

УДК: 902, 903, 572.023
DOI 10.24411/1026-8804-2020-10025

Сравнительный анализ методов реконструкции палеодиет

Ирина Евгеньевна Пантюхина,

младший научный сотрудник Отдела первобытной археологии Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток.

E-mail: pantukhina2000@mail.ru

Юрий Евгеньевич Вострецов,

доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Отдела первобытной археологии Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток.

E-mail: vost54@mail.ru

В статье рассматривается современная ситуация, сложившаяся в отечественной археологии в связи с продвижением междисциплинарных исследований в экологической парадигме, подходов и методов реконструкций систем жизнеобеспечения и палеодиет древнего населения. Исследуются два основных подхода к реконструкции палеодиет. Первый предполагает прямые эмпирические подсчёты по экофактам, отражающим различные компоненты палеодиеты. Этот подход пригоден для ограниченного числа типов отложений с хорошей сохранностью, в основном — раковинных куч. Констатируется противоречие в современных реализациях эмпирических подсчётов для реконструкции систем жизнеобеспечения и моделей палеодиет, когда углеводная компонента «ускользает» от внимания исследователей. В качестве одного из продуктивных вариантов преодоления противоречия предлагается метод изучения остатков древнего крахмала на орудиях и керамике с его информативными возможностями и перспективами применения. Второй подход основан на комплексе методов изучения химических маркеров использования тех или иных источников пищи. Эти маркеры могут быть обнаружены в костях, зубах, других тканях тела и на керамике. Авторы рассматривают условия, информационные возможности и ограничения применения каждого из методов и их комплекса для получения наиболее полного представления о системе жизнеобеспечения и палеодиете. Также проводится критический анализ результатов накопленного опыта применения различных подходов и методов анализа палеодиеты в региональной археологии. Предлагаются способы интеграции подходов и методов для более полной реконструкции систем жизнеобеспечения и палеодиет.

Ключевые слова: поведенческая экология человека, археология, методы реконструкции палеодиет, метод изучения древнего крахмала, изотопный анализ.

A Comparative Analysis of Paleodiet Reconstruction Methods.

Irina Pantyukhina, Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia. E-mail: pantukhina2000@mail.ru.

Yuri Vostretsov, Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia. E-mail: vost54@mail.ru.

The paper describes the current situation in Russian archaeology in connection with the promotion of interdisciplinary research in the ecological paradigm, approaches and methods for reconstructing the life-support systems and paleodiet of the ancient population. Two main approaches to paleodiet reconstruction are examined. The first one involves direct empirical calculations on ecofacts that reflect the various components of the paleodiet. It is suitable for limited types of deposits with good preservation, mainly shell mounds. It is stated that there are contradictions in modern implementations of empirical calculations for the reconstruction of life-support systems and paleodiet models when the carbohydrate component “escapes” from the attention of researchers. One of the proposed productive technics for overcoming the contradiction is a research method of ancient starch on tools and ceramics. This method has informative capabilities and prospects for its application. The second approach is based on methods for studying chemical markers of using certain food sources. These markers can be found in bones, teeth, other body tissues and ceramics. The authors analyze in detail the conditions, information capabilities and limitations of the use of each of the methods and their combination for the most complete reconstruction of the life-support system and the paleodiet. A critical review of the results from various approaches and methods of the paleodiet analysis in regional archeology is also carried out. The integrated approaches and methods for a more complete reconstruction of the life-support systems and paleodiet are proposed.

Keywords: human behavioral ecology, archeology, paleodiet reconstruction methods, research method of ancient starch, isotope analysis.

В современной первобытной археологии наблюдается удивительное противоречие: общеизвестно, что природное окружение как ресурсная база сообществ оказывает определяющее влияние на адаптивное поведение и формирование большинства общественных структур, при этом исследований по реконструкции систем жизнеобеспечения очень мало и обычно они основаны на применении какого-либо одного из имеющихся методов. Ставя целью реконструкцию системы жизнеобеспечения, необходимо ясно осознавать потенциальные информативные возможности и ограничения различных методов и их комбинаций, чтобы очертить круг задач, которые можно решить с их помощью.

Несмотря на то, что в последние десятилетия идёт активная интеграция научных областей, методы естественных наук очень медленно входят в повседневную археологическую практику. Причин этому несколько. Прежде всего, это исключительно гуманитарная подготовка археологов, в связи с чем традиционно доминирует культурно-историческая парадигма большинства исследований, ориентированная на технико-типологическое описание и изучение артефактов. Не понимая основ большинства естественно-научных методов и не желая усложнять раскопки, археологи в большинстве не мотивированы и не готовы применять методики получения экофактов из археологических отложений и использовать их для реконструкции различных аспектов жизнеобеспечения. Такое положение отягощается отсутствием материально-технической базы и ограниченностью доступных источников для исследования.

Тенденция последнего времени — изучение систем жизнеобеспечения через особенности питания человека, которое является основной витальной потребностью. Существенная часть деятельности человека прямо или опосредованно направлена на её удовлетворение. Реконструкция модели (моделей) питания¹, характеристика комплексов доступных и используемых ресурсов окружающей среды, в которой сформировались археологические комплексы, должны осуществляться в рамках экологической парадигмы. Она формулируется как поведенческая экология человека, представление о которой вырастает из культурной и эволюционной экологии. Первая ориентирована на изучение связи определённых типов культур с различными вариантами окружающей среды. Вторая же рассматривает, как в процессе адаптации небольших коллективов и домохозяйств к меняющимся условиям окружающей среды возникают поведенческие и культурные трансформации [3].

Описание палеоклиматических и ландшафтных условий среды обитания в период формирования археологических комплексов в том или ином виде входит в практику археологов. Но для реконструкции системы жизнеобеспечения такой информации явно недостаточно. Реализация комплексного подхода должна включать выявление и оценку взаимосвязи ресурсообразующих элементов среды (ландшафта, климата, флоры, фауны) с факторами, которые могли влиять на количество ресурсов, их разнообразие, доступность и устойчивость [6]².

Определение рациона древнего человека традиционно основывается на очевидных археологических остатках: костях млекопитающих, птиц, рыб, раковинах моллюсков, редких ботанических макроостатках, орудиях

¹ Используется определение, предложенное С.А. Арутюновым [2, с. 4], где модель питания рассматривается как нестатичная схема в виде набора продуктов, за счёт которых покрывалась необходимая энергетическая потребность. У одной популяции может быть несколько моделей питания.

² Представление о структуре ресурсов в сочетании с оценкой эффективности средств их добычи и обработки, системе расселения позволяет реконструировать систему жизнеобеспечения, используя комбинацию естественно-научных методов.

охоты, рыболовства и земледелия. Однако выборочная представленность источников в коллекциях ведёт к явному перекосу в сторону наиболее заметных в комплексах экофактов. Для решения этой проблемы эмпирически сформировалось два подхода.

Первый основан на попытках прямых количественных подсчётов энергетического вклада экофактов как комплекса ресурсов [6], так и их отдельных категорий [17]. Такой способ потенциально возможен для определённых археологических памятников при условии раскопок по контексту с применением методов флотации и водной сепарации отложений для получения сбалансированных коллекций экофактов и артефактов.

Второй подход заключается в анализе химических маркеров — свидетельств употребления определённых типов продуктов. Маркеры представлены изотопами некоторых химических элементов (Sr, S, Pb, C, N, O), которые накапливаются в различных тканях живых организмов или оказываются в составе органических остатков — нагара и липидов на керамике [36; 18]. Такие методы технически более сложны, дороги, требуют специального оборудования, специфических знаний и навыков, имеют существенные ограничения и сложности при интерпретации результатов. Потому особенно важно понимать, с помощью какого методического аппарата можно получать «скрытую» информацию и как её интерпретировать. В данной работе мы предлагаем рассмотреть информативные возможности групп методов в рамках обозначенных подходов для изучения палеодиеты в региональной археологии.

Физиологическая пластичность человека отражена в различных экстремальных диетах, в которых доля того или иного нутриента³ сильно ограничена. Но в любом из подобных рационов среднесуточное потребление энергии будет примерно одинаковым. Известны метаболические пределы каждого нутриента и способы компенсации их недостатка и переизбытка. Доля энергии, поступающая в виде жиров, колеблется в пределах 10—50%, а белков — 9—12%, остальные 40—80% приходятся на углеводы растительного и животного происхождения [8, с. 492]⁴.

В силу особенностей восприятия наиболее объёмные и крупные экофакты мы расцениваем как более значимые. Методом прямых подсчётов обычно возможно оценить вероятное количество энергии в виде белков и жиров. Для выявления углеводной компоненты диеты, получаемой из растений, существует два археоботанических метода: карпология и метод анализа крахмала. Возможности применения карпологического метода ограничены рядом факторов, среди которых особое значение приобретают условия тафономизации и необходимость флотации больших объёмов культурных отложений. К сожалению, она применяется редко, чаще всего только к выборочной части объектов.

³ Белки, жиры и углеводы.

⁴ Современное потребление энергии в виде углеводов по оценке FAO (Food and Agriculture Organization of the United States) составляет 40—75% [15].

В связи с этим на сегодняшний день существуют только единичные сбалансированные коллекции ботанических остатков.

Метод анализа древнего крахмала — новый метод, который развивался в контексте роста интереса археологов к микроостаткам в целом. Крахмал представляет собой полисахарид, один из углеводов, формируемый и запасаемый растениями в клубнях, корневищах, семенах. Он имеет вид гранул. По комплексу признаков (форме, размеру, положению ядра, виду поляризованного креста, трещинам, складкам и др.) крахмал разных растений отличается. Для обнаружения крахмала и описания его признаков необходимо применение методов оптической микроскопии. Особенность этого вещества заключается в его физической и химической стабильности в самых разнообразных литологических контекстах археологических ком-

Калорийный вклад различных пищевых

Ресурс	РК 1, жилище 4		РК 3	
	кКал	%	кКал	%
Моллюски	34 340	0,77	31 680	0,74
Рыбы	84 720	1,91	198 393	4,62
Морские млекопитающие	258 300	5,80	501 200	11,69
Кит	—	—	—	—
Наземные млекопитающие*	4 052 037	91,19	3 550 840	82,81
Птицы	14 120	0,32	5 902	0,14
Растения**	—	—	—	—
Всего	4 443 517	100,00	4 288 015	100,00

Время

плексов. Оно способно сохраняться десятки тысячелетий, что делает его ценным археологическим источником, который можно обнаружить на различных артефактах, в карбонизированной органике, зубном камне, почвенных отложениях. Также можно использовать музейные коллекции для переосмысления ранее полученных данных в экологической парадигме.

Сравнение ископаемого крахмала с поверхности орудий или из почвы с современными ботаническими образцами позволяет получить проверяемые данные о растениях, использовавшихся в прошлом. Идентификационные возможности будут ограничены рамками эталонной коллекции. Метод применим только к крахмалосодержащим растениям, которые являются наиболее значимыми для культурной эволюции человека, так как имеют максимальную концентрацию источника пищевой энергии. Крахмал составляет до 80% сухого веса соответствующих частей растений. Они могут храниться в исходном виде в почве, либо быть высушенными для хранения или транспортировки.

Метод даёт возможность определить списочный состав используемых растений, оценить ёмкость ресурса, его стабильность и энергетический вклад. Анализ почвенных образцов на содержание крахмала помогает выявить хозяйственные зоны в жилищах и поселениях. Пробы с орудий могут содержать и другие микроостатки: растительные ткани и волокна, пыльцу, фитолиты, шерсть, фрагменты птичьих перьев, которые также имеют идентификационный потенциал. Источник широко распространён, доступен и надёжен, логика метода проста, но его реализация требует технической оснащённости.

В качестве примера применения первого из указанных подходов можно привести опыт изучения материалов стратифицированных раковинных куч поселения Бойсмана 1 (табл. 1). Подсчёты калорий по ресурсам

Таблица 1

ресурсов в диету обитателей поселения Бойсмана 1 [6, с. 373]

Жилище 3		Горизонт обитания		ПК 2		
кКал	%	кКал	%	кКал	%	%, без кита
—	—	—	—	29 760	0,08	1,53
9 447	1,16	51 183	15,2	59 592	0,15	3,06
125 300	15,40	—	—	125 300	0,32	6,43
—	—	—	—	37 314 000	95,04	—
677 960	83,04	286 680	84,9	1 733 560	4,41	88,98
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
812 807	100,00	337 863	100,0	39 262 212	100,00	100,00

Сост. по: [6, с. 373].

* Калорийный вклад от наземных и морских млекопитающих, рыб и птиц оценивался по минимальному количеству особей, а также исходя из средних размеров и средних значений калорийности.

** Эти данные не были подсчитаны.

белков и жиров дали необходимый годовой минимум энергии для человека. При этом для растений оценка энергетического вклада не проводилась, хотя и были обнаружены свидетельства использования полезных и съедобных растений: остатки маньчжурского ореха, различные карпоиды и фрагменты карбонизированной пищи [6, с. 384]. Для таких единичных находок методика подсчёта будет иной, исходя из минимально вероятной урожайности в пределах зоны хозяйственного использования [4].

Такие результаты, подкреплённые данными по экологии различных ресурсов, дают возможность провести реконструкцию сезонного цикла жизнеобеспечения как группы, так и популяции [6, с. 376]. В перспективе

дополнение этих выводов результатами исследования ископаемого крахмала позволит детализировать предложенную модель жизнеобеспечения.

Второй подход, основанный на поиске химических маркеров, стал популярен в археологии в последние годы. С точки зрения биохимии, мы — это то, что мы едим. Кости, зубы и другие сохранившиеся ткани организма можно проанализировать и получить информацию о рационе. В этом направлении современные методы сосредоточились преимущественно на определении содержания изотопов некоторых химических элементов в различных тканях организма и анализе липидов, оставшихся на артефактах. Изотопный анализ — новинка для региональной дальневосточной археологии, а результаты этого анализа и выводы сложно оценить на предмет соответствия друг другу. Ввиду этого необходимо доступно осветить основы и принципы метода, его возможности и ограничения.

В процессе метаболизма все живые организмы потребляют и накапливают различные микроэлементы, многие из которых присутствуют в форме стабильных изотопов⁵. Здесь мы рассмотрим только углерод и азот как основные элементы, по которым оценивают диету. Для С и N существует по два стабильных изотопа. Самые лёгкие изотопы наиболее распространены (около 99%), в то время как тяжёлые фиксируются в тысячных долях. Для определения их количества обычно используют высокоточные приборы — масс-спектрометры, а результаты анализа пересчитывают относительно международных стандартов.

Конечное значение, которое приводится во всех табличных данных изотопных исследований, является отношением между двумя изотопами элемента в образце и в стандарте (формула 1). Оно обозначается буквой греческого алфавита δ (дельта) и выражается в тысячных долях — промилле ‰:

$$\delta (\text{‰}) = \left(\frac{X_{\text{образца}} - X_{\text{стандарта}}}{X_{\text{стандарта}}} \right) \times 1000, \quad (1)$$

где X = соотношение количества тяжёлых и лёгких изотопов химического элемента, например $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

Каким же образом изотопы накапливаются в организмах и почему их количество разное? Здесь следует обратиться к понятию пищевой цепи из школьного курса биологии. Источником углерода для растений является атмосферный CO_2 . Существует три типа фотосинтеза, которые приводят к накоплению большего или меньшего количества тяжёлого ^{13}C . Содержащиеся в растениях изотопы переходят потребителям, в организме которых происходит их «обогащение» уже за счёт собственных метаболических процессов. Деревья, кустарники, травы умеренных регионов, большинство растений с крахмалистыми корневищами, клубнями и орехами

⁵ После смерти организма их количество остаётся постоянным, в отличие от нестабильных, например, ^{14}C .

принадлежат к типу C_3 с диапазоном отрицательных значений $\delta^{13}C$ от -20 до -35‰ . Сюда попадает и большинство культурных злаков, таких как пшеница, ячмень, рожь, рис. Травы, растущие в жарких и засушливых условиях, относятся к типу C_4 с диапазоном $\delta^{13}C$ от -9 до -14‰ . В эти пределы укладываются просо, кукуруза, сорго, сахарный тростник. Неперекрывающиеся значения дают возможность установить факт потребления растений C_4 в тех регионах, где они вводились в культуру. К третьему типу относятся суккуленты. На значение δ может оказывать влияние «купольный эффект»: в густо заросших лесах CO_2 перемешивается неравномерно, что приводит к смещению значений в отрицательную сторону [11].

Другой элемент, анализируемый с целью установления рациона, — азот. Бобовые растения с помощью особых бактерий могут поглощать атмосферный азот, для которого установлено значение 0‰ , тогда как остальные обогащаются им из соединений аммиака или нитратов в почве и будут значительно отличаться от бобовых. На показатели $\delta^{15}N$ могут влиять уровень осадков и температурный режим, высота над уровнем моря, антропогенное удобрение почвы и другие факторы. В качестве значимых параметров нужно отметить водный и пищевой стрессы. В ходе метаболических процессов, компенсирующих длительный недостаток воды или пищи, содержание ^{15}N в тканях организма повышается [12]. Некоторые болезни и голодание самого индивида также отражаются в повышенном значении $\delta^{15}N$, что можно спутать с высокой долей потребления морских ресурсов [19]. С каждым уровнем пищевой цепи значение $\delta^{15}N$ изменяется примерно на 3‰ , что позволяет оценить трофический уровень ресурсов [35].

Изотопный анализ, как и предыдущие методы, представляет собой метод сравнения. Эталонами тут выступают диапазоны значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ для определённых источников пищи. В мировом масштабе определены примерные пределы содержания изотопов в основных категориях пищевых ресурсов и их средние значения. Так как значения $\delta^{15}N$ чувствительны к вышеописанным факторам, то некорректно проводить сравнения ресурсов из разных экосистем без учёта изотопного состава местной пищевой базы. Это замечание справедливо и для $\delta^{13}C$, так как даже в пределах одной группы животных, например, морской или пресноводной ихтиофауны и малакофауны, значения $\delta^{13}C$ могут значительно варьировать в зависимости от обогащения углеродом их источников пищи, что перейдёт далее по пищевой цепочке и может быть ошибочно истолковано [17]. Потому, анализируя останки людей, учёные стремятся следовать методике воссоздания локальной изотопной «базы» основных пищевых ресурсов [19; 30].

Изотопы азота и углерода поступают в ткани организма разными путями и в разной пропорции. Наиболее часто используемые объекты для изотопного анализа — кости и зубы. Кость на 70% состоит из неорганического и на 30% из органического вещества — апатита и коллагена соответственно.

После многолетних экспериментов специалисты пришли к выводу, опирающемуся на закономерности биохимического распределения микроэлементов в организме, что коллаген формируется из углерода протеиновой части диеты и его изотопный сигнал отражает преимущественно белковый вклад в рацион. Апатит кости обогащается растворённым в крови бикарбонатом, углерод которого поступает из всей пищи. Поэтому $\delta^{13}\text{C}$ в костном апатите отражает цельный рацион питания [24]. Исследователи всё чаще работают и с коллагеном, и с апатитом в качестве взаимодополняющих источников. Кроме того, изотопный анализ апатита помогает зафиксировать потребление растений C_4 даже в незначительных количествах, тогда как в коллагене уровень изотопа от потребления растений этого типа совпадает с потреблением морской фауны [18]. В новейших исследованиях изучаются уже изотопные сигналы отдельных аминокислот с целью повысить разрешающую способность метода.

Разные виды источников для изотопного анализа имеют нюансы, которые необходимо учитывать при постановке задачи и интерпретации результатов. Зубы накапливают изотопы только в период формирования. Зубы различных типов будут отражать структуру диеты только в соответствующий отрезок времени. Например, зуб мудрости минерализуется к 12–16 годам и будет наиболее близок к диете взрослого человека. Зубы состоят из дентина и цемента, которые по составу такие же, как и кость, и эмали, которая на 96%, состоит из апатита. Последний не подвержен разрушению с течением времени, как коллаген, а эмаль зубов более устойчива к диагенезу⁶, чем кость [25]. Состав вмещающих отложений имеет большое значение: карбонаты раковинных куч благоприятно действуют на сохранность органики, но в итоге будут влиять на минеральный состав костей [26].

Ткань кости, напротив, обновляется в течение жизни. Существует значительная индивидуальная изменчивость в скорости роста кости и обновления её состава. Различные участки отбора образцов и их объём могут серьёзно влиять на изотопные значения и усложнять их интерпретацию. Длинные части костей у взрослых млекопитающих соответствуют периоду быстрого роста — подростковому возрасту, а их окончания — времени незадолго до смерти. Поверхностная часть будет отражать период более 10 лет, а внутренняя — время, ближайшее к смерти. Соответственно, по образцу из всей толщи кости можно определить усреднённую диету большей части жизни [28]. Наиболее надёжными будут комплексные результаты исследования, которые помогут выявить и учесть влияние различных эффектов на уровень изотопов в тканях.

Каковы возможности изотопного анализа? Серийные данные помогают в решении узких и широких задач: от реконструкций диеты древних

⁶ Процесс замещения и накопления химических элементов из почвы предметом во время его нахождения в земле.

гоминид [25] и определения сроков грудного вскармливания у младенцев [10; 32] до разработки моделей питания на популяционном уровне и выявления социальных, гендерных, культурных и экологических факторов, влияющих на рацион питания [36; 38].

Большой вклад изотопный анализ внёс в проверку гипотез об относительной важности морской и наземной пищи в рационе. Морская и наземная фауна имеют различные диапазоны значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$, что позволяет не только разграничить эти виды ресурсов, но и оценить их место в пищевой цепочке. В мире этот подход широко используется для понимания моделей питания популяций, проживающих в экстремальных условиях, — арктических народов, островных и прибрежных адаптаций. Результаты показывают пластичность пищевого поведения индивидов и их групп. Обитатели Аляски демонстрируют следующую структуру белковой компоненты диеты в порядке значимости её составляющих: морские млекопитающие и рыба (преимущественно лосось) и в меньшей степени наземные млекопитающие. Однако в рамках группы доля того или иного ресурса могла меняться в зависимости от сезона, стратегии хранения пищи или личных предпочтений и возможностей. Сохранившиеся в вечной мерзлоте волосы позволили отследить и такие моменты [9]. При этом нужно понимать, что механический перенос таких выводов на структуру всего рациона некорректен, так как в них учтён не энергетический вклад белка, а вклад того или иного ресурса в белковую компоненту. Как правило, большую часть энергетических потребностей в таких диетах обеспечивают жиры и углеводы животного происхождения — гликоген. Доступные в этих условиях растения покрывают необходимую потребность организма в микроэлементах и энергии, которые невозможно получить из протеинов и липидов [15].

Прибрежные экотопы и ландшафты умеренных широт имеют большее разнообразие пищевых ресурсов за счёт распространённых там растений, богатых крахмалом и растительными жирами. Это должно отразиться на структуре рациона и изотопных значениях, поэтому имеет смысл комбинировать источники изотопного анализа (коллаген и апатит), а в последнее время рассматриваются и некоторые аминокислоты, выделяемые из коллагена. Параллельные исследования на основе апатита показывают, что вклад растений в диеты популяций с присваивающей экономикой существенно недооценён, и даже у неандертальцев доля растений в рационе была более значимой, чем предполагалось ранее [29]. Выводы о значимости того или иного источника пищи, сделанные на основе анализа изотопов, носят качественный и относительный характер.

Использование статистических методов для поиска корреляций между источниками пищи и уровнем изотопных сигналов потребителей дало возможность перейти к математическому моделированию рационов и оценить количественный вклад установленных пищевых ресурсов в диету. В качестве вводных выступают данные по изотопам из различных

источников и пищевая ценность основных ресурсов. Чем большее число источников задействовано, тем точнее модель. Программный продукт FRUITS, пройдя апробацию на данных экспериментов по контролируемому кормлению животных [13], показал результаты и на археологических комплексах. Моделирование рациона питания обитателей Карибских островов позволило выявить количественное соотношение нутриентов: 60% энергии поступало с углеводами, а оставшаяся часть — из протеинов и липидов морской и наземной фауны. Соотношение последних совпало с данными прямых подсчётов зооархеологических останков по минимальному количеству особей на одном из исследуемых памятников [31].

Другим источником для реконструкции палеодиеты являются керамика и нагар на ней. Нагар и остатки жирных кислот различных продуктов также анализируют на содержание изотопов, выявляя обработку водных или наземных ресурсов или устанавливая вид пищи, которая хранилась в сосуде. Жирные кислоты можно соотнести и со специфическим источником. Данный подход решает задачи определения функционального назначения керамики, как, например, в раннем неолите Кореи, Японии и Сахалина, где керамические сосуды с прибрежных памятников были связаны преимущественно с обработкой водных ресурсов [16; 33; 14]. Так же удаётся получить свидетельства использования пищи, которую практически невозможно проследить археологически, например, молочных продуктов [34]. Игнорирование контекста создаёт интерпретационные ловушки. Если керамика свидетельствует об обработке исключительно водных ресурсов, можно сделать ошибочное заключение об их значимости. С учётом сопутствующих остатков наземной фауны и флоры и комплекса артефактов становится очевидным, что для обработки таких категорий продуктов применялись другие способы [27; 16; 33], а нагар — лишь остатки подгоревшей пищи в результате одного или нескольких эпизодов приготовления еды.

Случаи применения изотопного анализа на местных материалах единичны. Исследованные костяки из могильников Бойсмана 2, Черепаха 13 и пещеры Чёртовы Ворота дали характеристику белкового вклада в диету носителей бойсманской, руднинской и янковской культурных традиций. Результаты по коллагену показали, что в диете бойсманцев главным источником белка являлись морские млекопитающие, рыбы и моллюски [21]. Последние наиболее очевидны в археологическом контексте. Однако их белковая и энергетическая ценность значительно ниже многих морских рыб и млекопитающих, а главное достоинство — доступность. Но диета бойсманцев не была и не могла быть исключительно морской. Об охоте на мелких и крупных наземных млекопитающих свидетельствуют зооархеологические находки из отложений бойсманского времени на памятнике Бойсмана 1. Этот набор ресурсов обеспечивал поступление белков и жиров. Если принимать во внимание характеристику природной среды региона, то для населения были доступны многие источники

углеводов — главного поставщика энергии для организма — богатые крахмалом растения. Об их наличии в рационе бойсманцев косвенно свидетельствуют имеющиеся археоботанические данные [6, с. 378].

Руднинское население ориентировалось на получение белка от наземных ресурсов, хотя и использовало морскую фауну. Карбонизированные остатки указывают на собирательство лещины и желудей — одного из наиболее продуктивного и богатого углеводами и растительными жирами источника энергии в регионе.

Очевидная модель природопользования, ориентированного на локальный набор ресурсов, подтверждена результатами изотопного анализа нагара с бойсманской керамики из прибрежного и континентального районов (Бойсмана 2 и Лузанова Сопка 2 соответственно). На побережье сосуды использовались для обработки морских ресурсов, причём более ранний протобойсманский тип керамики, видимо, применялся для обработки моллюсков и морской рыбы. Более поздняя бойсманская керамика содержит уровень изотопов азота, соответствующий и морским млекопитающим [23]. Это согласуется с результатами изотопного анализа по коллагену бойсманцев, возраст которых находится в диапазоне датировок более поздней керамики. Подобное изменение во времени может свидетельствовать об освоении новых ресурсов в виде морских млекопитающих и технологий их переработки и хранения. Здесь можно рассмотреть несколько сценариев: ресурсы были, но отсутствовали навыки; навыки были, но отсутствовали ресурсы; с изменением природной среды появились ресурсы, а затем и навыки.

Изотопный анализ нагара на керамике показал, что обрабатываемая пища не имела исключительно морского происхождения, так как присутствует смещение изотопных значений углерода в сторону наземных источников питания.

Нагар с бойсманской керамики из континентальных районов соответствовал использованию наземных ресурсов и, вероятно, пресноводных рыб. Последнее предположение пока на уровне допущений, так как изотопные значения для пресноводных ресурсов региона отсутствуют.

Эти результаты в целом хорошо укладываются в схему использования керамики прибрежным и континентальным населением в бассейне Японского моря. Если учесть археозоологический и ботанический контекст, становится очевидным, что из поля зрения выпадают многие наземные животные и растения, так как их, вероятно, обрабатывали иными способами [16; 27; 33; 37].

Изотопные сигналы в костях янковского населения на памятнике Черепаха 13 и археологический контекст показали, что, несмотря на прибрежные условия обитания жителей (как на берегу моря, так и на берегу озера), рацион их питания был не так очевиден, как ожидалось. Экофакты свидетельствуют о преобладании костей наземных млекопитающих — 80,9%, рыб — 13,8%, морских млекопитающих — 0,04% [22]. Данные

по минимальному количеству особей отсутствуют, что не позволяет провести сравнения по массе, калорийности и белковому вкладу ресурсов.

Результаты изотопного анализа по коллагену показали, что основная доля белка поступала из морских ресурсов уровня моллюсков и рыб, если пользоваться изотопной картой, составленной для Корейского полуострова. Наличие морских млекопитающих не отразилось на уровне изотопов. Различная глубина обитания, географические ареалы с собственным микроэлементным составом, иная кормовая база могут оказывать значительное влияние на уровень изотопов. Этот эффект отмечен для пресноводных рыб оз. Байкал, различия зафиксированы даже в пределах небольшого региона в Японии, где сочетались условия открытого океана и относительно ограниченного «внутреннего моря». Очевидно, подобное явление имеет место и в нашем регионе. Следовательно, оценки источников морского белка по аналогиям с изотопными картами других регионов в настоящий момент носят условный характер.

С осторожностью стоит относиться и к выводу о значимости культурного проса в рационе питания, сделанному на основании присутствия карпологических находок [7] и значений $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне растений C_4 . В данном случае необходимо учитывать, что диапазоны $\delta^{13}\text{C}$ морских рыб и моллюсков и растений C_4 , к которым относится просо, накладываются друг на друга. Данные по местным моллюскам, обитающим в районе исследования, отражают зависимость $\delta^{13}\text{C}$ от источника питания. $\delta^{13}\text{C}$ некоторых моллюсков имеет сильно положительные значения [20]. Чтобы установить или исключить факт потребления таких моллюсков, достаточно сделать видовое определение ископаемой малакофауны.

Другой момент, который не свидетельствует в пользу большой доли проса в рационе, касается коллагена, который вырабатывается из белковой части диеты. Чтобы опубликованные авторами значения изотопов углерода свидетельствовали о потреблении проса, янковцы должны были не только есть преимущественно его, но и питаться мясом животных, выкормленных этой культурой. Такую модель демонстрируют изотопные данные по Китаю, приведённые исследователями для сравнения [30]. Диета свиней с Черепахи 13 практически совпадает с диетой диких животных. Подобное сопоставление некорректно в силу отсутствия на предложенных для аналогий китайских памятниках доступа к морским ресурсам. Сравнение с другими рационами, имеющими в составе растения C_4 и наземную флору и фауну, наоборот подчёркивает, что причиной столь положительных значений $\delta^{13}\text{C}$ должен являться источник морского белка, а не потребление проса.

Известна хозяйственная специализация прибрежных и континентальных поселений янковского времени [1]. Можно предположить, что обитатели Черепахи 13 периодически проживали в местах, ориентированных на различное поступление пищевых ресурсов: производство или добычу. Но даже в этом случае положение рациона янковцев на изотопной карте

не должно столь значительно отличаться от диет, ориентированных на потребление растений C_4 и наземных ресурсов, и показывать смешанный сигнал и от наземных, и от морских источников пищи. Потому для надёжного определения вклада проса в диету требуется анализ изотопов по апатиту [22].

Результаты по Черепaxe 13 показывают, что, помимо числовых значений, необходимо учитывать контекст находок и палеоэкологическую обстановку. Несмотря на факт присутствия культурного проса в отложениях и долговременный характер поселения, место его расположения соответствует ориентации на морские ресурсы, а не на земледельческие. Это отразилось и в палинологических спектрах, которые не свидетельствуют о культивации злаков вокруг поселения [5]. Вероятно, находки проса можно рассматривать как импорт стабилизирующего ресурса.

Применение изотопных методов для реконструкции палеодиет в региональной археологии продемонстрировало информационный потенциал археологических комплексов и обозначило проблемные точки. Во-первых, необходимо составление изотопной карты местных ресурсов — эталонной коллекции. Во-вторых, отобранные источники должны сопровождаться максимально возможным информационным описанием и обоснованием. В-третьих, следует учитывать контекст и, наконец, использовать дополнительные источники информации для перепроверки результатов и повышения надёжности интерпретаций.

Увеличение знаний о возможностях и ограничениях разнообразных методов позволяет ставить конкретные цели и задачи для исследований, понимать информационный потенциал различных археологических комплексов, критически относиться к получаемым результатам. Очевидно, что выбор определённой ландшафтной структуры и зоны хозяйственного использования как ресурсной базы социума будет определять модель питания. Привлечение изучения фаунистических и ботанических макроостатков позволяет выявить более разнообразные стратегии использования пищевых ресурсов, чем при оценке изотопным и липидным анализом. Археоботанические и зоологические методы ограничены видовыми пределами. При этом они взаимодополняемы, детальны и более доступны. Видовые определения позволяют подсчитать минимальное количество особей или минимально возможную урожайность, а также дать количественную характеристику пищевой ценности того или иного ресурса, оценить его доступность, стабильность и энергозатраты, связанные с его добычей. Ни один из подходов, как и ни один из упомянутых методов, в отдельности не позволяет реконструировать модели питания и систему жизнеобеспечения древнего населения. Работа в этом направлении должна носить комплексный характер. Оптимально выглядит стратегия создания «эталонных» диетических моделей для археологических комплексов с наибольшим корпусом экофактов и костными останками людей с помощью всех доступных методов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Андреева Ж.В., Жушиховская И.С., Кононенко Н.А. Янковская культура. М.: Наука, 1986. 216 с.
2. Арутюнов С.А. Этнография питания стран зарубежной Азии. Опыт сравнительной типологии. М.: Наука, 1981. 255 с.
3. Вострецов Ю.Е. Археологическое изучение поведенческой адаптации древнего населения // Россия и АТР. 2016. № 4. С. 5—18.
4. Вострецов Ю.Е. Метод ландшафтного анализа (на примере поселений кроуновской культуры железного века в Приморье) // Проблемы археологических исследований на Дальнем Востоке СССР. Мат-лы XIII Дальневосточной науч. конф. по проблемам отечественной и зарубежной историографии. Владивосток, 1986. С. 135—145.
5. Лящевская М.С., Макарова Т.Р., Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Кудрявцева Е.П., Паничев А.М., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Развитие ландшафтов полуострова Муравьёва-Амурского в среднем-позднем голоцене по данным изучения отложений побережья бухты Муравьиная (южное Приморье) // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 110—122.
6. Первые рыболовы в заливе Петра Великого. Природа и древний человек в бухте Бойсмана / отв. ред. Ю.Е. Вострецов. Владивосток: ДВО РАН, 1998. 390 с.
7. Сергушева Е.А., Морева О.Л. Земледелие в южном Приморье в I тыс. до н.э.: карпологические материалы поселения Черепаха-13 // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2017. № 4. С. 195—204.
8. Харрисон Дж., Уайнер Дж., Тэннер Дж., Барникот Н., Рейнолдс В. Биология человека. М.: Мир, 1979. 612 с.
9. Britton K., McManus-Fry E., Nehlich O., Richards M., Ledger P.M., Knecht R. Stable Carbon, Nitrogen and Sulphur Isotope Analysis of Permafrost Preserved Human Hair from Rescue Excavations (2009, 2010) at the Precontact Site of Nunalleq, Alaska // Journal of Archaeological Science: Reports. 2018. No. 17. P. 950—963.
10. Burt N.M. Individual Dietary Patterns during Childhood: an Archaeological Application of a Stable Isotope Microsampling Method for Tooth Dentin // Journal of Archaeological Science. 2015. No. 53. P. 277—290.
11. Cerling T.E., Harris J.M. Carbon Isotope Fractionation between Diet and Bioapatite in Ungulate Mammals and Implications for Ecological and Paleoecological Studies // Oecologia. 1999. No. 120. P. 347—363.
12. Corr L.T., Sealy J.C., Horton M.C., Evershed R.P. A Novel Marine Dietary Indicator Utilising Compound-Specific Bone Collagen Amino Acid $\delta^{13}C$ Values of Ancient Humans // Journal of Archaeological Science. 2005. No. 32. P. 321—330.
13. Fernandes R., Millard A.R., Brabec M., Nadeau M., Grootes P. Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals (FRUITS): A Bayesian Model for Diet Reconstruction // PLoS One. 2014. Vol. 9. Is. 2. e87436.
14. Gibbs K., Isaksson S., Craig O.E., Lucquin A., Grishchenko V.A., Farrell T.F.G., Thompson A., Kato H., Vasilevski A.A., Jordan P.D. Exploring the Emergence of an “Aquatic” Neolithic in the Russian Far East: Organic Residue Analysis of Early Hunter-Gatherer Pottery from Sakhalin Island // Antiquity. 2017. Vol. 91. Iss. 360. P. 1484—1500.
15. Hardy K., Brand-Miller J.C., Brown K.D., Thomas M.G., Copeland L. The Importance of Dietary Carbohydrate in Human Evolution // The Quarterly Review of Biology. 2015. Vol. 90. No. 3. P. 251—268.
16. Heron C., Junko H., Owens M.K., Yumiko Y., Eley Y., Lucquin A., Radini A., Saul H., Spiteri S.D., Craig O.E. Molecular and Isotopic Investigations of Pottery and “Charred Remains” from Sannai Maruyama and Sannai Maruyama No. 9, Aomori Prefecture, Japan // Japanese Journal of Archaeology. 2016. No. 4. P. 29—52.

17. Karg S. The Water Chestnut (*Trapa Natans* L.) as a Food Resource during the 4th to 1st Millennia BC at Lake Federsee, Bad Buchau (Southern Germany) // *Environmental Archaeology*. 2006. Vol. 11. No. 1. P. 125–130.
18. Katzenberg M.A. Stable Isotope Analysis: a Tool for Studying Past Diet, Demography, and Life History // *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, Second Edition / ed. by M.A. Katzenberg, S.R. Saunders. Toronto: A John Wiley & Sons, 2008. P. 413–442.
19. Katzenberg M.A., Weber A. Stable Isotope Ecology and Paleodiet in the Lake Baikal Region of Siberia // *Journal of Archaeological Science*. 1999. Vol. 26. P. 651–665.
20. Kharlamenko V.I., Kiyashko S.I., Imbs A.B., Vyshkvartzev D.I. Identification of Food Sources of Invertebrates from the Seagrass *Zostera Marina* Community Using Carbon and Sulfur Stable Isotope Ratio and Fatty Acid Analyses // *Marine Ecology Progress Series*. 2001. No. 220. P. 103–117.
21. Kunikita D., Popov A.N., Lazin B.L., Morisaki K., Matsuzaki H. Dating and Stable Isotope Analysis of Charred Residues from Neolithic Sites in the Primorye, Russian Far East // *Radiocarbon*. 2017. Vol. 59. Iss. 2. P. 1–9.
22. Kuzmin Y.V., Richards M.P., Yoneda M. Palaeodietary Patterning and Radiocarbon Dating of Neolithic Populations in the Primorye Province, Russian Far East // *Ancient Biomolecules*. 2002. Vol. 4 (2). P. 53–58.
23. Kuzmin Y.V., Panov V.S., Gasilin V.V., Batarshev S.V. Paleodietary Patterns Of The Cherepakha 13 Site Population (Early Iron Age) In Primorye (Maritime) Province, Russian Far East, Based On Stable Isotope Analysis // *Radiocarbon*. 2018. Vol. 60. Iss. 5. P. 1611–1620.
24. Lee-Thorp J.A., Sealy J.C., Van Der Merwe N.J. Stable Carbon Isotope Ratio Differences between Bone Collagen and Bone Apatite, and Their Relationship to Diet // *Journal of Archaeological Science*. 1989. No. 16. P. 585–599.
25. Lee-Thorp J.A., Sponheimer M., Van Der Merwe N.J. What do Stable Isotopes Tell us about Hominid Dietary and Ecological Niches in the Pliocene? // *International Journal of Osteoarchaeology*. 2003. No. 13. P. 104–113.
26. Loftus E., Sealy J. Technical Note: Interpreting Stable Carbon Isotopes in Human Tooth Enamel: An Examination of Tissue Spacings from South Africa // *American journal of physical anthropology*. 2012. No. 147. P. 499–507.
27. Luquin A., Gibbs K., Uchiyama J., Saul H., Ajimoto M., Eley Y., Radini A., Heron C.P., Shoda S., Nishida Y., Lundy J., Jordan P., Isaksson S., Craig O. Ancient Lipids Document Continuity in the Use of Early Hunter-Gatherer Pottery Through 9,000 Years of Japanese Prehistory // *PNAS*. 2016. Vol. 113. No. 15. P. 3991–3996.
28. Matsubayashi J., Tayasu I. Collagen Turnover and Isotopic Records in Cortical Bone // *Journal of Archaeological Science*. 2019. Vol. 106. P. 37–44.
29. Naito Y.I., Chikaraishi Y., Drucker D.G., Ohkouchi N., Semal P., Wibing C., Bocherens H. Ecological Niche of Neanderthals from Spy Cave Revealed by Nitrogen Isotopes of Individual Amino Acids in Collagen // *Journal of Human Evolution*. 2016. No. 93. P. 82–90.
30. Pechenkina E.A., Ambrose S.H., Xiaolin M., Benfer R.A. Jr. Reconstructing Northern Chinese Neolithic Subsistence Practices by Isotopic Analysis // *Journal of Archaeological Science*. 2005. No. 32. P. 1176–1189.
31. Pestle W.J., Laffoon J. Quantitative Paleodietary Reconstruction with Complex Food-webs: An Isotopic Case Study from the Caribbean // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2018. No. 17. P. 393–403.
32. Reynard L.M., Tuross N. The Known, the Unknown and the Unknowable: Weaning Times from Archaeological Bones Using Nitrogen Isotope Ratios // *Journal of Archaeological Science*. 2015. No. 53. P. 618–625.

33. Shoda S., Lucquin A., Ahn J., Hwang J., Craig O.E. Pottery Use by Early Holocene Hunter-Gatherers of the Korean Peninsula Closely Linked with the Exploitation of Marine Resources // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 170. P. 164–173.
34. Spangenberg J.E., Jacomet S., Schibler J. Chemical Analyses of Organic Residues in Archaeological Pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland — Evidence for Dairying in the Late Neolithic // *Journal of Archaeological Science*. 2006. No. 33. P. 1–13.
35. Tykot R.H. Bone Chemistry and Ancient Diet // *Encyclopedia of Global Archaeology*. Ed. by C. Smith. New York, Springer-Verlag. 2014. P. 931–941.
36. Weber A.W., White D., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Savel'ev N.A., Katzenberg M.A. Hunter-Gatherer Foraging Ranges, Migrations, and Travel in the Middle Holocene Baikal Region of Siberia: Insights from Carbon and Nitrogen Stable Isotope Signatures // *Journal of Anthropological Archaeology*. 2011. Vol. 30. P. 523–548.
37. Yoshida K., Kunikita D., Miyazaki Y., Nishida Y., Miyao T., Matsuzaki H. Dating and Stable Isotope Analysis of Charred Residues on the Incipient Jomon Pottery (Japan) // *Radiocarbon*. 2013. Vol. 55. Iss. 2–3. P. 1322–1333.
38. Zhou L., Garvie-Lok S.J. Isotopic Evidence for the Expansion of Wheat Consumption in Northern China // *Archaeological Research in Asia*. 2015. Vol. 4. P. 25–35.

REFERENCES

1. Andreeva Zh.V., Zhushhihovskaja I.S., Kononenko N.A. *Yankovskaya kul'tura* [The Yankovskaya Culture]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 216 p. (In Russ.)
2. Arutyunov S.A. *Etnografiya pitaniya stran zarubezhnoy Azii. Opyt sravnitel'noy tipologii* [Ethnography of Nutrition in the Countries of Foreign Asia. Experience of Comparative Typology]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 255 p. (In Russ.)
3. Vostretsov Ju.E. Arkheologicheskoe izuchenie povedencheskoy adaptatsii drevnego naseleniya [Archaeological Study of Behavioral Adaptation of the Ancient Population]. *Rossiya i ATR*, 2016, no. 4, pp. 5–18. (In Russ.)
4. Vostretsov Yu.E. Metod landshaftnogo analiza (na primere poseleniy krounovskoy kul'tury zhelezного века v Primor'e) [The Method of the Landscape Analysis (the Case Study of the Krounovskaya Culture Settlements in Primorye during the Iron Age)]. *Problemy arkheologicheskikh issledovaniy na Dal'nem Vostoke SSSR. Materialy XIII Dal'nevostochnoy nauchnoy konferentsii po problemam otechestvennoy i zarubezhnoy istoriografii* [Problems of Archaeological Studies in the Far East of the USSR. Proceedings of the 13th Far Eastern Scientific Conference on the Problems of National and Foreign Historiography]. Vladivostok, 1986, pp. 135–145. (In Russ.)
5. Lyashchevskaya M.S., Makarova T.R., Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Kudryavtseva E.P., Panichev A.M., Arslanov Kh.A., Maksimov F.E., Petrov A.Yu. Razvitie landshaftov poluoostrova Murav'eva-Amurskogo v srednem-pozdnem golotsene po dannym izucheniya otlozheniy poberezh'ya bukhty Murav'inaya (yuzhnoe Primor'e) [The Development of the Landscapes of the Muravyov-Amursky Peninsula during Middle-Late Holocene Based on Research of Sediments along the Coast of the Muravyinaya Bay (Southern Primorye)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2017, no. 2, pp. 110–122. (In Russ.)
6. *Pervye rybolovy v zalive Petra Velikogo. Priroda i drevniy chelovek v bukhte Boysmana* [First Fishers in Peter the Great Bay. Nature and Ancient Man in the Boysman Bay]. Executive by Yu.E. Vostretsov. Vladivostok, DVO RAN Publ., 1998, 390 p. (In Russ.)
7. Sergusheva E.A., Moreva O.L. Zemledelie v yuzhnom Primor'e v I tys. do n.e.: karpologicheskie materialy poseleniya Cherepakha-13 [Agriculture in Southern Primorye

- in the First Millennium BC: Carpological Materials of the Cherepaha-13 Settlement]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*, 2017, no. 4, pp. 195–204. (In Russ.)
8. Kharrison Dzh., Uayner Dzh., Tenner Dzh., Barnikot N., Reynolds V. *Biologiya che-loveka* [Human Biology]. Moscow, Mir Publ., 1979, 612 p. (In Russ.)
 9. Britton K., McManus-Fry E., Nehlich O., Richards M., Ledger P.M., Knecht R. Stable Carbon, Nitrogen and Sulphur Isotope Analysis of Permafrost Preserved Human Hair from Rescue Excavations (2009, 2010) at The Precontact Site of Nunalleq, Alaska. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2018, no. 17, pp. 950–963. (In Eng.)
 10. Burt N.M. Individual Dietary Patterns during Childhood: an Archaeological Application of a Stable Isotope Microsampling Method for Tooth Dentin. *Journal of Archaeological Science*, 2015, no. 53, pp. 277–290. (In Eng.)
 11. Cerling T.E., Harris J.M. Carbon Isotope Fractionation between Diet and Bioapatite in Ungulate Mammals and Implications for Ecological and Paleoecological Studies. *Oecologia*, 1999, no. 120, pp. 347–363. (In Eng.)
 12. Corr L.T., Sealy J.C., Horton M.C., Evershed R.P. A Novel Marine Dietary Indicator Utilising Compound-Specific Bone Collagen Amino Acid $\delta^{13}C$ Values of Ancient Humans. *Journal of Archaeological Science*, 2005, no. 32, pp. 321–330. (In Eng.)
 13. Fernandes R., Millard A.R., Brabec M., Nadeau M., Grootes P. Food Reconstruction Using Isotopic Transferred Signals (FRUITS): A Bayesian Model for Diet Reconstruction. *PLoS One*, 2014, vol. 9, iss. 2, e87436. (In Eng.)
 14. Gibbs K., Isaksson S., Craig O.E., Lucquin A., Grishchenko V.A., Farrell T.F.G., Thompson A., Kato H., Vasilevski A.A., Jordan P.D. Exploring the Emergence of an “Aquatic” Neolithic in the Russian Far East: Organic Residue Analysis of Early Hunter-Gatherer Pottery from Sakhalin Island. *Antiquity*, 2017, vol. 91, iss. 360, pp. 1484–1500. (In Eng.)
 15. Hardy K., Brand-Miller J.C., Brown K.D., Thomas M.G., Copeland L. The Importance of Dietary Carbohydrate in Human Evolution. *The Quarterly Review of Biology*, 2015, vol. 90, no. 3, pp. 251–268. (In Eng.)
 16. Heron C., Junko H., Owens M.K., Yumiko Y., Eley Y., Lucquin A., Radini A., Saul H., Spiteri S.D., Craig O.E. Molecular and Isotopic Investigations of Pottery and “Charred Remains” from Sannai Maruyama and Sannai Maruyama No. 9, Aomori Prefecture, Japan. *Japanese Journal of Archaeology*, 2016, no. 4, pp. 29–52. (In Eng.)
 17. Karg S. The Water Chestnut (*Trapa Natans* L.) as a Food Resource during the 4th to 1st Millennia BC at Lake Federsee, Bad Buchau (Southern Germany). *Environmental Archaeology*, 2006, vol. 11, no. 1, pp. 125–130. (In Eng.)
 18. Katzenberg M.A. Stable Isotope Analysis: a Tool for Studying Past Diet, Demography, and Life History. *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, Second Edition. Ed. by M.A. Katzenberg, S.R. Saunders. Toronto, A John Wiley & Sons Publ., 2008, pp. 413–442. (In Eng.)
 19. Katzenberg M.A., Weber A. Stable Isotope Ecology and Paleodiet in the Lake Baikal Region of Siberia. *Journal of Archaeological Science*, 1999, vol. 26, pp. 651–665. (In Eng.)
 20. Kharlamenko V.I., Kiyashko S.I., Imbs A.B., Vyshkvartzev D.I. Identification of Food Sources of Invertebrates from the Seagrass *Zostera Marina* Community Using Carbon and Sulfur Stable Isotope Ratio and Fatty Acid Analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, no. 220, pp. 103–117. (In Eng.)
 21. Kunikita D., Popov A.N., Lazin B.L., Morisaki K., Matsuzaki H. Dating and Stable Isotope Analysis of Charred Residues from Neolithic Sites in the Primorye, Russian Far East. *Radiocarbon*, 2017, vol. 59, iss. 2, pp. 1–9. (In Eng.)
 22. Kuzmin Y.V., Richards M.P., Yoneda M. Palaeodietary Patterning and Radiocarbon Dating of Neolithic Populations in the Primorye Province, Russian Far East. *Ancient Biomolecules*, 2002, no. 4 (2), pp. 53–58. (In Eng.)

23. Kuzmin Y.V., Panov V.S., Gasilin V.V., Batarshv S.V. Paleodietary Patterns Of The Cherepakha 13 Site Population (Early Iron Age) In Primorye (Maritime) Province, Russian Far East, Based On Stable Isotope Analysis. *Radiocarbon*, 2018, vol. 60, iss. 5, pp. 1611–1620. (In Eng.)
24. Lee-Thorp J.A., Sealy J.C., Van Der Merwe N.J. Stable Carbon Isotope Ratio Differences between Bone Collagen and Bone Apatite, and Their Relationship to Diet. *Journal of Archaeological Science*, 1989, no. 16, pp. 585–599. (In Eng.)
25. Lee-Thorp J.A., Sponheimer M., Van Der Merwe N.J. What do Stable Isotopes Tell us about Hominid Dietary and Ecological Niches in the Pliocene? *International Journal of Osteoarchaeology*, 2003, no. 13, pp. 104–113. (In Eng.)
26. Loftus E., Sealy J. Technical Note: Interpreting Stable Carbon Isotopes in Human Tooth Enamel: An Examination of Tissue Spacings from South Africa. *American journal of physical anthropology*, 2012, no. 147, pp. 499–507. (In Eng.)
27. Lucquin A., Gibbs K., Uchiyama J., Saul H., Ajimoto M., Eley Y., Radini A., Heron C.P., Shoda S., Nishida Y., Lundy J., Jordan P., Isaksson S., Craig O. Ancient Lipids Document Continuity in the Use of Early Hunter-Gatherer Pottery Through 9,000 Years of Japanese Prehistory. *PNAS*, 2016, vol. 113, no. 15, pp. 3991–3996. (In Eng.)
28. Matsubayashi J., Tayasu I. Collagen Turnover and Isotopic Records in Cortical Bone. *Journal of Archaeological Science*, 2019, vol. 106, pp. 37–44. (In Eng.)
29. Naito Y.I., Chikaraishi Y., Drucker D.G., Ohkouchi N., Semal P., Wibing C., Boucherens H. Ecological Niche of Neanderthals from Spy Cave Revealed by Nitrogen Isotopes of Individual Amino Acids in Collagen. *Journal of Human Evolution*, 2016, no. 93, pp. 82–90. (In Eng.)
30. Pechenkina E.A., Ambrose S.H., Xiaolin M., Benfer R.A. Jr. Reconstructing Northern Chinese Neolithic Subsistence Practices by Isotopic Analysis. *Journal of Archaeological Science*, 2005, no. 32, pp. 1176–1189. (In Eng.)
31. Pestle W.J., Laffoon J. Quantitative Paleodietary Reconstruction with Complex Foodwebs: An Isotopic Case Study from the Caribbean. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2018, no. 17, pp. 393–403. (In Eng.)
32. Reynard L.M., Tuross N. The Known, the Unknown and the Unknowable: Weaning Times from Archaeological Bones Using Nitrogen Isotope Ratios. *Journal of Archaeological Science*, 2015, no. 53, pp. 618–625. (In Eng.)
33. Shoda S., Lucquin A., Ahn J., Hwang J., Craig O.E. Pottery Use by Early Holocene Hunter-Gatherers of the Korean Peninsula Closely Linked with the Exploitation of Marine Resources. *Quaternary Science Reviews*, 2017, vol. 170, pp. 164–173. (In Eng.)
34. Spangenberg J.E., Jacomet S., Schibler J. Chemical Analyses of Organic Residues in Archaeological Pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland – Evidence for Dairying in the Late Neolithic. *Journal of Archaeological Science*, 2006, no. 33, pp. 1–13. (In Eng.)
35. Tykot R.H. Bone Chemistry and Ancient Diet. *Encyclopedia of Global Archaeology. Archaeological Science section*. Ed. by C. Smith. New York, Springer, 2014, pp. 931–941. (In Eng.)
36. Weber A.W., White D., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Savel'ev N.A., Katzenberg M.A. Hunter-Gatherer Foraging Ranges, Migrations, and Travel in the Middle Holocene Baikal Region of Siberia: Insights from Carbon and Nitrogen Stable Isotope Signatures. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2011, vol. 30, pp. 523–548. (In Eng.)
37. Yoshida K., Kunikita D., Miyazaki Y., Nishida Y., Miyao T., Matsuzaki H. Dating and Stable Isotope Analysis of Charred Residues on the Incipient Jomon Pottery (Japan). *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, iss. 2–3, pp. 1322–1333. (In Eng.)
38. Zhou L., Garvie-Lok S.J. Isotopic Evidence for the Expansion of Wheat Consumption in Northern China. *Archaeological Research in Asia*, 2015, vol. 4, pp. 25–35. (In Eng.)