На правах рукописи

Хубанова Анна Михайловна

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ – ГОЛОЦЕНЕ ПО ИЗОТОПНОМУ ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$) СОСТАВУ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН «ИЗК СО РАН»), г. Иркутск

Научный руководитель: **Демонтерова Елена Ивановна**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеогеодинамики, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

Официальные оппоненты: **Тесаков Алексей Сергеевич,** доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией стратиграфии четвертичного периода, Геологический институт РАН, г. Москва

Голубцов Виктор Александрович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, г. Москва

Защита состоится 11 ноября 2025 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.053.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ФГБУН «ИГХ СО РАН»)

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а
e-mail: dmitrieva@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, адрес сайта: http://www.igc.irk.ru/ru/zashchita

Автореферат разослан « » _____ 2025 г.

И. о. ученого секретаря
диссертационного совета, д.г.-м.н. Гребенщикова В.И. Гребенщикова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Выявление стадий похолодания/потепления и аридизации/увлажнения в позднем кайнозое для территорий с резкоконтинентальными условиями требует проведения комплексных исследований, поскольку традиционные палеогеографические (лито-биостратиграфические) и палеонтологические (зооархеологические) подходы имеют ряд ограничений. В первую очередь это связано с дефицитом опорных разрезов с высокой биостратиграфической детальностью и временным разрешением, а также с низкой чувствительностью видового состава тафоценозов к относительно краткосрочным (сотни и первые тысячи лет) изменениям окружающей среды в позднем кайнозое. Следует отметить, что в последнее время значительный вклад в расшифровку внутриконтинентальной климатической летописи внесли палинологические исследования осадочных разрезов крупных водоемов (например, озера Байкал и Хубсугул) и болотно-озерных отложений Приангарья. Однако для территории Западного Забайкалья подобные работы остаются довольно редкими и локальными.

Одним из подходов для расширения информативности и содержательности палеонтологического и лито-биостратиграфического материала, является привлечение изотопно-биогеохимического метода изучения современных и ископаемых костных, зубных и роговых тканей животных и человека. Исследование изотопного состава растительноядных животных позволяет реконструировать условия питания, доступность воды, степень истощенности пастбищ, соотношение в рационе растений с различными типами фотосинтеза (C3 и C4), ландшафтные обстановки их выпаса (сухая степь, степь, лесостепь-лес). Совокупный анализ видового разнообразия и изотопного состава разновозрастных тафоценозов, а также их сравнение с современными биоценозами даст основание для оценки разнообразия и соотношения экосистем природной среды Западного Забайкалья в прошлом и динамики их изменений (например, расширение ареалов открытых ландшафтов при аридизации, наступление лесов при увлажнении климата).

В этом контексте идентификация особенностей диеты современных травоядных животных, обитавших в различных ландшафтных условиях, по их изотопному составу представляется важной задачей. Комплексное изучение морфологии, видового состава фаунистического и антропогенного материала из различных разновозрастных разрезов, а также сопоставление их изотопного состава с современной фауной позволит на качественно более высоком уровне достоверности охарактеризовать условия окружающей среды в прошлом. Такой актуалистический подход предполагает возможность количественной оценки

динамики изменчивости или стабильности природной среды Западного Забайкалья на протяжении позднего кайнозоя, в том числе рассмотреть полученные данные в контексте стратегии адаптации и жизнедеятельности человека к ней.

Объекты исследования: Объектами исследования являются осадочные разрезы палеолитических комплексов Хотык и Каменка, могильники Ильмовая падь, Гуджир Мыгэ, Енхор, Баргай, Нур-Тухум и поселение Нижний Мангиртуй (Западное Забайкалье).

Цель исследований: Реконструкция условий обитания фауны и человека Западного Забайкалья в позднем плейстоцене и позднем голоцене на основе районирования современных экосистем с помощью стабильных изотопов углерода и азота.

Задачи: 1) Разработать методы пробоподготовки и измерения изотопного состава углерода и азота в костном и зубном материалах; 2) Отобрать современный костный и зубной материал; 3) Охарактеризовать палеонтологический, зооархеологический и антропологический материал с помощью морфометрического метода для изучения его видового состава; 4) Определить изотопно-биогеохимические ($^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$) характеристики в современных травоядных животных, имеющих выпас в различных ландшафтных обстановках Монголии и Западного Забайкалья; 5) Определить C-N изотопный состав в костных и зубных остатках из разновозрастных тафоценозов Западного Забайкалья; 6) Провести реконструкцию экосистем Западного Забайкалья в прошлом на основе сопоставления изотопных характеристик палеонтологического, зооархеологического и антропологического материала с изотопным составом животных современных ландшафтных зон.

Личный вклад и фактический материал. Исследования были начаты в Геологическом институте им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ), Институте физики Земли им О.Ю. Шмидта РАН (г. Москва) и завершены в Институте земной коры СО РАН (г. Иркутск). Основой работы послужили образцы палеонтологического, зооархеологического и антропологического материала, отобранного и описанного автором в ходе полевых работ 2015-2020 гг. Исследуемый материал из позднеплейстоценовых и позднеголоценовых разрезов Западного Забайкалья получен автором при полевых исследованиях и дополнен из коллекций ИМБТ СО РАН и Музея БНЦ СО РАН. Автором выполнены идентификация и морфометрическое описание костных остатков, а также последующие изотопные исследования. В данной работе изотопный состав углерода и азота получен автором в 164 образцах костных и зубных тканей современной (85 образцов) и ископаемой фауны (70 образцов), а также

антропологического материала (9 образцов). Автором разработана и реализована методика выделения и очистки коллагена из образцов костных и зубных тканей Западного Забайкалья для изотопного анализа углерода и азота. Определения отношений стабильных изотопов проводились на элементном анализаторе Flash EA 1112 («Thermo Finnigan», Германия) в линии с изотопными масс-спектрометрами Thermo Finnigan MAT 253 (аналитик Посохов В.Ф., ЦКП «Геоспектр» Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ) [Канакин и др., 2022] и Delta V Advantage (аналитик Смолева И.В., ЦКП «Геонаука», Институт геологии им. Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

Научная новизна.

1. Впервые показаны изотопно-геохимические различия между растительноядными животными, обитающими в условиях пустынных-полупустынных, степных, лесостепных-лесных экосистем Монголии и Западного Забайкалья.
2. Впервые проведена дифференциация ландшафтов по изотопному составу углерода травоядных животных, проживающих на территории Монголии и Западного Забайкалья.
3. Выявлено, что изотопный состав азота у животных исследуемого региона в значительной степени контролируется дефицитом или доступностью водных и пищевых ресурсов и в меньшей степени зависит от ландшафтных условий обитания.
4. Результаты морфометрического анализа и изотопного состава (углерода и азота) костных остатков показали, что Забайкальские позднеплейстоценовые шерстистые носороги обитали в условиях степи вблизи пресноводных водоемов.
5. Определены условия питания и особенности жизнедеятельности древних кочевников раннего железного века (первое тысячелетие до нашей эры) Западного Забайкалья. Доказан смешанный рацион питания древних кочевников, состоящий из мясомолочных продуктов, рыбы, проса, возможно, пшеницы и ячменя.
6. Уточнены представления о хозяйственной деятельности древних кочевников, которая, помимо скотоводства, также включала элементы сельского хозяйства и рыболовства.

Практическая значимость. Полученные результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования климатических и экологических изменений в среднесрочной и долгосрочной перспективе для Монголо-Забайкальского региона, и Центральной Азии в целом. Кроме того, полученные в работе данные имеют важное значение для исследования условий обитания

древнего человека, стратегий его адаптации к изменениям окружающей среды, а также для изучения возникновения ранних антропогенных ландшафтов. Материалы данного исследования могут быть использованы в образовательном процессе при чтении лекций по дисциплинам наук о Земле и Жизни.

Защищаемые положения:

1. Изотопный состав углерода растительноядных животных отражает тип потребляемой ими растительности, что позволяет выявить изотопно-геохимические различия между пустынными, полупустынными, степными, лесостепными и лесными экосистемами Монголии и Забайкалья. Изотопный состав азота у животных контролируется дефицитом или доступностью водных и пищевых ресурсов и в меньшей степени зависит от ландшафтной обстановки изучаемого региона.

2. Изотопный состав углерода шерстистых носорогов (*Coelodonta antiquitatis*) из палеолитических комплексов Хотык и Каменка свидетельствует о рационе, основанном на степной растительности. Морфометрический анализ костей и облегченный изотопный состав азота указывает на отсутствие водного и пищевого стресса, а также на близость к пресноводным водоемам.

3. Изотопный состав углерода и азота в антропологическом материале представителей хунну свидетельствует о смешанном рационе питания древних кочевников, состоящем из животной продукции, рыбы и зерновых, что указывает на развитое скотоводство, земледелие и рыболовство.

Апробация работы. По теме диссертации подготовлено и опубликовано 27 печатных работ, из них 8 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК, Scopus и WoS, 19 тезисов конференции. Основные положения диссертации ежегодно докладывались на различных российских и международных конференциях начиная с 2015 года. Например, автор участвовал в: Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике (ГИН СО РАН, Улан-Удэ, 2015; 2017; 2019); международной научной конференции молодых ученых «Актуальная археология 3. Новые интерпретации археологических данных (ИИМК РАН, Санкт-Петербург, 2016); всероссийской школе-конференции молодых ученых с международным участием «Биогенные архивы ландшафтных изменений прошлого» (ИПА СО РАН, Новосибирск, 2016); the 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (IGM SB RAS, IPPG SB RAS, Novosibirsk, 2016); V всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию Геологического института СО РАН «Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии» (ГИН СО РАН, Улан-Удэ, 2018); IX международной научной конференции «Древние культуры Монголии, Байкальской Сибири и Северного Китая (ИМБТ СО РАН, Улан-Удэ, 2018); международной научно-практической

конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН А.Н. Антипова «Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования» (ИГ СО РАН, Иркутск, 2019); IV международном конгрессе археологии евразийских степей «Кочевые империи Евразии в свете археологических и междисциплинарных исследований» (ИМБТ СО РАН, Улан-Удэ, 2019); всероссийской конференции с международным участием «Динамика и взаимодействие геосфер земли» (ТГУ, Томск, 2021); всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона (ИГХ СО РАН, Иркутск, 2022); международной конференции «Поющие стрелы Маодуня: хунну от неизвестности до империи» (ИИМК РАН, Санкт-Петербург, 2023); в XVIII Геологическом съезде Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России» (ФИЦ КОМИ НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2024); всероссийском семинаре «Стабильные изотопы в археологических исследованиях: методические проблемы и историческая проблематика» (ИА РАН, Москва, 2025), заседании стратиграфического коллоквиума (ГИН РАН, Москва, 2025).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Общий объем 214 страниц, включая 37 рисунков и 24 таблицы. Список литературы насчитывает 308 наименований.

Благодарности. Работа выполнена под научным руководством к.г-м.н. Е.И. Демонтеровой. Автор искренне благодарит ее за помощь в проведении исследований, участие и содействие в постановке цели и задач, совместный поиск путей решения, получение, интерпретацию и апробацию результатов. Неоценимую помощь и советы оказали сотрудники лаборатории инструментальных методов анализа ГИН СО РАН: к.г.-м.н. С.В. Канакин, В.Ф. Посохов, Е.Д. Утина, Н.А. Арефьева, В.Л. Посохова; а также лаборатории трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН: д.г.-м.н., профессор РАН Р.В. Веселовский и к.г.-м.н. Т.Э. Багдасарян. Особую признательность автор выражает коллегам археологам и музейным хранителям из ИМБТ СО РАН и БНЦ СО РАН, предоставивших палеонтологические, зооархеологические и антропологические материалы: директору Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, академику РАН, д.и.н. профессору Н.Н. Крадину, научному сотруднику и руководителю лаборатории археологии, этнологии и антропологии ИМБТ СО РАН Б.А. Базарову, научному сотруднику лаборатории археологии, этнологии и антропологии ИМБТ СО РАН, к.и.н. Д.А. Миягашеву и кандидату культурологии, доценту, хранителю фондов Музея Федерального

государственного учреждения науки «Бурятский научный центр СО РАН» А.Е. Мурзинцевой. Автор искренне признателен коллегам, чья помощь способствовала выполнению этой работы, а также своему коллеге и мужу В.Б. Хубанову за помощь и поддержку. Работа выполнена по государственному заданию и в рамках работ по гранту РНФ № 23-28-01348.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Применение стабильных изотопов углерода и азота в биогеохимии

Стабильные изотопы углерода ($^{13}C/^{12}C$) и азота ($^{15}N/^{14}N$) широко применяются в экологии, археологии, палеонтологии и геохимии для изучения трофических цепей, реконструкции палеодиет, климатических условий и эволюции экосистем. Накопление биогеохимических данных, в том числе изотопных, для различных экосистем прошлого и настоящего времени важно для понимания и прогнозирования климатических и экологических сдвигов в среднесрочной и долгосрочной перспективе, в том числе в рамках проблемы аридизации и опустынивания территорий Внутренней Азии.

Интерпретация изотопных отношений $^{13}C/^{12}C$ и $^{15}N/^{14}N$ опирается на разность абсолютных значений этих отношений. Изотопное фракционирование отражает биохимические и геохимические процессы, так как легкие изотопы (^{12}C, ^{14}N) более реакционноспособны, чем тяжелые (^{13}C, ^{15}N). Для характеристики содержания изотопов используется величина δ (дельта) – относительная разность изотопных отношений образца и эталона. Значение относительной разности изотопных отношений принято выражать в промилле (‰).

Соотношение изотопов углерода у животных зависит от потребляемых ими растений. Растения делятся на три основные группы по типу фотосинтеза: С3-растения, С4-растения и САМ-растения. С3-растения – это растения умеренных и холодных природных зон и для них характерно среднее значение $\delta^{13}C$ ~ -27‰. Для С4-растений, которые преимущественно произрастают в жарком и засушливом климате $\delta^{13}C$ составляет около -13‰. Растения с САМ типом фотосинтеза (Crassulacean acid metabolism - кислотный метаболизм толстянковых) – суккуленты, значения $\delta^{13}C$ которых находятся между значениями у растений с фотосинтезом С3- и С4-типа [Smith, Epstein,1971; DeNiro, Epstein, 1978; Bocherens, 2003]. Кроме того, относительно легкий изотопный состав углерода наблюдается у лесной растительности, а относительно тяжелый изотопный состав обусловлен уменьшением эффекта фракционирования изотопов в случае произрастания на открытых пространствах, например, в степи.

На соотношение стабильных изотопов азота у животных влияют различные физиологические (голод, обезвоживание, лактация) и экологические (засуха, засоление почвы, унавоживание) факторы, в ходе которых изотопные значения $\delta^{15}N$ обогащаются или обедняются. Например, при недостатке пищи и воды в тканях травоядных наблюдается обогащение тяжелым изотопом азота; при благоприятных условиях, наоборот, количество тяжелого изотопа азота снижается [Bocherens, 2003; Bocherens, Drucker, 2003; Святко, 2016]. Кроме того, из-за эффектов фракционирования значения $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ в коллагене костей травоядных отличаются увеличением на 4-5‰ и 3-6‰ соответственно от изотопного состава их пищи. При переходе по пищевой цепи $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ значения увеличиваются с каждым трофическим уровнем на 0.5-2.0‰ и на 3-6‰, соответственно [DeNiro, Epstein, 1981; Minagawa, Wada, 1984; Schoeninger, 1985; Wada et al., 1991; O'Connell et al., 2012].

В науках о Земле применяется принцип актуализма, согласно которому современные геологические процессы и обстановки, в том числе экосистемы, используются как аналоги прошлых условий. Поэтому для палеоэкологических реконструкций с использованием стабильных изотопов необходимы данные о соотношении изотопов углерода и азота у современных животных, населяющих различные ландшафтные зоны с характерной кормовой базой. Однако, в научной литературе по современным животным Центральной Азии, включая Байкальский регион, наблюдается дефицит таких изотопных исследований. Большая часть предыдущих работ сосредоточена в основном на определенном виде или трофической группе для анализа их рациона [например, Katzenberg et al., 2010; Weber et al., 2016; Waters-Rist et al., 2011; Weber, Goriunova, 2013; Losey et al., 2016; Waters-Rist et al., 2016; Weber et al., 2021; Буянтуева и др., 2012; Дамбаев и др., 2016; Хубанова и др., 2017; Кузнецов и др., 2019; Kradin et al., 2021; Khubanova et al., 2023]. Интенсификация изотопных исследований позволит повысить достоверность выводов основанных на палеоэкологических данных.

Глава 2. Методика исследований

При исследованиях был применен комплекс современных и традиционных методов, включающий морфологическое изучение костных и зубных тканей, а также изотопный анализ углерода и азота коллагена, выделенных из костных и зубных (дентина) тканей.

Морфологическое описание современных и ископаемых костных остатков выполнено автором и базировалось на сравнительно-анатомическом и морфометрическом (биометрическом) методах согласно справочникам-определителям и рекомендациям В.И. Громовой [Громова, 1949; 1950; 1953;

1960; 1962], Н.В. Гарутт [Гарутт, 1998], Р. Кальке и Ф. Лакомбат [Kahlke, Lacombat, 2008], А.В. Шпанского и Г.Г. Боескорова [Шпанский, Боескоров, 2018], К. Герена [Guerin, 1980], фон ден Дриш [von den Driesh, 1976]. Для анатомического сравнения и диагностики ископаемых костных и зубных тканей использовались коллекции ГАУК РБ «Кяхтинского краеведческого музея им. акад. В. А. Обручева», ГАУК РБ "Национального музея Республики Бурятия, Геологического музея ПГО "Бурятгеология", Музея БНЦ СО РАН Республики Бурятия.

Навески отбираемого зубного и костного материала для изотопного анализа углерода и азота варьировали от 0,5 до 4 граммов. Пробоподготовка включала в себя: деминерализацию в 0.5 М растворе HCl в течение 3-5 дней, до размягчения костной ткани и прекращения реакции на карбонаты; очищение коллагена от липидов и гуминовых кислот посредством выдерживания в 0.125 М растворе NaOH в течение 20 часов; разделение полученного коллоидного раствора на тяжелую и легкую фракции с помощью центробежного ускорения; осушение легкой фракции (очищенный коллаген) при температуре 70°C до получения твердого остатка [Longin, 1971; Арсланов, 1987; Николаев, Рысков, Якумин, 2006].

Изотопный анализ проб очищенного коллагена проводился на элементном анализаторе Flash EA 1112 («Thermo Finnigan», Германия) в линии с изотопными масс-спектрометрами Thermo Finnigan MAT 253 (аналитик Посохов В.Ф., ЦКП «Геоспектр» Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ) [Канакин и др., 2022] и Delta V Advantage (аналитик Смолева И.В., ЦКП «Геонаука», Институт геологии им. Н.П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

Для статистического сравнения изотопных составов костных и зубных тканей травоядных животных из различных современных экосистем были использованы средние (медианные) значения, рассчитанные с помощью метода байесовской загрузочной платформы (Bayesian bootstrap) [Rubin, 1981]. Проверка статических выводов проведена с помощью непараметрического метода сравнения Mann-Whitney U test [Mann, Whitney, 1947]. Следует отметить, что применительно к изотопным характеристикам ископаемого материала эти статистические подходы не были использованы из-за ограниченного количества данных, а также из-за того, что изначально не было достоверных данных об ландшафтно-климатических условиях обитания того или иного животного в прошлом.

Глава 3. Современное ландшафтное и изотопно-геохимическое районирование Монголии и Западного Забайкалья

В Монголии и Забайкалье существует большое разнообразие внутриконтинентальных ландшафтных сред (экологических систем) [Атлас Забайкалья, 1967; Экологический атлас бассейна…, 2015; Atlas of ecosystems…, 2019, Эколого-географический атлас …, 2019]. С юга на север они образуют ландшафтно-климатические зоны и пояса от пустыни и сухих степей через степи и луга к лесостепи, тайге и высокогорной тундре (см. приложение, рис. 1). Их различие обусловлено разницей среднегодовых и сезонных температур, количеством и равномерностью годового распределения осадков. В этих ландшафтных зонах видовой состав растительности, в том числе кормовой, существенно различается. В теплых и засушливых открытых ландшафтах (пустыни и сухие степи) широко представлены растения С4 наряду с растениями С3, сильно обогащенными тяжелым углеродом. В степях, лесостепях и лесах преобладают растения С3. Однако в лесостепях и лесах трава растет под пологом древесной и кустарниковой растительности, поэтому имеет несколько более легкий изотопный состав углерода [Bocherens, 2003; Святко, 2016]. Соотношение изотопов углерода у растительноядных современных животных хорошо отражают ландшафтные условия их обитания. Максимальные значения отношений изотопов углерода наблюдаются у животных из пустынных (пустыня Гоби) и полупустынных ландшафтов, где среднее $\delta^{13}C$ составляет -17.9‰. Минимальные значения $\delta^{13}C$ получены у травоядных из лесостепных и лесных ландшафтов (Забайкалье), среднее $\delta^{13}C$ составляет -23‰. Фауна степей (среднее $\delta^{13}C$ равно -21.7‰) занимает промежуточные значение по изотопному составу углерода (рис. 2) [Khubanova et al., 2023].

Изотопный состав азота (от 4 до 11‰) свидетельствует о том, что большая часть костных образцов современных представителей крупного и мелкого рогатого скота паслась в сухостепных условиях, возможно, на пастбищах с бедным растительным покровом и высокой степенью унавоженности [Горлова и др., 2015; Святко, 2016; O'Connell et al., 2012; Murphy et al., 2013]. Такие условия характерны для стойбищных поселений. Другая часть костных и зубных остатков домашних животных, в том числе лошадей, отличались менее тяжелым азотным составом, что говорит о более благоприятных условиях их питания (отсутствие водного и пищевого стресса и наличие в их рационе кустарниковой растительности. Это подтверждает, что изотопный состав азота в костном и зубном (дентин) коллагене животных в первую очередь определяется доступностью воды и пищи и в меньшей степени зависит от ландшафтных условий (рис. 2) [Khubanova et al., 2023].

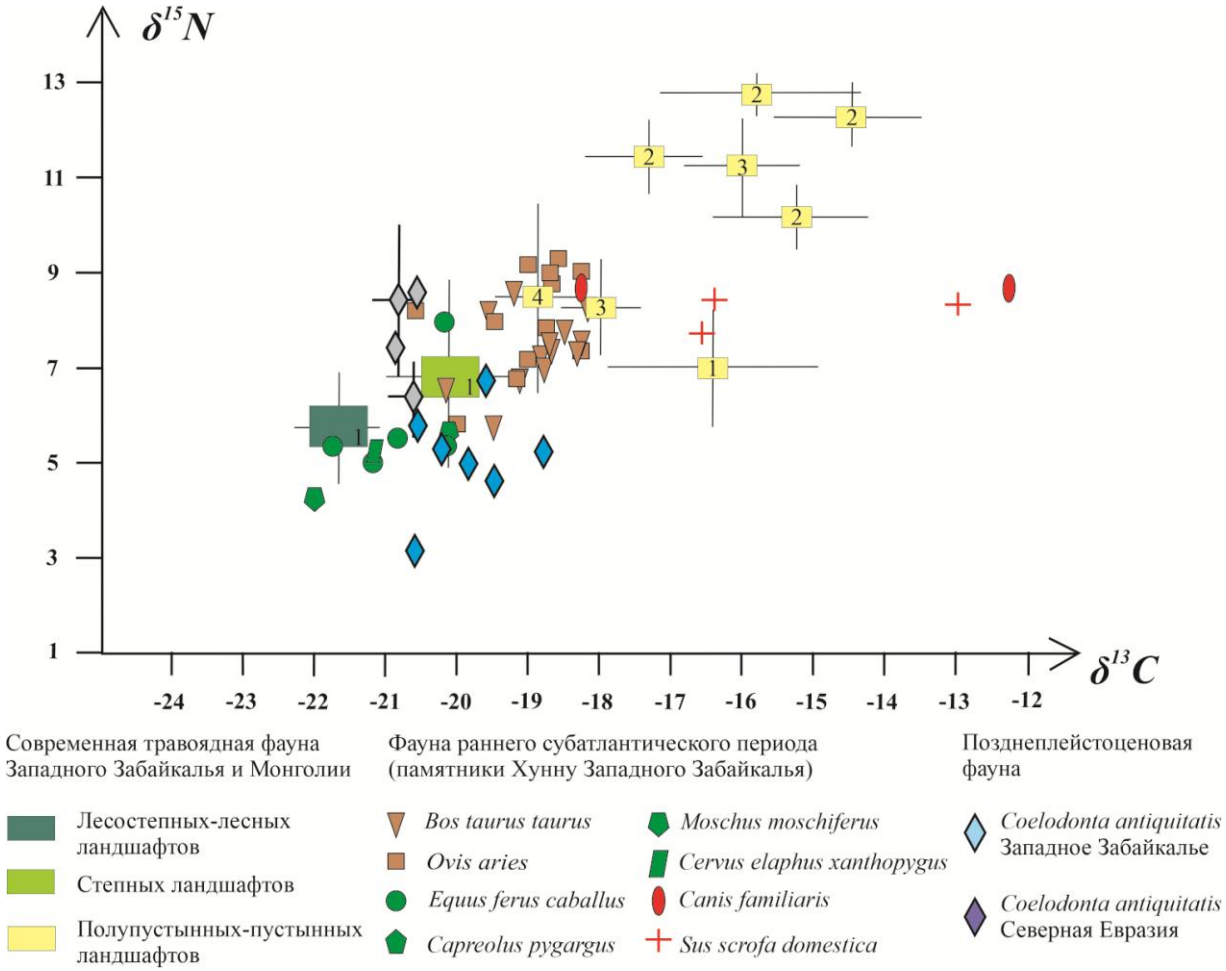


Рисунок 2. Изотопный состав костного и зубного материала животных из археологических памятников хунну Западного Забайкалья (II в до н.э. – I в н. э.)
Современная травоядная фауна: 1 – Khubanova et al., 2023; 2 – Davie et al., 2014; 3 – Makarewicz, Tuross, 2006; 4 – Ananyevskaya et al., 2020. Изотопный состав *Coelodonta antiquitatis* из местонахождений Западного Забайкалья – данные автора; значения изотопного состава *Coelodonta antiquitatis* из Северной Евразии [Bocherens et al., 1996; Bocherens et al., 1997; Kirillova et al., 2015].

Глава 4. Позднеплейстоценовый шерстистый носорог Западного Забайкалья: морфология, изотопная характеристика и условия обитания

Сравнительный анализ черепного материала шерстистых носорогов Западного Забайкалья показал, что по морфологическому строению они соответствуют носорогам вида *Coelodonta antiquitatis*, который имел широкое распространение в Северной Евразии и по совокупности морфологических данных относится к степной экоморфологической группе [Borsuk Bialynicka,1973; Ермолова, 1978; Алексеева, 1980; Калмыков,1990; Кузьмина, Кузьмина, 1995; Лазарев, 1998; Kahlke, Lacombat, 2008; Гарутт,1998; Гарутт, Боескаров, 2001]. О том, что в Западном Забайкалье обитали относительно крупные шерстистые носороги, говорят данные о размерах черепов и посткраниального скелета (рис. 3). Средние значения общей длины черепа

забайкальских животных составляет около 831 мм, при средних значениях ширины в области наибольшего выступания скул около 351 мм. Близкие значения имели шерстистые носороги из Приангарья (общая длина черепа – 806 мм, ширина в области наибольшего выступания скул – 330 мм) [Ермолова, 1978]. Носороги из других регионов характеризуются средним параметром общей длины черепа около 791 мм, а ширины в области наибольшего выступания скул – 342 мм. Средние пястные кости (MC, III) шерстистых носорогов немного крупнее (общая длина от 215 мм до 192 мм, ширина верхнего эпифиза от 76 мм до 65 мм), чем у носорогов других регионов Евразии: для Юга-Востока Западной Сибири длина данной кости составляет от 183 до193 мм, ширина верхнего эпифиза от 60 до 70 мм [Алексеева, 1980], для Среднего Урала – общая длина от 163 до 182 мм, ширина верхнего эпифиза – от 60 до 71 мм [Кузьмина, Кузьмина, 1995]. Также относительно крупными являются и другие кости посткраниального скелета, такие как локтевая, бедренная, плечевая. Подобная укрупненность костей вероятно обусловлена благоприятными условиями питания и обитания носорогов [Кузьмина, Кузьмина, 1995]. Автором настоящего исследования условия питания и выпаса *Coelodonta antiquitatis* изучались на примере костных остатков из позднеплейстоценовых местонахождений Хотык и Каменка (р. Уда, Западное Забайкалье) (см. приложение, рис. 1). Литологическое описание осадочных комплексов представлено в работах [Лбова, 2000; Лбова и др., 2003]. На основании видового состава фауны, в том числе из местонахождений Хотык и Каменка, состоящей из дзеренов, лошадей, шерстистых носорогов, лошадей, аргали и др., в позднем плейстоцене Западного Забайкалья предполагается доминирование открытых степных ландшафтов [Оводов, 1987; Алексеева, 2005; Калмыков, 1999; Клементьев, 2005]. Спорово-пыльцевой состав отложений изученных разрезов, в которых были найдены костные остатки шерстистых носорогов в Западном Забайкалье, а также спорово-пыльцевые спектры из пищевых остатков Колымского, Чурапчинского и носорога, найденного на р. Халбуй, представлены пыльцой луговой и степной растительностью, с преобладанием злаковых и полыни [Nowak et al., 1930; Гарутт и др., 1970; Савинова, 1999; Лбова и др., 2005; Boeskorov et al., 2011; Боескоров, 2012. Ташак, 2017; van Geel et al., 2019].

Настоящие исследования показали, что изотопный состав углерода забайкальских шерстистых носорогов немного утяжелен (от -20.6 до -18.8‰), чем у носорогов других регионов Евразии (-24.6‰ до -20.0‰). Вероятно, это обусловлено тем, что они обитали в разных ландшафтных условиях: первые – в степных, близких современной степи Забайкалья, последние – тундростепи, с более холодными условиями. Изотопный состав азота забайкальских носорогов

от (от 3.1 до 6.8‰) отличен в сторону облегчения, и указывает на то, что они предпочитали обитать в низинной части долин Забайкалья, где было достаточно водных и кормовых ресурсов, и они не испытывали дефицита пищи и воды (рис. 2) [Bocherens et al., 1997; Bocherens, 2003; Tiunov and Kirillova, 2010; Kirillova et al., 2015].

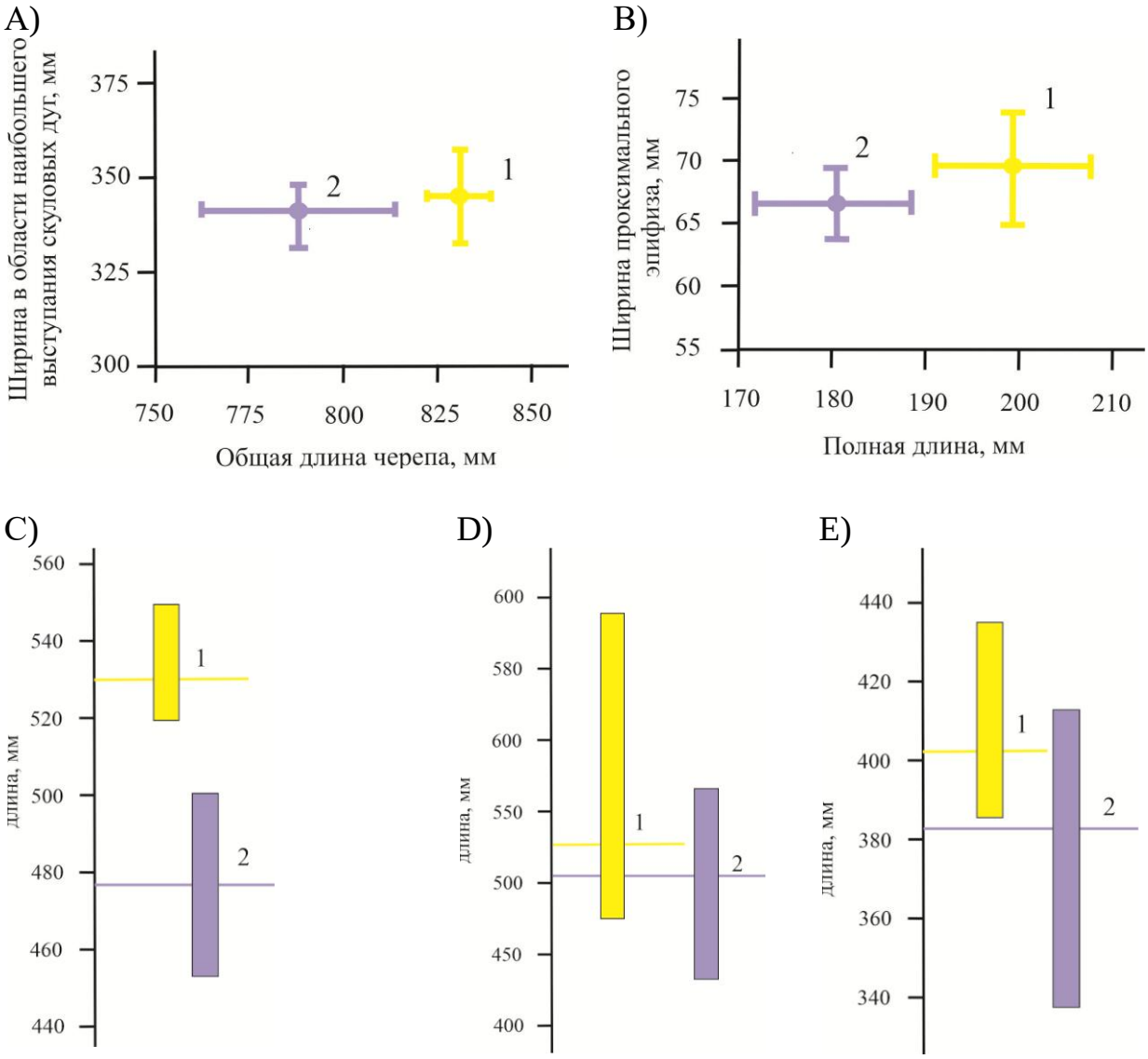


Рисунок 3.

A) – размеры черепа *Coelodonta antiquitatis*: 1 – Западное Забайклье; 2 – Евразия [Ермолова, 1978; Borsuk Bialynicka,1973; Кузьмина, Кузьмина, 1995; Kahlke, Lacombat, 2008]. B) – размеры третьей пястной кости *Coelodonta antiquitatis*: 1 – Западное Забайкалье; 2 – Евразия [Алексеева,1980; Лазарев, 1998; Калмыков, 1990; Кузьмина, Кузьмина, 1995]. C) – размеры локтевой кости *Coelodonta antiquitatis*: 1 – Западное Забайкалье; 2 – Евразия [Ермолова, 1978; Калмыков, 1990; Лазарев, 1998]. D) – размеры бедренной кости *Coelodonta antiquitatis*: 1 – Западное Забайкалье; 2 – Евразия [Ермолова, 1978; Кузьмина, Кузьмина, 1995; Лазарев, 1998]. E) – размеры большеберцовой кости *Coelodonta antiquitatis*: 1 – Западное Забайкалье; 2 – Евразия [Ермолова, 1978; Кузьмина, Кузьмина, 1995; Лазарев, 1998]. Планки обозначают максимальные и минимальные значения размеров, а линией обозначено их среднее значение.

Глава 5. Реконструкция природной среды Западного Забайкалья в раннем железном веке

На рубеже первого тысячелетия до н.э. во Внутренней Азии племенами хунну была образована первая кочевая империя. В пределах Селенгинского среднегорья Западного Забайкалья широко распространены археологические памятники хунну (см. приложение, рис. 1) с возрастом между 552 г. до н.э. и 420 г. н.э. (2696 – 1530 л. н. от 1950 г.), что по климатостратиграфической шкале соответствует раннему этапу субатлантического периода голоцена [Roberts, 1998].

На основании комплекса историко-письменных, археологических, зооархеологических и изотопных данных стратегия ведения хозяйства, в том числе животноводства, у хуннов Западного Забайкалья заключалась в следующем [Kradin et al., 2021; Khubanova et al., 2025; Хубанова и др., 2025]: 1) хуннское общество по своей структуре было сложное, в частности, в нем обособляется кочевое и оседлое население; 2) представители оседлого населения, жители стационарных поселений, занимались растениеводством, свиноводством, охотой и рыболовством. Согласно полученным изотопным данным, можно предположить, что домашним свиньям скармливались продукты растениеводства и остатки с человеческого стола (рис. 2 и 4). Например, костные остатки особи собаки и двух свиней из поселения Нижний Мангиртуй имеют утяжеленный состав углерода ($\delta^{13}C$ от -16.5 до -12.3‰) отличающийся от изотопного состава всех остальных домашних животных. Изотопный состав азота ($\delta^{15}N$ 7.6 – 8.8‰) свиней и собаки остается на уровне характеристик травоядного рогатого скота. Это позволяет предположить, что в рационе этих животных существенное значение имела растительная пища, особенно растения С4-типа, например, просо. Несколько иные характеристики получены для собаки из могильного комплекса Гуджир Мыгэ. Ее значение $\delta^{13}C$ в среднем на 1.5 – 2‰ и $\delta^{15}N$ примерно на 4.5‰ отличны от изотопных характеристик лошадей, косуль и оленя. Такие отличия возможны, если основу ее диеты составляло мясо лесостепных и лесных животных. Возможно, собака питалась и обитала длительное время вблизи леса и/или использовалась для охоты (рис. 2). Значения $\delta^{13}C$ от -13.4 до -15.8‰ определены для костных останков хунну из Забайкалья, что указывает на смешанный рацион питания, состоявший преимущественно из животного белка и в меньшей степени из проса (рис. 4). Изотопная характеристика углерода у хунну немного смещена в сторону от среднего изотопного состава людей с мясомолочной диетой (с $\delta^{13}C$ от -20 до -17‰) и от вегетарианцев (с $\delta^{13}C$ от -5.5 до -6‰), питавшихся просом (рисунок 4). Вероятно, хунну также в небольшом количестве употребляли пшеницу и ячмень. Полученные значения $\delta^{15}N$ 11.7–13‰ не противоречат диете

хунну, состоящей из мяса, молочных продуктов, проса и рыбы. Лошади из поселения Нижний Мангиртуй и могильника Ильмовая падь характеризуются относительно облегченным изотопным составом углерода ($\delta^{13}C$ -21.8 – -20.1‰), что свидетельствует об уменьшении в их диете степных травянистых растений и увеличением доли лесной, возможно, кустарниковой, растительности. Изотопный состав костных остатков лошадей близок составу остатков косуль и оленя ($\delta^{13}C$ -22 – -20.1‰) Вероятнее всего, эти животные паслись преимущественно в лесостепной или лесной зоне, что особенно характерно для косуль и оленей [Смирнов, 1978].

Значительная часть образцов рогатого скота, полученных из захоронений, имеет значения $\delta^{15}N$ от 7.0 до 9.1‰, что сопоставимо с $\delta^{15}N$ для травоядных животных из сухих степей Внутренней Азии (8–10‰) [Davie et al., 2014] (рисунок 2). Наибольшее обогащение тяжелым изотопом азота наблюдается для МРС ($\delta^{15}N$ 8.4 – 9.1‰) из могильных комплексов Ильмовая падь и Нур-Тухум. Это может быть обусловлено дигрессией пастбищ [Рысков и др., 2006], например, вблизи поселений с полуоседлым и оседлым хозяйственным укладом, когда круглогодичный выпас скота проводится на ограниченной площади [Wilkin et al., 2020]. Однако учитывая, что утяжеленный состав азота наблюдается для рогатого скота практически повсеместно, то, вероятно, в Селенгинском среднегорье доминировали сухостепные пастбища. Утяжеленный изотопный состав углерода и азота у травоядных животных из хуннских памятников относительно современной фауны Забайкалья (рис. 2; 4) скорее всего обусловлен аридизацией климата в Монгольско-Забайкальской части Центральной Азии в раннем субатлантическом периоде и, в частности, расширением сухостепных экосистем в пределах Селенгинского среднегорья Западного Забайкалья [Базарова и др., 2008; Bazarova et al., 2015; Dugerdil et al., 2021; Ryzhov et al., 2023; Golubtsov et al., 2024].

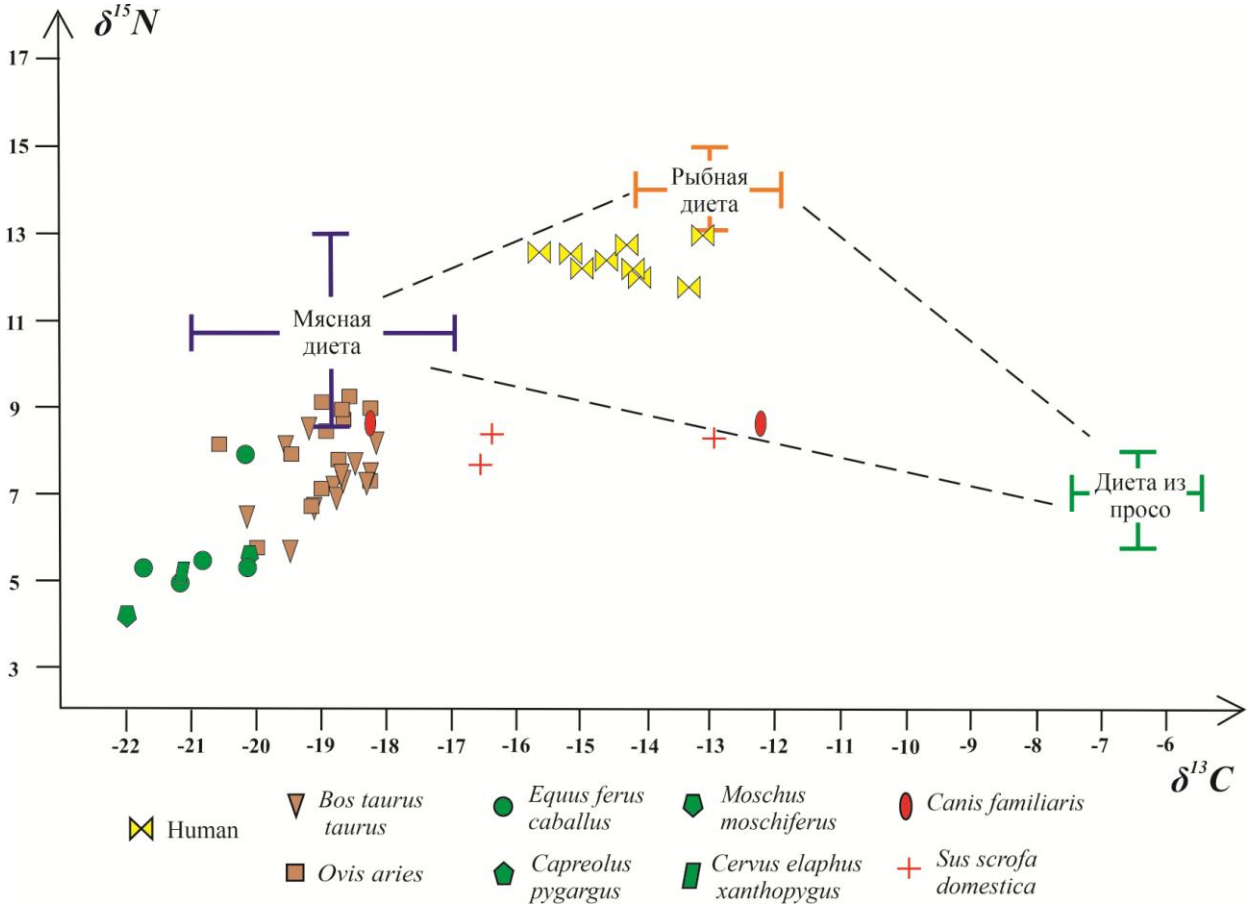


Рисунок 4. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$) и азота ($\delta^{15}N$) костного и зубного материала животных и человека из археологических комплексов хунну Западного Забайкалья (II в до н.э. – I в н. э.). Изотопный состав людей с различной диетой рассчитаны по формулам: $\delta^{13}C_I$ + 5 ‰, = $\delta^{13}C_{II}$ и $\delta^{13}C_{II}$ + ~1.3 ‰ = $\delta^{13}C_{III}$; для $\delta^{15}N_I$ +3-6‰ = $\delta^{15}N_{II}$ и $\delta^{15}N_{II}$ + 3-6 ‰ = $\delta^{15}N_{III}$, где римские цифры указывают трофический уровень. Планки обозначают максимальные и минимальные значения. Состав рыбной диеты по [Katzenberg, Weber, 1999]; состав просяной диеты по [Murphy et al., 2013]. Изотопный состав мясной диеты рассчитан из состава травоядных животных эпохи Хунну.

Заключение

Монголо-Забайкальский регион Центральной Азии характеризуется широким разнообразием внутриконтинентальных экосистем — от пустынь и полупустынь через степи до тайги и горной тундры. В работе исследовано влияние этих экосистем на изотопный состав углерода и азота в костных и зубных тканях животных. Самые высокие значения $\delta^{13}C$ наблюдаются у травоядных животных из пустынь и полупустынь (Гоби), что свидетельствует о потреблении ими растений с С4-фотосинтезом (например, *Cleistogenes squarrosa, Eragrostis minor* и др.). Самые низкие значения $\delta^{13}C$ характерны для животных из лесостепей и лесов, где в рационе преобладают растения с С3-фотосинтезом. Изотопный состав образцов животных степей показывает

промежуточные значения $\delta^{13}C$. Разница в изотопном составе азота менее выражена, чем в случае углерода. Изотопный состав азота легче у лошадей, живущих в лесных и лесостепных районах (от 3.6‰ до 7.1‰), чем у тех, что обитают в пустынях и полупустынях (от 5.5‰ до 8.3‰). Высокие значения $\delta^{15}N$ могут быть связаны с засушливыми условиями, дефицитом воды и пищи, а также с деградацией пастбищ. Таким образом, изотопный анализ костных и зубных тканей современных травоядных, обитающих в разных условиях, показал четкую зональность изотопного состава углерода, отражающую типы растительной пищи в различных экосистемах, но менее выраженную зональность по азоту.

Проведен морфометрический анализ и определен изотопный состав (углерода и азота) костных остатков шерстистых носорогов в Западном Забайкалье. Показано, что Забайкальские шерстистые носороги имели относительно более крупные размеры костей краниального и посткраниального скелета. Согласно изотопному составу углерода предполагается, что в пределах впадин Западного Забайкалья шерстистые носороги питались растительностью с С3 типом фотосинтеза настоящей степи. При этом, возможно, относительно облегчённый изотопный состав азота ($\delta^{15}N$) для шерстистых носорогов обусловлен тем, что они не испытывали дефицита пищи и воды. Вероятно, их выпас происходил в низинных частях межгорных впадин, с достаточным количеством водных и кормовых ресурсов на прилегающих открытых склонах со степной растительностью.

В данной работе исследован видовой состав и изотопные характеристики костных и зубных тканей из зооархеологических коллекций памятников хунну (ранний железный век) Западного Забайкалья. Наличие костей мелкого и крупного рогатого скота, а также лошадей в составе погребального инвентаря свидетельствует о значительной роли кочевого уклада в жизнедеятельности хунну. В то же время, обнаруженные остатки домашних свиней, диких животных и рыб свидетельствуют об элементах оседлости, охотничьего промысла и рыболовства. Различия в изотопном составе углерода и азота костей и зубов между мелким и крупнорогатым скотом с одной стороны и лошадьми – с другой, предполагают дифференцированные условия их содержания. Рогатый скот выпасался в сухостепных условиях, тогда как ареал пастбищ лошадей охватывал степные и лесостепные/лесные ландшафты. Повышенные значения $\delta^{13}C$ в антропологических материалах представителей хунну (ранних кочевников) свидетельствуют о присутствии в их диете растений С4-типа (вероятно, просо), что подтверждает существование земледелия в их жизнедеятельности. Сходный изотопный состав обнаружен у домашних свиней и собак, что указывает на то, что основу их питания составляли отходы и

продукты растениеводства. Сравнительный анализ значений изотопных соотношений углерода и азота в костях и зубах ископаемых копытных и современных животных позволил сделать вывод, что в эпоху Хунну в межгорных впадинах южной части Западного Забайкалья преобладали сухие степи, а открытые ландшафты были распространены несколько шире, чем в настоящее время. Исследованные памятники эпохи Хунну Западного Забайкалья (IV век до н.э – I век н.э.) относятся к периоду упадка Хуннской кочевой империи и соответствуют времени климатических изменений в Северной Монголии и Забайкалье в сторону аридизации, происходивших в начале субатлантического периода (2500-1900) лет назад.

Список основных работ по теме диссертации

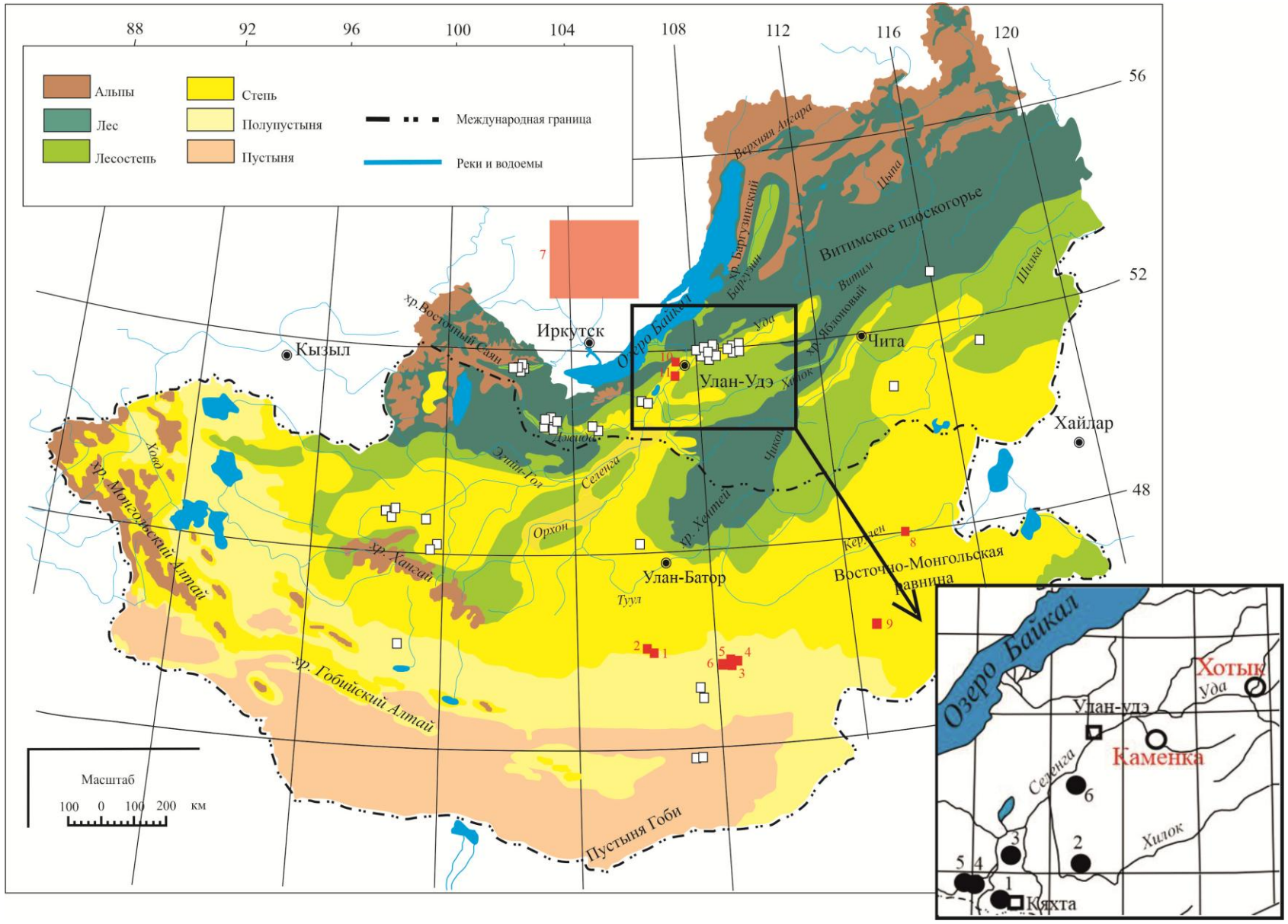
1. Базаров Б.А., **Хубанова А.М**. 56-я Российская археолого-этнографическая конференция студентов и молодых ученых "Сибирская археология и этнография: вклад молодых исследователей" (РАЭСК-LVI) // Вестник Бурятского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. 2016. № 3 (23). С. 189-193.
2. **Хубанова А.М.**, Хубанов В.Б., Новосельцева В.М., Соколова Н.Б., Клементьев А.М., Посохов В.Ф. Особенности состава изотопов углерода и азота в коллагене зубов *Equus Ferus* и *Alces Americanus* из археологического местонахождения Усть-Кеуль I (Северное Приангарье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2017. Т. 21. С. 33-59.
3. Кузнецов А.М., **Хубанова А.М.**, Роговской Е.О., Клементьев А.М., Хубанов В.Б., Посохов В.Ф. Стабильные изотопы углерода и азота костных остатков млекопитающих раннего и среднего голоцена стоянки Остров Лиственичный (Пункт 2) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2019. Т. 27. С. 27-35. DOI:10.26516/22272380.2019.27.27
4. Kradin N.N., **Khubanova A.M.**, Bazarov B.A., Miyagashev D.A., Khubanov V.B., Konovalov P.B., Klementiev A.M., Posokhov V.F., Ventresca Miller A.R. Iron age societies of Western Transbaikalia: Reconstruction of diet and lifeways // Journal of Archaeological Science: Reports. 2021. V. 38. 102973. DOI:10.1016/j.jasrep.2021.102973
5. Канакин С.В., Хубанов В.Б., Жалсараев Б.Ж., Посохов В.Ф., Дампилова Б.В., Хромова Е.А., **Хубанова А.М.**, Лыгденова Б.Б. Центр коллективного пользования "Геоспектр" Геологического института СО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. DOI:10.5800/GT-2022-13-2-0583

6. **Khubanova A.M.**, Khubanov V.B., Miyagashev D.A. Zoning of desert, steppe, steppe-forest and forest ecosystems by carbon and nitrogen isotope in Mongolia AND Western Transbaikalia // Geography, Environment, Sustainability. 2023. V. 16. № 3. C. 14-31. DOI:10.24057/2071-9388-2023-2720
7. **Khubanova A.M.**, Khubanov V.B., Miyagashev D.A., Dikiy Ya.V., Bazarov B.A., Savchuk O.V., Smoleva I.V. Human diet and lifeways during late Bronze and early Iron age (pre-empire of Xiongnu time) of Western Transbaikalia: Reconstruction by C-N isotopes // Archaeological Research in Asia. 2025. V. 41. 100593. DOI:10.1016/j.ara.2025.100593
8. **Хубанова А.М.**, Хубанов В.Б., Базаров Б.А., Миягашев Д.А., Смолева И.В., Посохов В.Ф., Хубанов Р.В. Реконструкция ландшафтных условий скотоводства в Западном Забайкалье в эпоху Хунну: по изотопному составу костей животных // География и природные ресурсы. 2025. № 4. Принята в печать.

Приложение

Рисунок 1. Географическое расположение местонахождений сбора образцов для изотопного исследования. Ландшафтные зоны Монголии и Западного Забайкалья (Российская Федерация) по [Атлас Забайкалья, 1967; Экологический атлас бассейна…, 2015; Atlas of ecosystems…, 2019; Эколого-географический атлас …, 2019] и места отбора проб с дневной поверхности для изотопного анализа. Участки исследования представлены в виде квадратов: белый цвет – данное исследование (см. табл. 1); красный — исследования других авторов: 1 — *Capra sibirica* [Makarewicz, Tuross, 2006], 2 — *Ovis aries* [Makarewicz, Tuross, 2006], 3 — *Bos Taurus*, 4 — *Capra sibirica*, 5 — *Ovis aries*, 6 — *Equus ferus caballus* [Davie et al., 2014]; 7 – *Capreolus pugargus* и *Moschus moschiferus* [Weber et al., 2011]; 8-11 – растения [Дамбаев и др., 2016]: Дорнодский аймаг (8), Сухэ-Баторский аймаг (9), Мухоршибирский район (10), Иволгинский район (11).

Нижняя врезка: незалитые кружки – положение позднеплейстоценовых археологических комплексов Хотык и Каменка в Западном Забайкалье; залитые кружки – местоположение археологических комплексов хунну (II в до н.э. – I в н. э.) Западного Забайкалья: 1 – Ильмовая падь, 2 – Нижний Мангиртуй, 3 – Нур-Тухумский комплекс, 4 – Гуджир Мыгэ, 5 – Енхор, 6 – Баргай.


Альпы
Лес
Лесостепь
Степь
Полупустыня
Пустыня
Международная граница
Реки и водоемы
88
92
96
100
104
108
112
116
120
56
52
48
Иркутск
Кызыл
Улан-Удэ
Чита
Хайлар
Улан-Батор
Озеро Байкал
Витимское плоскогорье
Восточно-Монгольская равнина
Пустыня Гоби
хр. Монгольский Алтай
хр. Хангай
хр. Гобийский Алтай
хр. Хэнтей
хр. Баргузинский
хр. Восточный Саян
хр. Яблоновый
Верхняя Ангара
Баргузин
Витим
Уда
Хилок
Чикой
Джида
Эгийн-Гол
Селенга
Орхон
Туул
Керулен
Масштаб
100 0 100 200 км
Озеро Байкал
Хотык
Уда
Улан-удэ
Каменка
Селенга
Хилок
Кяхта