



Я. В. Кузьмин

Институт геологии и минералогии СО РАН,
пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск,
630090, Россия
[kuzmin@fulbrightmail.org]

Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS,
3 Academician Koptyug Av., Novosibirsk,
630090, Russia
[kuzmin@fulbrightmail.org]

Изотопное «окно» в поведение древних людей (Beasley M. M., Somerville A. D. (eds.). Exploring Human Behavior Through Isotope Analysis: Applications in Archaeological Research. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2023. xiii + 303 p.)

Материал поступил 13.08.2024, принят 05.10.2024

Для цитирования: Кузьмин Я. В. Изотопное «окно» в поведение древних людей (Beasley M. M., Somerville A. D. (eds.). Exploring Human Behavior Through Isotope Analysis: Applications in Archaeological Research. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2023. xiii + 303 p.). *Первобытная археология. Журнал междисциплинарных исследований.* 2024 (2), 142–150. DOI: 10.31600/2658-3925-2024-2-142-150

For citation: Kuzmin Ya. V. Isotopic «window» into the behavior of ancient people (Beasley M. M., Somerville A. D. (eds.). Exploring Human Behavior Through Isotope Analysis: Applications in Archaeological Research. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2023. xiii + 303 p.). *Prehistoric Archaeology. Journal of Interdisciplinary Studies.* 2024 (2), 142–150 (in Russ.). DOI: 10.31600/2658-3925-2024-2-142-150

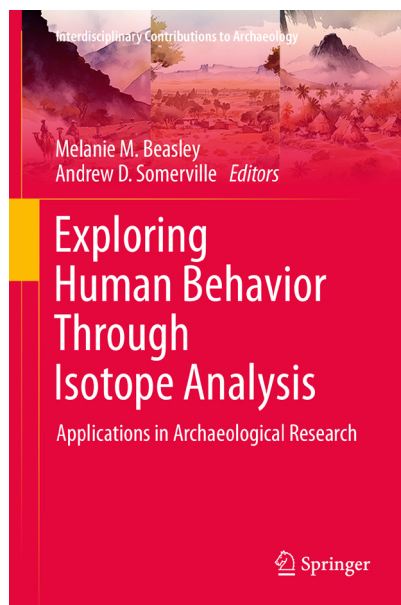
Изучение различных аспектов жизнедеятельности древних популяций с помощью изотопных методов сегодня является стандартной практикой (см. Кузьмин 2024: 260–280; Lee-Thorp, Katzenberg 2024). Рецензируемый сборник из 13 глав, в написании которых приняли участие 27 человек, посвящён анализу состава стабильных изотопов углерода, азота, серы, кислорода и стронция в костных остатках представителей древних и средневековых сообществ Сибири, Океании, Исландии, Северной и Южной Америки. Также рассматриваются общие вопросы изотопных исследований в археологии.

Одна из ветеранов применения изотопных методов для археологических целей М. Шенингер (M. Schoeninger) даёт обзор ранних работ конца 1970-х —

начала 1980-х гг. Первые исследования были посвящены выяснению роли наземных и водных (преимущественно морских) животных как источников белка в пище древнего населения. Также исследовался другой аспект питания — потребление доисторическими людьми кукурузы, которая является злаком с фотосинтезом типа C_4 и существенно отличается по составу стабильных изотопов углерода от большинства злаков и диких растений, для которых характерен фотосинтез типа C_3 .

А. Сомервилл (A. Somerville) и М. Бисли (M. Beasley) как развёрнутое введение предлагают обзор изучения поведения человека на основе изотопных исследований. В сборнике обсуждаются три главные темы: 1) палеодиета и история жизни индивидов и популяций; 2) взаимоотношения людей и животных; 3) мобильность и миграции древнего населения. Авторы отмечают, что различные ткани тела (волосы, ногти, эмаль зубов, кости) имеют собственное время кругооборота белков, что позволяет проследить изменения диеты по мере жизни индивида. В качестве объектов изучения используются коллаген (животный белок) костей, карбонатная часть кости (биоапатит), дентин (органическая часть зубов) и эмаль зубов. В настоящее время определяется ряд изотопных отношений лёгких химических элементов (обозначаются греческой буквой «дельта» $[\delta]$; выражаются в тысячных долях — промилле $[\text{‰}]$): $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{34}\text{S}$, а также отношение радиоактивного (^{87}Sr) и стабильного (^{86}Sr) изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) (см. Кузьмин 2017: 245–272; 2024: 260–280). Проводятся исследования с изотопами других элементов — водорода, свинца, цинка, меди и кальция, но они находятся на начальных стадиях.

А. Уотерс-Рист (A. Waters-Rist) анализирует черты ранней диеты неолитического населения региона озера Байкал — главным образом, времени прекращения грудного питания младенцев — на фоне общемировых трендов для охотников-собирателей и земледельцев от неолита до позднего Средневековья. Решение вопроса о переходе от материнского молока к твёрдой пище связано с повышенным значением $\delta^{15}\text{N}$ у младенцев, питающихся исключительно молоком (см., например: Кузьмин 2024: 269). В результате анализа литературы автор приходит к выводу, что независимо от типа хозяйства — отсутствия или наличия земледелия — и принадлежности к археологической эпохе возраст отнятия от груди по общемировым данным в древности и Средневековье составлял от 2 до 4 лет (иногда до 5 лет), в среднем около 3 лет. Наиболее перспективным способом определения времени прекращения употребления материнского молока является послойный анализ $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в дентине зубов. Автор использовала изотопный состав коллагена длинных костей, принимая при этом, что их метафизы отвечают взрослой жизни, а диафизы соответствуют раннему этапу жизнедеятельности. На мой взгляд, данное предположение не очевидно. Более надёжную информацию можно получить в результате изучения состава дентина зубов по тонким слоям (см. Кузьмин 2023). Вывод автора — время отнятия



от груди в неолите Прибайкалья составляло 3–4 года; это близко к результатам работ по анализу дентина.

Э. Бартлинк (E. Bartelink) с соавторами изучили диету древнего населения о. Тугуила (Американское Самоа, Океания); были взяты пробы из 32 погребений, датированных от 750–1150 гг. н. э. до начала XX в. Кроме стандартного анализа изотопного состава коллагена костей, были также получены данные по биоапатиту, который отражает не только белковую, а более полную диету (включая жиры и углеводы). Изначально ожидалось, что со временем происходило уменьшение потребления людьми морских ресурсов; такой тренд был ранее выявлен для Тугуилы и на островах Фиджи. Однако результаты анализов показали, что основное количество протеина поступало от домашних животных и растений типа C_3 (ямс, таро, кокос, бананы, хлебное дерево), с незначительной долей морских ресурсов. Об этом свидетельствуют низкие значения $\delta^{13}C$ в коллагене (-19‰ ... -17‰), которые для людей, употреблявших в основном продукты морского происхождения, находятся в пределах -15‰ ... -13‰ (см. Кузьмин 2017: 260), а иногда — до -12‰ (см. Kuzmin 2010: 110). Такая «наземная» диета является для Океании исключением.

А. Ранд (A. Rand) провела анализ диеты населения культуры майя в Белизе (Мезоамерика) на основе определения отношений изотопов углерода, азота, кислорода и серы в коллагене костей и эмали зубов. Было изучено 22 образца костей и 5 зубов от 18 индивидов со стоянки Каледония (Caledonia) (600–1000 гг. н. э.), которая находится на границе плато Вака (Vaca) и хребта Пайн Ридж (Pine Ridge), на берегу реки Макал (Masal). Позиция объекта на стыке двух экзон с разными значениями $\delta^{34}S$ помогла оценить масштабы миграций населения. Выяснено, что жители Каледонии питались в основном растениями типа C_4 (кукуруза, сквош, бобы, перец чили, шпинатное дерево); доля растений типа C_3 составляла около 30%. Большинство индивидов имели местное происхождение, но двое мигрировали в район Каледонии либо с побережья Мексиканского залива, либо из более западных районов полуострова Юкатан. Нужно подчеркнуть, что такие результаты можно получить только путём изучения состава изотопов нескольких элементов, поскольку чисто археологическая информация по этим направлениям попросту отсутствует.

Д. Салазар-Гарсия (D. Salazar-García) с соавторами представили обзор использования изотопных данных при изучении зубного налёта (камня) — отложений на поверхности зубов, которые образованы минерализованными остатками пищи, слюной и бактериями. Хотя изучение зубного налёта для выяснения палеодиеты ведётся уже более 10 лет, многое в интерпретации изотопных данных всё ещё неясно (Price et al. 2018). Органические молекулы в зубном камне представлены различными классами соединений: белками, нуклеиновыми кислотами, углеводами, липидами и даже клетками бактерий. Поэтому изначально нельзя предполагать, что зубной камень имеет изотопные значения, сходные с коллагеном, дентином и биоапатитом костей и зубов. Выяснилось, что изотопный состав у камня более вариабелен, чем у коллагена (Ibid.). На основе анализа материалов с территории штата Юта (США) древностью от 400 г. до н. э. до 500 г. н. э. авторы приходят к выводу о том, что анализ одного только зубного камня может дать неверные данные о диете. Таким образом, изотопные данные по зубному камню не отражают общие черты диеты древних популяций, поскольку объект изучения в отличие от коллагена является весьма сложным по составу.

Р. Кинастон (R. Kinaston) представила обзор результатов изучения стабильных изотопов в костях и зубах домашних животных для выяснения сезонности появления приплода, питания и перемещения скота древними людьми, с рядом показательных примеров. Основой для изучения сезонности служит анализ изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в биоapatите зубов при взятии проб тонкими слоями, отвечающими сезонам или годам жизни животного. Для определения миграций используется изотопное соотношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Автор приводит ряд интересных примеров использования изотопных методов в зооархеологии. Так, с помощью анализа изотопов стронция в зубах крупного рогатого скота, кости которого найдены на объекте позднего неолита Даррингтон Уоллс (Durrington Walls) в районе Стоунхенджа (графство Уилтшир, южная Англия), установлено, что основная часть скота была приведена в эту местность из других районов Англии — вероятно, для жертвоприношения. Очевидно, что сделать подобный вывод с помощью только зооархеологических данных невозможно.

С помощью определения $\delta^{13}\text{C}$ в коллагене нескольких скелетов хищных млекопитающих семейства кошачьих (в основном пумы) в древнем городе майя Копан (Copan) (граница современных Гватемалы и Гондураса) было установлено, что четыре хищника имеют совершенно необычные значения $\delta^{13}\text{C}$ — около $-7,5\text{‰}$, тогда как у двух других кошачьих эта величина около $-18,5\text{‰}$. Это однозначно свидетельствует о том, что первая группа хищников питалась белками животных, которые поедали в основном злаки типа C_4 (в первую очередь кукурузу), тогда как пищу второй группы составляли обычные для Мезоамерики виды, питавшиеся растениями типа C_3 . Сделан вывод о том, что «нетипичные» животные выращивались в неволе для последующего жертвоприношения; сходные значения $\delta^{13}\text{C}$ были определены у жертвенных животных (пумы, ягуары и волки) другого древнего государства Мезоамерики с центром в городе Теотиуакан (Teotihuacan).

Изучение соотношений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в костях попугаев алый ара поселения Пакиме (Paquimé) (1200–1450 гг. н. э.) на севере современной Мексики, в 500–1000 км от северной границы современного ареала этих птиц, свидетельствует об обмене/торговле престижными животными в доколумбовой Мезоамерике. Ара, найденные в Пакиме, были выращены на месте, т. е. они являются потомством тех птиц, которые попали на поселение в результате обмена или торговли с отдалёнными районами Мезоамерики; этот вывод впоследствии был подтверждён на более обширном материале с использованием изотопов стронция (см. Schwartz et al. 2021). В целом сети обмена сырьём и другими престижными продуктами в этом регионе были весьма обширными, на что указывает изучение источников археологического обсидиана.

Анализ изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в костях свиней на рыболовных станциях о. Ньюфаундленд (Канада), существовавших в XVI–XVIII вв., показал, что некоторые свиньи питались в основном продуктами морского происхождения — вероятно, отбросами рыболовства ($\delta^{13}\text{C} = -15,6 \pm 0,9\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} = 16,3 \pm 1,8\text{‰}$), тогда как другие животные поедали наземную пищу ($\delta^{13}\text{C} = -21,0 \pm 0,4\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} = 7,0 \pm 1,2\text{‰}$) (Guiry et al. 2012). Сделан вывод о том, что часть свиней с «морской» диетой выращивалась на месте, тогда как из-за океана завозилась солонина, сырьём для которой служили выращенные на растениях типа C_3 животные.

Автор делает следующее заключение (с. 170, перевод Я. В. Кузьмина):

Изотопный анализ — это ещё один козырь на стыке археологических и генетических аналитических методов, используемых для понимания процесса одомашнивания и различных способов ведения животноводства по всему миру. Поскольку изотопный анализ является прямым отражением рациона питания, сезонности рождения и мобильности, можно установить меняющиеся модели использования животных. Они, в свою очередь, могут повлиять на адаптацию и эволюцию животных или предоставить информацию о более широких социально-культурных и экономических тенденциях, происходивших в человеческих популяциях.

А. Сомервилл представил обзор результатов изучения $\delta^{13}\text{C}$ у домашних животных доколониальной Америки с целью определения систем их содержания. Установлено, что на памятниках майя от предклассического периода (около 2000 г. до н. э. — 500 г. н. э.) вплоть до послеклассического периода (около 900–1520 гг. н. э.) дикие индейки имеют более «лёгкие» значения $\delta^{13}\text{C}$ коллагена, чем домашние птицы (чем ближе величина $\delta^{13}\text{C}$ к нулю, тем «тяжелее» изотопный состав): $-20,2\text{‰}$ и $-9,3\text{‰}$ соответственно (Manin et al. 2018). Результаты изотопных анализов однозначно свидетельствуют о том, что основным кормом домашних индеек у майя была кукуруза, а дикие птицы питались растениями типа C_3 .

Для одного из крупнейших церемониальных центров майя Сейбаль (Seibal, современная Гватемала) по результатам изотопных анализов установлены торговля живыми животными (в частности, собаками) и разведение хищников семейства кошачьих в доклассический период (1000 г. до н. э. — 175 г. н. э.) (Sharpe et al. 2018). Эти данные являются самыми ранними свидетельствами содержания животных в неволе и торговли ими на большие расстояния в Мезоамерике.

В Южной Америке на памятниках государства Уари (Wari) (600–1000 гг. н. э.) значения $\delta^{13}\text{C}$ у лам, которых содержали на поселениях и кормили кукурузой, «тяжелее», чем у альпак, свободный выпас которых проходил в пределах пуны¹. Ламы содержались в основном для употребления в пищу, тогда как у альпаки главным продуктом была шерсть.

Э. Гайри (E. Guiry) с соавторами рассмотрели вопрос о существовании свиноводства в Исландии в XIX в. Ранее считалось, что после начального заселения острова викингами в IX в. н. э. разведение свиней прекратилось в XI в., и они попадали в Исландию как полуфабрикаты (солонина) из континентальной Европы, прежде всего — из Дании. Установить местное или дальнее происхождение животных по зооархеологическим данным невозможно, и для решения вопроса были использованы анализы изотопного состава углерода и азота в костях, опираясь на опыт работы на Ньюфаундленде (см. Guiry et al. 2012). В качестве объекта изучения была выбрана ферма Эйри (Eyri) в городке Исафьордур (Ísafjörður) на берегу Иса-фьорда (северо-запад острова), существовавшая в конце XVIII — XIX в. Установлено, что 16 из 17 свиней имеют вполне «наземные» изотопные сигналы ($\delta^{13}\text{C} = -20,8 \pm 0,9\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} = 5,6 \pm 2,2\text{‰}$). Это говорит о том, что свиньи или выращивались на месте, питаясь наземной растительностью, или попадали в Исландию в виде солонины с материка. Для окончательного решения вопроса требуется провести анализ других изотопов (кислорода, серы, стронция).

¹ Пуна (puna) — высотный пояс полупустыни плоскогорий Центральных Анд, 3500–4600 м над уровнем моря (см. Котляков, Комарова 2021: 411).

Дж. Свифт (J. Swift) исследовала изотопный состав костей крыс на стоянке Онемеа (Onemea), атолл Мангарева (Mangareva), острова Гамбье (Французская Полинезия). Находки малой крысы (*Rattus exulans*) на островах Океании часто служат свидетельством их заселения человеком, так как до колонизации полинезийцами этот грызун на удалённых архипелагах не обитал. В своё время разгорелась дискуссия о времени первоначального заселения Новой Зеландии из-за весьма «ранних» радиоуглеродных дат по костям крыс (см. Wilmshurst et al. 2010). На основании анализа $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в коллагене 19 костей малых крыс (возраст — начиная с X–XI вв. н. э.) было установлено, что их диета изменялась от «морской» в начале существования поселения к «наземной» в дальнейшем, когда в конце XIV в. люди покинули о. Мангарева. Причиной этого могло быть вымирание/исчезновение на острове птиц, имевших «морскую» диету и служивших крысам пищей.

К. Кнудсон (K. Knudson) и К. Торрес (C. Torres) проанализировали мобильность населения среднего горизонта (500–1100 гг. н. э.) и позднего промежуточного периода (1100–1400 гг. н. э.) в оазисе Сан-Педро (San Pedro) на севере Чили, в пустыне Атакама. Очевидно, что для получения успешного результата необходимо знать величины фона $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в воде и растительности для широкого региона в Андах (см., например: Scaffidi, Knudson 2020). На основании анализа соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в 400 образцах эмали зубов и костей 289 индивидов из 19 могильников установлено, что в оазисе Сан-Педро проживало разнообразное население. Наряду с преобладающими местными жителями здесь в эпоху среднего горизонта также присутствовали мигранты. После коллапса в конце среднего периода (около 1100 г. н. э.) государства Тиуанако (Tiwanaku), со столицей в бассейне озера Титикака в пределах Альтиплано², в оазисе Сан-Педро, находящемся на расстоянии около 450 км, не наблюдалась значительная миграция населения из региона Тиуанако, хотя активные сети обмена с этим государством существовали. Также на движение населения не повлияла сильная засуха в Андах, имевшая место около 1100–1200 гг. н. э. Авторы делают вывод о том, что реакция древнего населения на политические и природные катаклизмы была сложной и неоднозначной.

К. Лукас (C. Lucas) с соавторами получили предварительные данные о мобильности населения времени государства Тиуанако (500–1100 гг. н. э.) на стоянке Пиньями (Piñami) в долине Кочабамба (Cochabamba) (Боливия), расположенной в 400 км по прямой от бывшего г. Тиуанако. Было изучено всего шесть индивидов на предмет соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в эмали зубов. Тем не менее, выяснилось, что четверо из них имеют местное происхождение, при этом в трёх погребениях присутствовали артефакты (прежде всего керамика и текстиль) из района г. Тиуанако. Два индивида имеют значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, не совпадающие с местным фоном, и являются «чужаками». У одного из них (женщины) величина $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в кости соответствует местному фону, но в эмали зубов отличается от такового. Из этого сделан вывод о том, что она родилась вне долины Кочабамба, предположительно в районе г. Куско (Cuzco) в современном высокогорном Перу, и попала в Пиньями уже в зрелом возрасте — возможно, в результате замужества с местным мужчиной. Второй «чужак» (мужчина) и родился, и проживал преимущественно на Альтиплано; вероятно, он попал в долину Кочабамба с торговым караваном из района г. Тиуанако. По другим данным известно, что в эпоху существования государства Тиуанако миграция населения в Андах была значительной.

² Альтиплано (Altiplano) — высокогорное плато, нагорная равнина в Андах, на территории современной Боливии (см. Котляков, Комарова 2021: 23).

П. Шпак (P. Szpak) определяет перспективы изотопных исследований в археологии. Он отмечает, что значительный рост количества публикаций по изотопной тематике, связанной с палеодиетой и мобильностью людей, начался в 2006 г. Среди важнейших направлений текущих и будущих работ указаны следующие: 1) постоянный контроль качества исходных материалов (прежде всего, коллагена) (см. Guiry, Szpak 2020); 2) создание региональных баз данных по изотопному составу коллагена и других веществ (см. Etu-Sihvola et al. 2019); 3) внедрение модели смешанного питания людей как всеядных организмов (см. Cheung, Szpak 2022); 4) изучение изотопного состава отдельных аминокислот в коллагене (см. Larsen et al. 2022); 5) использование «нетрадиционных» изотопов, прежде всего — цинка ($\delta^{66}\text{Zn}$) (см. McCormack et al. 2021).

Что касается территории России, то если во второй половине 1990-х гг. изотопные исследования палеодиеты были редкостью (см. Lam 1994; Йонеда и др. 1998), то в настоящее время они превратились в достаточно обычную практику (см. Кузьмин 2017: 259–262; Добровольская и др. 2020; Кузьмин 2023). Рецензируемый сборник содержит новую информацию, которая будет способствовать более широкому внедрению изотопных исследований в российскую геоархеологию.

Литература

- Добровольская М. В., Тиунов А. В., Крылович О. А., Кузьмичева Е. А., Решетова И. К., Савинецкий А. Б., Свиркина Н. Г., Смирнов А. Л. 2020. Изотопные маркеры экосистем и питания средневекового сельского населения лесной зоны европейской части России. *Российская археология* 3, 79–95.
- Йонеда М., Кузьмин Я. В., Морита М., Попов А. Н., Чикишева Т. А., Шибата Я., Шпакова Е. Г. 1998. Реконструкция палеодиеты по стабильным изотопам углерода и азота в коллагене костей из неолитического могильника Бойсман-2 (Приморье). *Гуманитарные науки в Сибири* 3, 9–13.
- Котляков В. М., Комарова А. И. 2021. *Русско-английский словарь географических терминов*. 2-е изд. М.: ЛЕНАНД.
- Кузьмин Я. В. 2017. *Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях*. Томск: Издательский Дом ТГУ.
- Кузьмин Я. В. 2023. Детская диета неолита — эпохи бронзы Прибайкалья через призму стабильных изотопов (van der Haas V. Growing Up in the Cis-Baikal Region of Siberia, Russia: Reconstructing the Childhood Diets of Middle Holocene Hunter-Gatherers. Oxford: Archaeopress, 2023. ix + 242 p.). *Первобытная археология. Журнал междисциплинарных исследований* 2, 155–161.
- Кузьмин Я. В. 2024. *Основы геоархеологии: естественнонаучные методы в современной археологии*. М.: РУСАЙНС.
- Cheung C., Szpak P. 2021. Interpreting past human diets using stable isotope mixing models — Best practices for data acquisition. *Journal of Archaeological Method and Theory* 29, 138–161.
- Etu-Sihvola H., Bocherens H., Drucker D. G., Junno A., Mannermaa K., Oinonen M., Uusitalo J., Arppe L. 2019. The dIANA database — Resource for isotopic paleodietary research in the Baltic Sea area. *Journal of Archaeological Science: Reports* 24, 1003–1013.
- Guiry E. J., Noël S., Tourigny E., Grimes V. 2012. A stable isotope method for identifying transatlantic origin of pig (*Sus scrofa*) remains at French and English fishing stations in Newfoundland. *Journal of Archaeological Science* 39, 2012–2022.
- Guiry E. J., Szpak P. 2020. Quality control for modern bone collagen stable carbon and nitrogen isotope measurements. *Methods in Ecology and Evolution* 11, 1049–1060.

- Kuzmin Ya. V. 2010. Holocene radiocarbon-dated sites in Northeastern Siberia: issues of temporal frequency, reservoir age, and human-nature interaction. *Arctic Anthropology* 47, 104–115.
- Lam Y. 1994. Isotopic evidence for change in dietary patterns during the Baikal Neolithic. *Current Anthropology* 35, 185–190.
- Larsen T., Fernandes R., Wang Y.V., Roberts P. 2022. Reconstructing hominin diets with stable isotope analysis of amino acids: New perspectives and future directions. *BioScience* 72, 618–637.
- Lee-Thorp J., Katzenberg M. A. (eds.). 2024. *The Oxford handbook of the archaeology of diet*. New York: Oxford University Press.
- Manin A., Corona-M E., Alexander M., Craig A., Thornton E. K., Yang D.Y., Richards M., Speller C. F. 2018. Diversity of management strategies in Mesoamerican turkeys: archaeological, isotopic and genetic evidence. *Royal Society Open Science* 5, 171613.
- McCormack J., Szpak P., Bourgon N., Richards M., Hyland C., Méjean P., Hublin J.-J., Jaouen K. 2021. Zinc isotopes from archaeological bones provide reliable trophic level information for marine mammals. *Communications Biology* 4, 683.
- Price S.D. R., Keenleyside A., Schwarcz H. P. 2018. Testing the validity of stable isotope analyses of dental calculus as a proxy in paleodietary studies. *Journal of Archaeological Science* 91, 92–103.
- Scaffidi B., Knudson K. J. 2020. An archaeological strontium isoscape for the prehistoric Andes: Understanding population mobility through a geostatistical meta-analysis of archaeological $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values from humans, animals, and artifacts. *Journal of Archaeological Science* 117, 105121.
- Schwartz C. W., Somerville A. D., Nelson B. A., Knudson K. J. 2021. Investigating pre-Hispanic scarlet macaw origins through radiogenic strontium isotope analysis at Paquimé in Chihuahua, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology* 61, 101256.
- Sharpe A. E., Emery K. F., Inomata T., Triadan D., Kamenov G. D., Krigbaum J. 2018. Earliest isotopic evidence in the Maya region for animal management and long-distance trade at the site of Ceibal, Guatemala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 115, 3605–3610.
- Wilmshurst J. M., Hunt T. L., Lipo C. P., Anderson A. J. 2010. High-precision radiocarbon dating shows recent and rapid initial human colonization of East Polynesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 108, 1815–1820.

References

- Cheung C., Szpak P. 2021. Interpreting past human diets using stable isotope mixing models — Best practices for data acquisition. *Journal of Archaeological Method and Theory* 29, 138–161.
- Dobrovolskaya M. V., Tiunov A. V., Krylovich O. A., Kuzmicheva E. A., Reshetova I. K., Savinetsky A. B., Svirkina N. G., Smirnov A. L. 2020. Izotopnye markery ekosistem i pitaniya srednevekovogo sel'skogo naseleniya lesnoj zony evropejskoj chasti Rossii. [[Isotope markers of ecosystems and nutrition of the medieval rural population in the forest zone of European Russia]. *Rossijskaya arheologiya* 3, 79–95 (in Russian).
- Etu-Sihvola H., Bocherens H., Drucker D.G., Junno A., Mannermaa K., Oinonen M., Uusitalo J., Arppe L. 2019. The dIANA database — Resource for isotopic paleodietary research in the Baltic Sea area. *Journal of Archaeological Science: Reports* 24, 1003–1013.
- Guiry E. J., Noël S., Tourigny E., Grimes V. 2012. A stable isotope method for identifying transatlantic origin of pig (*Sus scrofa*) remains at French and English fishing stations in Newfoundland. *Journal of Archaeological Science* 39, 2012–2022.
- Guiry E. J., Szpak P. 2020. Quality control for modern bone collagen stable carbon and nitrogen isotope measurements. *Methods in Ecology and Evolution* 11, 1049–1060.

- Kotlyakov V. M., Komarova A. I. 2021. *Russko-anglijskij slovar' geograficheskikh terminov*. 2nd ed. [Russian-English Geographical Dictionary. 2nd edit.]. Moscow: "LENAND" Publ. (in Russian).
- Kuzmin Ya. V. 2010. Holocene radiocarbon-dated sites in Northeastern Siberia: issues of temporal frequency, reservoir age, and human-nature interaction. *Arctic Anthropology* 47, 104–115.
- Kuzmin Ya. V. 2017. *Geoarheologiya: estestvennonauchnye metody v arheologicheskikh issledovaniyah* [Geoarchaeology: Natural Scientific Methods in Archaeological Studies]. Tomsk: "Izdatel'skii Dom TGU" Publ. (in Russian).
- Kuzmin Ya. V. 2023. Detskaya dieta neolita — epohi bronzy Pribajkal'ya cherez prizmu stabil'nyh izotopov [Children's diets in the Neolithic and Bronze Age of the Cis-Baikal region through the lens of stable isotopes] (van der Haas V. Growing Up in the Cis-Baikal Region of Siberia, Russia: Reconstructing the Childhood Diets of Middle Holocene Hunter-Gatherers. Oxford: Archaeopress, 2023. ix + 242 p.). *Prehistoric Archaeology. Journal of Interdisciplinary Studies* 2, 155–161 (in Russian).
- Kuzmin Ya. V. 2024. *Osnovy geoarheologii: estestvennonauchnye metody v sovremennoj arheologii*. [Basics of Geoarchaeology: Natural Scientific Methods in Current Archaeology]. Moscow: "RUSAINS" Publ. (in Russian).
- Lam Y. 1994. Isotopic evidence for change in dietary patterns during the Baikal Neolithic. *Current Anthropology* 35, 185–190.
- Larsen T., Fernandes R., Wang Y.V., Roberts P. 2022. Reconstructing hominin diets with stable isotope analysis of amino acids: New perspectives and future directions. *BioScience* 72, 618–637.
- Lee-Thorp J., Katzenberg M. A. (eds.). 2024. *The Oxford handbook of the archaeology of diet*. New York: Oxford University Press.
- Manin A., Corona-M E., Alexander M., Craig A., Thornton E. K., Yang D.Y., Richards M., Speller C. F. 2018. Diversity of management strategies in Mesoamerican turkeys: archaeological, isotopic and genetic evidence. *Royal Society Open Science* 5, 171613.
- McCormack J., Szpak P., Bourgon N., Richards M., Hyland C., Méjean P., Hublin J.-J., Jaouen K. 2021. Zinc isotopes from archaeological bones provide reliable tropic level information for marine mammals. *Communications Biology* 4, 683.
- Price S. D. R., Keenleyside A., Schwarcz H. P. 2018. Testing the validity of stable isotope analyses of dental calculus as a proxy in paleodietary studies. *Journal of Archaeological Science* 91, 92–103.
- Scaffidi B., Knudson K. J. 2020. An archaeological strontium isoscape for the prehistoric Andes: Understanding population mobility through a geostatistical meta-analysis of archaeological ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values from humans, animals, and artifacts. *Journal of Archaeological Science* 117, 105121.
- Schwartz C. W., Somerville A. D., Nelson B. A., Knudson K. J. 2021. Investigating pre-Hispanic scarlet macaw origins through radiogenic strontium isotope analysis at Paquimé in Chihuahua, Mexico. *Journal of Anthropological Archaeology* 61, 101256.
- Sharpe A. E., Emery K. F., Inomata T., Triadan D., Kamenov G. D., Krigbaum J. 2018. Earliest isotopic evidence in the Maya region for animal management and long-distance trade at the site of Ceibal, Guatemala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 115, 3605–3610.
- Wilmshurst J. M., Hunt T. L., Lipo C. P., Anderson A. J. 2010. High-precision radiocarbon dating shows recent and rapid initial human colonization of East Polynesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 108, 1815–1820.
- Yoneda M., Kuzmin Ya. V., Morita M., Popov A. N., Chikisheva T. A., Shibata Y., Shpakova E. G. 1998. Rekonstrukciya paleodiety po stabil'nyh izotopam ugleroda i azota v kollagene kostej iz neoliticheskogo mogil'nika Bojsman-2 (Primor'e). [Reconstruction of palaeodiet based on stable isotopes of carbon and nitrogen in bones from the Neolithic burial ground of Bojsman-2]. *Gumanitarnye nauki v Sibiri* 3, 9–13 (in Russian).