iacumin et al., 2000); *C. antiquitatis* (Malikov et al., 2020; Rey-Iglesia et al., 2021). Север Восточной Сибири (р. Лена – 2, р. Малый Анюй – 6, 9): *M. primigenius* (Kuitens et al., 2019; Rey-Iglesia et al., 2021); *R. tarandus* и *C. antiquitatis* (Kirillova et al., 2015). Полуостров Таймыр (3): *M. primigenius* (Kuitens et al., 2019; Rey-Iglesia et al., 2021). Рыбинская впадина (5): *R. tarandus* (Iacumin et al., 2000). Забайкалье (8): *C. antiquitatis* (Rey-Iglesia et al., 2021).

лово, Первомайское и Изых), живших в LGM. Это позволяет предполагать, что либо условия жизни (совокупность климатических и геохимических факторов среды), либо рацион мамонтов Минусинской котловины были иными, чем у северных популяций этого вида.

Известно, что ниши питания и среды обитания для любого вида были относительно стабильны для всей территории мамонтовой степи (Schwartz-Narbonne et al., 2015, 2019, и др.). Однако между некоторыми регионами и временными интервалами изотопные ниши видов менялись, что предполагает адаптацию животных к местным климатическим условиям и/или изменения в структуре изотопов в основе пищевой сети.

В целом, существуют пространственные вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ растений в зависимости от местных климатических и экологических условий, таких как температура и влажность. Наблюдаемые изотопные временные паттерны могут возникать по ряду различных причин, некоторые из которых могут быть одновременными (Iacumin et al., 2006): 1) сезонные и годовые изменения значений $\delta^{13}\text{C}$ растений; 2) сезонная смена типа растительности: в основном травы летом и больше мхов, лишайников и низкорослых кустарников зимой; 3) сезонные и годовые изменения значений $\delta^{15}\text{N}$ растений; 4) физиологическое воздействие, непосредственно связанное с наличием воды в экстремальных условиях окружающей среды (например,

в очень засушливых условиях). Известно, что у млекопитающих, испытывающих водный стресс, наблюдаются повышенные значения $\delta^{15}\text{N}$, за счет реутилизации мочевины при синтезе аминокислот, а также при потреблении растений, обогащенных $\delta^{15}\text{N}$ (обобщено в Hartman, 2011).

Более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ могут указывать на увеличение количества атмосферных осадков, развитие лесного покрова и потребление растений, подверженных “эффекту полога” (Kohn, 2010; van der Merwe, Medina, 1991; Hofman-Kamińska et al., 2018). Например, современная мезофильная растительность имеет среднее значение $\delta^{13}\text{C}$ –29.1‰, тогда как для растений сухих местообитаний это значение в среднем составляет около –26.9‰ (Wooller et al., 2007); поэтому травоядные, питающиеся последними, имеют более высокие соотношения $\delta^{13}\text{C}$. Таким образом, у животных, обитающих в засушливых условиях, наблюдается одновременное увеличение $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$. Соответственно, животные, питающиеся влажными кормами или лесной растительностью, имеют более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$.

Для мамонтов Минусинской котловины повышенные значения $\delta^{13}\text{C}$ связаны с понижением $\delta^{15}\text{N}$, в сравнении с аналогичными показателями у мамонтов северных регионов. Согласно данным ряда исследований, доля лишайников в рационе животных была высока и возможно этим можно

объяснить наблюдаемые изменения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ (Drucker et al., 2012; Hobbie, Högborg, 2012; Bocherens et al., 2015; Schwartz-Narbonne et al., 2019). В этих исследованиях показано, что грибы, перерабатывающие органический азот, могут вносить вклад в местную изотопную систему азота. Азот, выделяемый в почву после такой обработки, обеднен ^{15}N . Хотя, невозможно предположить, что основу рациона *M. primigenius* составляли только лишайниковые корма, особенно с учетом того, что схожие отклонения в изотопном составе отмечены и для других видов млекопитающих региона (рис. 4) (Malikov, Pyrayev, 2021). По-видимому, наблюдаемые особенности связаны с достаточно сложными процессами и не могут быть объяснены только климатическими особенностями произрастания растений и составом сопутствующих кормов животных. Данный аспект требует дальнейшего детального изучения на более представительном материале.

Возможно, различия в изотопном составе мамонтов Минусинской котловины и мамонтов северных территорий связаны не столько с рационом животных, сколько с иным изотопным фоном региона, обусловленным местной средой. Отличия в изотопном составе северных оленей, шерстистых носорогов и овцебыка, обитавших в Минусинской котловине, от популяций тех же видов из других областей уже отмечалось авторами (Malikov et al., 2020; Malikov, Pyrayev, 2021). Причем для южных районов Сибири (Минусинская котловина, Красноярская котловина, Забайкалье) наблюдаются высокое сходство показателей $\delta^{13}\text{C}$ и большая вариация в значениях $\delta^{15}\text{N}$ (рис. 4). Безусловно, имеющихся данных по изотопному составу углерода и азота костного коллагена мамонтов Южной Сибири пока недостаточно для однозначных выводов. Нельзя полностью исключать случайный характер отмеченных различий. В то же время, намечается общая тенденция снижения значений $\delta^{15}\text{N}$ с одновременным повышением $\delta^{13}\text{C}$ у представителей различных видов млекопитающих, проживавших на этой территории. Для уточнения данного предположения необходимо увеличение объема выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение радиоуглеродного датирования остатков шерстистых мамонтов Минусинской котловины позволило не только вдвое увеличить количество ^{14}C дат для вида в целом, но и уточнить особенности распространения вида на юге Сибири в позднем плейстоцене. Данные ^{14}C указывают на то, что на юге Сибири мамонты были наиболее многочисленны в холодные периоды, а наибольшей численности вид достиг в LGM. В настоящее время для Минусинской котловины

нет свидетельств, указывающих на обитание мамонта в данном регионе в теплые интервалы позднего плейстоцена. Возможно, в теплые интервалы позднего плейстоцена условия на юге Сибири были менее благоприятны для постоянного обитания вида *M. primigenius*.

Сравнение состава стабильных изотопов углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) мамонтов Минусинской котловины с аналогичными показателями у животных севера Восточной Сибири показало их различия. Для мамонтов изучаемого региона (по сравнению с северными популяциями) наблюдаются более высокие значения углерода при одновременном снижении значений азота. Более значительные различия наблюдаются в изотопных значениях углерода, в меньшей степени — для азота. Одна из возможных причин такого явления — отличия в рационе животных Минусинской котловины от рациона мамонтов других регионов. В то же время, сравнение значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ мамонтов с аналогичными показателями других видов млекопитающих региона показали, что фауны регионов схожи по трофической структуре. Все это позволяет предполагать, что отличия в изотопном составе углерода и азота мамонтов Минусинской котловины от мамонтов северных территорий могут быть связаны не с типом питания, а с несколько иным изотопным фоном региона, обусловленным местной средой.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны сотрудникам Зоологического музея Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова и Хакасского национального краеведческого музея им. Л.Р. Кызласова за возможность работы с материалами. За передачу материалов из местонахождения Саргов Улус благодарим Е.А. Миклашевич (ИА РАН). Авторы выражают благодарность рецензенту и редакции, за проработку статьи и замечания, которые позволили улучшить работу.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-77-00029, <https://rscf.ru/project/21-77-00029/>. Сбор материала осуществлялся в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (122041400243-9; 122041400171-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова З.А., Астахов С.Н., Васильев С.А., Ермолова Н.М., Лисицын Н.Ф., 1991. Палеолит Енисея. Л.: Наука. 158 с.
- Акимов Е.В., 2010. Финальный палеолит залива Малатат Красноярского водохранилища (Дербинский Археологический район) // Вестник НГУ. Серия: История, филология. Т. 9. Вып. 5. С. 75–85.

- Акимов Е.В., Стасюк И.В., Харевич В.М., Горельченко О.А., Конохов В.А., Кукса Е.Н., Чащина Н.А., Чебыкин А.А., 2017. Памятники позднего плейстоцена–раннего голоцена Южно-Минусинской котловины // Междисциплинарные исследования в археологии, этнографии и истории Сибири: материалы Международной научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения ученого и общественного деятеля Николая Константиновича Ауэрбаха (1892–1930). Отв. ред. Вдовин А.С., Макаров Н.П. Красноярск. С. 112–118.
- Арсланов Х.А., Громова Л.И., 1970. Увеличение надежности определения возраста ископаемых костей радиоуглеродным методом // Труды Всесоюз. совещ. по проблемам “Астрофизические явления и радиоуглерод”. Тбилиси. С. 67–74.
- Величко А.А., Фаустова М.А., Писарева В.В., Карпухина Н.В., 2017. История Скандинавского ледникового покрова и окружающих ландшафтов в валдайскую ледниковую эпоху и начале голоцена // Лед и Снег. № 57(3). С. 391–416.
- Ермолова Н.М., 1977. Охота и природа Южной Сибири в каменном веке // Палеоэкология древнего человека: К X конгрессу ИНКВА (Великобритания, 1977 г.). Отв. ред. Иванова И.К., Парслов Н.Д. М.: Наука. С. 197–201.
- Кузьмин Я.В., Орлова Л.А., Зольников И.Д., Игольников Е.А., 2001. Динамика популяции мамонта (*Mammuthus primigenius* Blum.) в Северной Азии в позднем плейстоцене и голоцене (по радиоуглеродным данным) // Мамонт и его окружение: 200 лет изучения. Отв. ред. Розанов А.Ю. М.: ГЕОС. С. 124–138.
- Лисицын Н.Ф., 1997. Относительная и абсолютная хронология позднего палеолита Средней Сибири. СПб.: ИИМК РАН. 120 с.
- Матвеева Н.П., Третьяков Е.А., Зеленков А.С., Овчинников И.Ю., 2022. Могильник Воденниково-1 и проблема начального этапа мадьярского этногенеза // XXII Уральское археологическое совещание: материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 300-летию первых археологических раскопок в Сибири и 85-летию со дня рождения Тамилы Михайловны Потемкиной (Курган, 21–25 ноября 2022 г.). Отв. ред. Маслюженко Д. Н. Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. С. 271–274.
- Молодин В.И., Ненахов Д.А., Мыльникова Л.Н., Райнхольд С., Пархомчук Е.В. и др., 2019. Радиоуглеродное датирование комплекса эпохи раннего неолита памятника Тартас-1 (Среднее Приомье) с использованием установки “Ускоритель масс-спектрометр ИЯФ СО РАН” // Археология, этнография и антропология Евразии. Т. 47(1). С. 15–22.
- Назаров А.Н., Мыглан В.С., Орлова Л.А., Овчинников И.Ю., 2016. Активность ледника Малый Актру (Центральный Алтай) и изменения границы леса в бассейне Актру за исторический период // Лед и Снег. № 56(1). С. 103–118.
- Поляков А.В., Амзараков П.Б., Васильев С.А., Рыжов Ю.В., Корнева Т.В. и др., 2018. Стоянка финального палеолита Ирба-2 в предгорьях Саян (предварительные итоги исследований) // Stratum plus. № 1. С. 383–401.
- Свеженцев Ю.С., Лисицын Н.Ф., Васильев С.А., 1992. Радиоуглеродная хронология енисейского палеолита // Хроностратиграфия палеолита Северной, Центральной, Восточной Азии и Америки. Отв. ред. Деревянко А. П. Новосибирск: ИАЭТ СО РАН. С. 57–67.
- Сизикова А.О., Зыкина В.С., Овчинников И.Ю., Панов В.С., 2015. Комплексное изучение горизонтов лессов верхнего плейстоцена разреза Белово // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. № 4. С. 17–30.
- Сулержицкий Л.Д., 1987. Надежность ^{14}C дат по костям млекопитающих // Методы изотопной геологии // Тезисы докладов Всесоюзной школы-семинара. М. С. 291–293.
- Сулержицкий Л.Д., 1997. Черты радиоуглеродной хронологии мамонтов Сибири и севера Восточной Европы (как субстрата для расселения человека) // Человек заселяет планету Земля. Отв. ред. Величко А.А., Соффер О.А. М.: Институт географии РАН. С. 184–202.
- Anderson M.J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral Ecology. V. 26. P. 32–46.
- Bocherens H., 2003. Isotopic biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe fauna // Mammoth research. Proceedings of the Second International Mammoth Conference, Rotterdam, May 16–20 1999. Reumer J.W.F., De Vos J., Mol D. (Ed.) DEINSEA 9. P. 57–76.
- Bocherens H., Drucker D.G., Billiou D., Patou-Mathis M., Vandermeersch B., 2005. Isotopic evidence for diet and subsistence pattern of the Saint-Cesaire I Neanderthal: review and use of a multi-source mixing model // Journal of Human Evolution. V. 49. P. 71–87.
- Bocherens H., Drucker D.G., Germonpré M., Lázníková-Galetová M., Naito Y.I. et al., 2015. Reconstruction of the Gravettian food-web at Předmostí I using multi-isotopic tracking (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) of bone collagen // Quaternary International. V. 359–360. P. 211–228.
- Bronk Ramsey C., 1995. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal program // Radiocarbon. V. 36. P. 425–430.
- Bronk Ramsey C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. V. 51(1). P. 337–360.
- Drucker D.G., Hobson K.A., Münzel S.C., Pike-Tay A., 2012. Intra-individual variation in stable carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) isotopes in mandibles of modern caribou of Qamanirjuaq (*Rangifer tarandus groenlandicus*) and Banks Island (*Rangifer tarandus pearyi*): Implications for tracing seasonal and temporal changes in diet // International Journal of Osteoarchaeology. V. 22 (4). P. 494–504.
- Fox-Dobbs K., Leonard J.A., Koch P.L., 2008. Pleistocene megafauna from eastern Beringia: paleoecological and paleoenvironmental interpretations of stable carbon and nitrogen isotope and radiocarbon records // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. V. 261. P. 30–46.
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. V. 4 (1). 9 p.

- Hartman G., 2011. Are elevated $\delta^{15}\text{N}$ values in herbivores in hot and arid environments caused by diet or animal physiology? // *Functional Ecology*. V. 25. P. 122–131.
- Higham T., Douka K., Wood R., Ramsey C.B., Brock F., et al., 2014. The timing and spatiotemporal patterning of Neanderthal disappearance // *Nature*. V. 512. P. 306–309.
- Hobbie E.A., Höglberg P., 2012. Nitrogen isotopes link mycorrhizal fungi and plants to nitrogen dynamics // *New Phytologist*. V. 196(2). P. 367–382.
- Hofman-Kamińska E., Bocherens H., Borowik T., Drucker D.G., Kowalczyk R., 2018. Stable isotope signatures of large herbivore foraging habitats across Europe // *PLoS One*. V. 13(1): e0190723.
- Iacumin P., Nikolaev V., Ramigni M., 2000. C and N stable isotope measurements on Eurasian fossil mammals, 40000 to 10000 years BP: Herbivore physiologies and palaeoenvironmental reconstruction // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. V. 163. P. 33–47.
- Iacumin P., Davanzo S., Nikolaev V.I., 2006. 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 palaeoclimatic implications // *Chemical Geology*. V. 231. P. 16–25.
- Jürgensen J., Drucker D.G., Stuart A.J., Schneider M., Buu-veibaatar B., Bocherens H., 2017. Diet and habitat of the saiga antelope during the late Quaternary using stable carbon and nitrogen isotope ratios // *Quaternary Science Reviews*. V. 160. P. 150–161.
- Kirillova I.V., Tiunov A.V., Levchenko V.A., Chernova O.F., Yudin V.G. et al., 2015. On the discovery of a cave lion from the Malyi Anyui River (Chukotka, Russia). *Quaternary Science Reviews*. V. 117. P. 135–151.
- Kirillova I.V., Argant J., Lapteva E.G., Korona O.M., van der Plicht J. et al., 2016. The diet and environment of mammoths in North-East Russia reconstructed from the contents of their feces // *Quaternary International*. V. 406. P. 147–161.
- Kohn M.J., 2010. Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate // *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*. V. 107(46). P. 19691–19695.
- Kuitema M., van Kolfschoten T., Tikhonov A.N., van der Plicht J., 2019. Woolly mammoth $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values remained amazingly stable throughout the last ~50,000 years in north-eastern Siberia // *Quaternary International*. V. 500. P. 120–127.
- Lister A.M., Stuart A.J., 2008. The impact of climate change on large mammal distribution and extinction: Evidence from the last glacial/interglacial transition // *C. R. Geoscience*. V. 340. P. 615–620.
- Malikov D.G., Shpansky A.V., Svyatko S.V., 2020. New data on distribution of musk ox *Ovibos moschatus* in the Late Neopleistocene in the south-east of Western Siberia and the Minusinsk Depression // *Russian Journal of Theriology*. V. 19. № 2. P. 183–192.
- Malikov D., Pyrayev A., 2021. The paleoecology of large mammals of Minusinsk depression in Late Pleistocene by stable isotopes data // *Proceedings of INQUA SEQS 2021 Conference*, Wrocław, Poland. Ratajczak-Skrzatek U., Kovalchuk O., Stefaniak K. (Ed.). University of Wrocław & Polish Geological Society. P. 58–59.
- Parkhomchuk V.V., Rastigeev S.A., 2011. Accelerator mass spectrometer of the center for collective use of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences // *Journal of Surface Investigation*. V. 5 (6). P. 1068–1072.
- Puzachenko A.Yu., Markova A.K., Kosintsev P.A., van Kolfschoten T., van der Plicht J. et al., 2017. The Eurasian mammoth distribution during the second half of the Late Pleistocene and the Holocene: Regional aspects // *Quaternary International*. V. 445. P. 71–88.
- Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P., Blunier T., Bucharadt S.L. et al., 2014. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy // *Quaternary Science Reviews*. V. 106. P. 14–28.
- Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., et al., 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP // *Radiocarbon*. V. 51(4). P. 1111–1150.
- Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P. et al., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. V. 62. P. 725–757.
- Rey-Iglesia A., Lister A.M., Stuart A.J., Bocherens H., Szpak P. et al., 2021. Late Pleistocene paleoecology and phylogeography of woolly rhinoceroses // *Quaternary Science Reviews*. V. 263. P. 106993.
- Schwartz-Narbonne R., Longstaffe F.J., Metcalfe J.Z., Zazula G., 2015. Solving the woolly mammoth conundrum: amino acid ^{15}N -enrichment suggests a distinct forage or habitat // *Scientific Reports*. V. 5. 9791.
- Schwartz-Narbonne R., Longstaffe F.J., Kardynal K.J., Druckenmiller P., Hobson K.A. et al., 2019. Reframing the mammoth steppe: insights from analysis of isotopic niches // *Quaternary Science Reviews*. V. 215. P. 1–21.
- Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W., 2021. CALIB 8.2 [WWW program] at <http://calib.org>, accessed 2021-9-16
- Szpak P., Gröcke D.R., Debruyne R., MacPhee R.D.E., Guthrie R.D. et al., 2010. Regional differences in bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of Pleistocene mammoths: Implications for paleoecology of the mammoth steppe // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. V. 286. P. 88–96.
- Van der Merwe N.J., Medina E., 1991. The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia // *Journal of Archaeological Science*. V. 18. P. 249–259.
- Wooller M., Zazula G., Edwards M., Froese D.G., Boone R.D., et al., 2007. Stable carbon isotope compositions of eastern Beringian grasses and sedges: investigating their potential as paleoenvironmental indicators // *Arctic Antarctic and Alpine Research*. V. 39. P. 318–331.

NEW DATA ON THE DISTRIBUTION AND ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF WOOLLY MAMMOTH REMAINS, *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* (PROBOSCIDEA, ELEPHANTIDAE), IN THE LATE PLEISTOCENE OF THE MINUSINSK DEPRESSION (SOUTH SIBERIA)

D. G. Malikov^{1, *}, S. V. Svyatko^{2, **}, A. N. Pyrayev^{1, ***}, K. A. Kolobova^{3, ****},
I. Yu. Ovchinnikov^{1, *****}, E. L. Malikova^{1, *****}

¹Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia

^{2, 14}CHRONO Centre for Climate, the Environment & Chronology, School of Natural and Built Environment, Queen's University of Belfast, Belfast BT7 1NN, Northern Ireland, UK

³Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia

*e-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru

**e-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

***e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru

****e-mail: kolobovak@yandex.ru

*****e-mail: ivovchinnikov@igm.nsc.ru

*****e-mail: malikovael@igm.nsc.ru

Radiocarbon dating of woolly mammoth remains from the Minusinsk Depression allows for the patterns of its distribution in southern Siberia in the Late Pleistocene to be specified. In the south of Siberia, mammoths are shown to have been most abundant in cold periods, the species having reached its maximum abundance in LGM. So far, there is no single mammoth record that would confidently refer to the warm time interval. During the warm intervals of the Late Pleistocene, the environment in southern Siberia could possibly have not favorable for the permanent habitation of the species *Mammuthus primigenius*. In general, the mammoths from the Minusinsk Depression retain species-specific features of the content of carbon and nitrogen stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in bone collagen compared to other large herbivores. They show the highest $\delta^{15}\text{N}$ values with the lowest $\delta^{13}\text{C}$, vs reindeer that, on the contrary, demonstrate the lowest $\delta^{15}\text{N}$ values and a high $\delta^{13}\text{C}$. The isotopic signal of other herbivorous mammal species lies between the values of mammoths and reindeer. A comparison of the obtained data on carbon and nitrogen stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of the woolly mammoth remains from the Minusinsk Depression with similar parameters in animals from the north of eastern Siberia reveals significant differences. One of the possible reasons may lie in differences in the diet of animals of the Minusinsk Depression from mammoths of other populations. However, similar trends, i.e. a relatively lower $\delta^{15}\text{N}$ and higher $\delta^{13}\text{C}$ content in the Late Pleistocene, are characteristic of both reindeer and woolly rhinoceroses of the Minusinsk Depression. This suggests that the differences in the carbon and nitrogen isotope composition in the Minusinsk Depression mammoths from those from the northern territories are due not only to the type of food, but also to a slightly different isotopic background of the region, associated with the local environment.

Keywords: woolly mammoth, Southern Siberia, radiocarbon dating, stable isotopes, Late Pleistocene