

DOI: 10.17746/1563-0102.2016.44.2.047-055
УДК 550.4+903

С.В. Святко

Центр по изучению климата, окружающей среды и хронологии (¹⁴CHRONO)
Королевского университета Белфаста,
Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии
¹⁴CHRONO Centre for Climate, the Environment, and Chronology, Queen's University Belfast
Belfast, BT7 1NN, Northern Ireland, United Kingdom
E-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

Анализ стабильных изотопов: основы метода и обзор исследований в Сибири и Евразийской степи

Анализ стабильных изотопов азота и углерода – один из современных методов изучения различных аспектов жизни древних популяций, включая диету и экономику. В статье изложены методические основы анализа, а также дан обзор палеодиетарных исследований с его применением в Сибири и Евразийской степи по состоянию на конец 2013 г. По имеющимся данным, диета различных популяций энеолита – раннего железного века на этой территории менялась как во времени, так и в пространстве, но всегда включала достаточно большое количество рыбы. Различия в диете (и, соответственно, в хозяйственном укладе) между разными группами носителей одной и той же культуры были связаны с их попытками адаптироваться к конкретным условиям окружающей среды. Отмечено сильное влияние климатических факторов (изменения влажности) на изотопные показатели. Просо появилось лишь в XIV в. до н.э. в Минусинской котловине; таким образом, Южная Сибирь, по-видимому, стала одним из первых центров его распространения в Сибирском регионе. Несмотря на относительно большое количество работ, палеодиетарные исследования с применением изотопного анализа в Сибири и Евразийской степи находятся на этапе накопления данных. Одним из важнейших критериев этих исследований является систематический подход, включающий изотопный анализ костных остатков не только людей, но и всех потенциальных составляющих диеты – наземных и водных животных, а также образцов растений (т.н. фоновых образцов).

Ключевые слова: анализ стабильных изотопов, Евразийская степь, Сибирь, палеодиета.

S.V. Svyatko

¹⁴CHRONO Centre for Climate, the Environment, and Chronology,
Queen's University Belfast,
Belfast, BT7 1NN, Northern Ireland, United Kingdom
E-mail: s.svyatko@qub.ac.uk

Stable Isotope Analysis: Outline of Methodology, and a Review of Studies in Siberia and the Eurasian Steppe

Stable carbon and nitrogen isotope analysis is one of the main techniques for assessing various aspects of life of the prehistoric populations including diet and economy. Here, we present the theoretical background of the method, and review the major stable isotope paleodietary studies relating to the Eurasian steppe and available by the end of 2013. Existing data show that the diet of various Chalcolithic to Early Iron Age populations in the region varied in time and space and included substantial amounts of fish. Variations in diet and economy between groups associated with the same archaeological culture were likely caused by adaptations to local environments and climates. Millet appeared in the area (in the Minusinsk Basin) only in the 14th century BC. The Minusinsk Basin thereby became one of the first centres of millet cultivation in Siberia. The impact of climate, specifically precipitation, on the isotopic values of human bone tissue has also been recorded. Although studies of ancient Siberian and Eurasian steppe groups are

numerous, paleodietary research using stable isotope analysis is still at the data acquisition stage. One of the main criteria of modern research in the region is a systematic and well-designed approach to the isotopic analysis of various archaeological populations. This analysis must include not only human bone samples, but also those relating to all potential dietary components such as terrestrial and aquatic animals as well as samples of associated plants.

Keywords: Stable isotope analysis, Eurasian steppe, Siberia, paleodiet.

Введение

Изотопный анализ – один из самых продуктивных современных методов изучения различных аспектов жизни древних популяций. Измерение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) используется для определения соотношения растений C_3 и C_4 в диете, а также пропорций морской пищи. Зачастую оно применяется вместе с анализом изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$), который позволяет оценить трофический уровень индивида (т.е. его положение в пищевой цепи). Изотопный состав водорода (δD) в коллагене костей также может указывать на трофическое положение [Reynard, Hedges, 2008]. Анализ изотопов серы ($\delta^{34}\text{S}$), свинца ($^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) позволяет сделать географическую привязку индивида, т.к. их уровень специфичен для каждого региона. Измерение $\delta^{34}\text{S}$ также используется в исследованиях прибрежных пищевых цепей, где есть выраженная разница между изотопным составом пищевых источников (морских, пресноводных, наземных) [Richards, Fuller, Sponheimer et al., 2003; Privat, O'Connell, Hedges, 2007].

Данная работа посвящена анализу стабильных изотопов углерода и азота костного коллагена. Этот метод позволяет определить особенности диеты конкретных индивидов, а анализ группы дает представление о вариациях в пределах популяции (различиях между людьми разных полов, возраста и социального положения).

Теоретические основы метода

Использование $\delta^{13}\text{C}$. Углерод встречается в атмосфере в виде двух стабильных изотопов – ^{12}C и ^{13}C . Их соотношение в образце обозначается $\delta^{13}\text{C}$ и измеряется в промилле относительно международного стандарта PDB (морское ископаемое *Belemnite* из геологической формации Пиди в Южной Каролине). В процессе фотосинтеза углерод в виде CO_2 поглощается растениями и передается далее по пищевой цепи. Существует несколько типов фотосинтеза. Тип C_3 , при котором CO_2 поглощается в виде молекулы с тремя атомами углерода, используется большинством растений, включая основные злаки. В процессе фотосинтеза C_4 генерируется молекула, содержащая четыре атома углерода. Этот тип используется приблизительно

но десятью семействами, включая кукурузу, сахарный тростник, некоторые виды проса, маревые, сорго и амаранты. Существует еще т.н. САМ-фотосинтез (Crassulaceae acid metabolist – кислотный метаболизм толстянковых), характерный в основном для тропических суккулентов, которые редко входят в рацион животных или людей. Растения C_3 хорошо приспособлены к умеренному климату, их значения $\delta^{13}\text{C}$ приблизительно равны $-26,5\text{‰}$. Растения C_4 лучше адаптированы к более засушливым условиям, у них эти показатели в среднем составляют $-12,5\text{‰}$ [Chisholm, 1989; Tieszen, Fagre, 1993].

В процессе перехода с одного трофического уровня на другой происходит фракционирование. Разница между значениями $\delta^{13}\text{C}$ растительной пищи и коллагена потребителей составляет приблизительно $4\text{--}5\text{‰}$ [Ambrose, 1993]. Таким образом, уровень $\delta^{13}\text{C}$ коллагена травоядных, питающихся исключительно растениями C_3 , будет в среднем $-21,5\text{‰}$. Если диета животного основана только на C_4 -растениях, этот показатель составит приблизительно $-7,5\text{‰}$. У индивида, потреблявшего растения и C_3 , и C_4 , значение $\delta^{13}\text{C}$ коллагена будет между $-21,5$ и $-7,5\text{‰}$, и в идеале можно рассчитать их пропорцию в рационе.

Небольшое увеличение ($0,5\text{--}2,0\text{‰}$) $\delta^{13}\text{C}$ происходит на каждом этапе пищевой цепочки: если показатели C_3 -травоядных в среднем равны $-21,5\text{‰}$, то величина $\delta^{13}\text{C}$ коллагена человека, питающегося мясом этих животных, будет $-20,5\text{‰}$ [Schoeninger, 1985; Bocherens, Drucker, 2003]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ могут быть повышены у грудных младенцев вследствие их более высокого трофического уровня по отношению к матерям [Jenkins et al., 2001].

Уровни $\delta^{13}\text{C}$ в морских экосистемах, как правило, лежат между этими показателями наземных систем C_3 и C_4 в зависимости от их источников углерода. В большинстве пресноводных водоемов величины $\delta^{13}\text{C}$ понижены и соответствуют пищевым цепям C_3 [Ambrose, 1993]. Таким образом, по изотопному составу углерода зачастую сложно выявить наличие в рационе пресноводной рыбы. Поскольку увеличение $\delta^{13}\text{C}$ в коллагене может быть связано с потреблением как растений C_4 , так и морской пищи, то бывает трудно провести различие между этими компонентами. Для определения трофического уровня индивида необходим анализ стабильных изотопов азота.

Существует ряд недистарных факторов, влияющих на уровни $\delta^{13}\text{C}$, в частности эффект канале

(или «затемнения») – уменьшение данного показателя у лесных растений от верхушки зеленого покрова до листьев, находящихся вблизи земли, в тени [van der Merwe, Medina, 1991]. Эффект распространяется также на водные системы и фауну и, вероятно, сказывается на уровне $\delta^{13}\text{C}$ коллагена людей, потребляющих мясо животных из разных ареалов.

Использование $\delta^{15}\text{N}$. Азот представлен в атмосфере двумя стабильными изотопами – ^{14}N и ^{15}N . Их соотношение в образце ($\delta^{15}\text{N}$) выражается в промилле относительно международного стандарта AIR (Ambient Inhalable Reservoir – атмосферный азот). Азот проникает в большинство растений из почвы в результате бактериального разложения. Значения $\delta^{15}\text{N}$ у современных растений колеблются в пределах 0–5 ‰. В результате фракционирования на каждом трофическом уровне происходит увеличение $\delta^{15}\text{N}$ на 3–6 ‰ [Hedges, Reynard, 2007; O’Connell et al., 2012]. Таким образом, у людей, потребляющих мясо наземных травоядных, данный показатель будет приблизительно равен 9 ‰, хотя это зависит от изотопного состава азота в местных растениях. В водных системах уровни $\delta^{15}\text{N}$ могут быть очень высокими из-за сложной структуры пищевой цепи (большого количества трофических уровней).

Существует ряд недитетарных факторов, влияющих на изотопный состав азота в образце.

Эффект вскармливания. У грудных младенцев величины $\delta^{15}\text{N}$ завышены по сравнению со взрослыми: питаются молоком матери, дети находятся на уровне выше в пищевой цепи. Поэтому во избежание путаницы молодых особей обычно исключают из изотопных исследований. Дентин также подвержен эффекту вскармливания, поскольку большинство зубов человека формируется в младенчестве. Изотопный анализ дентина широко используется для определения возраста отлучения индивида от груди (напр.: [Clayton, Sealy, Pfeiffer, 2006]).

Климатический эффект. Значения $\delta^{15}\text{N}$ на всех трофических уровнях могут быть повышены в условиях засухи (напр.: [Murphy, Bowman, 2006]).

Эффект уваживания. Уваживание увеличивает $\delta^{15}\text{N}$ почв и впоследствии – растений [Bogaard et al., 2007, 2013]. Постоянное использование в пищу обогащенных азотом растений приводит к повышению этого показателя в коллагене людей, что может быть ошибочно интерпретировано как потребление ими мяса животных.

Ограничения метода. Для анализа $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в основном используется костный коллаген. Поскольку коллаген усваивается в организме преимущественно из белкового компонента диеты, он отражает главным образом белковые источники пищи [Chisholm, 1989]. Кость постоянно регенерирует. Полная замена костного коллагена занимает, по раз-

ным данным, от 2 до 30 лет, в зависимости от конкретной части скелета (обсуждение см.: [Ibid.; Wild et al., 2000]). Для бедренной кости этот период составляет более десяти лет [Hedges et al., 2007]. Регенерация губчатой костной ткани происходит быстрее, чем компактной [Parfitt, 1994; Manolagas, 2000]. Поэтому изотопные данные отражают не усредненный рацион индивида, а скорее диету последнего десятилетия его жизни. Сравнение результатов анализа коллагена и дентина позволяет выявить изменения в питании или миграции индивида на протяжении его жизни.

Пробоотбор и подготовка остеологического материала

Для изотопного анализа требуется несколько граммов нехрупкой компактной кости (ломкость кости зачастую указывает на деградацию коллагена). В идеале образцы должны быть из одного и того же фрагмента скелета. Как упоминалось выше, в зависимости от целей исследования следует с осторожностью относиться к отбору зубов (дентина). Разумеется, не стоит брать образцы со следами загрязнений (клея, чернил).

Подготовка образца кости для анализа (выделение белковой фракции) в большинстве лабораторий осуществляется по усовершенствованному методу [Brown et al., 1988], дополненному ультрафильтрацией [Bronk Ramsey et al., 2004]. Проводятся деминерализация раздробленного фрагмента, желатинизация белка, фильтрация и ультрафильтрация коллагена (для удаления мельчайших примесей), его сублимационная сушка. Изотопный состав полученного сухого коллагена анализируется при помощи масс-спектрометра.

Критерии оценки хорошо сохранившегося коллагена

Содержание коллагена в кости должно быть не менее 0,5 % [van Klinken, 1999], а атомное соотношение углерода и азота в нем ($\text{C} : \text{N}_{\text{at}}$) – в пределах 2,9–3,5 [DeNiro, 1985; Bronk Ramsey et al., 2004]. Оно рассчитывается по формуле $\text{C} : \text{N}_{\text{at}} = \frac{\% \text{C}}{\% \text{N}} \times \frac{14}{12}$, где %C и %N – содержание углерода и азота в коллагене. В качестве дополнительного критерия используется само содержание этих элементов. Характеристикой хорошо сохранившегося коллагена являются $\% \text{C} = 34,8 \pm 8,8 (1\sigma) \text{ wt}$ и $\% \text{N} = 11 \div 16 \text{ wt}$ [van Klinken, 1999]. Более высокие значения %C указывают на примесь органического углерода, а более низкие – на примесь неорганических веществ.

При публикации результатов, помимо лабораторного шифра и непосредственно изотопных показателей образца, необходимо указывать содержание в нем коллагена, атомное соотношение углерода и азота, анализируемую часть скелета, а также биологический вид, пол и возраст индивида, памятник, номер могилы/скелета.

Обзор исследований в Сибири и Евразийской степи

На сегодняшний день в мире проводится огромное количество изотопных палеодиетарных исследований, в частности для изучения экономики древних народов в переходные периоды между различными археологическими эпохами [Richards, Schulting, Hedges, 2003], распространения злаков в Азии [Pechenkina et al., 2005; Hu et al., 2008] и Америке [Schoeninger, 2009]. Остановимся подробнее на основных исследованиях в Евразийской степи (рис. 1). Современный изотопный фон (анализ растений) региона представлен в ряде работ [Makarewicz, Tuross, 2006; Macarewicz, 2014; Wang, 2004, 2005; Wang et al., 2005; Pyankov et al., 2000; и др.].

Северный Китай. По археологическим данным, на этой территории возделывание проса практиковалось с VII тыс. до н.э., а к V тыс. до н.э. было широко распространено (просо встречается практически на каждом памятнике). Тем не менее изотопный анализ антропологических материалов раннего неолита

из пров. Хэнань (7000–5800 гг. до н.э.) показал, что диета этого населения в основном включала C_3 -растения (рис) и животный белок. У людей, оставивших памятник Сяоциншань (6000 г. до н.э.), просо составляло ок. 25 % пищевого белка, остальная часть рациона была основана на C_3 -продуктах растительного и животного происхождения [Hu et al., 2008].

Интересные результаты получены по антропологическим материалам памятника Синлунгоу (6200–5400 гг. до н.э.) во Внутренней Монголии [Ibid.]. Несмотря на их высокие показатели ($\delta^{13}C_{\text{mean}} = -8,9 \text{ ‰}$; $\delta^{15}N_{\text{mean}} = 9,6 \text{ ‰}$), флорация почвы не выявила признаков проса. Однако анализ пыльцы, а также найденные остатки семян свидетельствуют о том, что в данном регионе на пастбищах доминировали травы C_4 . Вероятно, высокие уровни $\delta^{13}C$ у людей были результатом потребления животного белка C_4 , а не проса.

Иной пищевой стратегии придерживалось население середины – конца неолита. У людей, оставивших памятники Цзянчжай и Шицзя (4900–4000 гг. до н.э.), просо составляло 75–85 % рациона. Значительное количество растений C_4 потребляли также свиньи и собаки, кости которых найдены на памятниках Сипо и Канцзя (4000–3500 и 2500–2000 гг. до н.э. соответственно). Видимо, просо использовалось и в качестве корма для домашних животных [Pechenkina et al., 2005]. Возможно, они доедали пищу за людьми.

Южное Зауралье. Останки домашних животных, а также пищевые нагары на сосудах из Большекараганского могильника (некрополь поселения Аркаим,

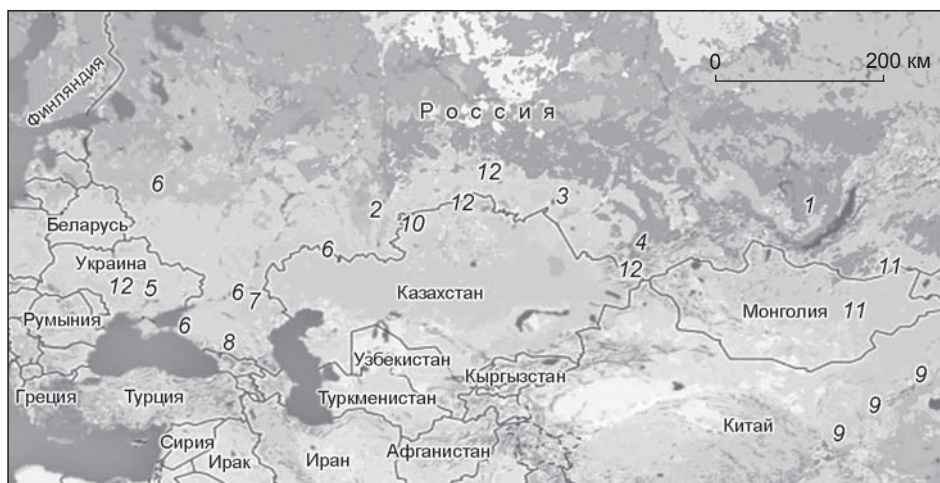


Рис. 1. Изотопные исследования по антропологическим материалам Евразийской степи.

1 – Прибайкалье [Katzenberg, Goriunova, Weber, 2009; Katzenberg et al., 2012; Katzenberg, Weber, 1999]; 2 – Челябинская обл. [Privat, 2002]; 3 – Барабинская лесостепь [Privat et al., 2005]; 4 – Минусинская котловина и Тува [Murphy et al., 2013; Svyatko et al., 2013]; 5 – Приднепровье [Lillie, Richards, 2000; Lillie, Budd, Potekhina, 2011]; 6 – Волго-Донское междуречье, среднее течение р. Урал, Новороссийская и Московская области [Iacumin et al., 2004]; 7 – Северный Прикаспий [Shishlina et al., 2007, 2009, 2012]; 8 – Северный Кавказ [Hollund et al., 2010]; 9 – Северный Китай [Hu, Ambrose, Wang, 2006; Hu et al., 2008; Pechenkina, Benfer, Zhijun, 2002; Pechenkina et al., 2005; Pechenkina, Benfer, Xiaolin, 2007]; 10 – Северный Казахстан [Miller et al., 2014]; 11 – Монголия [Fenner, Tumen, Khatanbaatar, 2014]; 12 – памятники Ботай (Казахстан), Кривой Рог (Украина), Верх-Кальджин II (Республика Алтай) и Абатский-3 (Юго-Западная Сибирь) [O'Connell, Levine, Hedges, 2003].

синташтинская культура, XVIII–XVI вв. до н.э.) позволили предположить, что в рацион населения входили мясо, молочные продукты и растения (в т.ч. овес). Однако изотопный анализ костных остатков людей и животных из кург. 25 этого могильника, а также с памятника Каменный Амбар-5 показал: основу диеты составлял животный белок [Privat, 2002].

Барабинская лесостепь. Кости домашних и диких животных, в т.ч. птиц и рыб, на памятнике Чича I (XIV в. до н.э. – I в. н.э.) указывают на то, что животноводство, рыболовство и охота были главными отраслями хозяйства населения. Ботанических остатков, связанных с возделыванием злаков, не выявлено. Изотопный анализ костей людей, рыб и наземных травоядных позволил сделать вывод, что основным источником белка для населения являлась рыба; рацион дополнялся мясом домашних и диких животных, в основном лошади и лося [Privat et al., 2005].

Приднепровье. Анализ антропологических и фаунистических материалов различных памятников мезолита – энеолита в бассейне среднего и нижнего Днепра показал, что диета населения основывалась на пищевых цепочках C_3 и в ней было значительное количество речной рыбы [Lillie, Richards, 2000; Lillie, Jacobs, 2006; Lillie, Budd, Potekhina, 2011], доля которой, по-видимому, увеличилась в эпоху неолита.

Северный Кавказ. Анализ материалов энеолита – эпохи бронзы [Hollund et al., 2010] выявил зависимость изотопных показателей животных и людей от географического положения местообитания: самые высокие значения были получены по костям индивидов из более сухих степных районов на севере исследуемого региона. По всей видимости, климатический фактор обусловил вариации изотопных показателей местной фауны и, в свою очередь, людей. В целом высокие значения $\delta^{15}N$ указывают на присутствие водных ресурсов в диете.

Европейская часть России. Возможная связь между аридностью региона и изотопными показателями его обитателей была также отмечена в другом исследовании [Iacumin et al., 2004]. В степной зоне Европейской России растения C_4 фиксируются по крайней мере с III тыс. до н.э., на территории Московской обл. и побережье Черного моря нет свидетельств их произрастания до III и IV тыс. до н.э. соответственно. Рацион древних степных популяций был основан на продуктах наземного происхождения с незначительной долей рыбы. Напротив, мезо- и неолитическое население, проживавшее на территории Московской обл., вероятно, употребляло большое количество рыбы.

Северный Прикаспий. У населения эпохи бронзы были обнаружены высокие уровни $\delta^{15}N$ и в целом большой разброс изотопных значений [Shishlina et al., 2007, 2009, 2012]. Вероятно, это связано как с диет-

тарными факторами (большая доля пищи водного происхождения – рыбы и моллюсков), так и с климатическими (увеличение $\delta^{15}N$ в растениях в периоды аридизации).

Северный Казахстан. По археологическим данным, в середине – конце эпохи бронзы в регионе произошли культурные изменения, отразившиеся в погребальном обряде и особенностях устройства поселений. Традиционно это связывали с переходом от полуоседлого образа жизни, совмещавшего скотоводство и земледелие, к более мобильным формам скотоводства. Однако изотопный анализ антропологических и фаунистических материалов памятников Бестамак и Лисаковск (2100–1400 гг. до н.э.) показал, что, несмотря на произошедшие перемены, диета населения не претерпела существенных изменений [Miller et al., 2014]. Основой питания оставались пищевые ресурсы C_3 , преимущественно мясные и молочные продукты, доля рыбы была невелика.

Прибайкалье. С точки зрения изотопного анализа, данный регион уникален: местная фауна характеризуется крайне широким разбросом значений [Katzenberg, Goriunova, Weber, 2009; Katzenberg et al., 2012; Katzenberg, Weber, 1999]. Величины $\delta^{13}C$ у рыб варьируют от $-24,6\%$ у пелагических видов (омуль) до $-12,9\%$ у прибрежных (язь). Показатели $\delta^{15}N$ колеблются от $4\text{--}5\%$ у оленей и лосей до $14 \pm 1,1\%$ у пресноводных тюленей. Эти данные показывают, что даже в пресноводных внутриматериковых экосистемах возможны значительные различия в уровнях $\delta^{13}C$ у разных видов животных.

Вариации изотопных показателей, полученных по антропологическим материалам, главным образом обусловлены расположением археологических памятников относительно оз. Байкал. У людей, живших на побережье, были в целом самые высокие уровни $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$, что позволяет предположить потребление ими рыбы и мяса тюленей. У населения, обитавшего ниже по р. Ангаре и в верховьях р. Лены, более низкие показатели. Видимо, оно в основном использовало наземных травоядных и речную фауну в качестве источника белковой составляющей диеты.

Монголия. Создание Монгольской империи в XIII в. послужило причиной существенных изменений в жизни не только покоренных народов, но и самих завоевателей. Было проведено изотопное исследование скелетных остатков с кладбища правящей элиты в Восточной Монголии Таван-Толгой, менее элитного могильника Цагаан-Чулуут, некрополя эпохи бронзы Улаан-Зуух, а также останков людей более позднего времени [Fenner, Tumen, Khatanbaatar, 2014; Turner et al., 2012]. В целом полученные результаты указывают на пищевые цепи C_3 . Показатели $\delta^{15}N$ у индивидов, похороненных на кладбище Таван-Толгой, значительно выше, чем у погребенных из могильни-

ков Цагаан-Чулуут и Улаан-Зуух. Это связано либо с потреблением большого количества животного белка привилегированным классом, либо с различным изотопным фоном районов. Других различий в диете элиты и простого населения, а также местных скотоводов эпохи бронзы не выявлено.

Южная Сибирь. Здесь было проведено несколько изотопных исследований [Murphy et al., 2013; Svyatko et al., 2013]. Анализ ок. 280 образцов костей людей и животных из приблизительно 40 памятников пяти археологических культур энеолита – раннего железного века в Минусинской котловине [Svyatko et al., 2013] позволил сделать ряд интересных наблюдений. В диете всех групп населения большую роль играла рыба. Существовали региональные различия в питании носителей одной и той же культуры, видимо связанные с адаптацией людей к местному ландшафту и климату. Не позже чем с XIV в. до н.э. здесь стало распространяться просо, вероятно привнесенное с территории Северного Китая. Это согласуется с археологическими данными, свидетельствующими о широких контактах носителей карасукской и тагарской культур с населением данного региона в конце эпохи бронзы – начале железного века. По-видимому, Южная Сибирь стала одним из первых центров распространения проса в Сибири в целом. Точную дату

появления этого злака предстоит уточнить после изучения резервуарного эффекта в регионе.

Основные выводы. На данный момент изотопные палеодиетарные исследования в Сибири и Евразийской степи находятся на этапе накопления данных. Многие регионы, группы населения и явления еще остаются неизученными (например, влияние климатических изменений на изотопные показатели людей и животных, распространение проса на этой территории, роль рыболовства в различных культурах и т.п.).

В целом диета носителей различных археологических культур Сибири и Евразийской степи менялась и во времени, и в пространстве (рис. 2). Последнее, видимо, было связано с попытками людей (даже в пределах одной культуры) адаптироваться к конкретным условиям окружающей среды.

У носителей большинства внутриматериковых культур неолита – эпохи бронзы (за исключением населения Прибайкалья) низкие уровни $\delta^{13}\text{C}$ (ниже -18‰) и относительно высокие $\delta^{15}\text{N}$, что характерно для населения умеренных широт с лишь частично производящим хозяйством (использование охоты, рыболовства и собирательства при наличии скотоводства). Высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ (выше, чем на один трофический уровень по сравнению с наземной фауной) говорят о важной роли рыбы в рационе обитателей Си-

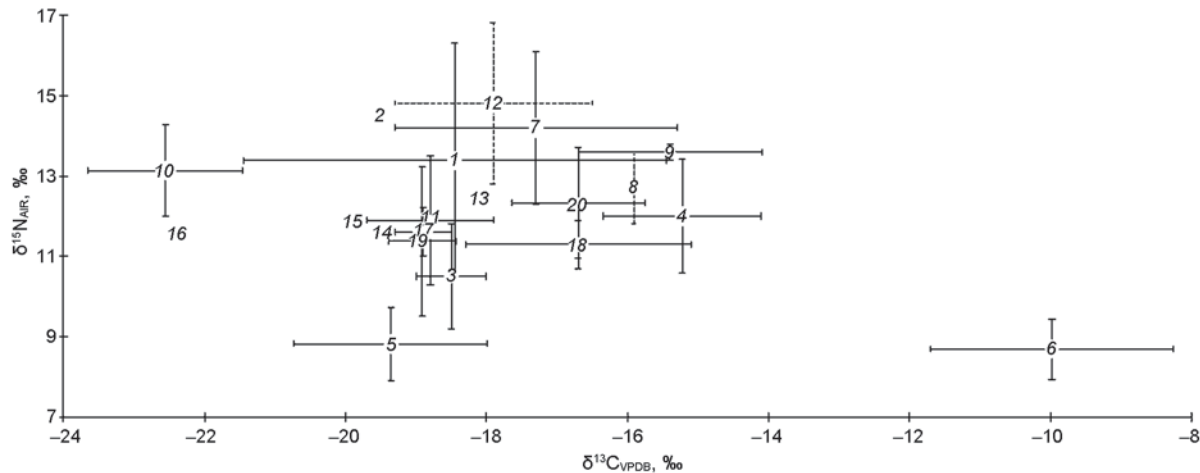


Рис. 2. Изотопные значения населения Евразийской степи (средние значения и стандартные отклонения (σ), n – число проанализированных индивидов).

1 – Прибайкалье, неолит – эпоха бронзы, $n = 176$ [Katzenberg, Goriunova, Weber, 2009; Katzenberg et al., 2012; Katzenberg, Weber, 1999]; 2 – Барабинская лесостепь, поздняя эпоха бронзы – ранний железный век, $n = 13$ [Privat et al., 2005]; 3 – Челябинская обл., эпоха бронзы, $n = 14$ [Privat, 2002]; 4 – Минусинская котловина и Тува, ранний железный век, $n = 39$ [Murphy et al., 2013]; 5 – Северный Китай, 7000–5800 гг. до н.э., $n = 25$ [Hu, Ambrose, Wang, 2006; Hu et al., 2008]; 6 – Северный Китай, 6200–4000 гг. до н.э., $n = 20$ [Pechenkina et al., 2005]; 7 – Волго-Донское междуречье, эпоха бронзы – ранний железный век, $n = 12$ [Iacumin et al., 2004]; 8 – Северное Причерноморье, ранний железный век, $n = 3$ [Ibid.]; 9 – Южный Урал, ранний железный век, $n = 2$ [Ibid.]; 10 – Приднепровье, мезолит – энеолит, $n = 28$ [Lillie, Richards, 2000; Lillie, Jacobs, 2006; Lillie, Budd, Potekhina, 2011]; 11 – Северный Кавказ, энеолит – ранняя эпоха бронзы, $n = 50$ [Hollund et al., 2010]; 12 – Северный Прикаспий, энеолит – эпоха бронзы, $n = 78$ [Shishlina et al., 2007, 2009, 2012]; 13 – Ботай (Казахстан), энеолит, $n = 1$ [O'Connell, Levine, Hedges, 2003]; 14 – Кривой Рог (Украина), энеолит, $n = 1$ [Ibid.]; 15 – Алтайский край, ранний железный век, $n = 1$ [Ibid.]; 16 – Абатский-3 (Юго-Западная Сибирь), ранний железный век, $n = 1$ [Ibid.]; 17 – Минусинская котловина, энеолит – средняя эпоха бронзы, $n = 132$ [Svyatko et al., 2013]; 18 – Минусинская котловина, поздняя эпоха бронзы – ранний железный век, $n = 135$ [Ibid.]; 19 – Северный Казахстан, эпоха бронзы, $n = 55$ [Miller et al., 2014]; 20 – Монголия, эпоха бронзы – Средневековье, $n = 31$ [Fenner, Tumen, Khatanbaatar, 2014].

бири и Евразийской степи, несмотря на отсутствие зачастую археологических находок, связанных с рыболовством. Сильное морское влияние (повышенные уровни $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$) наблюдается в материалах Прикаспийских степей, а также памятников раннего железного века Северного Причерноморья. Другой пищевой стратегии придерживалось население на территории Северного Китая: низкие уровни $\delta^{15}\text{N}$ свидетельствуют об использовании в основном наземных источников пищи.

Повышенные значения $\delta^{13}\text{C}$, говорящие о потреблении проса, зафиксированы в материалах Северного Китая начиная с VI тыс. до н.э., а также Минусинской котловины с XIV в. до н.э. На территориях Южного Урала в раннем железном веке и Монголии в эпоху бронзы – Средневековья повышение уровней $\delta^{13}\text{C}$ у населения, вероятно, было обусловлено засушливостью регионов, что привело к увеличению изотопных показателей наземной фауны и, в итоге, людей. Таким образом, даже в зонах с умеренным климатом, таких как Евразийская степь, огромное влияние на изотопные показатели их обитателей может оказать не только рацион, но и климатические условия (изменение влажности). Непринятие во внимание подобных факторов может привести к ошибочным выводам относительно диеты.

Заключение

Одним из важнейших критериев современных исследований в Сибири и Евразийской степи является систематический подход, включающий изотопный анализ костных остатков не только людей, но и всех потенциальных составляющих диеты – наземных и водных животных, а также образцов растений. Необходимо изучение изменения во времени не только диеты людей, но и изотопного фона различных регионов.

Основным фактором палеодиетарных исследований является синтезирование данных из разных источников (археология, антропология, палеоботаника, палеозоология и т.д.). Применительно к изотопному анализу речь идет об использовании различных элементов: дополнение измерений изотопов азота и углерода определением изотопного состава серы и водорода может дать намного более четкую картину питания древних популяций.

Список литературы

Ambrose S.H. Isotopic Analysis of Palaeodiets: Methodological and Interpretive Considerations // *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analysis in Anthropology*. – Langhorne: Gordon & Breach, 1993. – P. 59–130.

Bocherens H., Drucker D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems // *Intern. J. of Osteoarchaeology*. – 2003. – Vol. 13. – P. 46–53.

Bogaard A., Fraser R., Heaton T.H.E., Wallace M., Vaiglova P., Charles M., Jones G., Evershed R.P., Styring A.K., Andersen N.H., Arbogast R.-M., Bartosiewicz L., Gardeisen A., Kanstrup M., Maier U., Marinova E., Ninov L., Schäfer M., Stephan E. Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers // *PNAS*. – 2013. – Vol. 110, N 31. – P. 12589–12594.

Bogaard A., Heaton T.H.E., Poulton P., Merbach I. The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices // *J. of Archaeol. Sci.* – 2007. – Vol. 34. – P. 335–343.

Bronk Ramsey C., Higham T., Bowles A., Hedges R. Improvements to the Pretreatment of Bone at Oxford // *Radiocarbon*. – 2004. – Vol. 46, N 1. – P. 155–163.

Brown T.A., Nelson D.E., Vogel J.S., Southon J.R. Improved collagen extraction by modified Longin method // *Radiocarbon*. – 1988. – Vol. 30. – P. 171–177.

Chisholm B.S. Variation in Diet Reconstructions Based on Stable Carbon Isotopic Evidence // *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1989. – P. 10–37.

Clayton F., Sealy J., Pfeiffer S. Weaning age among foragers at Matjes river rock shelter, South Africa, from stable nitrogen and carbon isotope analyses // *Am. J. Phys. Anthropol.* – 2006. – Vol. 129, iss. 2. – P. 311–317.

DeNiro M.J. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction // *Nature*. – 1985. – Vol. 317. – P. 806–809.

Fenner J.N., Tumen D., Khatanbaatar D. Food Fit for a Khan: Stable Isotope Analysis of the Elite Mongol Empire Cemetery at Tavan Tolgoi, Mongolia // *J. of Archaeol. Sci.* – 2014. – Vol. 46. – P. 231–244.

Hedges R.E.M., Clement J.G., Thomas C.D.L., O'Connell T.C. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements // *Am. J. Phys. Anthropol.* – 2007. – Vol. 133. – P. 808–816.

Hedges R.E.M., Reynard L.M. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology // *J. of Archaeol. Sci.* – 2007. – Vol. 34. – P. 1240–1251.

Hollund H.I., Higham T., Belinskij A., Korenevskij S. Investigation of palaeodiet in the North Caucasus (South Russia) Bronze Age using stable isotope analysis and AMS dating of human and animal bones // *J. of Archaeol. Sci.* – 2010. – Vol. 37. – P. 2971–2983.

Hu Y., Ambrose S.H., Wang C. Stable isotopic analysis of human bones from Jiahu site, Henan, China: implications for the transition to agriculture // *J. of Archaeol. Sci.* – 2006. – Vol. 33. – P. 1319–1330.

Hu Y., Wang S., Luan F., Wang C., Richards M.P. Stable isotope analysis of humans from Xiaojingshan site: implications for understanding the origin of millet agriculture in China // *J. of Archaeol. Sci.* – 2008. – Vol. 35. – P. 2960–2965.

Iacumin P., Nikolaev V., Genoni L., Ramigni M., Ryskov Y.G., Longinelli A. Stable isotope analyses of mammal skeletal remains of Holocene age from European Russia: A way

to trace dietary and environmental changes // *Geobios*. – 2004. – Vol. 37. – P. 37–47.

Jenkins S.G., Partridge S.T., Stephenson T.R., Farley S.D., Robbins C.T. Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates and nursing offspring // *Oecologia*. – 2001. – Vol. 129. – P. 336–341.

Katzenberg M.A., Goriunova O., Weber A. Paleodiet reconstruction of Bronze Age Siberians from the mortuary site of Khuzhir-Nuge XIV, Lake Baikal // *J. of Archaeol. Sci.* – 2009. – Vol. 36. – P. 663–674.

Katzenberg M.A., McKenzie H.G., Losey R.J., Goriunova O.I., Weber A. Prehistoric dietary adaptations among hunter-fisher-gatherers from the Little Sea of Lake Baikal, Siberia, Russian Federation // *J. of Archaeol. Sci.* – 2012. – Vol. 39. – P. 2612–2626.

Katzenberg M.A., Weber A. Stable Isotope Ecology and Palaeodiet in the Lake Baikal Region of Siberia // *J. of Archaeol. Sci.* – 1999. – Vol. 26. – P. 651–659.

Lillie M., Budd C., Potekhina I. Stable isotope analysis of prehistoric populations from the cemeteries of the Middle and Lower Dnieper Basin, Ukraine // *J. of Archaeol. Sci.* – 2011. – Vol. 38. – P. 57–68.

Lillie M., Jacobs K. Stable isotope analysis of 14 individuals from the Mesolithic cemetery of Vasilyevka II, Dnieper Rapids region, Ukraine // *J. of Archaeol. Sci.* – 2006. – Vol. 33. – P. 880–886.

Lillie M.C., Richards M. Stable Isotope Analysis and Dental Evidence of Diet at the Mesolithic-Neolithic Transition in Ukraine // *J. of Archaeol. Sci.* – 2000. – Vol. 27. – P. 965–972.

Makarewicz C.A. Winter pasturing practices and variable fodder provisioning detected in nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotopes in sheep dentinal collagen // *J. of Archaeol. Sci.* – 2014. – Vol. 41. – P. 502–510.

Makarewicz C., Tuross N. Foddering by Mongolian pastoralists is recorded in the stable carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) isotopes of caprine dentinal collagen // *J. of Archaeol. Sci.* – 2006. – Vol. 33. – P. 862–870.

Manolagas S.C. Birth and Death of Bone Cells: Basic Regulatory Mechanisms and Implications for the Pathogenesis and Treatment of Osteoporosis // *Endocrine Rev.* – 2000. – Vol. 21. – P. 115–137.

Miller A.V., Usmanova E., Logvin V., Kalieva S., Shevnina I., Logvin A., Kolbina A., Suslov A., Privat K., Haas K., Rosenmeier M. Subsistence and Social Change in Central Eurasia: Stable Isotope Analysis of Populations Spanning the Bronze Age Transition // *J. of Archaeol. Sci.* – 2014. – Vol. 42. – P. 525–538.

Murphy B.P., Bowman D.M.J.S. Kangaroo metabolism does not cause the relationship between bone collagen $\delta^{15}\text{N}$ and water availability // *Functional Ecology*. – 2006. – Vol. 20, iss. 6. – P. 1062–1069.

Murphy E.M., Schulting R., Beer N., Chistov Y., Kasparov A., Pshenitsyna M. Iron Age Pastoral Nomadism and Agriculture in the Eastern Eurasian Steppe: Implications from Dental Palaeopathology and Stable Carbon and Nitrogen Isotopes // *J. of Archaeol. Sci.* – 2013. – Vol. 40. – P. 2547–2560.

O'Connell T.C., Kneale C.J., Tasevska N., Kuhnle G.G.C. The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study // *Am. J. of Phys. Anthropol.* – 2012. – Vol. 149. – P. 426–434.

O'Connell T.C., Levine M.A., Hedges R.E.M. The importance of fish in the diet of central Eurasian peoples from the Mesolithic to the Early Iron Age // *Prehistoric Steppe Adaptation and the Horse*. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2003. – P. 253–268.

Parfitt A.M. Osteonal and hemi-osteonal remodeling: The spatial and temporal framework for signal traffic in adult human bone // *J. of Cellular Biochemistry*. – 1994. – Vol. 55. – P. 273–286.

Pechenkina E.A., Ambrose S.H., Xiaolin M., Benfer J.R.A. Reconstructing northern Chinese Neolithic subsistence practices by isotopic analysis // *J. of Archaeol. Sci.* – 2005. – Vol. 32. – P. 1176–1189.

Pechenkina E.A., Benfer R.A., Jr., Xiaolin M. Diet and Health in the Neolithic of the Wei and Middle Yellow River Basins, Northern China // *Ancient Health: Skeletal Indicators of Agricultural and Economic Intensification*. – Gainesville: Univ. of Florida Press, 2007. – P. 255–272.

Pechenkina E.A., Benfer R.A., Zhijun W. Diet and health changes at the end of the Chinese neolithic: The Yangshao/Longshan transition in Shaanxi province // *Am. J. of Phys. Anthropol.* – 2002. – Vol. 117, iss. 1. – P. 15–86.

Privat K. Preliminary Report of Palaeodietary Analysis of Human and Faunal Remains from Bolshekaragansky Kurgan 25 // Аркаим: Некрополь (по материалам кургана 25 Большекараганского могильника). – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 2002. – С. 166–171.

Privat K.L., O'Connell T.C., Hedges R.E.M. The distinction between freshwater- and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulphur stable isotope analysis // *J. of Archaeol. Sci.* – 2007. – Vol. 34. – P. 1197–1204.

Privat K.L., Schneeweiss J., Benecke N., Vasiliev S.K., O'Connell T.C., Hedges R.E.M., Craig O. Economy and diet at the Late Bronze Age/Iron Age site of Chicha: artefactual, archaeozoological and biochemical analyses // *Eurasia Antiqua*. – 2005. – Vol. 11. – P. 419–448.

Pyankov V.I., Gunin P.D., Tsog S., Black C.C. C4 plants in the vegetation of Mongolia: their natural occurrence and geographical distribution in relation to climate // *Oecologia*. – 2000. – Vol. 123. – P. 15–31.

Reynard L.M., Hedges R.E.M. Stable hydrogen isotopes of bone collagen in palaeodietary and palaeoenvironmental reconstruction // *J. of Archaeol. Sci.* – 2008. – Vol. 35. – P. 1934–1942.

Richards M.P., Fuller B.T., Sponheimer M., Robinson T., Ayliffe L. Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment // *Intern. J. of Osteoarchaeol.* – 2003. – Vol. 13. – P. 37–45.

Richards M.P., Schulting R.J., Hedges R.E.M. Sharp Shift in Diet at Onset of Neolithic // *Nature*. – 2003. – Vol. 425. – P. 366.

Schoeninger M.J. Trophic level effects on $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral // *J. of Hum. Evol.* – 1985. – Vol. 14. – P. 515–525.

Schoeninger M.J. Stable isotope evidence for the adoption of maize agriculture // *Curr. Anthropol.* – 2009. – Vol. 50, N 5. – P. 633–640.

Shishlina N.I., van der Plicht J., Hedges R.E.M., Zazovskaya E.P., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A. The Catacomb cultures of the north-west Caspian Steppe:

¹⁴C chronology, reservoir effect, and palaeodiet // Radiocarbon. – 2007. – Vol. 49. – P. 713–726.

Shishlina N.I., Zazovskaya E.P., van der Plicht J., Hedges R.E.M., Sevastyanov V.S., Chichagova O.A. Paleoeology, Subsistence, and ¹⁴C Chronology of the Eurasian Caspian Steppe Bronze Age // Radiocarbon. – 2009. – Vol. 51. – P. 481–499.

Shishlina N., Zazovskaya E., van der Plicht J., Sevastyanov E.V. Isotopes, Plants, and Reservoir Effects: Case Study from the Caspian Steppe Bronze Age // Radiocarbon. – 2012. – Vol. 54. – P. 749–760.

Svyatko S.V., Schulting R.J., Mallory J., Murphy E.M., Reimer P.J., Khartanovich V.I., Chistov Y.K., Sablin M.V. Stable isotope dietary analysis of prehistoric populations from the Minusinsk Basin, Southern Siberia, Russia: a new chronological framework for the introduction of millet to the eastern Eurasian steppe // J. of Archaeol. Sci. – 2013. – Vol. 40. – P. 3936–3945.

Tieszen L.L., Fagre T. Carbon Isotopic Variability in Modern and Archaeological Maize // J. of Archaeol. Sci. – 1993. – Vol. 20. – P. 25–40.

Turner B.L., Zuckerman M.K., Garofalo E.M., Wilson A., Kamenov G.D., Hunt D.R., Amgalantugs T., Frohlich B. Diet and death in times of war: isotopic and osteological analysis of mummified human remains from southern Mongolia // J. of Archaeol. Sci. – 2012. – Vol. 39. – P. 3125–3140.

Van der Merwe N.J., Medina E. The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia // J. of Archaeol. Sci. – 1991. – Vol. 18. – P. 249–259.

Van Klinken G.J. Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements // J. of Archaeol. Sci. – 1999. – Vol. 26. – P. 687–695.

Wang R.Z. Photosynthetic Pathways and Life Form Types for Native Plant Species from Hulunbeier Rangelands, Inner Mongolia, North China // Photosynthetica. – 2004. – Vol. 42. – P. 219–227.

Wang R.Z. C3 and C4 photosynthetic pathways and life form types for native species from agro-forestry region, Northeastern China // Photosynthetica. – 2005. – Vol. 43. – P. 535–549.

Wang G., Han J., Zhou L., Xiong X., Wu Z. Carbon isotope ratios of plants and occurrences of C4 species under different soil moisture regimes in arid region of Northwest China // Physiologia Plantarum. – 2005. – Vol. 125, N 1. – P. 74–81.

Wild E.M., Arlamovsky K.A., Golser R., Kutschera W., Priller A., Puchegger S., Rom W., Steier P., Vycudilik W. ¹⁴C dating with the bomb peak: An application to forensic medicine // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2000. – Vol. 172. – P. 944–950.

*Материал поступил в редколлегию 28.04.14 г.,
в окончательном варианте – 03.11.15 г.*