

А.В. Епимахов^{1✉}, Е.О. Васючков¹, Я.В. Рафикова²

¹Южно-Уральский государственный университет
Челябинск, Россия

²Уфимский федеральный исследовательский центр РАН
Уфа, Россия

E-mail: epimakhovav@susu.ru

Интерпретация результатов анализа стабильных изотопов азота и углерода в костной ткани человека и животных (могильник Селивановский II в Южном Зауралье)

Статья анализирует возможности реконструкции основы мясной и молочной белковой диеты по данным анализа стабильных изотопов азота и углерода в коллагене костей человека и животных. Для исследования выбран курган I могильника Селивановский II (Башкирское Зауралье). Памятник по данным радиоуглеродного анализа датируется XVIII–XVI вв. до н.э. Анализ палео-ДНК (19 индивидов из 22 погребенных в кургане) позволяет рассматривать курган как место упокоения членов кровнородственного коллектива (семьи), формировавшегося по мужской линии. Приведены результаты измерений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в коллагене костной ткани, всего 29 образцов: 4 – кости домашних животных; 25 – мужчины и женщины возрастом от 8 до 35 лет. В анализ включены 13 индивидов, для 12 из которых параллельно исследованы образцы бедренной кости и ребра, что позволило рассмотреть прижизненную динамику в изменении основы диеты. Результаты оцениваются как достоверные и в целом соответствуют ранее полученным данным для населения Южного Зауралья во II тыс. до н.э. Вариативность значений для костей человека относительно небольшая (от $-19,16\text{‰}$ до $-18,57\text{‰}$ по $\delta^{13}\text{C}$; от $9,70\text{‰}$ до $11,15\text{‰}$ по $\delta^{15}\text{N}$). Интервал для животных: от $-20,13\text{‰}$ до $-19,50\text{‰}$ по $\delta^{13}\text{C}$; от $4,64\text{‰}$ до $5,35\text{‰}$ по $\delta^{15}\text{N}$. Сдвиг значений от «ранних» (бедренная кость) к «поздним» (ребро), в целом иллюстрирует тренд, обусловленный биологическими процессами в результате перехода человеческого организма от детской диеты к полноценной взрослой. Наряду с этим выявлен индивид, иллюстрирующий экстремальные в рамках выборки показатели, которые могут быть спровоцированы и недиеетарными факторами. Наряду с результатами анализа изотопии стронция и генетической неоднородностью группы, данные по $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ позволяют наметить сценарий формирования и функционирования данного коллектива.

Ключевые слова: Южное Зауралье, бронзовый век, стабильные изотопы, диета, мобильность.

A.V. Epimakhov^{1✉}, E.O. Vasyuchkov¹, Y.V. Rafikova²

¹South Ural State University
Chelyabinsk, Russia

²Ufa Federal Research Center RAS
Ufa, Russia

E-mail: epimakhovav@susu.ru

Interpretation of the Analysis of Stable Nitrogen and Carbon Isotopes in Human and Animal Bone Tissue (Selivanovsky II Burial Ground in the Southern Trans-Urals)

This article discusses the possibility of reconstructing the meat and dairy protein diet using the stable nitrogen and carbon isotope analysis in human and animal bone collagen. Burial mound 1 at the Selivanovsky II burial ground in the Bashkir Trans-Urals, dated to the 18th–16th centuries cal BC according to radiocarbon analysis, was chosen for research. The paleo-DNA analysis of 19 out of 22 individuals buried in the mound indicated that it was the resting place for a blood-related group (family) formed along the male line. The results of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ measurements for bone collagen from 29 samples are presented, including four samples of domestic animals and 25 samples of males and females from 8 to 35 years of age. The analysis involved 13 persons; femoral bone and rib samples were examined for 12 persons, making it possible to analyze intravital changes in the diet. The results are considered reliable and generally consistent with the previously obtained data for the population of the Southern Trans-Urals in the second millennium BC. Variability in values for human bone samples was relatively low (-19.16‰ to -18.57‰ according to $\delta^{13}\text{C}$; 9.70‰ to 11.15‰ according to $\delta^{15}\text{N}$). The values for animal bones varied from -20.13‰ to -19.50‰ according to $\delta^{13}\text{C}$, and from 4.64‰ to 5.35‰ according to $\delta^{15}\text{N}$. The shift in values from “earlier” (femoral bone) to “later” (rib) generally reflects the trend resulting

from biological changes during transition of the human body from the child's to grown-up diet. One person showed extreme values within the sample, which could have also been influenced by non-dietary factors. Together with the results of strontium isotope analysis and genetic heterogeneity of the group, the data on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ make it possible to suggest a scenario for life history of that collective.

Keywords: Southern Trans-Urals, Bronze Age, stable isotopes, diet, mobility.

Тематическое расширение археологических исследований в последние десятилетия коснулось очень разных аспектов функционирования древних обществ. Информационный потенциал археологических и сопутствующих им источников планомерно расширяется за счет внедрения все новых аналитических методов. При этом детали интерпретации полученных данных не всегда очевидны для авторов раскопок, что потенциально порождает две противоположные тенденции: слепое доверие к трактовкам «узких» специалистов (аналитиков), либо глубокий скепсис в оценке результативности ряда методов. Очевидно, что обе крайности чреваты информационными потерями и искажениями, включая возможности валидации выводов, сделанных по археологическим данным. Дополнительные риски создает использование единичных измерений разного рода, поскольку не исключены ошибки на каждом из этапов анализа, начиная с идентификации контекста образца и заканчивая ограничениями приборной базы и интерпретацией данных. Таким образом, накопление серий анализов, как и полноценное представление результатов, по-прежнему остается одним из основных вопросов на повестке дня.

Данная работа ориентирована на презентацию итогов анализа стабильных изотопов азота и углерода для уникального по числу парных погребений кург. I позднего бронзового века с территории Южного Зауралья – могильника алакульской культуры Селивановский II. Особенностью представляемой серии является анализ пар разнотипных образцов (бедренная кость – ребро), принадлежавших одним индивидам.

Могильник расположен близ п. Селивановский (Республика Башкортостан). Наличие монографической публикации [Рафикова, Федоров, 2017, с. 100–131, 194–204, 240–243] позволяет минимизировать описание деталей. Кург. I (26 × 32 м, высотой 1,1 м) содержал 14 могильных ям (как одиночные, так и коллективные погребения, до четырех индивидов), в которых совокупно находились не менее 22 человек (взрослых и детей). Основным способом обращения с покойными была ингумация в положении скорченно на боку с ориентировкой головой в северных румбах. Все одиночные погребения, судя по всему, совершены одновременно. Инвентарь представлен керамическими сосудами, принадлежавшими алакульской традиции и имеющими срубные черты, украшениями и костяной орнаментированной трубкой. Радиоуглеродное датирование по коллагену из моляра КРС ($\text{IGAN}_{\text{AMS}}-10724$, $3\,350 \pm 30$) подтверждает алакульскую атрибуцию рассматриваемого кургана [Епимихов, 2023].

Аналитические данные, суммарно представленные в отдельной публикации [Рафикова и др., 2025], сводятся к следующему. В пределах кургана, по данным палео-ДНК (19 человек), захоронены представители одной общины, связанные кровным родством по мужской линии. Взрослые женщины относятся к иному генетическому кластеру, что формирует картину неоднородности, в т.ч. за счет их совместного (с упомянутыми выше мужчинами) потомства. Изотопия стронция (11 образцов) также не иллюстрирует единообразия, выходя в некоторых примерах за границы интервала фоновых значений. Иными словами, часть индивидов провела ранний период жизни (время формирования зубной эмали) вне ближайших окрестностей от места захоронения.

Анализ стабильных изотопов азота и углерода проведен в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН. Общие принципы применения метода и интерпретации полученных результатов неоднократно обсуждались в печати [Кузьмин, 2017; Malainey, 2011; и др.], что избавляет авторов от необходимости еще раз подробно останавливаться на них в рамках данной статьи. Измерен коллаген, выделенный из костей домашних животных: коров ($n = 3$) и лошадей ($n = 1$), а также людей ($n = 25$). Последняя часть включает 13 индивидов, для 12 из которых имеются парные измерения (бедренная кость и ребро), для еще одного индивида измерена только бедренная кость. Поскольку изменение состава изотопов $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ происходит в разных костях с разной скоростью, предполагалось, что первый тип образцов (бедренная кость) отобразит диету за последнее десятилетие жизни, а второй тип (ребро) – за более короткий срок, поскольку губчатая ткань обновляется быстрее [Святко, 2016, с. 49]. Количество выделенного коллагена (% collagen), превышающее 1 % [Van Klinken, 1999], атомное молярное соотношение азота и углерода (C/Natm) в промежутке от 2,9 до 3,6 [DeNiro, 1985], а также процентное содержание азота и углерода в образцах в соответствии с достоверными концентрациями [Van Klinken, 1999] позволяют рассматривать результаты представляемых анализов как достоверные. Исходные данные и результаты измерений представлены в таблице (см. *таблицу*).

Интерпретация изотопных данных опирается на представление о сдвиге значений в зависимости от положения консументов в рамках одной трофической цепи. В нашем случае, это сдвиг между домашними животными и людьми, который наиболее отчетливо прослеживается по медианам $\delta^{15}\text{N}$ (4,87 ‰ и 10,35 ‰)

Результаты анализа состава стабильных изотопов азота и углерода. Могильник Селивановский II, курган 1

| Шифр | Тип образца | Пол | Возраст (лет) | C % | N % | C/Natm | $\delta^{15}\text{N}$ (Air) | $\delta^{13}\text{C}$ (VPDB) | % collagen |
|-------------|--------------------------------|-----|---------------|-------|-------|--------|-----------------------------|------------------------------|------------|
| Seli-1-2-1* | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 14–15 | 50,07 | 18,87 | 3,10 | 9,78 | –19,16 | 18,24 |
| | бедренная кость | | | 49,02 | 18,18 | 3,15 | 9,72 | –19,13 | 21,95 |
| Seli-1-2-2 | <i>Homo S.</i> бедренная кость | М | 14–15 | 48,57 | 18,00 | 3,16 | 10,33 | –18,67 | 23,00 |
| Seli-1-4 | <i>Homo S.</i> ребро | М | 14–15 | 50,66 | 18,97 | 3,12 | 10,37 | –18,76 | 21,68 |
| | бедренная кость | | | 48,04 | 17,96 | 3,13 | 10,29 | –18,91 | 22,81 |
| Seli-1-5 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 25–35 | 50,03 | 18,75 | 3,12 | 10,45 | –18,94 | 18,27 |
| | бедренная кость | | | 47,81 | 17,86 | 3,13 | 10,58 | –18,90 | 20,79 |
| Seli-1-9 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 18–20 | 49,44 | 18,38 | 3,15 | 10,16 | –18,91 | 20,36 |
| | бедренная кость | | | 45,79 | 17,11 | 3,13 | 10,22 | –18,66 | 23,16 |
| Seli-1-10-1 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 20–25 | 49,46 | 18,42 | 3,14 | 10,80 | –19,09 | 19,58 |
| | бедренная кость | | | 47,51 | 17,67 | 3,15 | 11,15 | –18,57 | 21,92 |
| Seli-1-10-2 | <i>Homo S.</i> ребро | М | 20–25 | 50,19 | 18,41 | 3,19 | 10,95 | –19,03 | 20,59 |
| | бедренная кость | | | 46,33 | 17,08 | 3,17 | 10,43 | –18,81 | 23,61 |
| Seli-1-12-1 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 20–25 | 47,15 | 17,59 | 3,14 | 10,58 | –19,02 | 20,66 |
| | бедренная кость | | | 47,55 | 17,66 | 3,15 | 10,54 | –18,96 | 22,21 |
| Seli-1-12-2 | <i>Homo S.</i> ребро | М | 20–25 | 50,04 | 18,32 | 3,20 | 10,75 | –18,87 | 17,42 |
| | бедренная кость | | | 48,15 | 18,12 | 3,11 | 10,35 | –18,63 | 20,80 |
| Seli-1-13-1 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 9–10 | 49,79 | 18,73 | 3,11 | 10,33 | –19,08 | 19,93 |
| | бедренная кость | | | 49,17 | 18,24 | 3,15 | 10,23 | –18,96 | 20,44 |
| Seli-1-13-2 | <i>Homo S.</i> ребро | М | 8–9 | 49,17 | 18,21 | 3,16 | 10,15 | –19,07 | 19,08 |
| | бедренная кость | | | 51,15 | 18,94 | 3,16 | 10,08 | –18,91 | 20,30 |
| Seli-1-14-1 | <i>Homo S.</i> ребро | Ж | 8–9 | 49,55 | 18,00 | 3,22 | 10,53 | –18,86 | 21,12 |
| | бедренная кость | | | 49,61 | 18,31 | 3,17 | 10,35 | –18,77 | 22,35 |
| Seli-1-14-2 | <i>Homo S.</i> ребро | М | 14–15 | 49,27 | 18,25 | 3,16 | 9,89 | –19,08 | 20,35 |
| | бедренная кость | | | 49,93 | 18,65 | 3,13 | 9,70 | –19,10 | 19,58 |
| Seli-1-6 | <i>Equus Caballus</i> | – | – | 50,78 | 18,73 | 3,17 | 4,79 | –20,13 | 14,89 |
| Seli-1-10 | <i>Bos Taurus</i> | – | – | 48,95 | 18,03 | 3,18 | 5,35 | –19,66 | 10,45 |
| Seli-1 | <i>Bos Taurus</i> | – | – | 48,46 | 17,87 | 3,17 | 4,94 | –19,68 | 6,77 |
| | <i>Bos Taurus</i> | | | 49,15 | 18,20 | 3,16 | 4,64 | –19,50 | 10,53 |

* Номер кургана, могильной ямы, скелета.

и $\delta^{13}\text{C}$ (–19,67 ‰ и –18,91 ‰), представленные значения в целом согласуются с трофическим шагом между консументами в одной цепи [Bocherens, Drucker, 2003; O’Connell et al., 2012], что также дополнительно подтверждает достоверность полученных результатов. Обсуждаемые данные близки ранее полученным для бронзового века Южного Зауралья [Hanks et al., 2018; и др.] и подтверждают мясомолочную основу белковой диеты населения бронзового века в Зауралье, где, судя по изотопным данным, большая роль отводилась домашним жвачным копытным.

В анализе парных образцов 12 индивидов итоги не столь очевидны. Во-первых, в целом вариативность серии не слишком велика, что наглядно иллюстрирует график (см. рисунок) и величины стандартного отклонения для $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$: 0,35 ‰ и 0,16 ‰ соответственно. При сопоставлении измерений для одного индивида в ряде случаев разница исчисляется сотыми долями и, скорее всего, является несущественной. Если для $\delta^{13}\text{C}$

прослеживается систематическое уменьшение значений от ранних (бедренная кость) к поздним (ребро), то для $\delta^{15}\text{N}$ в основном динамика разнонаправленная. Общий тренд частично может быть детерминирован биологическими процессами, связанными с переходом от детской диеты (грудного вскармливания) к взрослой [Fogel et al., 1997; Fuller et al., 2006]. Наиболее существенная вариативность сигнала выявлена для трех взрослых индивидов из могильных ям 10 и 12. Именно из этого короткого списка происходит женщина 20–25 лет с экстремальными в рамках выборки значениями по рассматриваемым изотопам. Она не принадлежала к основному генетическому кластеру и явно была интегрирована в социум. На это указывает наличие общего потомка с мужчиной, погребенным совместно с ней в одной могиле, не говоря уже о сходстве обрядности и материальной культуры.

Диетарное объяснение отличий в составе стабильных изотопов от остальных индивидов может являться

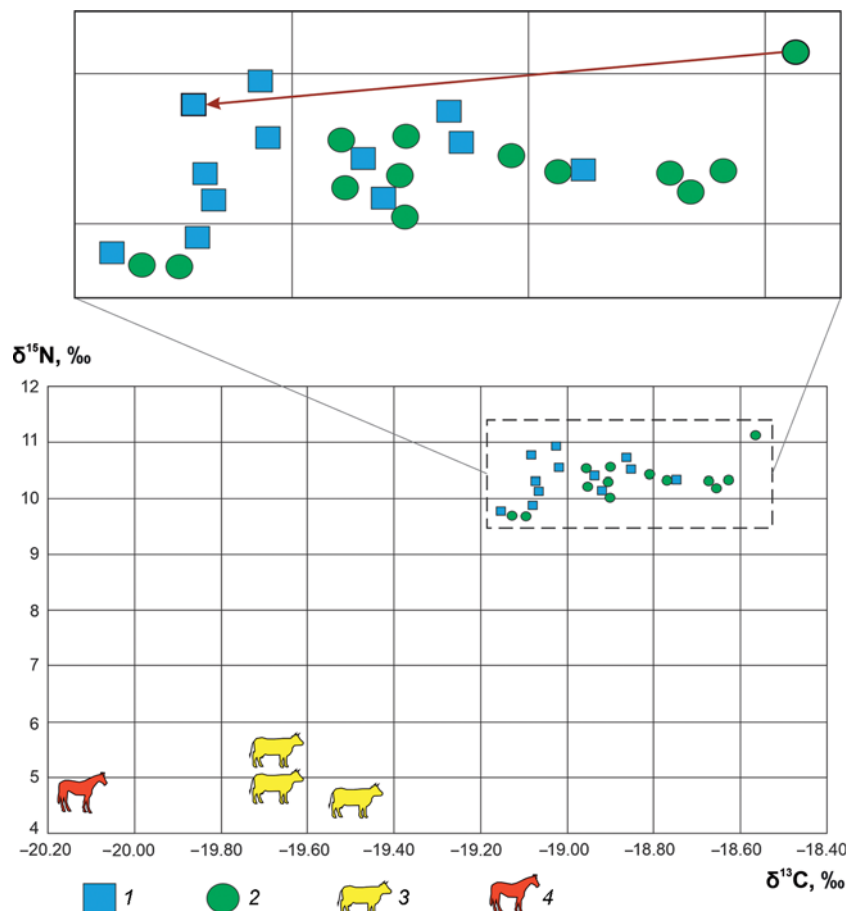


График значений стабильных изотопов азота и углерода в костях людей и животных алакульского могильника Селивановский II.

1 – измерения стабильных изотопов в коллагене ребер людей; 2 – измерения стабильных изотопов в коллагене бедренных костей людей; 3 – измерения коллагена в костной ткани КРС; 4 – измерение коллагена в костной ткани лошади. Динамика изменения изотопных значений для индивида с «экстремальными» значениями обозначена на графике стрелкой.

дициями наблюдается достаточно сложная картина не только по генетическим, но и по изотопным данным, включая стабильные изотопы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$, в теории иллюстрирующим итог приверженности довольно однообразной для всех членов коллектива и видимо традиционной для алакульской культуры диете. В условиях родового коллектива (в нашем случае, скорее всего, большой семьи) маловероятным кажется систематическое использование разных продуктов питания членами одной группы. Изотопные данные демонстрируют отсутствие заметной

следствием потребления продуктов животного происхождения с отличным изотопным сигналом в раннем возрасте. Также следует предполагать влияние недиетарных факторов – например, проживание в иной, более аридной климатической зоне [Святко, 2016]. С этими тезисами хорошо согласуется несовпадение ее $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ сигнала с интервалом фоновых значений района, где находится памятник. Что касается изотопии стронция, то высокая вариативность как минимум отчасти обусловлена расположением памятника близ границы крупных геологических структур (Тагило-Магнитогорской и Центрально-Уральской мегазон). Впрочем, таких индивидов несколько, т.е. представители родственной группы в раннем возрасте проживали в разных геологических условиях, а упомянутая женщина из погр. 10, возможно, и в ином климатическом окружении. Упомянутый вариант только на первый взгляд кажется излишне сложным, в нашем распоряжении есть и другой пример индивида со сложной судьбой, захороненного в могильнике Алакульский [Васючков и др., 2024].

Подводя краткий итог анализа приведенных данных и рассматривая варианты их интерпретации, можно констатировать, что даже в пределах компактного родственного коллектива (в кургане выявлены всего три поколения, видимо, на определенном этапе живших одновременно) с едиными культурными тра-

роли пресноводной рыбы и растений с фотосинтезом типа C4. Предпочтительной мы считаем версию о влиянии на итоговый изотопный сигнал разницы в происхождении и судьбе отдельных индивидов, что имеет дополнительную аналитическую аргументацию в значениях, полученных посредством изотопии стронция.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 25-28-20044 «Система питания населения Южного Зауралья в эпоху бронзы (мультидисциплинарное исследование)» (<https://rscf.ru/project/25-28-20044/>).

Авторы выражают глубокую признательность авторам определений костей человека (Куфтерин В.В., ИАЭ РАН) и животных (Косинцев П.А., Институт экологии растений и животных УрО РАН), измерений стабильных изотопов в коллагене (Зазовская Э.П., Турчинская С.М., ИГ РАН), а также Д. Райху (Harvard Medical School, Boston, MA, USA) за возможность использовать результаты палеогенетических исследований.

Список литературы

Васючков Е.О., Анкушева П.С., Киселева Д.В., Новиков И.К., Турчинская С.М., Епимахов А.В. Алакульский могильник: история формирования по результатам изо-

топного анализа // Российские нанотехнологии. – 2024. – Т. 19, № 5. – С. 580–594. – doi:10.56304/S1992722324601903

Епимахов А.В. Хронология алакульской культуры (новые материалы к дискуссии) // КСИА. – 2023. – Вып. 270. – С. 171–186. – doi:10.25681/IARAS.0130-2620.270.171-186

Кузьмин Я.В. Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях. – Томск: Изд. дом Томск. гос. ун-та, 2017. – 396 с.

Рафикова Я.В., Федоров В.К. Курганы Южного Зауралья. Кн. 1. Учалинский и Абзелиловский районы Республики Башкортостан. – Уфа: Китап, 2017. – 244 с.

Рафикова Я.В., Анкушева П.С., Васючков Е.О., Вязов Л.А., Зазовская Э.П., Куфтерин В.В., Турчинская С.М., Епимахов А.В. Изотопы, ДНК и повороты судьбы людей из могильника бронзового века Селивановский II // Бюл. Всерос. семинара «Стабильные изотопы в археологических исследованиях: методические проблемы и историческая проблематика». Мат-лы VII заседания. – М.: Изд-во ИА РАН, 2025. – С. 48–52.

Святко С.В. Анализ стабильных изотопов: основы метода и обзор исследований в Сибири и Евразийской степи // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2016. – Т. 44, № 2. – С. 47–55. – doi:10.17746/1563-0102.2016.44.2.047-055

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, No. 1. – P. 46–53. – <https://doi.org/10.1002/oa.662>

DeNiro M.J. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction // *Nature*. – 1985. – Vol. 317, No. 6040. – P. 806–809.

Fogel M.L., Tuross N., Johnson B.J., Miller G.H. Biogeochemical record of ancient humans // *Organic Geochemistry*. – 1997. – Vol. 27. – P. 275–287. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00060-0)

Fuller B.T., Fuller J.L., Harris D.A., Hedges R.E.M. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios // *Amer. J. of Phys. Anthropol.* – 2006. – Vol. 129. – P. 279–293. – doi:10.1002/ajpa.20249

Hanks B.K., Ventresca Miller A., Judd M., Epimakhov A., Razhev D., Privat K. Bronze Age Diet and Economy: New Stable Isotope Data from the Central Eurasian Steppes (2100–1700 BC) // *J. of Archaeol. Sci.* – 2018. – Vol. 97. – P. 14–25. – doi:10.1016/j.jas.2018.06.006

Malainey M.E. A Consumer's Guide to Archaeological Science: Analytical Techniques. – N.Y.: Springer, 2011. – 603 p.

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 // *Amer. J. of Phys. Anthropol.* – 2012. – Vol. 149. – P. 426–434.

Van Klinken G.J. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements // *J. of Archaeol. Sci.* – 1999. – Vol. 26, No. 6. – P. 687–695.

References

Bocherens H., Drucker D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies

from recent and ancient terrestrial ecosystems. In *Intern. J. of Osteoarchaeology*, 2003. Vol. 13, No. 1. P. 46–53. <https://doi.org/10.1002/oa.662>

DeNiro M.J. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. In *Nature*, 1985. Vol. 317, No. 6040. P. 806–809.

Epimakhov A.V. Alakul culture chronology (new materials for discussion). In *Kratkie soobshcheniya Instituta arkheologii*, 2023, iss. 270. P. 171–186. (In Russ.). doi: 10.25681/IARAS.0130-2620.270.171-186

Fogel M.L., Tuross N., Johnson B.J., Miller G.H. Biogeochemical record of ancient humans. In *Organic Geochemistry*, 1997. Vol. 27. P. 275–287. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00060-0)

Fuller B.T., Fuller J.L., Harris D.A., Hedges R.E.M. Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. In *Amer. J. of Phys. Anthropol.*, 2006. Vol. 129. P. 279–293. doi:10.1002/ajpa.20249

Hanks B.K., Ventresca Miller A., Judd M., Epimakhov A., Razhev D., Privat K. Bronze Age Diet and Economy: New Stable Isotope Data from the Central Eurasian Steppes (2100–1700 BC). In *J. of Archaeol. Sci.*, 2018. Vol. 97. P. 14–25. doi:10.1016/j.jas.2018.06.006

Kuzmin Y.V. Geoarkheologiya: estestvennonauchny'e metody' v arkheologicheskikh issledovaniyakh. Tomsk: Tomsk State Univ. Press, 2017. 396 p. (In Russ.).

Malainey M.E. A Consumer's Guide to Archaeological Science: Analytical Techniques. N.Y.: Springer, 2011. 603 p.

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. In *Amer. J. of Phys. Anthropol.*, 2012. Vol. 149. P. 426–434.

Rafikova Y.V., Ankusheva P.S., Vasyuchkov E.O., Vyazov L.A., Zazovskaya E.P., Kufterin V.V., Turchinskaya S.M., Epimakhov A.V. Izotopy, DNK i povoroty sud'by lyudei iz mogil'nika bronzovogo veka Selivanovskii II. In *Byulleten' Vserossiiskogo seminara «Stabil'nye izotopy v arkheologicheskikh issledovaniyakh: metodicheskie problemy i istoricheskaya problematika»*. Materialy VII zasedaniya. Moscow: IA RAS Publ., 2025. P. 48–52. (In Russ.).

Rafikova Y.V., Fedorov V.K. Kurgany Yuzhnogo Zaural'ya. Kn. 1. Uchalinskii i Abzelilovskii raiony Respubliki Bashkortostan. Ufa: Kitap, 2017. 244 p. (In Russ.).

Svyatko S.V. Stable isotope analysis: Outline of methodology and a review of studies in Siberia and the Eurasian steppe. In *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2016. Vol. 44, No. 2. P. 47–55.

Vasyuchkov E.O., Ankusheva P.S., Kiseleva D.V., Novikov I.K., Turchinskaya S.M., Epimakhov A.V. The Alakul cemetery: formation history based on isotopic analysis. In *Nanobiotechnology Reports*, 2024. Vol. 19, No. 5. P. 483–496. doi: 10.1134/S2635167624601700

Van Klinken G.J. Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements. In *J. of Archaeol. Sci.*, 1999. Vol. 26, No. 6. P. 687–695.

Епимахов А.В. <https://orcid.org/0000-0002-0141-1026>

Васючков Е.О. <https://orcid.org/0000-0002-2378-3525>

Дата сдачи рукописи: 01.09.2025 г.