УДК 902/904 https://doi.org/10.24852/2587-6112.2026.5.193.214

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОСТНЫХ ОСТАНКОВ СЕМИБУГОРИНСКОГО МОГИЛЬНИКА КАК ИНДИКАТОР РАЦИОНА ПИТАНИЯ И УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ 1-Й ПОЛОВИНЫ XIV В.[1]

©2026 г. А.А. Ткач, Н.Т. Ткач, С.А. Котеньков, Р.Р. Макшаев, Д.С. Соловьёв

Статья посвящена исследованию костных останков из могильника «Семибугры–1» в Камызякском районе Астраханской области, выполненному с применением портативного рентгенофлуоресцентного анализа (пРФА). Целью работы является реконструкция палеорациона населения на основе анализа элементного состава костной ткани с учетом возможных посмертных изменений. Изучены ребра и бедренные кости 20 индивидов различного возраста и пола. Образцы с признаками диагенеза были исключены из рассмотрения. Основное внимание уделено элементам Ca, Sr, Zn и Cu. Содержание таких элементов, как стронций и цинк в изученных образцах существенно превышает типичные значения. Показано, что соотношение Sr/Ca практически не зависит от возраста, что позволяет трактовать его как отражение особенностей питания. Повышенные значения Sr/Ca интерпретируются как свидетельство преобладания растительной пищи в рационе, что подтверждается археоботаническими находками и письменными источниками. Наряду с этим, предполагается высокая доля морской рыбы в рационе изученной группы людей, что также согласуется с археологическими данными и с географическими условиями региона, а именно поднятием уровня Каспийского моря к середине XIV века и близостью морского края дельты р. Волги. Содержание в изученных образцах цинка хорошо коррелирует с содержанием стронция и меди. Повышенные значения Zn и Cu интерпретированы как свидетельства большего количества белковой пищи в рационе некоторых одного из индивидов и в целом более высоким качеством их питания. Полученные данные демонстрируют эффективность пРФА в археологических исследованиях и подчеркивают необходимость комплексного подхода при реконструкции палеодиеты.

Ключевые слова: археология, портативный РФА, реберная кость, палеодиета, Каспий, колебания уровня моря, могильник, погребальный обряд, рыболовство, Золотая Орда.

CHEMICAL COMPOSITION OF BONE REMAINS FROM THE SEMIBUGRY BURIAL GROUND AS AN INDICATOR OF DIET AND LIVING CONDITIONS OF THE VOLGA DELTA POPULATION IN THE FIRST HALF OF THE 14TH CENTURY[2]

A.A. Tkach, N.T. Tkach, S.A. Kotenkov, R.R. Makshaev, D.S. Soloviev

The article presents the study of bone remains from the Semibugry-1 site in the Kamyzyak district of the Astrakhan region, conducted using portable X-ray fluorescence analysis (pXRF). The objective of the present study is to reconstruct the paleodiet of the population based on elemental composition analysis of bones tissue with consideration for potential postmortem alterations. The ribs and femurs of 20 individuals of varying ages and sexes were studied. Samples showing traces of diagenesis were excluded from the analysis. The present study focuses on calcium (Ca), strontium (Sr), zinc (Zn) and copper (Cu). The content of elements such as strontium and zinc in the studied samples significantly exceeds typical values. The Sr/Ca ratio has been demonstrated to exhibit minimal dependence on age, thereby enabling its interpretation as a reflection of dietary patterns. Increased Sr/Ca ratios are interpreted as evidence of a predominantly plant-based diet, which is supported by archaeobotanical finds and written sources. At the same time, a high proportion of marine fish in the diet of the studied group is suggested, which also aligns with archaeological data and the regional geographical conditions – specifically, the rise of the Caspian Sea level by the mid-14th century and the proximity to the marine edge of the Volga River delta. The zinc content in the studied samples exhibited a strong correlation

[1] Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 25-17-00024.

[2]The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation project No. 25-17-00024.

with the content of strontium and copper. Increased Zn and Cu values are interpreted as evidence of a greater amount of protein food in the diet of some of the individuals and, in general, a higher quality of their nutrition. The obtained data demonstrate the effectiveness of pXRF in archaeological studies and emphasise the necessity of an integrated approach in paleodietary reconstruction.

Keywords: archaeology, portable XRF, rib bone, paleodiet, Caspian Sea, sea-level fluctuations, burial ground, burial rite, fishing, Golden Horde.

Введение

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) является спектроскопическим методом изучения вещества для получения информации о его элементном составе. Принцип, заложенный в основу метода, заключается в регистрации и последующем анализе спектра, полученного в результате облучения исследуемого образца. Портативный энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор (пРФА), используемый в настоящей работе, является универсальным прибором, который отличается быстротой получения результатов, легкостью и удобством в использовании.

Основные принципы РФА для целей археологии, описанные в 60-х годах прошлого столетия (Hall, 1960), не потеряли актуальности и по сей день. Современное состояние дисциплины освещено в более поздних публикациях, среди которых выделяются особенно глубокие работы, отвечающие на важные вопросы о границах применимости и уместности использования метода (Handbook of…, 2006; X-ray fluorescence…, 2011; Jenkins, 1999).

Настоящее исследование посвящено изучению элементного состава минеральной фракции кости с помощью пРФА. В качестве необходимого упрощения отметим, что под костью подразумевается бинарный материал, одну треть веса которого составляет белок (коллаген), а две трети – неорганические минеральные соли, главным образом фосфаты кальция. На органической фракции сосредоточен, главным образом, анализ соотношения стабильных изотопов, который выходит за рамки данной работы и, будучи деструктивным методом, следует, как правило, за элементным анализом. Кость представляет собой динамичную ткань, процесс перестройки которой происходит на протяжении всей жизни человека (Dahl et al., 2001), ремоделированию ежегодно подвергается от 5% до 10% скелета взрослого человека (Kini and Nandeesh, 2012). Для применения пРФА лучше всего подходят компактные (кортикальные) костные ткани, нежели губчатые (трабекулярные), поскольку неровная поверхность последних, как правило, вызывает аналитические ошибки при измерении (Byrnes and Bush, 2016). Кроме того, кортикальная кость ремоделируется в течение гораздо более длительного периода времени, чем губчатая (Hill, 1998). В настоящей работе изучались кортикальные кости, хотя, согласно мнению некоторых исследователей (X-ray fluorescence…, 2011), при использовании энергодисперсионного РФА характер структуры кости не столь важен.

Химический анализ костных тканей может многое рассказать об истории жизни человека, при этом РФА позволяет анализировать несколько различных химических элементов единовременно. Результаты измерения элементного состава костей с помощью портативного прибора не показали существенных отличий от измерений, проведенных на стационарных и лабораторных спектрометрах (Byrnes and Bush, 2016). Кроме того, для осуществления элементного анализа с помощью пРФА не требуется предварительного разрушения образца, поэтому метод чаще всего реализуется на начальных этапах исследования. Метод РФА позволяет обнаруживать очень низкие концентрации элемента, однако иногда ввиду технических трудностей, более легкие элементы, не удается обнаружить из-за поглощения низкоэнергетических рентгеновских лучей, поэтому некоторые компоненты костной ткани находятся за пределами обнаружения (Byrnes and Bush, 2016) или, как в настоящей работе, определяются комплексно (например, группа легких элементов).

Элементный состав костной ткани дает информацию о воздействии на человека окружающей среды (Fleming and Blom, 2007), рациона питания (Gonzalez-Reimers et al., 2001) и географии проживания (Bentley et al., 2004; Price et al., 2006), однако может быть подвергнут изменениям в силу множества факторов. Поскольку после захоронения кости подвергаются действию различных процессов, а также на различное время могут попадать в среду,

отличную от среды проживания, особенная опасность искажения результатов связана, в первую очередь, с диагенезом (Sandford, 1993), а также составом почвы и грунтовых вод на месте погребения (Fleming and Blom, 2007), которые необходимо учитывать при проведении исследования.

Существенное воздействие на химический состав костной ткани оказывает рацион питания, который отражается в индикаторных микро- и макроэлементах. Их изучение широко применяется для реконструкции палеодиет населения различных географических районов в разные исторические периоды (Pate, 1994). Этот метод был реализован и в настоящей работе, целью которой является оценка особенности рациона питания людей, проживавших в эпоху средневековья на территории центральной части дельты Волги.

Таким образом, настоящая работа представляет собой первый шаг на пути к полноценной инструментальной реконструкции палеодиеты по костным тканям до момента их деструкции и проведения дальнейших анализов (в частности, изотопных).

Материалы и методы

Материалы

В работе исследованы костные останки частей человеческих скелетов, обнаруженных в 2019–2021 гг. в ходе работ на средневековом грунтовом могильнике поселения «Семибугры–1» в Камызякском районе Астраханской области (Соловьёв, 2019, 2020, 2021а), расположенном на одноименном бэровском бугре в 2 км к востоку-юго-востоку от с. Семибугры на правом берегу реки Болда (Рис. 1). В геоморфологическом отношении бугор располагается на обширной аккумулятивной аллювиальной равнине дельты р. Волги. Для нее характерно наличие многочисленных проток, ильменей, древних полеорусел, стариц, межбугровых понижений и речных террас. Отличительной особенностью рельефа дельты р. Волги является наличие субширотно вытянутых холмов – бэровских бугров, длиной 200–300 м, высотой 7–15 м. Холмы сложены отложениями, состав которых представлен слоистыми песками и алевритами с редкими прослоями раковинного детрита (Бэровские бугры…, 2006; Лобачева и др., 2021). Для всех бугров, располагающихся в районе работ, характерно наличие абразионных, абразионно-аккумулятивных террас, свидетельствующих об их формировании в прибрежно-морских и эстуарных условиях. Межбугровые понижения представлены разнообразными генетическими типами отложений (озерными, речными, субаэральными, болотными), свидетельствующими о существовании различных обстановок осадконакопления, динамично сменяющихся в течение голоцена.

В 1-й пол. XIV в. уровень Каспийского моря находился в пределах −25,5 до −25,8 м, опустившись к середине века до отметки −26,8 м (Изменение режима…, 1987). Господствовавшие в рассматриваемое время условия – а именно близость морского края дельты, опасность сгонно-нагонных явлений, затопление межбугровых пространств, занятых ильменями, не благоприятствовали занятиям скотоводством и земледелием. Этим объясняется выбор возвышенности естественного происхождения в качестве места проживания.

За период исследований были обнаружены материалы, свидетельствующие о наличии в границах указанного бугра поселений первоначально хазарского (VIII–X вв.), а, впоследствии, посёлка и могильника золотоордынского времени (XIV в.) (Соловьёв, 2021б), по обнаруженным джучидским монетам датируемых 1-й пол. XIV в. (Котеньков, 2020). К западу от золотоордынского могильника выявлены остатки сооружений этого периода, являвшихся, судя по обнаруженных в них многочисленных костей рыб, местами для разделки и переработки рыбы. Найденные в сооружениях артефакты (красноглиняная гончарная керамика, фрагмент поливного ширванского блюда и медная монета времён хана Джанибека) датируют эти сооружения также 1-й пол. XIV в. (Соловьёв, 2021б).

В ходе раскопок 2019-2021 гг. в раскопе №1 на площади 143 кв.м было исследовано 27 погребений. В работе приводятся данные по костным останкам из 20 захоронений (погребения 3, 4, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27).

В 4 погребениях имелись надмогильные заклады из сырцовых кирпичей (погребения 13, 16, 17, 18), в 11 – деревянные перекрытия могильной ямы (погребения 8, 10, 15, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27).

В 7 погребениях в бортах могильных ям зафиксированы ступеньки: вдоль северного борта – 3 погребения (17, 18, 20), вдоль

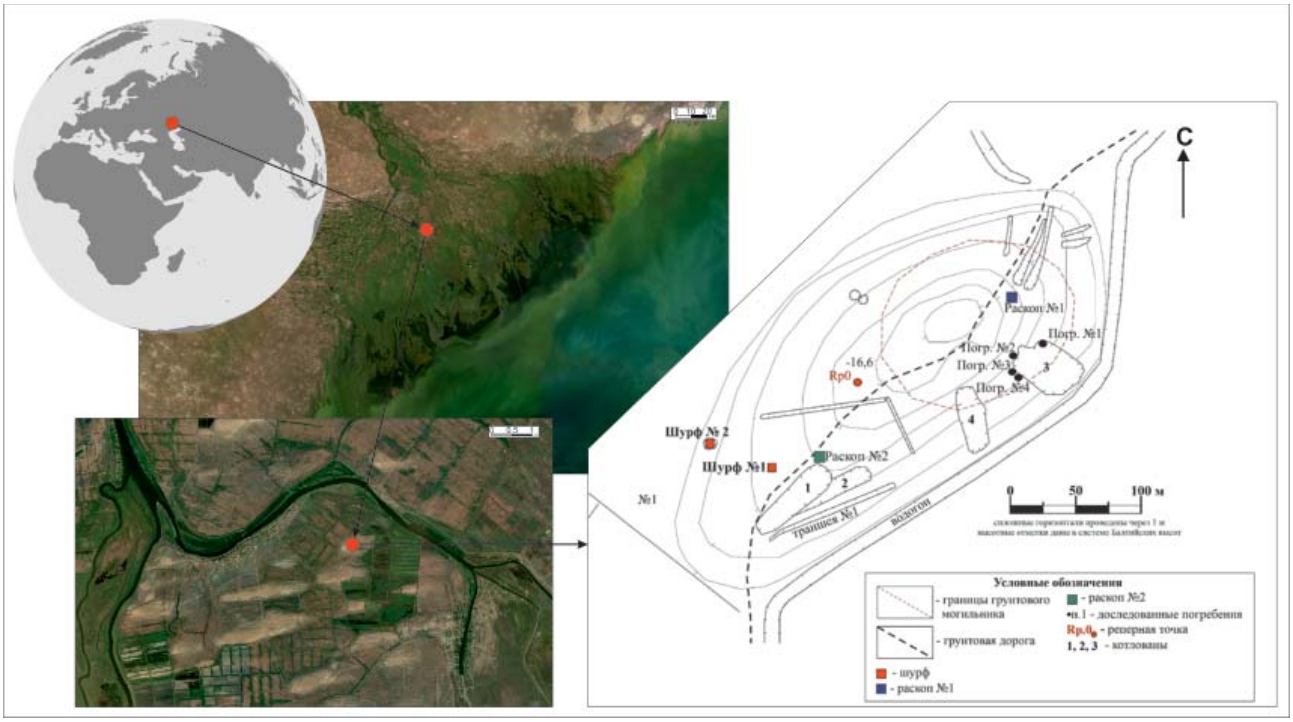


Рис. 1. Местоположение средневекового грунтового могильника и поселения «Семибугры–1».
Fig. 1. Location of the medieval burial ground without mounds and settlement of Semibugry-1

северного и южного – 3 погребения (15, 25, 27), вдоль северного и западного борта – одно погребение (21). В 2 случаях в южной стенке могильной ямы был устроен подбой (погребения 13, 14).

Учитывая сезонные отклонения, ЗЮЗ (погребение 8), ЮЗ (погребение 11), ЗСЗ (погребения 20, 21), у всех погребённых западная ориентировка костяков. Соблюдение киблы, то есть ориентировка покойного лицом на юг в сторону к Кыбле (к находящемуся в Мекке храму Каабы), зафиксировано в 10 погребениях (3, 4, 8, 10, 14, 15, 20, 21, 25, 26), лицом вверх – в 8 погребениях (13, 16, 17, 18, 19, 22, 24, 27), в 2 случаях (погребения 11, 23) положение черепов не фиксируется: в одном случае по причине плохой сохранности костей черепа (погребение 11), в другом – череп был развёрнут затылочной частью к шейным позвонкам в результате нарушения погребения грабительской ямой (погребение 13).

Положение костяка во всех погребениях фиксируется «вытянуто на спине», в четырёх случаях был зафиксирован «доворот на правый бок» (погребения 3, 10, 21, 25).

В одном погребении 11 положение рук и кистей рук не определено по причине плохой сохранности костяка. В погребении 3 руки погребённого согнуты в локте, кисть правой руки уложена на таз, кисть левой руки не сохранилась. В погребении 10 правая рука погребённого согнута в локте, кисть правой руки не сохранилась, левая рука вытянута вдоль тела. В двух случаях (погребения 4, 26) обе руки вытянуты вдоль тела. В погребении 16 правая рука вытянута вдоль тела, левая – согнута в локте, кисть уложена на таз. В погребениях 8 и 22 левая рука вытянута вдоль тела, правая рука согнута в локте, кисть уложена на таз (погребение 8) или на грудь (погребение 22). В 12 погребениях обе руки согнуты в локте, при этом в шести случаях кисти левой и правой руки уложены на таз (погребения 13, 14, 17, 18, 19, 27), в 3 случаях кисти левой и правой руки уложены на живот (погребения 21, 24, 25), в 1 случае кисть левой руки уложена на живот, кисть правой руки уложена на грудь и в 1 случае (погребение 23) кисть левой руки уложена на грудь, кисть правой руки уложена на живот.

В 2 погребениях 3 и 11 положение ног погребённого не определено по причине плохой сохранности костяка. В 12 случаях обе ноги погребённого вытянуты вдоль продольной оси погребения, при этом положение стоп фиксируется следующим образом: сближены, вытянуты (погребения 4, 10, 16, 18, 19, 21,

26, 27), разведены, вытянуты (погребения 8, 23), сближены, завалены на правую сторону, расположены одна над другой (погребения 13, 20). В 2 случаях стопы разрушены (погребения 14, 24). В погребении 17 левая нога вытянута вдоль продольной оси погребении, правая нога согнута в колене, стопы сближены. В трёх погребениях обе ноги согнуты в колене, при этом положение стоп фиксируется следующим образом: сближены, завалены на правую сторону, расположены одна над другой (погребение 15), стопы завалены на правую сторону (погребение 25). В одном случае стопы разрушены (погребение 22).

Только в одном случае (детское захоронение 20) обнаружен погребальный инвентарь – серьга из белого металла в виде знака вопроса с двумя бусинами из перламутра и одной – из аметиста в сопровождении фрагментов текстиля, что является отклонением от канонов ислама. Наличие подобного украшения может свидетельствовать о высоком социальном статусе погребённого индивида.

Данный комплекс захоронений, имеет аналогии среди погребений 1-й пол. XIV в., обнаруженных в дельте Волги – грунтовых могильников «Маячный» у с. Красный Яр, «Хан-тюбе» у с. Татарская Башмаковка Приволжского района Астраханской области (Котеньков и Котенькова, 2011; Шнайдштейн, 1979).

В отношении конструкции погребальных камер и погребального обряда следует отметить, что такие мусульманские каноны, как сооружение в продольной стенке могилы, обращенной к Мекке, подбоя-ляхда и положение погребённого лицом к Кыбле (к находящемуся в Мекке храму Каабы) с поворотом туловища на правый бок соблюдены не во всех случаях. Но во всех могилах соблюдено требование «предохранения тела покойного от непосредственного соприкосновения с землёй» (Халикова, 1986) – для этого устроены перекрытия могильных ям деревом или сырцовым кирпичом. Отклонения в погребальном обряде от канонов ислама объясняются периферийностью расположения поселения, где исламизация населения проходила медленнее, чем в городских центрах.

В целом, погребальный обряд позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемые в данной работе захоронения были совершены не ранее второго десятилетия XIV в. – времени принятия ислама в Золотой Орде.

Методы

Для анализа элементного состава были выбраны бедренные кости и ребра хорошей сохранности. Одни костные останки сохранились лучше, чем других, что привело к разным объемам данных для каждого индивида. Образцы тщательно механически очищались и промывались дистиллированной водой.

Определение пола и возраста проводилось на основе комплексного анализа морфологических признаков черепа, длинных костей и таза (Алексеев, 1966; Milner, 1994)[1]. Возраст детских остатков определялся по степени развития и прорастания зубов молочной и постоянной смены, в сравнении с результатами измерения продольных размеров диафизов длинных костей посткраниального скелета без эпифизов (Алексеев и Дебец, 1964; Ubelaker, 1978; Brothwell 1972). Возраст половозрелых индивидов определялся по степени изменения лобкового симфиза (шкала Тодда, модифицированная Мак-Керном и Стюартом), деструкции зубной поверхности и зубного ряда, степени дегенеративно-дистрофических изменений суставных поверхностей, главным образом, плечевой и бедренной костей (Алексеев, 1966), степени облитерации швов на черепе (Meindl and Lovejoy, 1985; Milner 1994).

Измерения элементного состава костных останков проводились с помощью пРФА Olympus Innov-X Delta в лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена (Географический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова). Анализатор оснащен кремниевым дрейфовым детектором (SDD) довольно большой площади (20 мм^2) и рентгеновской трубкой с родиевым анодом. Анализ проводился в двухлучевом режиме «Геохимия», который позволяет последовательно регистрировать измерения в разных условиях (сначала 10 кВ и 200 мкА без фильтра, а затем 40 кВ и 100 мкА с алюминиевым фильтром) и определять элементы от Mg до U. Сертифицированный эталон NIST SRM 611 использовался для калибровки прибора с той же силой тока и напряжением после каждых 20 измерений.

При измерении мы следовали общепризнанным рекомендациям по использованию пРФА, стремясь приблизиться к максимально возможному покрытию рентгеновского луча

образцом для наиболее точного измерения. В случае, если образец не может полностью закрыть окно детектора, рентгеновский луч будет рассеиваться, что неизбежно приведет к искажению результатов. Поэтому особенно важное для проведения точного измерения наличие плоской поверхности кости было необходимым требованием, предъявляемым к каждому образцу. Толщина кортикального слоя кости превышает ожидаемое расстояние проникновения рентгеновского излучения для каждого конкретного элемента (Byrnes and Bush, 2016), поэтому полученные результаты измерений релевантно отражают состав костной ткани.

Для каждого образца проводилось несколько измерений кортикальной части кости в середине диафиза на латеральной части кости. В первую очередь, это позволяет проверить сходимость результатов. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения STATISTICA.

Результаты и их обсуждение

Оценка сохранности костного материала

В живой костной ткани может содержаться множество переходных метастабильных минеральных фаз. Единственным действительно стабильным минералом и основной минеральной составляющей костей (около 50% от общей массы кости) является гидроксилапатит (ГАП). Его структура выражается формулой $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Важной характеристикой ГАП является стехиометрия его состава, которую принято выражать соотношением Ca/P. «Идеальный» ГАП содержит 39,8% кальция и 18,5% фосфора, а значение его соотношения Ca/P = 2,15 (Burton, 2008).

Для оценки сохранности костных тканей с помощью пРФА в рамках настоящего исследования в каждом образце проанализировано относительное содержание кальция и фосфора (Ca/P), широко используемое в качестве индикатора вторичных химических изменений (Burton, 2008; Kuzel et al., 2016; Lopez-Costas et al., 2016). Согласно Simpson et al. (2023), которые оценили эффективность обнаружении таких диагенетических изменений, сравнив соотношения Ca/P в костных образцах, истертых в порошок, измеренных на внешней поверхности костей и в их подповерхностной части, для обнаружения вторичных химических изменений лучше всего подходит измерение на внешней поверхности кости. Ожидаемая величина отношения Ca/P, измеряемого на поверхности образца, для неизмененного костного материала соответствует значениям в диапазоне 1,3 – 2,3 (Simpson et al., 2023). У некоторых проб в вышеупомянутом исследовании соотношение Ca/P оказалось несколько больше, оно составляло от 2,3 до 2,8, что позволило авторам заявить о необходимости расширения принятого в настоящее время диапазона до 2,8.

В рамках настоящего исследования образцов из могильника в Семибуграх было получено 124 измерения элементного состава реберных костных тканей по 20 погребениям (5-6 измерений на ребро каждого индивида). В дополнение для 6 погребений были проведены 12 измерений элементного состава бедренной кости.

Среди изученных нами ребер лишь у двух индивидов все значения Ca/P оказались выше установленной нормы 2,8 (погребения 1 и 7). Таблица 1 демонстрирует осредненные результаты измерений, полученные после исключения из рассмотрения измерений, превышающих допустимое значение 2,8. Принимая соотношение Ca/P в качестве надежного индикатора степени диагенеза, отсутствие принципиальных различий в соотношении Ca/P между рассмотренными возрастными группами позволяет предположить, что степень диагенетического воздействия была одинакова для всех образцов в выборке вне зависимости от возрастной принадлежности.

Данные измерений по бедрам, полученные по 6 погребениям, демонстрируют более высокие отношения Ca/P, чем по ребрам. Вероятно, это связано с тем, что большинство этих измерений приходилось на более тонкие и пористые области вблизи метафизов бедренной кости (Byrnes and Bush, 2016; Simpson et al., 2023). Поэтому в дальнейшем из рассмотрения они были исключены.

Необходимо отметить, что в качестве прочих причин общего повышения значений Ca/P может выступать влияние периодического поступления в место захоронения вод, богатых $CaCl_2$ (Tankersley et al., 2015).

Отметим, что присутствие в повышенных концентрациях в костных тканях таких элементов как алюминий, кремний и титан, практически повсеместно считается признаком диагенеза (Lambert et al., 1983; Lopez-

Таблица 1. Осредненные содержания элементов и их соотношения в ребрах индивидуумов из захоронений Семибугры-1, а также общая информация о погребениях. Пол: м – мужской, ж – женский, н.п. – неполовозрелый
Table 1. Average trace element concentrations and their ratios in the ribs from the Semibugry-1 burial ground, along with general information on the burials. Sex: «м» - male, «ж» – female, «н.п.» – immature

погреб.	возр. группа	ориент.возр.	пол	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Sr	Zr	LE	Ca/P	Sr/Ca
1	2 - дети	3-4 года		5.0	13	6.8	1.0	n.d.	24.7	0.03	1.44	0.0052	0.043	0.107	0.0047	44.6	3.7	0.0044
3	3 - подростки	11-12 лет	м	1.8	5.2	7.8	0.8	0.13	20.1	n.d.	0.63	0.0033	0.022	0.123	0.0029	63.4	2.6	0.0061
4	4 - взрослые	35-45 лет	м	2.2	5.7	9.4	0.7	0.08	25.3	0.06	0.58	n.d.	0.075	0.128	0.0025	53.5	2.7	0.0050
7	4 - взрослые	40-50 лет	м	3.7	9.6	6.6	0.9	0.54	20.8	0.02	0.90	n.d.	0.051	0.111	0.0021	56.6	3.1	0.0054
8	4 - взрослые	20 лет	м	1.4	3.9	7.6	0.9	0.31	20.9	n.d.	0.31	n.d.	0.015	0.102	0.0016	64.5	2.8	0.0049
10	2 - дети	6-7 лет	-	0.7	2.2	5.9	1.4	n.d.	15.6	0.01	0.27	0.0039	0.028	0.076	0.0018	73.8	2.6	0.0049
11	1 - младенцы	5-6 месяцев	-	1.6	3.6	4.0	0.4	0.33	9.0	0.01	0.35	n.d.	0.012	0.038	0.0007	78.0	2.3	0.0042
13	4 - взрослые	35-40 лет	м	0.5	1.3	9.7	1.0	n.d.	21.2	0.02	0.42	n.d.	0.115	0.084	0.0010	65.7	2.2	0.0040
14	2 - дети	2.5-3 года	-	0.7	2.0	6.4	0.4	0.02	13.4	0.01	0.40	0.0026	0.022	0.060	0.0023	74.9	2.2	0.0043
15	4 - взрослые	25-35 лет	м	0.6	1.7	8.7	0.9	n.d.	20.6	0.01	0.20	0.0027	0.011	0.082	0.0017	67.1	2.4	0.0040
16	1 - младенцы	1-1.5 года	-	0.7	1.7	5.7	0.6	0.48	12.6	0.03	0.23	0.0023	0.013	0.049	n.d.	77.8	2.2	0.0039
17	2 - дети	2-2.5 года	-	0.9	2.3	5.1	0.5	0.21	11.6	0.01	0.41	n.d.	0.013	0.047	0.0010	77.5	2.4	0.0040
18	1 - младенцы	10-12 месяцев	-	0.8	2.0	6.9	0.7	0.08	15.5	0.01	0.15	0.0026	0.009	0.056	n.d.	72.9	2.3	0.0036
19	4 - взрослые	30-35 лет	м	2.7	7.0	6.9	0.6	n.d.	18.6	n.d.	0.65	0.0027	0.020	0.088	0.0013	62.2	2.7	0.0047
20	2 - дети	4.5-5 лет	-	0.5	1.8	6.2	0.5	n.d.	14.2	0.02	0.36	n.d.	0.046	0.056	0.0008	76.3	2.3	0.0040
21	4 - взрослые	35-45 лет	ж	1.1	2.6	8.6	0.7	n.d.	20.2	0.10	0.64	n.d.	0.033	0.072	n.d.	66.0	2.3	0.0036
22	1 - младенцы	4-6 месяцев	-	1.3	3.3	6.8	1.0	0.79	16.5	0.01	0.59	0.0037	0.017	0.108	0.0017	69.6	2.5	0.0063
23	2 - дети	7-7.5 лет	-	1.4	3.1	9.8	0.8	n.d.	22.5	n.d.	0.35	n.d.	0.029	0.086	0.0017	61.9	2.3	0.0039
24	4 - взрослые	20-30 лет	м	0.6	1.8	10.0	2.0	n.d.	24.8	0.09	0.19	0.0033	0.032	0.094	0.0014	60.3	2.5	0.0038
25	4 - взрослые	30-40 лет	ж	0.5	1.4	10.8	1.6	n.d.	25.9	0.05	0.37	0.0052	0.092	0.109	0.0028	59.2	2.4	0.0042
26	2 - дети	5-5.5 лет	-	0.7	2.0	8.4	0.8	n.d.	19.2	0.03	0.24	n.d.	0.029	0.080	0.0018	68.5	2.3	0.0041
27	4 - взрослые	55-65 лет	ж	1.6	5.0	11.5	0.9	n.d.	30.9	n.d.	0.61	n.d.	0.037	0.093	0.0035	49.4	2.7	0.0030

Costas et al., 2016). Действительно, содержания алюминия и кремния имеют высокую корреляцию с коэффициентом Ca/P (Таблица 2), поэтому из дальнейшего рассмотрения были исключены образцы, в которых обнаружен Ti, обычно не присутствующий в костях в измеримом количестве, а также измерения, которые продемонстрировали повышенное содержание Al и Si. Наличие повышенных концентраций железа в костях изученных индивидов также трактуется нами в настоящей работе как признак загрязнения или диагенеза, поскольку была выявлена высокая корреляция его содержания с алюминием и кремнием (Таблица 2).

Анализ содержания стронция в человеческих костях в рамках археологических исследований в качестве относительного показателя доли растительной и мясной пищи в диете является широко используемым методом (Sillen, Kavanagh, 1982; Burton and Wright, 1995). Обоснование его применения исходит из принципа, согласно которому кальций «биологически очищается» (Elias et al., 1982) по мере продвижения вверх по пищевой цепи – ионы стронция преимущественно задерживаются в кишечнике и выводятся из организма, так что процент биологически удерживаемого стронция ниже, чем кальция, поступающего с пищей (Burton and Wright, 1995). Конечным результатом процесса «биологического очищения» является гораздо более низкое относительно неизменных пределах в соответствии со стехиометрическими ограничениями, то в качестве основных элементов, представляющих интерес для реконструкций палеорациона людей прошлого, выступают другие элементы, которые могут легко заменять кальций, не имеют метаболических функций, но накапливаются в костях пропорционально их содержанию в рационе питания (Burton, 2008). К таким элементам, в первую очередь, относится стронций, чей ионный размер близок к размеру иона кальция, что позволяет ему заменять кальций в ГАП.

Таблица 2. Корреляционная матрица содержания и соотношения элементов в реберных костях, Семибугры-1. Красным цветом показана положительная корреляция, синим – отрицательная. Интенсивность цвета соответствует величине корреляции
Table 2. Correlation matrix of element concentrations and ratios in rib bones from Semibugry-1. Positive correlation is shown in red, and negative one in blue. The color intensity corresponds to the magnitude of the correlation.

элементы и соотношения	x̄	s	Al	Si	P	S	Ca	Fe	Zn	Sr	Zr	Ca/P	Sr/Ca	LE
Al	1.2	0.7	1.00	0.98	-0.04	-0.37	0.15	0.73	-0.22	0.36	0.22	0.62	0.33	-0.42
Si	3.1	1.7	0.98	1.00	0.00	-0.35	0.21	0.77	-0.22	0.40	0.31	0.70	0.34	-0.46
P	7.9	2.1	-0.04	0.00	1.00	0.52	0.96	0.04	0.54	0.63	0.60	0.20	-0.33	-0.87
S	0.9	0.4	-0.37	-0.35	0.52	1.00	0.51	-0.37	0.29	0.43	0.19	0.23	-0.03	-0.36
Ca	19.4	5.7	0.15	0.21	0.96	0.51	1.00	0.16	0.44	0.73	0.67	0.46	-0.23	-0.96
Fe	0.4	0.2	0.73	0.77	0.04	-0.37	0.16	1.00	0.09	0.41	0.41	0.44	0.43	-0.37
Zn	0.036	0.030	-0.22	-0.22	0.54	0.29	0.44	0.09	1.00	0.32	0.14	-0.14	-0.17	-0.37
Sr	0.085	0.025	0.36	0.40	0.63	0.43	0.73	0.41	0.32	1.00	0.64	0.63	0.49	-0.77
Zr	0.0018	0.0008	0.22	0.31	0.60	0.19	0.67	0.41	0.14	0.64	1.00	0.44	0.09	-0.69
Ca/P	2.5	0.2	0.62	0.70	0.20	0.23	0.46	0.44	-0.14	0.63	0.44	1.00	0.36	-0.57
Sr/Ca	0.0044	0.0008	0.33	0.34	-0.33	-0.03	-0.23	0.43	-0.17	0.49	0.09	0.36	1.00	0.12
LE	66.2	8.3	-0.42	-0.46	-0.87	-0.36	-0.96	-0.37	-0.37	-0.77	-0.69	-0.57	0.12	1.00

Реконструкция палеорациона

Исследование элементного анализа костей для восстановления диеты людей прошлого базируется на представлении о том, что в костной ткани накапливаются химические элементы, отражающие состав потребляемой пищи, поэтому химический состав кости закономерным образом соответствует составу потребляемых продуктов. Однако прямая реконструкция палеодиеты ограничена, в первую очередь, сложным характером связи между содержанием химических элементов в продуктах питания и в кости.

Если количество кальция и фосфора в костных минералах фиксируется в относи-

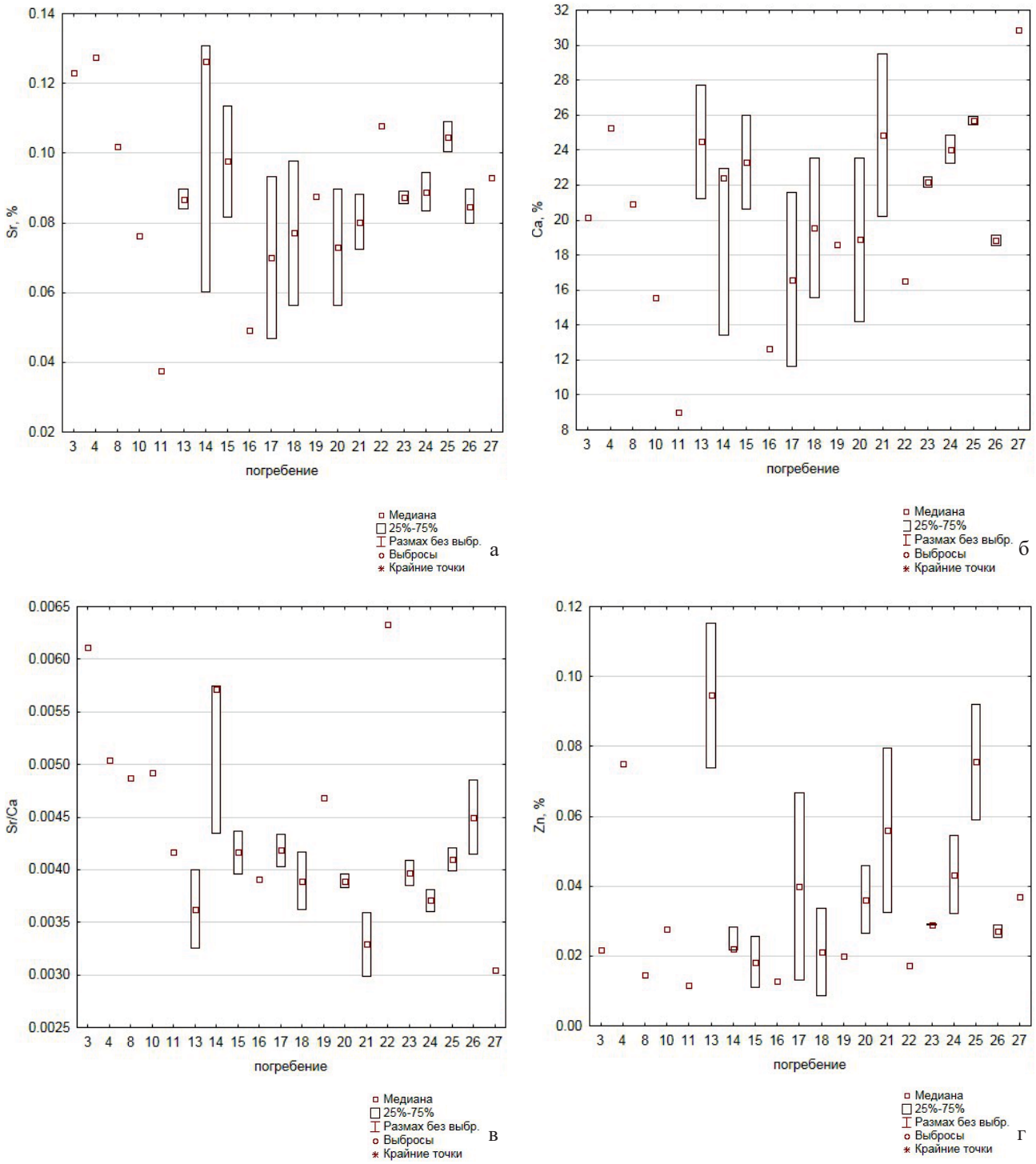


Рис. 2. Содержание а) стронция, б) кальция, в) Sr/Ca и г) цинка в ребрах образцов из могильника в Семибургах.
Fig. 2. Concentrations of a) strontium,б) calcium, в) Sr/Ca and г) zinc in the ribs from the Semibugry burial ground.

соотношение стронция и кальция (Sr/Ca), в костях животных, занимающих более высокие позиции в пищевой цепи. У травоядных соотношение Sr/Ca ниже, чем у потребляемых ими растений. У хищников – ниже, чем в мясе, которое они едят, и эта разница сохраняется в соотношении Sr/Ca в костях. Хотя содержание других элементов также может выступать в качестве аналогичных палеодиетических индикаторов, стронций остается стержнем исследования элементного состава костей для оценок рациона людей прошлого.

Тем не менее, применение анализа величины содержания стронция и отношения

стронция к кальцию (Sr/Ca), соответственно, для реконструкции диеты людей прошлого имеет ряд ограничений, связанных с тем, что величина содержания стронция в организме может быть обусловлена рядом факторов. Одним из них является диагенез (Trueman and Tuross, 2002; Fabig and Herrmann, 2002), хотя, в целом, содержание стронция слабо зависит от диагенетических преобразований (Lambert et al., 1985) и различия в его концентрации в костях, главным образом, связаны с питанием. Посмертные преобразования элементного состава костной ткани теоретически могут корректироваться в зависимости от местных ландшафтно-геохимических условий, типа почв, степени увлажнения и аэрации (Багашев и др., 2012). На предыдущем этапе работы посредством анализа отношения Ca/P и содержания «загрязняющих» элементов мы исключили из рассмотрения образцы, которые были подвержены диагенетическим изменениям. Для того, чтобы убедиться, что наблюдаемые в оставшихся образцах уровни Sr не продиктованы диагенетическими особенностями сравним содержание Sr с содержанием других элементов, на которые, как сообщается, не влияют посмертные изменения неорганической фракции кости, – а именно с содержанием кальция (Lambert et al., 1979, Rasmussen et al., 2017) и цинка (Lambert et al., 1979, 1983). Рис. 2 (а, б, г) наглядно подтверждает синхронные изменения Sr, Ca и Zn в изученных образцах. Коэффициент корреляции между содержанием Ca и Sr составляет 0,73; Zn, в свою очередь, среди всех измеренных элементов, имеет наиболее высокую корреляцию среди других элементов с Ca, Sr и P (~0,4). Таким образом, уровень стронция в изученной выборке не определяется диагенетическими изменениями.

Содержание Sr также имеет определенную степень вариации, связанную с метаболическими факторами – например, с возрастом, что может затруднять интерпретацию его содержания в археологических костях. Для каждой возрастной группы (кроме подростков, которые представлены одним индивидом) был также вычислен коэффициент вариации. По Sr наибольшая вариация значений наблюдается для младенцев (49%), в то время как у взрослых и детей он заметно ниже – 17% и 22%, соответственно. Похожая картина наблюдается для Ca: наибольший коэффициент вариации характерен для измерений, полученным по детским и младенческим ребрам (по 25 %), для взрослых это значение составляет 17 %. Такая высокая вариабельность содержаний у младенцев и детей может быть связана с тем, что ребенок активно растет, или со сменой характера питания, т.е. прекращении грудного вскармливания (рис. 3). Принято считать, что высокие показатели содержания Sr присущи не только детям, но и, например, беременным и кормящим женщинам (Sillen and Kavanagh, 1982; Pate, 1994). Однако в нашем случае среди взрослых индивидов содержания Sr немного больше у мужчин (рис. 4) при практически равной медиане. При этом, разумеется, следует отметить крайне малое количество женщин в изученной выборке – всего три погребения охарактеризованы как женские.

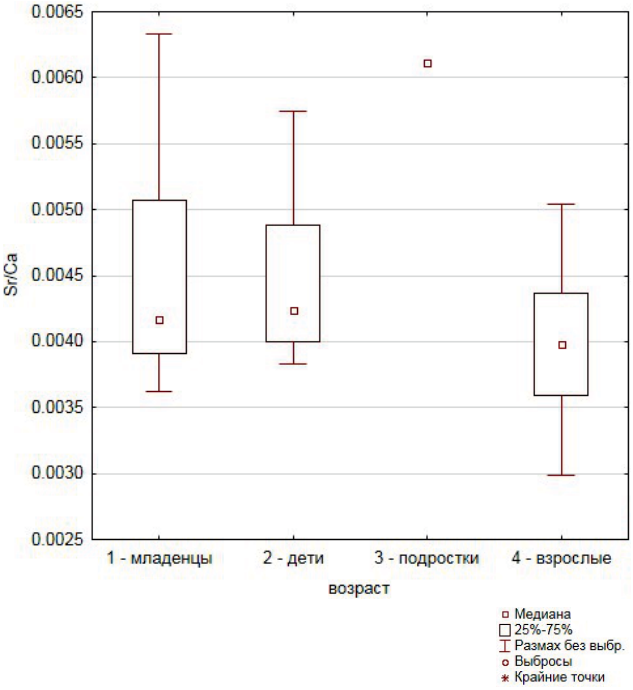


Рис. 3. Содержание а) стронция, б) кальция, в) Sr/Ca в ребрах образцов разных возрастных групп из могильника в Семибургах.

Fig. 3. Concentrations of a) strontium, б) calcium, в) Sr/Ca in the ribs of different age groups from the Semibugry burial ground.

Коэффициент вариации соотношения Sr/Ca составляет 27% у младенцев, 9% у детей и 15% у взрослых. При этом медианные значения соотношения Sr/Ca у всех возрастных групп практически идентичны и составляют порядка 0,004. Таким образом, можно утверждать, что величина Sr/Ca в рассмотренных костных останках практически не зависит возраста, а, значит, должна быть обусловлена

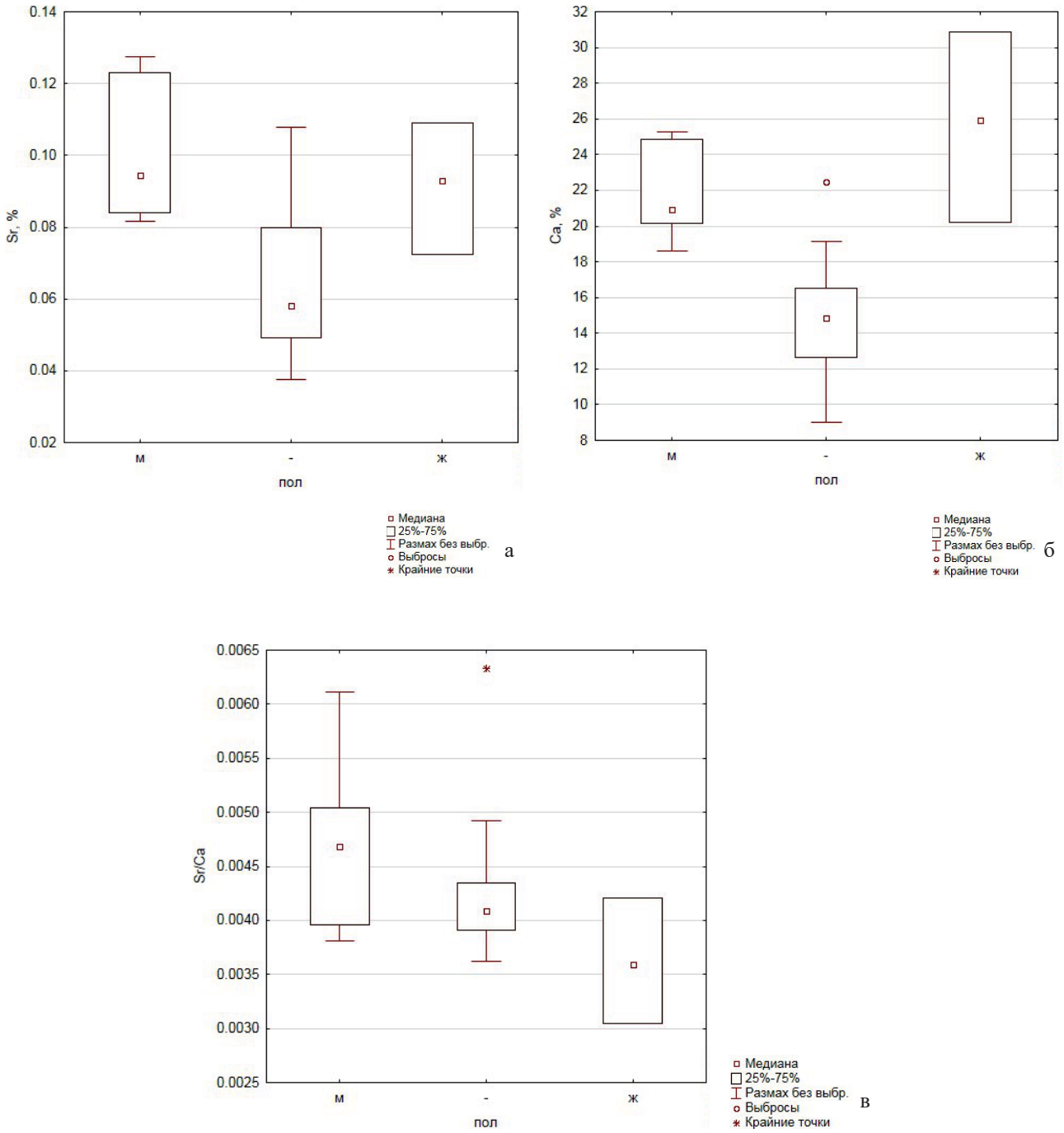


Рис. 4. Содержание а) стронция, б) кальция, в) Sr/Ca в ребрах образцов разной половой принадлежности (и детей с неопределенной половой принадлежностью) из могильника в Семибургах.
Fig. 4. Concentrations of a) strontium, б) calcium, в) Sr/Ca in ribs of different sexes (including children of undetermined sex) from the Semibugry burial ground.

другими факторами. В качестве такого фактора может выступать своеобразие геохимических условий среды обитания организма, то есть влияние окружающей природной среды, которое проявлялось при жизни человека – через состав потребляемой пищи и воды, а не посмертно, как в случае с диагенезом (Багашев и др., 2012), рассмотренным ранее.

Известно (Pate, 1994), что в нормальной реберной кости взрослого человека содержание стронция соответствует 0,019 %. Хотя в различных регионах мира и возможны отклонения от этого значения (в пределах сотых долей % (Minor and trace…, 1999)), среднее значение содержания Sr в ребрах по выборке, изученной в настоящей работе, все же выше нормы. Оно

составляет 0,075 %. При этом среднее значение содержания Ca, согласно опубликованным данным (Zaichick et al., 2008; Minor and trace…, 1999; Багашев и др., 2012) находится в пределах нормы и составляет порядка 18,5 %. В результате наблюдаемые нами повышенные значения Sr/Ca определяются повышенными значениями биогенного Sr.

В целях реконструкции палеорациона важно отметить, что при монокомпонентной диете отношение Sr/Ca в костях относительно постоянно и предсказуемо (Burton and Wright, 1995), оно маркирует трофический уровень организма. Однако диета, состоящая наполовину из мясной, наполовину из растительной пищи, не обеспечит в костях уровень стронция, находящийся посередине между уровнями исключительно плотоядного и травоядного животных, как того можно бы было ожидать (Burton, 2008), поскольку уровень стронция в костях не просто пропорционален количеству стронция в рационе, он пропорционален среднему соотношению Sr/Ca в рационе. Поэтому в случае с мультикомпонентной диетой необходимо знать как общее потребление стронция, так и общее потребление кальция. При этом в качестве источников пищи с высоким содержанием кальция не обязательно выступают мясо и растительные продукты, ими могут быть, например, молочные продукты или соль. Тем не менее, сложность взаимосвязи элементного состава костей и палеодиеты не исключает полезности анализа подобных результатов в контексте дальнейшего изучения костных тканей с помощью деструктивных методов.

При мультикомпонентной диете более высокое соотношение Sr/Ca в костях, как правило, отражает больший процент растительной пищи в рационе, тогда как более низкое соотношение может свидетельствовать об активном употреблении мяса (Elias et al., 1982). В целом, при доминировании в рационе растительной пищи (особенно злаков) соотношение Sr/Ca варьируется в пределах 0,003–0,006 (Sillen and Kavanagh, 1982). Эти показатели хорошо соотносятся с наблюдаемыми в настоящем исследовании значениями Sr/Ca в пределах 0,003–0,007 (Рис. 2в, Рис. 3).

Изученная группа индивидов проживала на территории с низким потенциалом для сельского хозяйства, где равнинный ландшафт дельты создавал угрозу для затопления посевов в результате нагонных явлений с моря. Тем не менее злаки местным жителям могли завозить из других районов и обменивать на рыбу. Самым популярным злаком в Золотой Орде было просо, являющееся наиболее засухоустойчивой и скороспелой сельскохозяйственной культурой. Из него получают пшено, которое отличается повышенным содержанием белка и жира, лёгкой разваривaемостью и быстрой усвояемостью (Растениеводство, 1986). В географической работе ал-Омари (XIV в.) сообщается о земледелии в Золотой Орде: «Чаше всего встречаются у них посевы проса; им они питаются и по части произведений земли в нем (заключается главная) еда их» (Недашковский, 2010).

Таким образом, среди всех растительных компонентов, именно просо, богатое пищевыми волокнами, микроэлементами, кальцием и белком, и неприхотливое в выращивании, зерна которого питательны и хранятся дольше, чем большинство злаков (Food and Agriculture…, 2012), легко усваиваются и универсальны при приготовлении (Wafula et al., 2018), могло служить подходящим источником пищи для изученной группы людей. Будущие исследования стабильных изотопов углерода по коллагену костей позволят проверить теорию высокой роли проса в палеорационе изученных в рамках данной работы людей, как это было продемонстрировано ранее на примере Центрального Китая (Cai and Qiu, 1984), благодаря тому, что просо в отличие от большинства культурных растений (таких как рис, пшеница или ячмень) относится к группе растений с C4-типом фотосинтеза.

Потребляемая вода, как правило, оказывает незначительное влияние на химический состав организма: в среднем менее 10 % поступающего в организм Sr поступает непосредственно из питьевой воды (Schroeder et al., 1972 Tanaka et al., 1981), хотя это число может быть выше в районах с аномально высокими концентрациями Sr в воде (Pate, 1994). Ранее для приморских солончаков в пляжевой зоне Прикаспия наблюдалась испарительная концентрация Sr (Геохимия лагунно-маршевых…, 2016), что особенно важно в контексте данной работы, поскольку этот процесс мог распространяться и на источники воды, которые группа людей, погребённых на могильнике Семибугры, использовала в качестве питьевых. Более того, практически весь субстрат,

по которому развивается почвенный покров в исследуемом регионе, содержит большое количество раковинного детрита, обогащенного стронцием (Burnett et al., 1978). Среднее содержание стронция в верхней части отложений, слагающих бэровские бугры (так называемой «бугровой толще»), составляет 0,025% (неопубликованные авторские данные).

Предполагается, что относительно высокие значения Sr/Ca в рыбе и моллюсках могут затруднить расчет простого соотношения мясных и растительных продуктов в рационе человека (Bisel, 1980). Большое количество находок обожженных костей рыб в выгребных ямах говорят об их наличии в рационе изученной группы людей. Близкое расположение территории поселения к морскому краю дельты Волги, а также повышение уровня Каспийского моря в XIV веке (Изменение режима…, 1987) и превращение многих бэровских бугров в острова делают рыбу более доступной в сравнении с остальными компонентами питания. Уже отмеченное выше низкое плодородие почв не позволяло широко развиваться земледелию, а сокращение пастбищ из-за трансгрессии уровня моря обуславливало отсутствие пространств для выпаса скота.

После монгольского завоевания и вхождения территории волжской дельты в состав Золотой Орды (XIII-XIV вв.) пришлое население переняло у местных жителей занятие рыболовством. О развитии рыболовного промысла на крупных и мелких реках говорят находки рыболовных крючков и гарпунов из кости, железа, лодочных скоб, грузил, а также костных остатков и чешуи рыб (осетров, белуг, севрюг, стерлядей, щук, судаков, сомовых и карповых рыб), обнаруженные на золотоордынских памятниках в дельте Волги (поселении Тумак-Тюбе у с. Татаро-Башмаковка, грунтовом могильнике «Маячный-II», городищах у с. Красный Яр и Шареный бугор) (Недашковский, 2010; Котеньков и Котенькова, 2007).

Значительная доля костей рыб, отмеченная на некоторых памятниках, говорит о том, что потребление рыбы заметно влияло на питание местного населения (Недашковский, 2010). Исследователи считают, что в рационе питания жителей золотоордынских населённых пунктов (особенно в дельтовых районах), рыба играла значимую роль (Фёдоров-Давыдов, 2001).

Известно, что нижневолжские золотоордынские города также стали поставщиками рыбы, в особенности осетровых пород, представлявших собой важную статью в отправках константинопольских купцов. Из Поволжья икру и рыбу этих пород вывозили в Причерноморье и далее вплоть до Средиземноморья и Италии (Фёдоров-Давыдов, 2001).

О том, какую важную роль играло рыболовство в Золотой Орде, свидетельствуют ордынские монеты с изображением рыб. Так, например, на монете Хаджи-Тархана учёные определили породу рыбы – севрюги (Зайцев, 2004).

Развитие рыболовства, необходимость засолки рыбной продукции послужило толчком к развитию новой отрасли хозяйства – соледобычи. Тем более, что запасов соли на территории волжской дельты, встречавшейся в солончаках, высохших ильменях и межбугровых пространствах, покрытых рапой было в избытке (Котеньков, 2013).

Сохранились и письменные свидетельства XV в. о добыче рыбы в Астраханском ханстве. Ловля осетров осуществлялась три месяца в году – с конца мая по конец августа. Рыбу солили на месте, грузили на суда и вывозили вверх по Волге. В русских документах упоминаются в основном осетры, белуги и «шевриги» (севрюги) (Зайцев, 2004).

Путешественники удивлялись, что «мясо осетров местные жители не употребляли в пищу, а ловили их исключительно ради икры». Кроме того, рыбу запасали, сушили на улицах и в домах, а по сведениям путешественников, «сушеная рыба употреблялась татарами вместо хлеба» (Зайцев, 2004).

В то время как большая часть щелочноземельных металлов у рыб содержится в тканях скелета (Boroughs et al., 1956), в съедобных частях их содержание составляет лишь порядка 0,1 % от общего количества (Sillen and Kavanagh, 1982). Аналогичные выводы были сделаны и после изучения морских брюхоногих моллюсков (Burnett et al., 1978). Данные о микроэлементном составе органов и тканей рыб различных географических районов России свидетельствуют, что в мышечной ткани различных видов рыб содержание Sr варьируется в пределах 0,000036–0,00162 % (Рассеянные элементы…, 2006). Таким образом, если группа людей не сильно зависит от рыбы и морепродуктов, маловероятно, что

их употребление существенно повлияет на содержание кальция и стронция в организме. Однако археологические данные указывают на то, что рыболовство занимало первое место в хозяйстве изученной группы людей. Поэтому особого внимания заслуживает вопрос о том, как рыба и моллюски в качестве продуктов питания могут повлиять на соотношение Sr/Ca у людей, чей рацион, вероятно, критически от них зависел, а также была ли это рыба скорее речная или морская.

Соотношение Sr/Ca в тканях морских организмов выше, чем в пресноводных (Sealy and Sillen, 1988; Burton and Price, 1990; Harritt and Radosevich, 1992), поскольку морская вода имеет значительно более высокие показатели Sr/Ca, чем большинство пресноводных местообитаний (Odum, 1951). Продукты морского происхождения имеют очень высокие соотношения Sr/Ca (Schoeninger and Peebles, 1981, Sillen and Kavanagh, 1982), соответственно, рацион, доминирующую роль в котором играют морские организмы (будь то рыба или моллюски), маркируется повышенными значениями Sr/Ca, что подтверждает наше предположение, согласно которому, повышенное содержание стронция во всех исследованных образцах связано с употреблением в пищу продуктов питания морского происхождения, а также растительной пищи.

В пользу этого предположения также выступают результаты измерения другого химического элемента, часто используемого для реконструкции палеодиеты – цинка (Connor and Slaughter, 1984). Согласно оценочным данным (Zaichick et al., 2008; Minor and trace…, 1999) концентрация Zn в костной ткани людей составляет порядка 0,0026–0,0266 %. Содержание цинка в изученных нами образцах колеблется в диапазоне от 0,009 % до 0,115 %, что проиллюстрировано на Рис. 1. Все образцы подразделяются по содержанию цинка на три группы: первая (погребения 3, 8, 10, 11, 14-16, 18, 19, 22, 23, 26) с нормальным содержанием Zn около 0,01-0,03 %; вторая (погребения 17, 20, 24, 27) с более высоким содержанием Zn 0,03-0,05 %, и третья группа (погребения 4, 13, 21, 25) содержание цинка в которой характеризуются крайне высокими уровнями Zn – до 0,115 %. В то время как первые две группы близки друг другу, третья отличается на фоне всей выборки. Исследования показали, что повышенное содержание цинка и меди в костных останках служит индикатором потребления большего количества продуктов животного происхождения (Pate, Brown, 1985; Ezzo, 1992; Pate, 1994; Giorgi et al., 2005). Обратившись к измеренным показателям Cu, отметим, что хотя данный химический элемент удалось определить не для всех погребений, заметно повышенное значение его содержания также регистрируется для погребения 25 (Рис. 5). Согласно оценочным данным (Zaichick et al., 2008; Minor and trace…, 1999) концентрация Cu в костной ткани людей не превышает 0,0022 %. Содержания Cu в исследованных нами образцах превышают это значение в 2-3 раза. В работе А.Н. Багашева с соавторами (2012) содержание Zn и Cu изначально рассматривается в контексте биогеохимических особенностей района их исследований, однако в дальнейшем было показано, что региональные биогеохимические особенности не объясняют своеобразия химического состава костных останков.

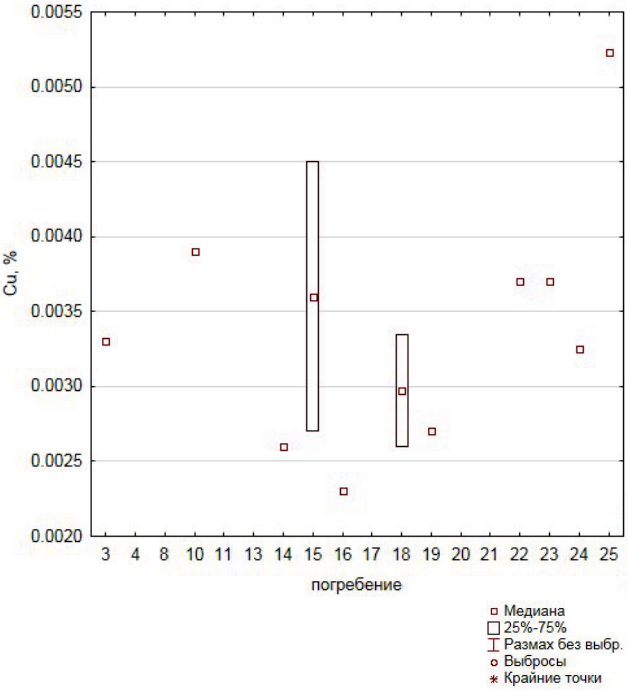


Рис. 5. Содержание меди в изученных образцах (ребрах) из могильника в Семибургах (приведены только те данные, где содержание меди выше нижнего предела определения)

Fig. 5. Copper concentration in the studied ribs from the Semibugry burial ground (only the data where the copper concentration is above the lower limit of detection are provided)

Таким образом, в силу того, что изменения в употреблении белковой пищи может приве-

сти к изменениям содержания цинка и меди в археологических костях (Giorgi et al., 2005), можно заключить, что костные останки, обнаруженные в погребении 25, принадлежит индивиду, в чьем рационе было большее количество белковой пищи, нежели в остальных погребениях изученного могильника, а повышенные значения Zn и Cu связаны с более высоким качеством питания (Pate, 1994). При этом химический анализ не позволяет подтвердить предложение, согласно которому обнаружение украшения в погребении 20 является свидетельством высокого социального статуса индивида.

Помимо рассмотренных элементов, обращает на себя внимание широкий диапазон варьирования содержания серы и марганца в изученной выборке (таблица 1). На данном этапе, мы можем лишь предположить, что более интенсивное накопление этих элементов обусловлено ландшафтными условиями: близостью к ильменям, застойные условия которых явственно отличаются от водораздельных. К похожим выводам приходили ранее Н.П. Матвеева с соавторами (2004). Многообразие в проявлении различных факторов, влияющих на распределение этих элементов в костной ткани, приводит к отсутствию четко выраженных зависимостей, что затрудняет их интерпретацию.

Выводы

В проведенной работе предпринята попытка первичной реконструкции некоторых особенностей рациона питания на основании изучения костных останков людей могильника «Семибугры – 1», путем учета доступных факторов, влияющих на элементный состав костной ткани – а именно диагенетических и возрастных изменений, а также геохимических условий среды обитания и захоронения изученных индивидов.

В качестве критерия наличия диагенетических изменений выступили относительно повышенные значения соотношения Ca/P, а также присутствие алюминия, кремния и титана.

При сопоставлении полученных нами результатов с обобщенными показателями элементного состава костных останков в других исследованиях подобной тематики становится очевидно, что содержание таких элементов, как стронций и цинк в изученных образцах существенно превышает типичные значения. В качестве основы реконструкции палеорациона выступило содержание стронция в ребрах рассмотренных образцов. Наблюдаемые нами повышенные значения соотношения Sr/Ca определяются повышенными значениями Sr. Установлено, что величина соотношения Sr/Ca в рассмотренных костных останках практически не зависит от возраста. После учета прочих факторов, можно утверждать, что наблюдаемые значения содержания Sr в ребрах, главным образом, обусловлены питанием изученных людей и, возможно, употреблением ими для питья воды с повышенным содержанием стронция. Повышенные значения соотношения Sr/Ca указывает на преобладание в рационе рассмотренных групп растительной пищи, а также о наличии животной составляющей в рационе, базовым продуктом которого, вероятно, является морская рыба и/или морепродукты. Содержание в изученных образцах цинка хорошо коррелирует с содержанием стронция и меди. Повышенное содержание цинка и меди свидетельствует о преобладании в рационе белковой пищи и, в целом, о более высоком качестве питания. Полученные выводы сопоставимы с археологическими данными о питании изученных людей. Проведение в будущем комплекса изотопных анализов позволит проверить предположения, высказанные в настоящей работе, а также существенно обогатить реконструкцию палеодиеты и условий жизни жителей данного района дельты периферийного участка Золотой Орды.

Примечание:

[1] Авторы выражают благодарность Перерве Е. В., к. и. н., доценту кафедры отечественной и всеобщей истории, археологии Волгоградского государственного университета за определение пола и возраста погребённых.

Благодарности

Авторы выражают благодарность кафедре геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за возможность проведения пРФА анализа.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В.П. Остеометрия. Методика антропологических исследований. М.: Наука, 1966. 252 с.

Алексеев В.П., Дебец Г.Ф. Краниометрия. Методика антропологических исследований. М.: Наука, 1964. 128 с.

Багашев А.Н., Московченко Д.В., Ражев Д.И., Пошехонова О.Е. Химический анализ костной ткани Нарымских селькупов // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2012. № 1 (16). С. 53–62.

Бэровские бугры Нижнего Поволжья / Отв. ред. А.А. Свиточ, Т.С. Клювиткина. М.: Россельхозакадемия, 2006. 159 с.

Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия / Отв. ред. Н.С. Касимов. М.: Лига-Вент, 2016. 244 с.

Зайцев И.В. Астраханское ханство. М.: Восточная литература, 2004. 303 с.

Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени / Отв. ред. О.К. Леонтьев. М.: Наука, 1987. 239 с.

Котеньков С.А., Котенькова О.Ю. К вопросу о становлении ислама в Золотой Орде (на примере погребального обряда золотоордынских некрополей Красноярского городища) // Диалог городской и степной культур на евразийском пространстве: Материалы V Международной конференции, посвященной памяти Г.А. Федорова-Давыдова (Астрахань, 2–6 октября 2011 г.) / Отв. ред. Д.В. Васильев, Ю.А. Зеленеев, А.Г. Ситдиков. Казань: Институт истории им. Ш. Марджани АН РТ, 2011. С. 205−211.

Котеньков С.А., Котенькова О.Ю. Раскопки на поселении Тумак-Тюбе в Астраханской области // Проблемы археологии Нижнего Поволжья: II Международная Нижневолжская археологическая конференция / Отв. ред. А.В. Кияшко, А.С. Скрипкин. Волгоград: ВолГУ, 2007. С. 155.

Котеньков С.А., Соловьёв Д.С., Тимофеев А.А. Археологические исследования на бугре Семибугры-I В Камызякском районе Астраханской области в 2019 г. // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. Вып. XXVI / отв. ред. А.А. Тишкин. Барнаул: Алт. ун-т, 2020. С. 72–76.

Лебедева Е.Ю., Сергеев А.Ю. Археоботаническая коллекция из Багаевского селища золотоордынского времени // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 4 / Отв. ред. и сост. В.И. Завьялов, С.В. Кузьминых. М.: Таус, 2017. С. 291–331.

Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. Литофациальное строение и условия накопления отложений бэровских бугров Северного Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 6. С. 99–111.

Матвеева Н.П., Ларина Н.С., Захарова Л.А., Вилль К.В. Некоторые аспекты палеоэкологического изучения населения западносибирской лесостепи в раннем железном веке // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2004. № 5. С. 172–186.

Недашковский Л.Ф. Золотоордынские города Нижнего Поволжья и их округа. М.: Вост. лит-ра, 2010. 352 с.

Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология / Отв. ред. Т.И. Моисеенко. М.: Наука, 2006. 261 с.

Растениеводство / Отв. ред. П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов. М.: Агропромиздат. 1986. 512 с.

Соловьёв Д.С. Отчет об археологических разведках на территории Харабалинского, Камызякского и Енотаевского районов Астраханской области в 2019 г. // Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 65921, 2019.

Соловьёв Д.С. Отчет об археологических разведках на поселении Семибугры в Камызякском районе Астраханской области в 2020 г. // Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 68370, 2020.

Соловьёв Д.С. Отчет об археологических разведках в Камызякском районе Астраханской области в 2021 г. // Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. № 74661, 2021а.

Соловьёв Д.С. Отчет об археологических раскопках на территории грунтового могильника «Семибугры» в границах выявленного объекта культурного наследия в Камызякском районе Астраханской области в 2021г. // Архив ИА РАН. Ф-1. Р-1. б/н. 2021б.

Федоров-Давыдов Г.А. Золотоордынские города Поволжья: керамика, торговля, быт. М.: МГУ, 2001. 254 с.

Халикова Е.А. Мусульманские некрополи Волжской Болгарии X – нач. XIII вв. Казань: КГУ, 1986. 159 с.

Шнайдштейн Е.В. Новые средневековые памятники в дельте Волги // Древняя история Поволжья / Труды Куйбышевского государственного педагогического института. Т. 230 / Отв. ред. С.Г. Басин. Куйбышев: Куйбышевский гос. педагогический ин-т им. В. В. Куйбышева 1979. С. 200–201.

Bentley R.A., Price T.D., Stephan E. Determining the `local' 87Sr/86Sr range for archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe // Journal of Archaeological Science. 2004. Vol. 31(4). P. 365–375.

Bisel S.L.C. A pilot study in aspects of human nutrition in the ancient Eastern Mediterranean, with particular attention to trace minerals in several populations from different time periods. Ph.D. Dissertation. Minneapolis: University of Minnesota, 1980.

Boroughs H., Townsley S.J., Hiatt R.W. The metabolism of radionuclides by marine organisms. III. The uptake of calcium-45 in solution by marine fish // Limnology and Oceanography. 1956. Vol. 1. P. 28–32.

Brothwell D.R. Digging up Bones. London: Trustees of British Museum, 1972. 316 p.

Burnett M.W., Settle D.M., Patterson C.C. Comparative distributions of alkaline earths and Pb among tissues of marine plants and animals // Advances in Mass Spectrometry. 1978. Vol. 7. P. 1697–1701.

Burton J. Bone chemistry and trace element analysis // Biological Anthropology of the Human Skeleton / Eds. Katzenberg M.A., Saunders S.R. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008. P. 443–460.

Burton J.H., Price T.D. The Ratio of Barium to Strontium as a Paleodietary Indicator of Consumption of Marine Resources // Journal of Archaeological Science. 1990. Vol. 17. P. 547–557. https://doi.org/10.1016/0305-4403(90)90035-4

Burton J.H., Wright L.E. Nonlinearity in the relationship between bone Sr/Ca and diet: Paleodietary implications // American Journal of Physical Anthropology. 1995. Vol. 96. P. 273–282. https://doi.org/10.1002/ajpa.1330960305

Byrnes J.F., Bush P.J. Practical Considerations in Trace Element Analysis of Bone by Portable X-ray Fluorescence // Journal of Forensic Sciences. 2016. Vol. 61(4). P. 1041–1045. doi:10.1111/1556-4029.13103

Cai L., Qiu S. Carbon-13 evidence for ancient diet in China // Kaogu. 1984. Vol. 10. P. 949–955.

Connor M., Slaughter D. Diachronic study of Inuit diets utilising trace element analysis // Arctic Anthropology. 1984. Vol. 21. P. 23–134.

Dahl S.G., Allain P., Marie P.J. Incorporation and distribution of strontium in bone // Bone. 2001. Vol. 28(4). P. 446–453.

Elias R.W., Hirao Y., Patterson C.C. The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1982. Vol. 46(12). P. 2561–2580. doi:10.1016/0016-7037(82)90378-7

Ezzo J.A. A test of diet versus diagenesis at Ventana Cave, Arizona // Journal of Archaeological Science. 1992. Vol. 19. P. 23–37.

Fabig A., Herrmann B. Trace elements in buried human bones: intrapopulation variability of Sr/Ca and Ba/Ca ratios – diet or diagenesis? // Naturwissenschaften. 2002. Vol. 89. P. 115–119.

Fleming D.E.B., Blom D.E. Evidence for lead diagenesis in ancient bones of the Southern Andes // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2007. Vol. 263(1). P. 41–45.

Food and Agriculture Organization (FAO). Grassland Index. A Searchable Catalogue of Grass and Forage Legumes. Rome: FAO, 2012.

Giorgi F., Bartoli F., Iacumin P., Mallegni F. Oligoelements and isotopic geochemistry: A multidisciplinary approach to the reconstruction of the paleodiet // Human Evolution. 2005. Vol. 20. P. 55. https://doi.org/10.1007/BF02438898

Gonzalez-Reimers E., Velasco-Vazquez J., Arnay-de-la-Rosa M. Paleonutritional analysis of the pre-Hispanic population from Fuerteventura (Canary Islands) // Science of the Total Environment. 2001. Vol. 264(3). P. 215–220.

Hall E.T. X-ray fluorescent analysis applied to archaeology // Archaeometry. 1960. Vol. 3. P. 29–37.

Handbook of practical X-ray fluorescence analysis / Eds. B. Beckhoff, B. Kanngießer, N. Langhoff, R. Wedell, H. Wolff. New York: Springer, 2006. 863 p.

Harritt R.K., Radosevich S.C. Results of instrument neutron-activation trace-element analysis of human remains from the Naknek region, southwest Alaska // American Antiquity. 1992. Vol. 57. P. 288–299.

Hill P.A. Bone remodeling // British Journal of Orthodontics. 1998. Vol. 25. P. 101–107.

Jenkins R. X-ray fluorescence spectrometry. 2nd ed. New York: Wiley Interscience, 1999.

Kini U., Nandeesh B.N. Physiology of bone formation, remodeling, and metabolism // Radionuclide and Hybrid Bone Imaging. Berlin: Springer, 2012. P. 29–57.

Kuzel A.R., Christensen A.M., Marvin S.M. Calcium and phosphorus detection using benchtop versus handheld X-ray fluorescence spectrometers // Journal of Forensic Sciences. 2016. Vol. 61. P. S190–S192. https://doi.org/10.1111/1556-4029.12951

Lambert J.B., Szpunar C.B., Buikstra J.E. Chemical analysis of excavated human bone from Middle and Late Woodland sites // Archaeometry. 1979. Vol. 21. P. 115–129.

Lambert J.B., Vlasak S., Simpson S., Szpunar C.B., Buikstra J.E. Bone diagenesis and dietary analysis // Journal of Human Evolution. 1985. Vol. 14(5). P. 477–482. doi:10.1016/s0047-2484(85)80026-9

Lambert J.B., Vlasak Simpson S., Buikstra J.E., Hanson D. Electron microprobe analysis of elemental distribution in excavated human femurs // American Journal of Physical Anthropology. 1983. Vol. 62. P. 409–423.

Lopez-Costas O., Lantes-Suárez O., Martínez Cortizas A. Chemical compositional changes in archaeological human bones due to diagenesis: Type of bone vs soil environment // Journal of Archaeological Science. 2016. Vol. 67. P. 43–51. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.02.001

Meindl R.S., Lovejoy C.O. Ectocranial Suture Closure: A Revised Method for the Determination of Skeletal Age at Death Based on the Lateral-Anterior Sutures // American Journal of Physical Anthropology. 1985. Vol. 68. P. 57–66.

Milner G.R. A Handbook Prepared For Human Osteology at the Pennsylvania State University. Philadelphia: Pennsylvania State University, 1994. 118 p.

Minor and trace elements in human bones and teeth / Eds. Iyengar G.V., Tandon L. Vienna: International Atomic Energy Agency. 1999.

Odum H.T. Notes on the strontium content of sea water, celestite radiolaria, and strontianite snail shells // Science. 1951. Vol. 114. P. 211–213.

Pate D.F. Bone chemistry and Paleodiet // Journal of Archaeological Method and Theory. 1994. Vol. 1(1). P. 161–209.

Pate F.D., Brown K.A. The stability of bone strontium in the geochemical environment // Journal of Human Evolution. 1985. Vol. 14. P. 483–491.

Price T.D., Tiesler V., Burton J.H. Early African diaspora in colonial Campeche, Mexico: strontium isotopic evidence // American Journal of Physical Anthropology. 2006. Vol. 130(4). P. 485–490.

Rasmussen K.L., Skytte L., D'imporzano P., Thomsen P.O., Søvsø M., Boldsen J.L. On the distribution of trace element concentrations in multiple bone elements in 10 Danish medieval and post-medieval individuals // American Journal of Physical Anthropology. 2017. Vol. 162 (1). P. 90–102.

Sandford M.K. The biogenic-diagenetic continuum // Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology / Ed. M.K. Sandford. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1993. P. 3–57.

Schoeninger M.J., Peebles C.S. Effects of mollusc eating on human bone strontium levels // Journal of Archaeological Science. 1981. Vol. 8. P. 391–397.

Schroeder H.A., Tipton I.H., Nason A.P. Trace metals in man: Strontium and barium // Journal of Chronic Diseases. 1972. Vol. 25. P. 491–517.

Sealy J.C., Sillen A. Sr and Sr/Ca in marine and terrestrial foodwebs in the southwestern Cape, South Africa // Journal of Archaeological Science. 1988. Vol. 15. P. 425–438.

Sillen A., Kavanagh M. Strontium and paleodietary research: a review // Yearbook of Physical Anthropology. 1982. Vol. 25. P. 67–90.

Simpson E.M.B., Crowley B.E., Sturmer D.M. Is the damage worth it? Testing handheld XRF as a non-destructive analytical tool for determining biogenic bone and tooth chemistry prior to destructive analyses // Frontiers in Environmental Archaeology. 2023. Vol. 1–2022. DOI: 10.3389/fearc.2022.1098403

Tanaka G.I., Kawamura H., Nomura E. Reference Japanese man. II. Distribution of strontium in the skeleton and in the mass of mineralized bone // Health Physics. 1981. 40. P. 601-614.

Tankersley K.B., Murari M.K., Crowley B.E. Quaternary chronostratigraphy and stable isotope paleoecology of Big Bone Lick, Kentucky, USA // Quaternary Research. 2015. Vol. 83. P. 479–487. doi:10.1016/j.yqres.2015.01.009

Trueman C.N., Tuross N. Trace elements in recent and fossil bone apatite // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2002. Vol. 48. P. 489–521.

Ubelaker D.H. Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation. Chicago: Adline Publishing Company, 1978. 116 p.

Wafula W., Korir N., Ojulong H., Siambi M., Gweyi-Onyango J. Protein, Calcium, Zinc, and Iron Contents of Finger Millet Grain Response to Varietal Differences and Phosphorus Application in Kenya // Agronomy. 2018. Vol. 8(2). P. 24. doi:10.3390/agronomy8020024

X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology / Eds. Shackley M.S. New York: Springer, 2011.

Zaichick V., Zaichick S., Karandashev V., Nosenko S. The Effect of Age and Gender on Al, B, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, P, S, Sr, V, and Zn Contents in Rib Bone of Healthy Humans // Biological Trace Element Research. 2008. 129(1-3). P. 107–115. doi:10.1007/s12011-008-8302-9

Информация об авторах:

Ткач Алина Алексеевна, кандидат географических наук, научный сотрудник, МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия); tkachaa@my.msu.ru

Ткач Николай Тимофеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт РАН (г. Москва, Россия); tkachgeo@gmail.com

Котеньков Сергей Анатольевич, кандидат исторических наук, исполняющий обязанности директора Каспийского филиала, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва, Россия); s_kotenkov@mail.ru

Макшаев Радик Рафаэлевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва, Россия); radikm1986@mail.ru

Соловьёв Дамир Сергеевич, заместитель директора, ООО «Археоцентр» (г. Астрахань, Россия); arheocentr@bk.ru

REFERENCES

Alekseev, V. P. 1966. *Osteometriia. Metodika antropologicheskikh issledovanii (Osteometry. Anthropologic Research Technique)*. Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian).

Alekseev, V. P., Debets, G. F. 1964. *Kraniometriia. Metodika antropologicheskikh issledovanii (Craniometry. Anthropologic Research Technique)*. Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian).

Bagashev, A. N., Moskovchenko, D. V., Razhev, D. I., Poshekhonova, O. E. 2012. In *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii (Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography)* 16 (1), 53–62 (in Russian).

Svitoch, A. A., Klyuvitkina, T. S. (eds.). *Berovskie bugry Nizhnego Povolzh'ya (Baer knolls of the Lower Volga region).* Moscow: Russian agricultural academy (in Russian).

Kasimov, N. S. (ed.). 2016. *Geokhimiya lagunno-marshevykh i del'tovykh landshaftov Prikaspiya (Geochemistry of lagoon-marsh and deltaic landscapes of the Caspian region).* Moscow: “Liga-Vent” Publ. (in Russian).

Zaitsev, I. V. 2004. *Astrahanskoe khanstvo (Astrakhan Khanate).* Moscow: “Vostochnaia Literatura” Publ. (in Russian).

Leont’ev, O. K. 1987. *Izmenenie rezhima Kaspiyskogo morya i besstochnykh vodoemov v paleovremeni (Changes in the regime of the Caspian Sea and drainless reservoirs in paleovremia).* Moscow: “Nauka” Publ. (in Russian).

Koten'kov, S. A., Koten'kova, O.Yu. 2011. In Vasiliev, D. V., Zeleneev, Yu. A., Sitdikov, A. G. (eds.). *Dialog gorodskoi i stepnoi kul’tur na evraziiskom prostranstve (Dialog of Urban and Steppe Cultures on Eurasian Territory)*. Kazan; Astrakhan: Institute of History named after Shigabuddin Mardzhani of the Tatarstan Academy of Sciences, 205−211 (in Russian).

Koten'kov, S. A., Koten'kova, O.Yu. 2007. In Kiyashko, A. V., Skripkin, A. S. (eds.). *Problemy arkheologii Nizhnego Polozh’ia (Issue of the Archaeology of the Lower Volga Region)* Volgograd: Volgograd State University, 155 (in Russian).

Koten'kov, S. A., Soloviev, D. S., Timofeev, A. A. 2020. In Tishkin, A. A. (eds.). *Sokhranenie i izuchenie kul'turnogo naslediia Altaiskogo kraia (Preservation and Study of the Cultural Heritage of Altai Krai)* 26. Barnaul: Altai State University, 72–76 (in Russian).

Lebedeva, E. Yu., Sergeev, A. Yu. 2017. In Chernykh, E. N., Zavyalov, V. I., Kuzminykh, S. V. (eds.). *Analiticheskie issledovaniia laboratorii estestvennonauchnykh metodov (Analytical Studies of the Laboratory of Natural Scientific Methods*) 4. Moscow: “Taus” Publ., 291–331 (in Russian).

Lobacheva, D. M., Badyukova, E. N., Makshaev, R. R. 2021. In *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya (Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5.* Geography) (6), 99–111 (in Russian).

Matveeva, N. P., Larina, N. S., Zaharova, L. A., Vill, K. V. 2004. In *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii (Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography)* (5), 172–186 (in Russian).

Nedashkovsky, L. F. 2010. *Zolotoordynskie goroda Nizhnego Povolzh'ya i ikh okruga (The Golden Horde Cities of the Lower Volga Region and Their Suburbs)*. Moscow: "Vostochnaia Literatura" Publ. (in Russian).

Moiseenko, T. I. (ed.). 2006. *Rasseyannye elementy v poverkhnostnykh vodakh sushi: tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya (Trace elements in surface inland waters: technophilicity, bioaccumulation, and ecotoxicology).* Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).

Vavilov, P.P., Gricenko, V. V., Kuznetsov, V.S. (eds.). *Rastenievodstvo (Horticulture)*. Moscow: "Agropromizdat" Publ. (in Russian).

Soloviev, D. S. 2019. *Otchet ob arkheologicheskikh razvedkakh na territorii Kharabalinskogo, Kamyzyakskogo i Enotaevskogo rayonov Astrakhanskoy oblasti v 2019 g. (Report on survey works in the Kharabaly, Kamyzyak and Yenotayevka districts of the Astrakhan region in 2019).* Astrakhan. Archive of the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences. F-1, R-1, no 65921 (in Russian).

Soloviev, D. S. 2020. *Otchet ob arkheologicheskikh razvedkakh na poselenii Semibugry v Kamyzyakskom rayone Astrakhanskoy oblasti v 2020 g. (Report on survey works at the Semibugry settlement in the Kamyzyak district of the Astrakhan region in 2020).* Astrakhan. Archive of the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences. F-1, R-1, no 68370 (in Russian).

Soloviev, D. S. 2021. *Otchet ob arkheologicheskikh razvedkakh v Kamyzyakskom rayone Astrakhanskoy oblasti v 2021 g. (Report on survey works in the Kamyzyak district of the Astrakhan region in 2021).* Astrakhan. Archive of the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences. F-1, R-1, no 74661 (in Russian).

Soloviev, D. S. 2021. In *Otchet ob arkheologicheskikh raskopkakh na territorii gruntovogo mogil'nika «Semibugry» v granitsakh vyyavlennogo ob"ekta kul'turnogo naslediya v Kamyzyakskom rayone Astrakhanskoy oblasti v 2021g. (Report on archaeological excavations at the Semibugry burial ground without mounds within the limits of the identified cultural heritage site in the Kamyzyak district of the Astrakhan region in 2021).* Astrakhan. Archive of the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences. F-1, R-1, w/n (in Russian).

Fedorov-Davydov, G. A. 2001. *Zolotoordynskie goroda Povolzh'ia*: *keramika, torgovlia, byt* (*Golden Horde Cities in the Volga Region: Pottery, Trade, Everyday Life*). Moscow: Moscow State University (in Russian).

Khalikova, E. A. 1986. *Musul'manskie nekropoli Volzhskoy Bolgarii X – nach. XIII vv. (Muslim necropolises of Volga Bolgaria of the 10th – early 13th centuries).* Kazan: Kazan State University (in Russian).

Shnaidshtein, E. V. 1979. In Basin, S. G. (ed.). *Drevniaia istoriia Povolzh'ia (Ancient History of the Volga Region)*. Series: Trudy Kuybyshevskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo institute (Proceedings of the Kuibyshev State Pedagogical Institute) 230. Kuibyshev: Kuibyshev State Pedagogical Institute, 200–201 (in Russian).

Bentley, R. A., Price, T. D., Stephan, E. 2004. In *Journal of Archaeological Science* 31 (4), 365–375.

Bisel, S. L. C. 1980. *A pilot study in aspects of human nutrition in the ancient Eastern Mediterranean, with particular attention to trace minerals in several populations from different time periods*. Ph.D. Dissertation. Minneapolis: University of Minnesota.

Boroughs, H., Townsley, S. J., Hiatt, R. W. 1956. In *Limnology and Oceanography* (1), 28–32.

Brothwell, D. R. 1972. *Digging up Bones*. London: Trustees of British Museum.

Burnett, M. W., Settle, D. M., Patterson, C. C. 1978. In *Advances in Mass Spectrometry* (7), 1697–1701.

Burton, J. 2008. In Katzenberg, M. A., Saunders, S. R. (eds.). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New Jersey: John Wiley & Sons, 443–460.

Burton, J. H., Price, T. D. 1990. In *Journal of Archaeological Science* (17), 547–557. https://doi.org/10.1016/0305-4403(90)90035-4

Burton, J. H., Wright, L. E. 1995. In *American Journal of Physical Anthropology* (96), 273–282. https://doi.org/10.1002/ajpa.1330960305

Byrnes, J. F., Bush. P. J. 2016. In *Journal of Forensic Sciences* 61 (4), 1041–1045. doi:10.1111/1556-4029.13103

Cai, L., Qiu, S. 1984. In *Kaogu* (10), 949–955.

Connor, M., Slaughter, D. 1984. In *Arctic Anthropology* (21), 23–134.

Dahl, S. G., Allain, P., Marie, P. J. 2001. In *Bone*. 28 (4), 446–453.

Elias, R. W., Hirao, Y., Patterson, C. C. 1982. In *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46 (12), 2561–2580. doi:10.1016/0016-7037(82)90378-7

Ezzo, J. A. 1992. In *Journal of Archaeological Science* (19), 23–37.

Fabig, A., Herrmann, B. 2002. In *Naturwissenschaften* (89), 115–119.

Fleming, D. E. B., Blom, D. E. 2007. In *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 263 (1), 41–45.

2012. *Food and Agriculture Organization (FAO).* Grassland Index. A Searchable Catalogue of Grass and Forage Legumes. Rome: FAO.

Giorgi, F., Bartoli, F., Iacumin, P., Mallegni, F. 2005. In *Human Evolution* 20, 55. https://doi.org/10.1007/BF02438898

Gonzalez-Reimers, E., Velasco-Vazquez, J., Arnay-de-la-Rosa, M. 2001. In *Science of the Total Environment* 264 (3), 215–220.

Hall, E. T. 1960. In *Archaeometry* (3), 29–37.

Beckhoff, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R. Wolff, H. (eds.). 2006. *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. New York: Springer.

Harritt, R. K., Radosevich. S. C. 1992. In *American Antiquity* (57), 288–299.

Hill, P. A. 1998. In British *Journal of Orthodontics* (25), 101–107.

Jenkins, R. 1999. X-*ray fluorescence spectrometry*. 2nd ed. New York: Wiley Interscience.

Kini, U., Nandeesh, B. N. 2012. In *Radionuclide and Hybrid Bone Imaging*. Berlin: Springer, 29–57.

Kuzel, A. R., Christensen, A. M., Marvin, S. M. 2016. In *Journal of Forensic Sciences* (61), S190–S192. https://doi.org/10.1111/1556-4029.12951

Lambert, J. B., Szpunar, C. B., Buikstra, J. E. 1979. In *Archaeometry* (21), 115–129.

Lambert, J. B., Vlasak, S., Simpson, S., Szpunar, C. B., Buikstra, J. E. 1985. In *Journal of Human Evolution* 14 (5), 477–482. doi:10.1016/s0047-2484(85)80026-9

Lambert, J. B., Vlasak Simpson, S., Buikstra, J. E., Hanson, D. 1983. In *American Journal of Physical Anthropology* (62), 409–423.

Lopez-Costas, O., Lantes-Suárez, O., Martínez Cortizas, A. 2016. In *Journal of Archaeological Science* (67), 43–51. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.02.001

Meindl. R. S., Lovejoy, C. O. 1985. In *American Journal of Physical Anthropology* (68), 57–66.

Milner, G. R. 1994. A *Handbook Prepared For Human Osteology at the Pennsylvania State University*. Philadelphia: Pennsylvania State University.

Iyengar, G. V., Tandon, L. 1999. *Minor and trace elements in human bones and teeth*. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Odum, H. T. 1951. In *Science* (114), 211–213.

Pate, D. F. 1994. In *Journal of Archaeological Method and Theory* 1 (1), 161–209.

Pate, F. D., Brown, K. A. 1985. In *Journal of Human Evolution* (14),. 483–491.

Price, T. D., Tiesler, V., Burton, J. H. 2006. In *American Journal of Physical Anthropology*. 130 (4), 485–490.

Rasmussen, K. L., Skytte, L., D'imporzano, P., Thomsen, P.O., Søvsø, M., Boldsen, J. L. 2017. In *American Journal of Physical Anthropology* 162 (1), 90–102.

Sandford, M. K. 1993. In Sandford, M. K. (ed.). *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 3–57.

Schoeninger, M. J., Peebles, C. S. 1981. In *Journal of Archaeological Science* (8), 391–397.

Schroeder, H. A., Tipton, I. H., Nason, A. P. 1972. In *Journal of Chronic Diseases* (25), 491–517.

Sealy, J. C., Sillen, A. 1988. In *Journal of Archaeological Science* (15), 425–438.

Sillen, A., Kavanagh, M. 1982. In *Yearbook of Physical Anthropology* (25), 67–90.

Simpson, E. M. B., Crowley, B. E., Sturmer, D. M. 2023. In *Frontiers in Environmental Archaeology* (1–2022), 10.3389/fearc.2022.1098403

Tanaka, G. I., Kawamura, H., Nomura, E. 1981. In *Health Physics* (40), 601–614.

Tankersley, K. B., Murari, M. K., Crowley, B. E. 2015. In *Quaternary Research* vol. 83, 479–487. doi:10.1016/j.yqres.2015.01.009

Trueman, C. N., Tuross, N. 2002. In *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* vol. 48, 489–521.

Ubelaker, D. H. 1978. *Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation*. Chicago: Adline Publishing Company.

Wafula, W., Korir, N., Ojulong, H., Siambi, M., Gweyi-Onyango, J. 2018. In *Agronomy* 8 (2), 24. doi:10.3390/agronomy8020024

Shackley, M. S. 2011. *X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology*. New York: Springer

Zaichick, V., Zaichick, S., Karandashev, V., Nosenko, S. 2008. In *Biological Trace Element Research* 129 (1–3), 107–115. doi:10.1007/s12011-008-8302-9

About the Authors:

Tkach Alina A. Candidate of Geographical Sciences, Lomonosov Moscow State University. Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russian Federation; tkachaa@my.msu.ru

Tkach Nikolai T. Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Geological Institute, Russian Academy of Sciences. Pyzhevsky lane, 7c1, Moscow, 119017, Russian Federation; tkachgeo@gmail.com

Kotenkov Sergey A. Candidate of Historical Sciences, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences. Nakhimovsky avenue, 36, Moscow, 117997, Russian Federation; s_kotenkov@mail.ru

Makshaev Radik R. Candidate of Geographical Sciences, Lomonosov Moscow State University. Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russian Federation; radikm1986@mail.ru

Soloviev Damir S. LLC “Archeocenter”. Lenina square, 2, Astrakhan, 414000, Russian Federation; arheocentr@bk.ru

Статья поступила в журнал 12.11.2025 г.
Статья принята к публикации 20.05.2026 г.
Авторы внесли равноценный вклад в работу