

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ТЮМЕНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ  
И ЭТНОГРАФИИ**

*Сетевое издание*

**№ 2 (69)  
2025**

ISSN 2071-0437 (online)

Выходит 4 раза в год

**Главный редактор:**

Зах В.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

**Редакционный совет:**

Молодин В.И., председатель совета, акад. РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;  
Добровольская М.В., чл.-кор. РАН, д.и.н., Ин-т археологии РАН;  
Бауло А.В., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;  
Бороффка Н., PhD, Германский археологический ин-т, Берлин (Германия);  
Епимахов А.В., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН;  
Кокшаров С.Ф., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН; Кузнецов В.Д., д.и.н., Ин-т археологии РАН;  
Лахельма А., PhD, ун-т Хельсинки (Финляндия); Матвеева Н.П., д.и.н., ТюмГУ;  
Медникова М.Б., д.и.н., Ин-т археологии РАН; Томилов Н.А., д.и.н., Омский ун-т;  
Хлагула И., Dr. hab., ун-т им. Адама Мицкевича в Познани (Польша); Хэнкс Б., PhD, ун-т Питтсбурга (США);  
Чикишева Т.А., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН

**Редакционная коллегия:**

Дегтярева А.Д., зам. гл. ред., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Костомарова Ю.В., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН;  
Пошехонова О.Е., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН; Лискевич Н.А., отв. секретарь, к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Агапов М.Г., д.и.н., ТюмГУ; Адаев В.Н., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Бейсенов А.З., к.и.н., НИЦИА Бегазы-Тасмола (Казахстан); Валь Й., PhD, О-во охраны памятников  
Штутгарта (Германия); Зимина О.Ю., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Ключева В.П., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Крийска А., PhD, ун-т Тарту (Эстония); Крубези Э., PhD, проф., ун-т Тулузы (Франция);  
Кузьминых С.В., к.и.н., Ин-т археологии РАН; Перерва Е.В., к.и.н., Волгоградский ун-т;  
Печенкина К., PhD, ун-т Нью-Йорка (США); Пинхаси Р., PhD, ун-т Дублина (Ирландия);  
Рябогина Н.Е., к.г.-м.н., ун-т Гетеборга; Слепченко С.М., к.б.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Ткачев А.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Хартанович В.И., к.и.н., МАЭ (Кунсткамера) РАН

Утвержден к печати Ученым советом ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН

Сетевое издание «Вестник археологии, антропологии и этнографии»  
зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций; регистрационный номер: серия Эл № ФС77-82071 от 05 октября 2021 г.

Адрес: 625008, Червишевский тракт, д. 13, e-mail: [vestnik.ipos@inbox.ru](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

Адрес страницы сайта: <http://www.ipdn.ru>

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2025

**FEDERAL STATE INSTITUTION  
FEDERAL RESEARCH CENTRE  
TYUMEN SCIENTIFIC CENTRE  
OF SIBERIAN BRANCH  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

# **VESTNIK ARHEOLOGII, ANTROPOLOGII I ETNOGRAFII**

ONLINE MEDIA

**№ 2 (69)  
2025**

ISSN 2071-0437 (online)

There are 4 numbers a year

**Editor-in-Chief**

Zakh V.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

**Editorial Council:**

Molodin V.I. (Chairman of the Editorial Council), member of the RAS, Doctor of History,  
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)  
Dobrovolskaya M.V., Corresponding member of the RAS, Doctor of History,  
Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)  
Baulo A.V., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)  
Boroffka N., PhD, Professor, Deutsches Archäologisches Institut (German Archaeological Institute) (Berlin, Germany)  
Chikisheva T.A., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)  
Chlachula J., Doctor hab., Professor, Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland)  
Epimakhov A.V., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)  
Koksharov S.F., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)  
Kuznetsov V.D., Doctor of History, Institute of Archeology of the RAS (Moscow, Russia)  
Hanks B., PhD, Professor, University of Pittsburgh (Pittsburgh, USA)  
Lahelma A., PhD, Professor, University of Helsinki (Helsinki, Finland)  
Matveeva N.P., Doctor of History, Professor, University of Tyumen (Tyumen, Russia)  
Mednikova M.B., Doctor of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)  
Tomilov N.A., Doctor of History, Professor, University of Omsk

**Editorial Board:**

Degtyareva A.D., Vice Editor-in-Chief, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Kostomarova Yu.V., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Poshekhonova O.E., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Liskevich N.A., Assistant Editor, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Agapov M.G., Doctor of History, University of Tyumen (Tyumen, Russia)  
Adaev V.N., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Beisenov A.Z., Candidate of History, NITSIA Begazy-Tasmola (Almaty, Kazakhstan),  
Crubezy E., PhD, Professor, University of Toulouse (Toulouse, France)  
Kluyeva V.P., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Kriiska A., PhD, Professor, University of Tartu (Tartu, Estonia)  
Kuzminykh S.V., Candidate of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)  
Khartanovich V.I., Candidate of History, Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera  
(Saint Petersburg, Russia)  
Pechenkina K., PhD, Professor, City University of New York (New York, USA)  
Pererva E.V., Candidate of History, University of Volgograd (Volgograd, Russia)  
Pinhasi R., PhD, Professor, University College Dublin (Dublin, Ireland)  
Ryabogina N.Ye., Candidate of Geology, Göteborgs Universitet (Göteborg, Sweden)  
Slepchenko S.M., Candidate of Biology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Tkachev A.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)  
Wahl J., PhD, Regierungspräsidium Stuttgart Landesamt für Denkmalpflege  
(State Office for Cultural Heritage Management) (Stuttgart, Germany)  
Zimina O.Yu., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: [vestnik.ipos@inbox.ru](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

URL: <http://www.ipdn.ru>

## АНТРОПОЛОГИЯ

<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2025-69-2-11>

УДК 550.42

Добровольская М.В. \*, Строков А.А., Смирнов А.Л., Нелюбов С.А.

Институт археологии РАН

ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117292

E-mail: mk\_pa@mail.ru (Добровольская М.В.); anton-strokov@yandex.ru (Строков А.А.);

ari1828@bk.ru (Смирнов А.Л.); ser.nelubov@yandex.ru (Нелюбов С.А.)

### ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ В СКЕЛЕТНЫХ ОСТАНКАХ ЛЮДЕЙ КАК ОТРАЖЕНИЕ МИГРАЦИЙ И МОБИЛЬНОСТИ: РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОГРАНИЧЕНИЯ

*Представлен краткий обзор изучения изотопного состава стронция биоархеологических материалов и фоновых вариаций биодоступного стронция, а также создания ряда крупных обобщающих источников в виде баз данных (Isotopia, IsoArch, CIMA), которые в открытом доступе предоставляют опубликованные индивидуальные данные в сопровождении характеристик контекста и географических координат. Сводные данные позволяют не только обсуждать миграционную активность, но и наблюдать динамику торговых путей материалов биологического происхождения. Недостаточная и неравномерная изученность изотопного состава стронция в среде и археологических объектах регионов европейской части России тем не менее позволяет оценивать существование крупных географических трендов. Нами описана направленная динамика возрастания величины соотношения изотопов стронция в биодоступных формах и биоархеологических материалах с юга на северо-запад, что, вероятно, связано с распространением позднеплейстоценовых моренных и ледниковых в целом отложений. Опыт такого свода данных полезен при изучении населения смешанного происхождения (останки на полях битв, население средневековых городов и др.). Изучение индивидуальной изменчивости изотопного состава эмали зубов маркирует мобильность человека в периоды детства, отрочества и юности. Анализ этой динамики важен для характеристики миграционной активности и опирается на оценку внутригрупповой изменчивости изотопного состава элемента. Таким образом, охарактеризованы те форматы исследований, которые могут быть успешно реализованы в условиях ограниченной и неравномерной изученности фоновой динамики биодоступного стронция.*

**Ключевые слова:** биоархеологические материалы, изотопный состав биодоступного стронция, базы данных, европейская часть России.

Ссылка на публикацию: Добровольская М.В., Строков А.А., Смирнов А.Л., Нелюбов С.А. Изотопный состав стронция в скелетных останках людей как отражение миграций и мобильности: разнообразие форматов исследований и ограничения // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2025. 2. С. 125–136. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2025-69-2-11>

#### Изучение изотопного состава стронция в биоархеологических материалах — методический прорыв и теоретическое значение

Оценка изотопного состава биоархеологических материалов является одной из наиболее широко используемых возможностей для изучения мобильности человека и животных, а также определения векторов поступления тех или иных материалов растительного и животного происхождения (растительные ткани, шерсть, поделочная древесина и кость и пр.). Прецедент использования данных об изотопном соотношении  $87/86 \text{ Sr}$  состоялся в середине 1980-х гг. [Ericson, 1985, 1989]. С тех пор число статей, включающих результаты изучения изотопного состава биоархеологических материалов, стало увеличиваться в геометрической прогрессии, и, более того, стремительно растет процент работ в археологии в целом, так или иначе связанных с привлечением или обсуждением данных об изотопном составе [Grimstead et al., 2017]. Вероятно, будет неверно ограничиться упоминанием масштабов распространения использования таких и подобных данных, полученных методами естественных наук, нужно отметить и последствия, повлиявшие на теорию современной археологии, в которой понятие междисциплинарности стало краеугольным камнем [Liden, Ericson, 2013; Kristiansen, 2013]. Нельзя не согласиться с мнением К. Лиден и Г. Эриксона относительно не-

\* Corresponding author.

обходимости работы в междисциплинарном пространстве, что обеспечено самой природой археологических источников и сложившейся структурой научного знания и образования.

### **Вопросы, решаемые с привлечением данных об изотопном составе стронция**

Широкое привлечение данных об изотопном составе стронция — результат глубокого междисциплинарного взаимодействия, развивавшегося на протяжении нескольких десятилетий. В одном из наиболее цитируемых обзоров по этой тематике, опубликованном еще в 2006 г. А. Бентли [Bentley, 2006], представлены сложности, объективно присущие этому подходу. Они связаны с пониманием и необходимостью учета многообразия природных факторов, определяющих динамику изотопного состава стронция в окружающей среде и организме. Напомним эти основные факторы: состав и возраст пород и минералов, слагающих геологическую основу местности, геоморфологические особенности территории, водоемы и атмосферные осадки и воздушный перенос мелкодисперсных частиц, биогеохимические особенности перемещения стронция в экосистемах, метаболизм стронция в различных биологических тканях, тафономические изменения в археологизированных останках. Важно подчеркнуть, что автор фокусирует внимание на том, что успех исследования в значительной степени зависит от четкости формулировки задачи и обоснования подбора образцов археологических и сопоставительных, характеризующих среду. Четкость задачи дает основания в ряде случаев пренебречь некоторыми из перечисленных выше факторов. Наиболее точно сформулированная задача позволяет получить ответ в формате «да — нет». Но для этого важна точная формулировка, адресованная конкретному образцу (ам), например: находился ли индивид X в возрасте до 3–4 лет на территории с биогеохимическими характеристиками, близкими к таковым территории могильника? Такие промежуточные вопросы и ответы носят технический характер, но именно они формируют основу для заключения историко-культурного содержания.

Потребность в обоснованности интерпретаций и исторических выводов обусловила глубокую методическую проработку исследований на всех этапах. Так, предложена система отбора проб местных геологических пород, грунтов, источников воды, растительности, малоподвижных животных для получения целостной картины фоновой динамики изотопного состава стронция [Киселева и др., 2021; Grimstead et al., 2017]. Исследователи предлагают фиксировать точки сбора координатами, закладывая тем самым основы будущей ГИС, которая может быть ассоциированной с геологическими, геоморфологическими и иными картами. Другой подход — метод базисных интервалов. Как отмечают сами авторы, «недостатком метода является необходимость получения большой выборки и отказ от изучения вариативности» [Чечушков, Епимахов, 2023, с. 23].

Новой вехой в работе с фоновыми значениями стала недавно созданная система прогнозирования локальных величин биодоступного стронция. Система создана на основании 2551 определения фоновых значений стронция из 1400 геолокаций с территории Франции, Германии, Нидерландов, Дании, Великобритании [Bataille et al., 2018]. Продолжение этих работ привело к созданию глобальной системы прогнозирования [Bataille et al., 2020]. Однако авторы закономерно отмечают, что малое число локальных определений для многих регионов снижает достоверность прогноза.

С другой стороны, интерпретации на основании сопоставления данных о составе археологического объекта и биодоступного стронция имеют значительные ограничения, обусловленные несовпадением вариаций различных источников, характеризующих местные источники стронция. Подробные и разносторонние исследования, учитывающие влияние местных геологических пород различных глубин залегания, водотоков и связанных с ними переносов механического материала, а также прорезания долиной реки подстилающих слоев, множества других факторов, требуют большого числа образцов, проведения крупного комплексного исследования. Такие мульти-прокси-исследования повышают достоверность выводов, но не разрешающую способность метода [Ladegaard-Pedersen et al., 2021].

Пока на уровне эмпирического знания проявляются несовпадения изотопного соотношения стронция в среде, соответствующей возрасту изучаемого памятника и современной. Это очень серьезная проблема, отраженная, в частности, в статье, посвященной обобщению данных по археологическим материалам от мезолита до эпохи бронзы и современному биодоступному стронцию в ландшафтах Литвы [Piličiauskas et al., 2023]. Таким образом, следует признать, что кропотливое изучение фоновой изменчивости изотопного состава стронция в среде, и биодоступного стронция в частности, необходимо для любой территории. Однако ожидать, что такая проработка обеспечит однозначность выводов, вероятно, не приходится.

### Источники данных об изотопном составе стронция для решения археологических задач

Для изучения миграционной активности и мобильности на основании данных об изотопном составе стронция требуется создание источников особого рода — своды данных, представляющие не только значения для образцов и фоновые вариации, но и множество характеристик (метаданные) археологического контекста, параметры образца.

Необходимость создания баз данных изотопных измерений очевидна. Количество исследованных образцов только у одного научного коллектива может составлять сотни и даже тысячи, а в масштабах научной организации или тем более макрорегиона либо страны речь будет идти о тысячах и десятках тысяч образцов. Традиционные «ручные» возможности хранения и обработки таких массивов данных очень ограничены. Также необходимость создания и ведения таких баз данных обусловлена большим количеством необходимой сопутствующей информации, такой как характеристика образца, хронологические рамки, ссылки на литературу и т. д. Для этого наиболее подходящим инструментом являются реляционные базы данных.

Ведение таких баз данных подразумевает необходимость создания программного обеспечения для внесения информации, ее получения из базы данных и визуализации. Сама по себе база требует определенных навыков от пользователя для формирования запросов и фильтрации данных. Специально созданное программное обеспечение поможет пользователям и исследователям без необходимых навыков применять весь функционал, который предоставляют системы управления базами данных, в своей работе. Стоит также отметить, что создание таких баз данных и программного обеспечения не только необходимо для простого хранения, ввода и вывода данных, а может служить средством автоматизации работы исследователей и способствовать минимизации ошибок при хранении и переносе данных.

За последние несколько лет инициативные работы по созданию баз данных перешли на новый этап, набрав значительный информационный вес. Вот некоторые из них.

**Isotòpia.** База данных с открытым доступом, содержащая более 36 000 стабильных изотопных измерений, включая данные о  $^{87/86}\text{Sr}$  биоархеологических образцах, датируемых классической древностью (около 800 г. до н.э. — 500 г. н.э.). В нее включены памятники из самых различных районов античной ойкумены (*Isotòpia: A Stable Isotope Database for Classical Antiquity — Repository — Pandora*).

**IsoArch** — новая веб-база изотопных данных биоархеологических образцов из греко-римского мира и с его периферии. IsoArch была разработана как совместная платформа для распространения изотопных данных и связанной с ними археологической информации (<http://www.isoarch.eu>). Созданная для исследований в области палеодиеты, палеомобильности и палеоэкологической реконструкции, IsoArch собрала и по сей день публикует изотопные данные по останкам людей, животных и растений, а также органическим остаткам почти из 300 археологических памятников. Все данные имеют географическую привязку, что позволяет отображать их на картах древнего мира и вписывать в современный геополитический фон.

**CIMA: Compendium Isotoporum Medii Aevi — Repository — Pandora.** В базе данных *Compendium Isotoporum Medii Aevi* (CIMA) собрано более 50 000 изотопных измерений для биоархеологических образцов из Европы в период 500–1500 гг. н.э. Включает информацию об археологическом контексте и остеологических особенностях зарегистрированных индивидов. Этот объем изотопных данных вместе с собранной вспомогательной информацией открывает широкие возможности для исследований (например, для реконструкции образа жизни средневекового человека, практики содержания животных и палеоэкологических условий).

**Amalthea** — база данных измерений стабильных изотопов в слоях дентина зубов современных людей и археологических образцах, охватывающая более 7000 лет. Набор данных включает около 15 000 изотопных измерений более чем 700 человек. Помимо изотопных данных включает информацию об археологическом контексте и остеологических особенностях зарегистрированных лиц. Эта база данных позволяет реконструировать отдельные биографии. В частности, дает возможность исследовать детский рацион во времени и пространстве. База открытая и пополняемая [Cocozza, Fernandes, 2021].

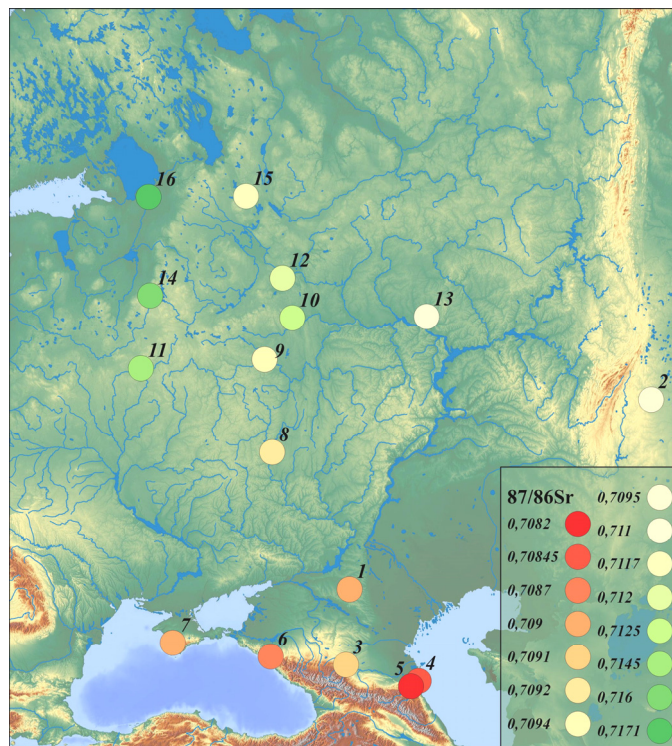
Подчеркнем, что в открытом доступе находятся сводные таблицы в привычном excel-формате. Поэтому имеющиеся источники следует называть сводами данных. Анализ внесенных сведений осуществляется возможностями этой программы. Под базой данных мы понимаем программный продукт, который обеспечивает хранение и анализ имеющихся данных. Следует признать, что таких ресурсов в открытых источниках нами не обнаружено, что не вызывает

удивления, так как разработка базы данных даже с помощью современных языков программирования — сложная и затратная задача. Приведенные выше сведения однозначно свидетельствуют о поступательном развитии этого научного направления на базе источников определенного типа (сводные данные и ГИС), в которых аккумулируются данные как о фоновой изменчивости изотопного состава элементов, так и о биоархеологических материалах.

### Изученность изотопного состава стронция в контекстах археологических памятников европейской части России

Неравномерность исследования фоновых значений на территории России, и европейской части страны в частности, очень велика (см. обзор: [Киселева и др., 2021]). Хотя объем этих исследований также увеличивается, следует признать, что подготовка изоскейпов для крупных регионов на территории нашей страны — результат не близкого будущего. Можем ли мы уже сегодня использовать наши теоретические знания и эмпирические сведения для работы с данными по изотопному составу стронция?

Прежде всего, оценим разнообразие локусов, так или иначе охарактеризованных величинами  $^{87}/^{86}\text{Sr}$  в среде и биоархеологических объектах на обширных территориях. Сведения об изученности фоновых и археологических образцов объединены в табл. 1, 2 и отображены на рис. 1. Нумерация пунктов на рис. 1 соответствует нумерации пунктов в табл. 1.



**Рис. 1.** Схема общей направленной динамики изотопного состава биодоступного стронция ( $^{87}/^{86}\text{Sr} \text{ ‰}$ ) в современных ландшафтах и биоархеологических материалах с территории Русской равнины и Кавказа.

**Fig. 1.** Scheme of bioavailable strontium general directed dynamics in modern landscapes and bioarchaeological samples of Russian Plain and Caucasus.

Этот беглый обзор данных не является подробным сводом, создание которого для европейской части страны остается актуальной и отдельной задачей. Тем не менее при неодинаковой изученности регионов и отсутствии изоскейпов для подавляющего большинства территорий мы можем наблюдать генеральную тенденцию изменения изотопного состава биодоступного стронция в ландшафтах европейской части нашей страны с юга на северо-запад (рис. 1). Эта генеральная тенденция не исключает значительной локальной изменчивости, связанной с упомянутой очень высокой вариативностью изотопного состава стронция в различных породах и минералах. Сопоставление этих обзорных данных с картой четвертичных отложений позволяет предполагать их влияние, обусловленное переносом материалов древних геологических пород с

## Изотопный состав стронция в скелетных останках людей как отражение миграций и мобильности...

территории Восточной Скандинавии и Фенноскандии. Древние породы, слагающие геологическую основу этих территорий, характеризуются высокими значениями  $87/86 \text{ Sr}$ , это же относится к изотопному составу биодоступного стронция упомянутых территорий, варьирующего в пределах от 0,7178 до 0,7347 [Blank et al., 2018; Lahtinen et al., 2021].

Таблица 1

### Региональные значения $87/86 \text{ Sr}$ в фоновых и биоархеологических образцах

Table 1

Regional values of  $87/86 \text{ Sr}$  in reference and bioarchaeological samples

| Район                                                                       | $87/86 \text{ Sr}$ , биодоступные формы (растительность, вода, улитки*) | $87/86 \text{ Sr}$ , биоархеологические материалы (скелетные останки) | Публикация                                                                          | Примечания                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Степная зона юга Русской равнины (Ростовская обл. и Республика Калмыкия) | 0,7084–0,710                                                            | —                                                                     | Шишлина и др., 2023                                                                 | В публикации приводятся также данные о современных и погребенных почвах, которые требуют отдельного рассмотрения |
| 2. Южный Урал, Южное Зауралье                                               | 0,70914–0,70975                                                         | 0,710–0,794                                                           | Киселева и др., 2021; Епимахов и др., 2024                                          | —                                                                                                                |
| 3. Равнины Центрального Предкавказья                                        | 0,7089–0,7092*                                                          | —                                                                     | Шишлина и др., 2016                                                                 | Состав стронция внешнего скелета может иметь свои особенности                                                    |
| 4. Прикаспий                                                                | 0,7083–0,7086*                                                          | —                                                                     | Шишлина и др., 2016                                                                 | Состав стронция внешнего скелета может иметь свои особенности                                                    |
| 5. Низкогорье и среднегорье Восточного Кавказа                              | 0,70786–0,7086*                                                         | —                                                                     | Шишлина и др., 2016                                                                 | Состав стронция внешнего скелета может иметь свои особенности                                                    |
| 6. Восток черноморского побережья от района Сочи до Тамани                  | 0,7074 до 0,710                                                         | 0,707044–0,709661                                                     | Шишлина и др., 2012; Trifonov et al., 2012; Свирикина, 2022; Шведчикова и др., 2016 |                                                                                                                  |
| 7. Горзувиты, Фронтное 3, Киль-Дере 1                                       | 0,7097                                                                  | 0,70792–0,710                                                         | Добровольская, Мастыкова, 2020, Добровольская, и др., 2021                          |                                                                                                                  |
| 8. Среднее Подонье                                                          | 0,7084 до 0,7015                                                        | —                                                                     | Шишлина и др., 2012; Добровольская, Володин, 2021                                   |                                                                                                                  |
| 9. Среднее Поочье                                                           | 0,7086 до 0,712                                                         | 0,7089–0,711                                                          | Сыроватко, Добровольская, 2019, 2022                                                |                                                                                                                  |
| 10. Суздальское Ополье                                                      | 0,71041–0,71575                                                         | —                                                                     | Frei et al., 2016                                                                   |                                                                                                                  |
| 11. Гнездово, Верховья Днепра                                               | —                                                                       | 0,712–0,717                                                           | Новиков и др., 2018                                                                 |                                                                                                                  |
| 12. Верховья Волги                                                          | 0,7115–0,7135                                                           | —                                                                     | Engovatova et al., 2013,                                                            |                                                                                                                  |
| 13. Горно-Марийская обл.                                                    | —                                                                       | 0,710–0,712                                                           | Медникова, 2018                                                                     |                                                                                                                  |
| 14. Западный Валдай                                                         | 0,712 до 0,720                                                          | —                                                                     | Добровольская, Решетова, 2018                                                       |                                                                                                                  |
| 15. Вологодская обл.                                                        | —                                                                       | 0,710–0,712                                                           | Добровольская и др., 2014; 2025, в печати                                           |                                                                                                                  |
| 16. Старая Ладога                                                           | 0,712 до 0,720                                                          | —                                                                     | Price et al., 2019                                                                  |                                                                                                                  |

Таблица 2

### Изотопный состав биодоступного стронция в лесостепном Подонье ( $87/86 \text{ Sr}$ )

Table 2

Isotopic composition of bioavailable strontium of forest-step Don region  $87/86 \text{ Sr}$

| Памятник                                      | Травянистая растительность (стебли и листья злаков) | Вода родник | Вода озеро           |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|----------------------|
| Мушино, Липецкая обл.                         | —                                                   | 0,710251    | —                    |
| Филатовка, курганная группа, Воронежская обл. | 0,709788                                            | 0,709788    | 0,710058<br>0,710002 |
| Семилукское городище, Воронежская обл.        | 0,709742                                            | 0,710144    | —                    |
| Малое Сторожевое городище, Воронежская обл.   | 0,709027                                            | 0,709375    | —                    |
| Городище Верхнее Казачье, Воронежская обл.    | 0,709636                                            | —           | —                    |
| Ксизово, Липецкая обл.                        | —                                                   | 0,71031     | —                    |
| Средняя величина                              | 0,709468                                            | 0,79974     | 0,71003              |
| Памятник                                      | Травянистая растительность (стебли и листья злаков) | Вода родник | Вода озеро           |
| Мушино, Липецкая обл.                         | —                                                   | 0,710251    | —                    |
| Филатовка, курганная группа, Воронежская обл. | 0,709788                                            | 0,709788    | 0,710058<br>0,710002 |
| Семилукское городище, Воронежская обл.        | 0,709742                                            | 0,710144    | —                    |
| Малое Сторожевое городище, Воронежская обл.   | 0,709027                                            | 0,709375    | —                    |
| Городище Верхнее Казачье, Воронежская обл.    | 0,709636                                            | —           | —                    |
| Ксизово, Липецкая обл.                        | —                                                   | 0,71031     | —                    |
| Средняя величина                              | 0,709468                                            | 0,79974     | 0,71003              |

### **Исследования изотопного состава стронция в биоархеологических материалах и широкие географические сопоставления**

Явление усреднения разнообразия значений биодоступного стронция (растения, малоподвижные животные) по сравнению с фоновым минеральным усиливается в результате жизнедеятельности подвижных организмов, которые постоянно в той или иной степени меняют окружающую среду вследствие перемещений. Чаще мы наблюдаем менее значительные вариации для образцов эмали зубов местных уроженцев по сравнению с фоновым диапазоном. В каждом конкретном случае эта ситуация может быть объяснена спецификой источника питьевой воды или рационом животных, составляющих основу питания. Так, например, при анализе изменчивости в среде людей из средневековых усыпальниц некрополя Горзувиты (Южный берег Крыма) мы предполагаем влияние морской диеты (см.: [Добровольская, Мاستыкова, 2020]). Отбирая образцы растений и животных для формирования границ фоновой изменчивости, мы понимаем, что далеко не все ландшафтные ситуации будут в равной мере влиять на получение биодоступного стронция человеком. Очевидно, что наиболее важными для наших исследований полигонами окажутся источники питьевой воды человека и животных, а также места разведения растений и выпаса животных (луга, поля, пастбища).

Определенные преимущества возникают при изучении групп образцов относительно изучения индивидов или отдельных случаев. Возможность оценки изменчивости признака в группе также является важным исследовательским инструментом. Как известно, если на какой-то признак влияют многочисленные равнозначные факторы, характер распределения признака в группе будет аппроксимироваться кривой Гаусса. В том случае, если возникает доминирование отдельных факторов, мы можем наблюдать асимметрию, многовершинность и др. Таким образом, появление образцов, выбивающихся из нормального распределения,— основание рассматривать останки как принадлежащие потенциальным мигрантам даже без представления о фоновых значениях [Веселовская и др., 2024].

Представление об основных векторах изменчивости изотопного состава биодоступного стронция на больших территориях актуальны для тех ситуаций, когда есть основания предполагать присутствие в культурных слоях памятника крайне разнородного населения. Это, вероятно, прежде всего, ситуации крупных боев, к участию в которых были привлечены выходцы с самых разных территорий. Это было показано при изучении останков с крупного поля боя периода поздней бронзы (XIII в. до н.э.) в районе р. Толлензе в северо-восточной Германии [Price et al., 2019]. Исследование останков участников битвы при Виттштоке 1636 г., в которой сошлись армии Швеции и союзные войска Священной Римской империи и Саксонии, также продемонстрировало актуальность широких географических сопоставлений изотопного состава стронция. Значительная индивидуальная изменчивость изотопного состава стронция в образцах эмали зубов 88 взрослых мужчин (от 0,70636 до 0,727716) позволила предположить, что в этой битве участвовали выходцы из самых разных частей Центральной и Северной Европы [Grupe et al., 2012].

Другая ситуация, в которой требуются крупномасштабные сопоставления,— средневековый город. Как было показано на примере выборки из средневековой Сигтуны (Швеция), диапазон индивидуальной изменчивости выходит далеко за пределы Восточной Скандинавии (примерно от 0,710 до 0,740), что позволило авторам судить о высокой миграционной активности населения этого города [Krzewińska, 2018]. Возможны и другие причины, по которым в одном памятнике окажутся останки выходцев с разных территорий (например, кладбище гладиаторов, места погребения рабов и пр.), что потребует широких сопоставлений. Для такого рода исследований имеющиеся в нашем распоряжении данные об изотопном составе стронция в останках индивидов с различных территорий европейской части России будут востребованы.

### **Особенности изучения индивидуальной мобильности**

Большинство работ, в которых используются данные о стронциевом отношении, отвечают на вопросы: есть ли мигранты среди исследуемого населения, кто они и предположительно откуда. При ответе на такие вопросы мы выявляем переселенцев первого поколения и судим о доле пришлого населения. Для такого рода исследований от одного индивида отбирается один образец. Как правило, это наиболее ранний по срокам минерализации коронки зуб, который сохраняется в челюсти взрослого человека,— первый моляр. Это позволяет наиболее корректно судить о месте рождения человека. Принадлежность к мигрантам первого поколения определяется по отличию биогеохимических маркеров места рождения (изотопный состав эмали зуба) и места кончины (фоновые значения биогенного стронция). При такой формулировке вопроса и ответа те миграции и переселения, которые происходили на протяжении всей жизни чело-

века, оказываются вне поля нашего внимания. Между тем индивид мог вести мобильный образ жизни или, напротив, поменяв место жительства в раннем детстве, оставаться всю жизнь на этом, новом месте. Для того чтобы более подробно рассматривать индивидуальную мобильность, у нас есть не так много возможностей, а именно: добавить образцы из зубов, сроки минерализации которых отличаются от времени формирования коронки первого моляра. Это второй и третий моляры. Минерализация последнего завершается около 16 лет, поэтому мы можем рассматривать мобильность индивида если не на протяжении всей его жизни, то в периоды детства, отрочества и юности. Исследования такого рода довольно распространены, хотя и не являются преобладающими [Knudson et al., 2016]. Между тем они не только выявляют факт миграции, но и характеризуют уровень мобильности людей на протяжении более чем десяти лет. Так, например, ранее на материалах древнерусского некрополя Нефедьево I (Вологодская обл.), Гнездилово 12 (окрестности Суздаля), скифских погребений на территории Ставрополя (Новозаведенное III) были выявлены факты миграции именно в детском возрасте. Различия между изотопными соотношениями стронция в эмали различных зубов оцениваются не только на фоне локальной изменчивости изотопного состава биодоступного стронция, но и на фоне других индивидуальных значений этого памятника. Сам факт мобильности в детском возрасте может обсуждаться с учетом не только фоновых значений, но и изменчивости изотопного состава в группе в целом. Наиболее подробно исследуется динамика мобильности детей с использованием изучения слоев дентина (напр.: [Beaumont et al., 2014]), одна для европейской части России подобных работ пока не выполнено.

### Заключение

Мы констатируем динамичное увеличение объема данных о фоновой изменчивости биодоступного стронция и вариациях изотопного состава стронция в биоархеологических материалах. Появившись как методическая новация, возможность получения данных об изотопном составе растений, животных и человека, изучение изотопного состава стронция стало неотъемлемой частью современных археологических реконструкций. Методология этих исследований предполагает наличие особого вида источника — сводов сведений об изотопном составе биодоступного стронция, которые можно использовать в исследованиях различных форматов. Понимание этого инициировало ряд крупных проектов, направленных на аккумуляцию изотопных данных в археологических и экологических контекстах, а также с метаданными, которые обеспечивают возможность создания ГИС, способствовало появлению новых периодических изданий, публикующих массивы данных. Неравномерность и недостаточная изученность фоновых вариаций, а также самих биоархеологических материалов обширных территорий нашей страны обуславливают необходимость не только увеличения объемов исследований, но и поисков эффективного использования уже имеющихся результатов. Анализ публикаций и новых данных позволяет выделить общий тренд географической динамики изотопного соотношения стронция в археологических образцах и средовых, который, вероятно, связан прежде всего с распространением ледниковых четвертичных отложений. Представление о таком градиенте изменчивости важно для проведения исследований в группах населения смешанного происхождения (участники крупных битв, населения городов). Другое направление работ, которые могут проводиться при ограниченных сведениях о фоновой изменчивости, — изучение индивидуальной мобильности на основе подбора нескольких образцов от индивида, что открывает перспективу частичной оценки мобильности человека на протяжении жизни. Таким образом, анализ современного уровня исследованности изотопного состава стронция в среде и биоархеологических материалах из памятников европейской части России позволяет видеть те направления, в которых наши исторические интерпретации будут наиболее достоверными. Следует признать, что отсутствие сводных источников в значительной степени является тормозом в развитии этого научного направления.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-18-00401, <https://rscf.ru/project/24-18-00401/>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселовская Е.В., Добровольская М.В., Мاستыкова А.В., Свиридов А.Н., Свирикина Н.Г., Богомолов С.Е. Восстановление облика представительницы варварского населения юго-западного Крыма могильник Фронтное 3 // РА. 2024. Вып. 3. С. 113–124.
- Добровольская М.В., Володин С.А. Об изучении мобильности скифов по палеоантропологическим материалам // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 4: История. Регионоведение. Международные отношения. 2020. Т. 25. № 4. С. 275–287. <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2020.4.18>

Добровольская М.В., Мاستыкова А.В. Изотопные исследования скелетных останков людей из гробницы храма на Горзувитах: Хронология, особенности питания, мобильность // КСИА. 2020. Вып. 260. С. 428–440. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.260.428-440>

Добровольская М.В., Решетова И.К. О ландшафтном подходе в изучении мобильности населения прошлых эпох на основании данных об изотопном составе стронция // КСИА. 2018. Вып. 252. С. 7–14. <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.252.7-14>

Добровольская М.В., Канторович А.Р., Маслов В.Е., Спасская Н.Н., Березина Н.Я., Данилевская В.И. Вариации изотопного состава углерода, азота и стронция в костной ткани и эмали зубов людей и лошадей из могильника скифской эпохи Новозаведенное III на Ставрополье (предварительные данные) // Бюллетень Всерос. семинара «Стабильные изотопы в археологических исследованиях: методические проблемы и историческая проблематика»: Материалы VI заседания / Сост. Н.Г. Свириной, В.И. Данилевская. М.: ИА РАН, 2024. С. 37–45.

Добровольская М.В., Клещенко Е.А., Богомолов Е.С., Захаров С.Д. Опыт применения изотопных исследований в изучении погребальных кремаций // КСИА. 2014. Вып. 236. С. 323–331.

Добровольская М.В., Свириной Н.Г., Язиков С.В., Свиридов А.Н. Образ жизни детей и взрослых варварской округи Херсонеса (по материалам могильников Фронтонное 3 и Киль-Дере 1) // *Stratum plus*. 2023. №. 4. С. 139–154. <https://doi.org/10.55086/sp234139154>

Епимахов А.В., Анкушева П.С., Батанина Н.С., Букачева А.О., Васючков Е.О., Киселева Д.В., Макуров Ю.С., Хохлов А.А. Погребальные практики финала бронзового века южного Зауралья: между культурной нормой и девиацией // УИВ. 2024. Вып. 3 (84). С. 61–70. [http://doi.org/10.30759/1728-9718-2024-3\(84\)-61-70](http://doi.org/10.30759/1728-9718-2024-3(84)-61-70)

Киселева Д.В., Анкушева П.С., Анкушев М.Н., Окунев Т.Г., Шагалов Е.С., Касьянова А.В. Определение фоновых изотопных отношений биодоступного стронция для рудника бронзового века Новотемирский // КСИА. 2021. Вып. 263. С. 176–187. <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.263.176-187>

Медникова М.Б. Как стать кузнецом? О мобильности абашевского населения по материалам Пепкинского кургана эпохи средней бронзы // КСИА. 2018. Вып. 253. С. 378–389. <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.253.378-389>

Новиков В.В., Шведчикова Т.Ю., Доброва О.П., Харламова Н.В. Раскоп ЦС-V Центрального селища Гнёздова: Результаты археологических изысканий и комплексных антропологических исследований // Гнёздовский археологический комплекс: Материалы археологических исследований. М., 2018. Вып. 1. С. 395–412. (Труды ГИМ; Вып. 210).

Сыроватко А.С., Добровольская М.В. Изотопные данные к реконструкции мобильности населения долины Средней Оки в V–XII вв. // КСИА. 2022. Вып. 262. С. 346–358. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.262.346-358>

Сыроватко А.С., Добровольская М.В. Изотопы стронция в кремациях могильников Средней Оки середины первого — начала второго тыс. н.э.: Опыт изучения территориальной дифференциации населения // Скифия и Сарматия / Отв. ред. А.А. Малышев. М.: МАКС Пресс, 2019. С. 388–393. <https://doi.org/10.25681/IARAS.2019.978-5-317-06274-3/388-393>

Чечушков И.В., Епимахов А.В. Варианты исследования мобильности по данным и изотопии стронция (анализ фоновых значений) // Геоархеология и археологическая минералогия. 2023. С. 23–27.

Шведчикова Т.Ю., Харламова Н.В., Рассказова А.В., Чагаров О.С. Средневековое население Северо-Восточного Причерноморья (по материалам раскопок христианского храма у с. Веселое IX–XI вв.) // Вестник антропологии. 2016. № 2 (34). С. 94–116.

Шишлина Н.И., Ларионова Ю.О., Идрисов И.А., Азаров Е.С. Вариации изотопного состава стронция в образцах современных улиток восточной части Кавказа // Аридные экосистемы. 2012. 22 (2 (67)). С. 32–40.

Шишлина Н.И., Орфинская О.В., Киселева Д.В., Сурков А.В. Текстиль эпохи бронзы из курганной группы Чесменка 3 Воронежской области: Технология, изотопный состав и радиоуглеродная хронология // КСИА. 2020. Вып. 260. С. 209–227. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.260.209-227>

Шишлина Н.И., Строков А.А., Киселева Д.В., Солошенко Н.Г., Леонова Н.В., Идрисов И.А. Изотопный состав стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в элементах экосистемы степной зоны юга Русской равнины: Ростовская область и Республика Калмыкия // Ресурсы аридных регионов юга России и человек в эпоху бронзы, раннего железного века и средневековья. СПб.; М.: МАЭ РАН, 2023. С. 175–189.

Bataille C.P., Crowley B.E., Wooller M.J., Bowen G.J. Advances in global bioavailable strontium isoscapes // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2020. Vol. 555. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109849>

Bataille C.P., von Holstein I.C.C., Laffoon J.E., Willmes M., Liu X-M., Davies G.R. A bioavailable strontium isoscape for Western Europe: A machine learning approach // *PLoS ONE*. 13(5). e0197386. 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197386>

Beaumont J., Gledhill A.R., Montgomery J. Isotope analysis of incremental human dentine: Towards higher temporal resolution // *Bulletin of the International Association for Paleodontology*. 2014. 8 (2). P. 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.bulintass.2014.02.002>

Bentley A.R. Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review // *J Archaeol Method Theory*. 2006. № 13. P. 135–187. <https://doi.org/10.1007/s10816-006-9009-x>

Blank M., Sjögren K-G., Knipper C., Frei K.M., Storå J. Isotope values of the bioavailable strontium in inland southwestern Sweden — A baseline for mobility studies // *PLoS ONE*. 2018. 13 (10). e0204649. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204649>

Cocozza C., Fernandes R. Amalthea: A database of isotopic measurements on archaeological and forensic tooth dentine increments // *Journal of Open Archaeological Data*. 2021. Vol. 9. P. 4. <https://doi.org/10.5334/joad.75>

Engovatova A., Bogomolov E., Dobrovolskaya M., Zaitseva G. The first results of the analysis of the strontium isotopes content in human bone remains from Medieval burials in the city of Yaroslavl' (Central Russia) //

Book of Abstracts 7th International Symposium "14C and Archaeology" (8–12 April 2013, Gent, Belgium). Gent: De Faculteit Letteren en Wijsbegeerte van de Universiteit Gent, 2013. P. 101–102.

Ericson J.E. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology // *Journal of Human Evolution*. 1985. № 14. P. 503–514. [https://doi.org/10.1016/s0047-2484\(85\)80029-4](https://doi.org/10.1016/s0047-2484(85)80029-4)

Ericson J.E. Some problems and potentials for strontium isotope analysis for human and animal ecology // *Stable Isotopes in Ecological Research*. New York: Springer Verlag, 1989. P. 252–259. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2_14)

Formichella G., Soncin S., Lubritto C., Tafuri M.A., Fernandes R., Cocozza C. Introducing Isotopia: A stable isotope database for Classical Antiquity // *PLoS ONE*. 2024. 19 (6). e0293717. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293717>

Grimstead D.N., Nugent S., Whipple J. Why a Standardization of Strontium Isotope Baseline Environmental Data Is Needed and Recommendations for Methodology // *Advances in Archaeological Practice*. 2017. 5 (2). P. 184–195. <https://doi.org/10.1017/aap.2017.6>

Grube G., Eickhoff S., Grothe A., Jungklaus B., Lutz A. Missing in action during the Thirty Years' War: Provenance of soldiers from the Wittstock battlefield, October 4, 1636. An investigation of stable strontium and oxygen isotopes // *Population Dynamics in Prehistory and Early History*. Topol. Berlin studies of the Ancient World / Ed. By E. Kaiser, J. Burger, W. Schier. 2012. P. 323–336. <https://doi.org/10.1515/9783110266306.323>

Knudson K.J., Stanish Ch., Cerna M.C.L., Faull K.F., Tantaleán H. Intra-individual variability and strontium isotope measurements: A methodological study using 87Sr/86Sr data from Pampa de los Gentiles, Chíncha Valley, Peru // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2016. Vol. 5. P. 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.016>

Kristiansen K. Towards a New Paradigm? The Third Science Revolution and its Possible Consequences in Archaeology // *Current Swedish Archaeology*. 2021. 22 (1). P. 11–34. <https://doi.org/10.37718/CSA.2014.01>

Krzewińska M., Kjellström A., Günther T., Hedenstierna-Jonson Ch., Zachrisson T., Omrak A., Yaka R., Merve Kiliç G., Somel M., Sobrado V., Evans J., Knipper C., Matt Jakobsson M., Storå J., Götherström A. Genomic and Strontium Isotope Variation Reveal Immigration Patterns in a Viking Age Town // *Current Biology*. 2018. 28 (17). P. 2730–2738. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.053>

Ladegaard-Pedersen P., Sabatini S., Frei R., Kristiansen K., Frei K.M. Testing Late Bronze Age mobility in southern Sweden in the light of a new multi-proxy strontium isotope baseline of Scania // *PLoS One*. 2021, Apr 21. 16 (4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250279>

Liden K., Eriksson G. Archaeology vs. Archaeological Science: Do We Have a Case? // *Current Swedish Archaeology*. 2013. 21. P. 11–20. <https://doi.org/10.37718/CSA.2013.01>

Lahtinen M., Arppe L., Nowell G. Source of strontium in archaeological mobility studies — marine diet contribution to the isotopic composition // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2021. 13 (1). <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01240-w>

Piličiauskas G., Simčienka E., Lidén K. et al. Strontium isotope analysis reveals prehistoric mobility patterns in the south-eastern Baltic area. // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2022. № 14. <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01539-w>

Plomp E., Stantis C., James H.F., Cheung C., Snoeck C., Kootker L., Kharobi A., Borges C., Moreiras Reynaga D.K., Pospieszny Ł., Fulminante F., Stevens R., Alaica A.K., Becker A., de Rochefort X., Salesse K. The IsoArch initiative: Working towards an open and collaborative isotope data culture in bioarchaeology. *Data Brief*. 2022 Sep 14. 45.108595. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108595>

Price T.D., Frei R., Brinker U. et al. Multi-isotope proveniencing of human remains from a Bronze Age battlefield in the Tollense Valley in northeast Germany // *Archaeol Anthropol Sci*. 2019. № 11. P. 33–49. <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0529-y>

Price T.D., Moiseyev V., Grigoreva N. Vikings in Russia: origins of the medieval inhabitants of Staraya Ladoga // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2019. № 11. P. 6093–6109. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00897-2>

Trifonov V.A., Zaitseva G.I., van der Plicht J., Burova N.D. The Dolmen Kolikho, Western Caucasus: Isotopic investigation of funeral practice and human mobility // *Radiocarbon*. 2012. Vol. 54. 3–4. P. 701–769. <https://doi.org/10.1017/S003382220004741X>

## ИСТОЧНИКИ

Свиркина Н.Г. Население Фанагории в III в. до н.э. — V в. н.э. (по палеоантропологическим материалам из Восточного некрополя): Автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 2022. 32 с.

**Dobrovolskaya M.V. \*, Strokov A.A., Smirnov A.L., Nelyubov S.A.**

Institute of Archaeology of the RAS, Dm. Ulyanova st., 19, Moscow, 117292, Russian Federation

E-mail: mk\_pa@mail.ru (Dobrovolskaya M.V.); anton-strokov@yandex.ru (Strokov A.A.);

ari1828@bk.ru (Smirnov A.L.); ser.nelubov@yandex.ru (Nelyubov S.A.)

## Strontium isotopic composition in human skeletal remains

### as a reflection of migration and mobility: variety of research formats and limitations

The article presents a brief overview of the research into strontium isotopic composition of bioarchaeological materials and variations of bioavailable strontium, as well as several large generalizing database resources (Isotopia, IsoArch, CIMA), which provide published open access individual data accompanied by context charac-

\* Corresponding author.

teristics and geographical coordinates. The datasets allow not only discussion of migration activity, but also observation of the dynamics of trade routes of materials of biological origin. The insufficient and uneven study of strontium isotopic composition in the environment and archaeological sites of the regions of the European part of Russia, nevertheless, allows assessing the existence of major geographical trends. We have described the directional dynamics of the increase in the proportion of radiogenic strontium isotope in its bioavailable forms and bioarchaeological materials from the south to the northwest, which is probably related to the spread of Late Pleistocene moraine and glacial sediments in general. The experience of such a dataset is useful in the study of populations of mixed origin (battlefields, communities of Medieval towns, etc.). The study of individual variability in the isotopic composition of tooth enamel marks human mobility during childhood, adolescence, and young adulthood. The analysis of these dynamics is important for the characterization of migration activity and is based on the assessment of intra-group variability in strontium isotopic composition. As such, those research formats that can be successfully implemented in the context of limited and unevenly studied background dynamics of bioavailable strontium are characterized.

**Keywords:** bioarchaeological materials, isotopic composition of bioavailable strontium, databases, European part of Russia

**Funding.** The research was carried out at the expense of a Russian Science Foundation grant № 24-18-00401, <https://rscf.ru/project/24-18-00401/>.

## REFERENCES

- Bataille, C.P., Crowley, B.E., Wooller, M.J., Bowen, G.J. (2020). Advances in global bioavailable strontium isoscapes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (555). <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109849>
- Bataille, C.P., von Holstein, I.C.C., Laffoon, J.E., Willmes, M., Liu, X-M., Davies, G.R. (2018). A bioavailable strontium isoscape for Western Europe: A machine learning approach. *PLoS ONE*, 13(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197386>
- Beaumont, J., Gledhill, A.R., Montgomery, J. (2014). Isotope analysis of incremental human dentine: towards higher temporal resolution. *Bulletin of the International Association for Paleodontology*, 8(2), 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.bulintass.2014.02.002>.
- Bentley, A.R. (2006). Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review. *J Archaeol Method Theory*, (13), 135–187. <https://doi.org/10.1007/s10816-006-9009-x>
- Blank, M., Sjögren, K-G., Knipper, C., Frei, K.M., Storå, J. (2018). Isotope values of the bioavailable strontium in inland southwestern Sweden — A baseline for mobility studies. *PLoS ONE*, 13(10). e0204649. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204649>
- Chechushkov, I.V., Epimakhov, A.V. (2023). Mobility study options based on strontium isotope data (analysis of background values). *Geoarcheologiya i arheologicheskaya mineralogiya*, 23–27. (Rus.).
- Cocozza, C., Fernandes, R. (2021). Amalthea: A Database of Isotopic Measurements on Archaeological and Forensic Tooth Dentine Increments. *Journal of Open Archaeological Data*, (9). <https://doi.org/10.5334/joad.75>
- Dobrovolskaya, M.V., Kantorovich, A.R., Maslov, V.E., Spasskaya, N.N., Berezina, N.Y., Danilevskaya, V.I. (2024). Variations of the isotopic composition of carbon, nitrogen and strontium in bone tissue and tooth enamel of humans and horses from the burial ground of the Scythian epoch Novozavedennoe III in Stavropol (preliminary data). *Byulleten` Vserossijskogo seminara «Stabilnye izotopy v arheologicheskix issledovaniyax: metodicheskie problemy i istoricheskaya problematika»: Materialy VI zasedaniya*, 37–45. (Rus.).
- Dobrovolskaya, M.V., Kleshshenko, Ye.A., Bogomolov, Ye.S., Zakharov, S.D. (2014). An experiment of using isotope investigations in research of cremation burials. *Kratkye soobsheniya Instituta archeologii*, (236), 323–331. (Rus.).
- Dobrovolskaya, M.V., Mastykova, A.V. (2020). Stable isotope studies of the deceased from the sepulchral vault at Gorzuvity: Chronology, diet pattern and mobility. *Kratkye soobsheniya Instituta archeologii*, (260), 428–440. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.260.428-440>
- Dobrovolskaya, M.V., Reshetova, I.K. (2018). The landscape approach to the studies of the population of earlier ages based on strontium isotopic data. *Kratkye soobsheniya Instituta archeologii*, (252), 7–14. (Rus.). <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.252.7-14>
- Dobrovolskaya, M.V., Svirkina, N.G., Yazikov, S.V., Sviridov, A.N. (2023). Lifestyle of children and adults of the barbarian district of Chersonesos (on the materials of burial grounds Frontoye 3 and Kil-Dere. *Stratum plus*, (4), 139–154. <https://doi.org/10.55086/sp234139154>
- Dobrovolskaya, M.V., Volodin, S.A. (2020). On the Study of Scythian Mobility Based on Paleoanthropological Materials. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Istoriya. Regionovedenie. Mezhdunarodnye otnosheniya*, 25(4), 275–287. (Rus.). <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2020.4.18>
- Engovatova, A., Bogomolov, E., Dobrovolskaya, M., Zaitseva, G. (2013). The first results of the analysis of the strontium isotopes content in human bone remains from Medieval burials in the city of Yaroslavl' (Central Russia). *Book of Abstracts 7th International Symposium "14C and Archaeology" (8–12 April 2013, Gent, Belgium)*. Gent: De Faculteit Letteren en Wijsbegeerte van de Universiteit Gent, 101–102.
- Epimakhov, A.V., Ankusheva, P.S., Batanina, N.S., Bukacheva, A.O., Vasyuchkov, E.O., Kiseleva, D.V., Makurov, Y.S., Khokhlov, A.A. (2024). Funeral practices of the final bronze age in the southern Trans-Urals: between cultural norm and deviation. *Uralskij istoricheskij vestnik*, 84(3), 61–70. (Rus.). [http://doi.org/10.30759/1728-9718-2024-3\(84\)-61-70](http://doi.org/10.30759/1728-9718-2024-3(84)-61-70)

- Ericson, J.E. (1985). Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution*, (14), 503–514. [https://doi.org/10.1016/s0047-2484\(85\)80029-4](https://doi.org/10.1016/s0047-2484(85)80029-4)
- Ericson, J.E. (1989). Some problems and potentials for strontium isotope analysis for human and animal ecology. In: Rundel P.W., Ehleringer J.R., and Nagy K.A. (Eds.). *Stable Isotopes in Ecological Research*. New York: Springer Verlag, 252–259. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2_14)
- Formichella, G., Soncin, S., Lubritto, C., Tafuri, M.A., Fernandes, R., Cocozza, C. (2024). Introducing Isotopia: A stable isotope database for Classical Antiquity. *PLoS ONE*, 19(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293717>
- Grimstead, D.N., Nugent, S., Whipple, J. (2017). Why a Standardization of Strontium Isotope Baseline Environmental Data Is Needed and Recommendations for Methodology. *Advances in Archaeological Practice*, 5(2), 184–195. <https://doi.org/10.1017/aap.2017.6>
- Grupe, G., Eickhoff, S., Grothe, A., Jungklaus, B., Lutz, A. (2012). Missing in action during the Thirty Years' War: Provenance of soldiers from the Wittstock battlefield, October 4, 1636: An investigation of stable strontium and oxygen isotopes. In: Kaiser E., Burger J., Schier W. (Eds.). *Population Dynamics in Prehistory and Early History*. Topol. Berlin studies of the Ancient World, 323–336. <https://doi.org/10.1515/9783110266306.323>
- Kiseleva, D.V., Ankusheva, P.S., Ankushev, M.N., Okunev, T.G., Shagalov, E.S., Kasyanova, A.V. (2021). Determination of background isotope ratios of bioavailable strontium for the Bronze Age mine Novotemirsky. *Kratkiye soobsheniya Instituta archeologii*, (263), 176–187. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.263.176-187>
- Knudson, K.J., Stanish, Ch., Cema, M.C.L., Faull, K.F., Tantaleán, H. (2016). Intra-individual variability and strontium isotope measurements: A methodological study using  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  data from Pampa de los Gentiles, Chíncha Valley, Peru. *Journal of Archaeological Science: Reports*, (5), 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.016>
- Kristiansen, K. (2021). Towards a New Paradigm? The Third Science Revolution and its Possible Consequences in Archaeology. *Current Swedish Archaeology*, 22(1), 11–34. <https://doi.org/10.37718/CSA.2014.01>
- Krzewińska, M., Kjellström, A., Günther, T., Hedenstierna-Jonson, Ch., Zachrisson, T., Omrak, A., Yaka, R., Merve Kılınç, G., Somel, M., Sobrado, V., Evans, J., Knipper, C., Matt Jakobsson, M., Storå, J., Götherström, A. (2018). Genomic and Strontium Isotope Variation Reveal Immigration Patterns in a Viking Age Town. *Current Biology*, 28(17), 2730–2738. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.053>
- Ladegaard-Pedersen, P., Sabatini, S., Frei, R., Kristiansen, K., Frei, K.M. (2021). Testing Late Bronze Age mobility in southern Sweden in the light of a new multi-proxy strontium isotope baseline of Scania. *PLoS One*, 16(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250279>
- Lahtinen, M., Arpe, L., & Nowell, G. (2021). Source of strontium in archaeological mobility studies — marine diet contribution to the isotopic composition. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(1). <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01240-w>
- Liden, K., Eriksson, G. (2013). Archaeology vs. Archaeological Science: Do We Have a Case? *Current Swedish Archaeology*, (21), 11–20. <https://doi.org/10.37718/CSA.2013.01>
- Mednikova, M.B. (2018). How to become a Castler? (Mobility of the Abashevo population based on the materials from the Pepkino Middle Bronze age kurgan). *Kratkiye soobsheniya Instituta archeologii*, (253), 378–389. (Rus.). <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.253.378-389>
- Novikov, V.V., Shvedchikova, T.Yu., Dobrova, O.P., Kharlamova, N.V. (2018). Dig “CS-V” at Central settlement of Gnezdovo. The results of archaeological research and comprehensive anthropological research. *Gnyozdovskij arxeologicheskij kompleks: Materialy i issledovaniya*, (1), 395–412. (Rus.).
- Piličiauskas, G., Simčėnka, E., Lidén, K., et al. (2022). Strontium isotope analysis reveals prehistoric mobility patterns in the southeastern Baltic area. *Archaeol Anthropol Sci*, 14(74). <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01539-w>
- Plomp, E., Stantis, C., James, H.F., Cheung, C., Snoeck, C., Kootker, L., Kharobi, A., Borges, C., Moreiras Reynaga, D.K., Pospieszny, Ł., Fulminante, F., Stevens, R., Alaica, A.K., Becker, A., de Rochefort, X., Salesse, K. (2022). The IsoArch initiative: Working towards an open and collaborative isotope data culture in bioarchaeology. *Data Brief*, (45), 108595. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108595>
- Price, T.D., Frei, R., Brinker, U., et al. (2019). Multi-isotope proveniencing of human remains from a Bronze Age battlefield in the Tollense Valley in northeast Germany. *Archaeol Anthropol Sci*, (11), 33–49. <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0529-y>
- Price, T.D., Moiseyev, V., & Grigoreva, N. (2019). Vikings in Russia: origins of the medieval inhabitants of Staraya Ladoga. *Archaeol Anthropol Sci*, (11), 6093–6109. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00897-2>
- Shishlina, N.I., Larionova, Yu.O., Idrisov, I.A., Azarov, E.S. (2012). Variations in  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  ratios in the snail contemporary samples obtained from the Eastern Caucasus. *Aridnye ekosistemy*, 67(2), 32–40. (Rus.).
- Shishlina, N.I., Orfinskaya, O.V., Kiseleva, D.V., Surkov, A.V. (2020). Bronze age textile from the Chesmenka 3 kurgan group in the Voronezh region: Technology, isotopic composition and radiocarbon chronology. *Kratkiye soobsheniya Instituta archeologii*, (260), 209–227. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.260.209-227>
- Shishlina, N.I., Stokov, A.A., Kiseleva, D.V., Soloshenko, N.G., Leonova, N.V., Idrisov, I.A. (2023). Strontium  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  isotopic composition in elements of the ecosystem of the steppe zone of the south of the Russian Plain: Rostov Oblast and the Republic of Kalmykia. In: Shishlina N.I., and Kazarnitsky A.A. (Eds.). *Resources of arid regions of southern Russia and man in the Bronze Age, Early Iron Age and Middle Ages*. St. Petersburg; Moscow: MAE RAN, 175–189. (Rus.).

Shvedchikova, T.Yu., Kharlamova, N.V., Rasskazova, A.V., Chagarov, O.S. (2016). Medieval population of North-East Black Sea region (according to materials from the Christian church near Veseloe 9–11th cc.). *Vestnik antropologii*, 34(2), 94–116. (Rus.).

Syrovatko, A.S., Dobrovolskaya, M.V. (2019). Strontium isotopes in cremations of burial grounds of the Middle Oka in the middle of the first — beginning of the second millennium AD: The experience of studying the territorial differentiation of the population. In: Malyshev A.A. (Ed.). *Scythia i Sarmatia*. Moscow: Max Press, 388–393. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.2019.978-5-317-06274-3/388-393>

Syrovatko, A.S., Dobrovolskaya, M.V. (2022). Isotopic data relating to the reconstructed mobility of the middle Oka valley population in the 5th–12th centuries. *Kratkye soobsheniya Instituta archeologii*, (266), 346–358. (Rus.). <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.266.346-358>

Trifonov, V.A., Zaitseva, G.I., van der Plicht, J., Burova, N.D. (2012). The Dolmen Kolikho, Western Caucasus: Isotopic investigation of funeral practice and human mobility. *Radiocarbon*, (54), 701–769. <https://doi.org/10.1017/S003382220004741X>

Veselovskaya, E.V., Dobrovolskaya, M.V., Mastykova, A.V., Sviridov, A.N., Svirkina, N.G., Bogomolov, S.E. (2024). Restoration of the appearance of a representative of the barbarian population of the southwestern Crimea burial ground Frontovoe 3. *Rossiyskaya arheologiya*, (3), 113–124. (Rus.).

Добровольская М.В., <https://orcid.org/0000-0001-9695-4199>

Строков А.А., <https://orcid.org/0000-0002-8806-6834>

Смирнов А.Л., <https://orcid.org/0000-0003-2221-8011>

Нелюбов С.А., <https://orcid.org/0000-0002-1533-2409>

#### Сведения об авторах:

Добровольская Мария Всеволодовна, доктор исторических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией контекстуальной антропологии, Институт археологии РАН, Москва.

Строков Антон Александрович, младший научный сотрудник, Институт археологии РАН, Москва.

Смирнов Алексей Леонидович, младший научный сотрудник, Институт археологии РАН, Москва.

Нелюбов Сергей Алексеевич, старший лаборант, Институт археологии РАН, Москва.

#### About the authors:

Dobrovolskaya, M.V., Doctor of Historical Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Contextual Anthropology, Institute of Archaeology of the RAS, Moscow.

Strokov, A.A., Junior Researcher, Institute of Archaeology of the RAS, Moscow.

Smirnov, A.L., Junior Researcher, Institute of Archaeology of the RAS, Moscow.

Nelyubov, S.A., Senior Lab Assistant, Institute of Archaeology of the RAS, Moscow.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Accepted: 15.11.2024

Article is published: 15.06.2025