

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

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ
И ЭТНОГРАФИИ**

Сетевое издание

**№ 2 (61)
2023**

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, академик РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Добровольская М.В., чл.-корр. РАН, д.и.н., Ин-т археологии РАН;
Бауло А.В., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Бороффа 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;
Лакельма 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;
Хлахула 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); 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., ТюмНЦ СО РАН; 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

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

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2023

**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 (61)
2023**

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)

Kostomarov 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)

Aadaev 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, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

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)

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: vestnik.ipos@inbox.ru

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

Чернышева Е.В. *, Каширская Н.Н., Дущанова К.С.

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения
ул. Институтская, 2, Пушкино, 142290

E-mail: e.chernyysheva@yandex.ru (Чернышева Е.В.); nkashirskaya81@gmail.com (Каширская Н.Н.);
kamilla.dushchanova@gmail.com (Дущанова К.С.)

ПОЧВЕННЫЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПРИСУТСТВИЯ ЖИРА В РАЗЛИЧНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ КОНТЕКСТАХ

Обосновывается возможность использования комплексного биохимического подхода для реконструкции присутствия жировых субстратов в различных археологических контекстах. Проведенный модельный эксперимент по изучению динамики разложения различных липидов дал основания для реконструкции исходного присутствия жира. Использование указанного методического подхода на археологических объектах позволило выявить наличие жиросодержащих продуктов в заполнениях сосудов из погребений, а также уточнить особенности хозяйственного использования территории поселения.

Ключевые слова: археологическая микробиология, биологическая память почв, микробные сообщества, ферментативная активность, культурный слой.

Введение

Возможность реконструкции начального присутствия тех или иных органических материалов с помощью почвенно-микробиологических методов трудно переоценить. Археологические изыскания, как правило, основываются на изучении хорошо сохраняющихся в культурном слое минеральных или минерализованных материалов, таких как камень, металл, керамика и др. Лишь в исключительных случаях, на памятниках с мокрым слоем или, напротив, с очень низкой влажностью воздуха, а также на памятниках в вечной мерзлоте, при отрицательных температурах, отсутствии воздуха и влаги, создаются условия, в которых органика практически не разлагается, что позволяет изучать органические остатки.

Минерализация органических материалов приводит к потере большого пласта материальной культуры, реконструировать которую долгое время не представлялось возможным. Поступление в почву любого органического материала приводит к изменению параметров микробного сообщества почвы, а именно происходит увеличение численности определенных групп микроорганизмов, которые ответственны за разложение конкретного органического субстрата. После утилизации органики в почвенном микробном сообществе остается увеличенной доля тех микроорганизмов, которые отвечают за разложение того или иного субстрата. Кроме того, при поступлении в почву любого органического материала изменяются не только показатели почвенного микробного сообщества, но и почвенная ферментативная активность [Giacometti et al., 2013; Liu et al., 2010; Lori et al., 2017]. Так, в результате микробного разложения органического субстрата в почве будут накапливаться ферменты различных классов, которые могут, с незначительной потерей активности, сохраняться в составе почвенного органического вещества неопределенно долгое время [Nannipieri et al., 2002; Skujins, 1976; Dick et al., 1994]. В связи с этим культурные слои археологических памятников выступают в качестве уникального почвенного тела, которое в прошлом, на протяжении достаточно точно известного времени, обогащалось органическими материалами (белки, жиры, мочевины, крахмал, целлюлоза, лигнин и др.). При попадании этих субстратов в почву происходил взрывной рост биомассы микроорганизмов, ответственных за их разложение, при непрерывном синтезе специфических ферментов. В итоге в почвах увеличивалось количество определенных ферментов и групп микроорганизмов, и эти изменения ферментативного и микробного пула могли сохраняться до наших дней. Все вышесказанное формирует феномен биологической памяти почв [Marfenina et al., 2008; Borisov et al., 2021].

Сущность биологической памяти почв впервые была раскрыта при изучении сообщества почвенных микроскопических грибов культурных слоев разновозрастных поселений [Ivanova, Marfenina, 2015]. Авторами было показано, что антропогенно-преобразованные почвы поселе-

* Corresponding author.

ний имеют определенные микологические свойства, которые отличаются от свойств фоновых почв, что позволило уточнить характер древнего антропогенного воздействия. Исследование ферментативной активности впервые было применено при изучении культурного слоя поселений кобанской культуры бронзового века на Северном Кавказе [Борисов и др., 2013]. Показано, что уреазная активность может сохраняться длительное время в почвах, подвергшихся воздействию человека более 3000 лет назад. На другом археологическом памятнике пространственное варьирование значений уреазной активности культурного слоя на различных участках поселения дало возможность установить инфраструктурные особенности памятника и выявить жилые и производственные зоны, а также зону интенсивной хозяйственно-бытовой деятельности и, в некоторых случаях, уточнить характер последней в связи с общей планировкой и расположением конкретных сооружений [Гак и др., 2014]. В дальнейшем стала возможной реконструкция внесения органических удобрений в почвы древних полей [Chernysheva et al., 2015, 2017]. Так, в почвах земледельческих полей поселений аланского времени (V–VIII вв. н.э.) наблюдались повышенная уреазная активность и высокая численность термофильных бактерий. В дальнейшем были начаты исследования фосфатазной активности культурных слоев поселений. Показано, что высокий уровень фосфатазной активности, соответствующий уровню современных почв, наблюдался в почвах, погребенных под курганами эпохи бронзы и раннего железного века в степной зоне юга России [Kashirskaya et al., 2020]. В культурных слоях средневекового времени отмечено повышение фосфатазной активности, связанное с особенностями формирования культурного слоя в различные периоды функционирования памятника [Kashirskaya et al., 2020].

Другим перспективным методом для реконструкций особенностей бытовой деятельности древнего человека, не получившим пока широкого применения, является исследование спектра поглощения легкодоступных источников углерода на основе анализа дыхательного отклика почвенного микробного сообщества. Утилизируя различные низкомолекулярные индукторы, микроорганизмы дают дыхательные отклики всего микробного сообщества или его отдельных (специфических) группировок, благодаря чему достигается возможность оценить функциональное разнообразие конкретного микробного сообщества. Ранее было показано, что использование данного метода позволяет разделить ритуальные пищевые продукты на уровне «азотистые — безазотистые субстраты» и, в свою очередь, диагностировать исходное присутствие белковой пищи или жиров в сосудах из курганных захоронений [Хомутова и др., 2020].

В данной работе мы предлагаем новый биохимический подход для реконструкции исходного присутствия жиросодержащих продуктов в различных археологических контекстах (керамические сосуды из погребений, образцы грунта в различных частях скелета и культурные слои археологических памятников). В основе этого подхода заложена оценка качественных и количественных изменений параметров микробного сообщества, а именно специфических групп микроорганизмов (липолитиков), ряда липолитических ферментов, а также спектра поглощения легкодоступных низкомолекулярных субстратов.

Жир является биомолекулой, наиболее устойчивой к деградации в окружающей среде, в частности в почве, в первую очередь благодаря своим гидрофобным свойствам, что препятствует его вымыванию грунтовыми водами из места первоначального поступления в почву [Evershed, 2008]. Жиры (липиды) это нерастворимые в воде органические молекулы, состоящие главным образом из углерода, водорода и кислорода. Их структура представляет собой линейный, разветвленный или циклический углеродный скелет [Evershed, 1993]. В окружающей среде липиды разрушаются под действием ферментов липаз [Ленинджер, 1985]. Липазы катализируют гидролиз триглицеридов на свободные жирные кислоты и глицерин в присутствии незначительного количества воды и часто в присутствии органических растворителей. Продуцируются эти ферменты многими микроорганизмами, растениями и животными [Palacios et al., 2014].

Объекты исследования

Модельный эксперимент по изучению динамики разложения липидов в почве. Для изучения динамики разложения субстратов липидной природы и обоснования возможности реконструкции исходного присутствия жиров в различных археологических контекстах методами почвенной микробиологии и биохимии в апреле 2020 г. был заложен долгосрочный модельный лабораторный эксперимент. В почву (чернозем) вносили следующие субстраты: оливковое масло, сливочное масло, говяжий жир, бараний и свиной жир. Количество вносимого субстрата было уравновешено по содержанию стеариновой кислоты ($C_{18:0}$) (табл. 1). Содержание стеариновой кислоты в вышеуказанных субстратах было определено по справочникам [Скурихин, Волгарев,

Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах

1986]. В каждый вариант вносили 1,5 % вещества в пересчете на стеариновую кислоту. Перед внесением сливочное масло, бараний и говяжий жир предварительно были растоплены и далее тщательно перемешаны с почвой. Образцы почвы (1 кг) с субстратами разместили в полиэтиленовые боксы и инкубировали в термостате при 25 °С, при этом постоянно контролировали влажность на уровне 60 % ПВ (полной влагоемкости). Измерения проводились через каждые шесть месяцев. В статье показаны результаты измерений микробиологических параметров через 1,5 года после начала эксперимента.

Таблица 1

Количество внесенных субстратов в вариантах модельного эксперимента и среднее содержание в них стеариновой кислоты

Table 1

The amount of substrates introduced into the variants of the model experiment and the average content of stearic acid

Субстрат	Среднее содержание C _{18:0} / 100 г продукта	Масса вносимого в почву субстрата, г
Сливочное масло	10	150
Оливковое масло	5	300
Бараний жир	30	50
Говяжий жир	26	60
Свиной жир	14	100

Археологические контексты. В качестве тестовых объектов для реконструкции исходного присутствия жира были использованы три типа грунта из различных археологических контекстов.

1. Почвенно-грунтовые образцы из сосудов (кружки, миски, кувшины и кувшинчики), обнаруженные в погребениях аланской культуры в курганных могильниках Октябрьский I, Киевский I (Республика Северная Осетия — Алания) и Братские 1-е курганы (Чеченская Республика) III — первой половины V в. н.э. Всего было исследовано 20 сосудов. Образцы грунта для анализа отбирались из нижней части заполнения сосудов. Целью исследования было установить наличие жира в качестве ритуальной пищи в горшках.

2. Почвенно-грунтовые образцы, отобранные под разными частями скелета (под черепом, грудным отделом позвоночника, тазом, коленями и ступнями) в погребениях аланской культуры из вышеуказанных курганных могильников, а также в погребениях могильника Бейсужек-35 новотиторской культуры эпохи бронзы (Краснодарский край). Был проанализирован грунт из шести погребений; еще в трех погребениях грунт отбирался только под черепом. В качестве фона использовали образцы грунта со дна могильных ям на максимальном удалении от скелета, а также образец верхнего горизонта фоновой каштановой почвы. При выборе данных объектов мы исходили из предположения, что в теле человека заведомо присутствует жир и его обнаружение с помощью методов почвенной микробиологии и биохимии позволит перейти к реконструкции исходного присутствия жира в горшках из погребений.

3. Культурный слой поселения Ксизово-1 (катакомбная культура, XXIV–XXIII вв. до н.э., Липецкая обл.). Целью исследования данного типа грунта было установление инфраструктурных особенностей памятника, выявление мест приготовления пищи и хранения продуктов.

Методы исследования

Потенциальная ферментативная активность была измерена с помощью процедуры гетеромолекулярного обмена [Fornasier, Margon, 2007; Cowei et al., 2013]. В работе проведено исследование активности шести липаз, гидролизующих субстраты с различной длиной углеродной цепи: бутират-эстераза (C₄), октаноат-липаза (C₈), додеканат-липаза (C₁₂), мирилат-липаза (C₁₄), пальмитат-липаза (C₁₆) и стеарат-липаза (C₁₈). Кратко: 0,4 г почвы помещали в микроцентрифужные пробирки, приливали 1,4 мл 3 % раствора лизоцима в NaCl (pH 6,8, 0,1 M), содержащий стеклянные шарики и шарики из оксида циркона. Затем образцы были измельчены на вибрационной шаровой мельнице с целью разрушения микробных клеток и почвенных частиц при 30 ударах/сек в течение трех минут с последующим центрифугированием в течение пяти минут при 20 000 g и температуре 10 °С. Полученный супернатант помещался в микропланшет, в каждой ячейке которого содержался модифицированный универсальный буфер (pH 7,5). Затем приливали хромогенно меченные субстраты на основе 4-нитрофенола и инкубировали при 37 °С в течение часа. Оптическую плотность образовавшегося 4-нитрофенола измеряли при длине волны

410 нм на микропланшетном ридере xMark™ фирмы Bio-Rad. Все измерения были сделаны в четырех повторностях. Ферментативная активность выражалась в нмоль 4-НФ/г почвы в час.

Для идентификации субстратов липидной природы применялась среда, разработанная для культивирования липолитических бактерий следующего состава (г/л): Твин-80 — 10, мясной пептон — 10, хлорид натрия — 5, хлорид кальция — 0,01. Навеска почвы 1 г разводилась в 10 мл раствора, содержащего 0,5 % пирофосфата натрия и 0,1 % пирувата натрия. Суспензия почвы доводилась до третьего разведения. Инкубация продолжалась в течение 3–5 дней при 30 °С. Колонии липолитических микроорганизмов определялись по наличию ореола кальциевых солей жирных кислот в виде пузырьков внутри среды или пленки на ее поверхности.

Анализ спектра поглощаемых субстратов почвенным микробным сообществом был осуществлен с использованием микрореспираторного метода, система MicroResp™ [Degens, Harris, 1997; Campbell et al., 2003]. В качестве субстратов использовались низкомолекулярные органические вещества, относящиеся к классам аминокислот, карбоновых кислот и простых углеводов. Всего было использовано 25 субстратов. Образец почвы, предварительно увлажненный до 60 % ПВ и прединкубированный в течение трех дней, помещался в планшет с глубокими лунками, к почве добавляли 25 мкл субстрата. В качестве контроля добавляли воду. Измерения были сделаны в трех повторностях. Планшеты накрывали резиновыми ковриками с вентилирующими отверстиями и микропланшетами с детекционным гелем. Измерения проводили на микропланшетном ридере xMark™ фирмы Bio-Rad при длине волны 570 нм. В результате выделения углекислого газа при дыхании микробных сообществ, в зависимости от его концентрации, окраска детекционного геля изменялась в градиенте малиновый — желтый. Дыхательную активность микробного сообщества выражали в мкг C–CO₂/г почвы в час.

Результаты и обсуждение

Модельный эксперимент. Численность липолитических микроорганизмов в жировых вариантах модельного эксперимента, кроме варианта с добавлением оливкового масла, существенно превышала контроль (рис. 1). Максимальные значения выявлены в варианте с бараньим жиром, где численность липолитиков составила 38 млн КОЕ/г почвы. В вариантах со сливочным маслом, говяжьим и свиным жиром обилие микроорганизмов было ниже, но превышало контрольный вариант в 2–3 раза. Невысокая численность липолитических бактерий в варианте с оливковым маслом может быть связана с неполным разложением субстрата и, возможно, изменением водно-воздушных свойств почвы, что обусловило снижение биомассы микроорганизмов в этом варианте.

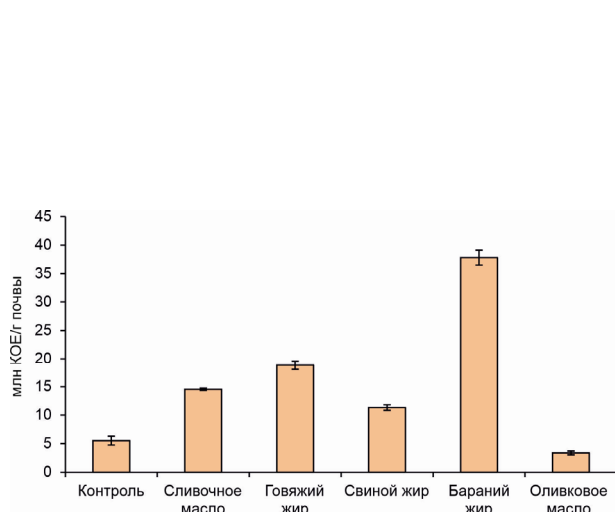


Рис. 1. Численность липолитических микроорганизмов в вариантах модельного эксперимента.

Fig. 1. Abundance of lipolytic microorganisms in model experiment treatments.

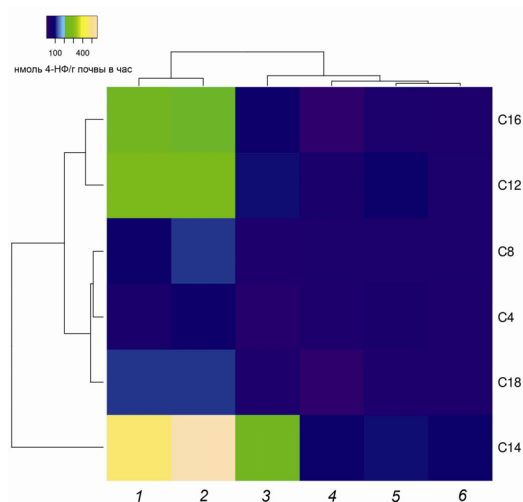


Рис. 2. Кластеризованная тепловая карта активности липаз в вариантах модельного эксперимента:

1 — говяжий жир; 2 — бараний жир; 3 — сливочное масло; 4 — контроль; 5 — свиной жир; 6 — оливковое масло.

Fig. 2. Clustered heatmap of lipase activities in model experiment treatments:

1 — beef fat; 2 — lamb fat; 3 — butter; 4 — control; 5 — pork fat; 6 — olive oil.

Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах

Активность бутират-эстеразы (C_4) и октаноат-липазы (C_8) существенно не различалась в вариантах модельного эксперимента (табл. 2; рис. 2, на рисунке бежевый и желтый цвет отражают максимальную ферментативную активность, зеленый — умеренную, фиолетовый и синий — минимальную). Можно лишь отметить возрастание активности фермента C_4 в варианте с бараньим жиром и фермента C_8 в вариантах с говяжьим и бараньим жиром. Однако в отношении додеканат-липазы (C_{12}), миристетат-липазы (C_{14}), пальмитат-липазы (C_{16}) и стеарат-липазы (C_{18}) было выявлено заметное увеличение во всех жировых вариантах, но в особенности в вариантах с бараньим и говяжьим жиром. Причем ферментативная активность между этими вариантами существенно не различалась.

Таблица 2

Липазная активность в вариантах модельного эксперимента

Table 2

Lipase activities in model experiment treatments

Вариант	Ферментативная активность (нмоль 4-НФ/г почвы в час)					
	C_4	C_8	C_{12}	C_{14}	C_{16}	C_{18}
Контроль	44 ± 4	69 ± 5	59 ± 5	88 ± 5	15 ± 1	8 ± 3
Сливочное масло	33 ± 2	51 ± 2	103 ± 6	217 ± 4	79 ± 3	46 ± 2
Говяжий жир	55 ± 3	84 ± 3	276 ± 6	463 ± 4	219 ± 2	112 ± 2
Свиной жир	52 ± 4	65 ± 4	89 ± 5	98 ± 4	70 ± 4	41 ± 3
Бараний жир	84 ± 4	114 ± 3	275 ± 7	557 ± 8	211 ± 3	111 ± 2
Оливковое масло	44 ± 4	66 ± 3	71 ± 5	91 ± 4	48 ± 5	49 ± 3

Следует отметить, что по мере увеличения количества атомов углерода в углеродной цепи происходило увеличение липазной активности относительно контроля. Согласно классификации ферменты, разрушающие субстраты, состоящие из низших жирных кислот (меньше шести атомов углерода), относятся к эстеразам, тогда как к «истинным» липазам (специфический вид эстераз) относятся ферменты, гидролизующие водно-нерастворимые субстраты, такие как триглицериды (жиры), состоящие из длинноцепочечных высших жирных кислот [Casas-Godoy et al., 2012]. Иными словами, активность именно длинноцепочечных липаз должна указывать на исходное присутствие жира. Это согласуется с полученными нами результатами. Из полученных данных по изучению разложения жировых субстратов следует, что наиболее информативными ферментами для выявления жировых субстратов являются липазы C_{12} , C_{14} , C_{16} и C_{18} .

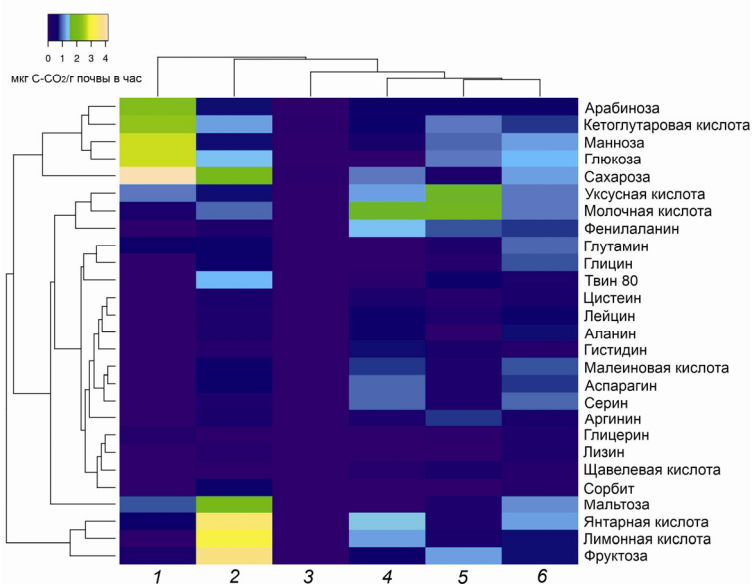


Рис. 3. Кластеризованная тепловая карта спектра поглощения легкодоступных источников углерода в различных вариантах модельного эксперимента:

1 — бараний жир; 2 — говяжий жир; 3 — контроль; 4 — свиной жир; 5 — сливочное масло; 6 — оливковое масло.

Fig. 3. Clustered heatmap of utilization spectrum of easily available carbon sources in model experiment treatments:

1 — lamb fat; 2 — beef fat; 3 — control; 4 — pork fat; 5 — butter; 6 — olive oil.

Спектр поглощения легкодоступных источников углерода существенно изменялся в вариантах модельного эксперимента (рис. 3, на рисунке бежевый и желтый цвет отражают максимальный ответ микробного сообщества на внесение индуктора, зеленый — умеренный, фиолетовый и синий — минимальный). Это указывает на существенное различие в функциональном разнообразии микробных сообществ в ходе их сукцессии, вызванной внесением различных липидных субстратов. Суммарный респираторный отклик в жировых вариантах был выше в 10–19 раз суммарного отклика в контрольном варианте. Особенно выделяются варианты с говяжьим и бараньим жиром. Согласно кластерному анализу бараний жир выделяется по высоким респираторным откликам на внесение сахарозы, глюкозы, маннозы, кетоглutarовой кислоты и арабинозы, говяжий жир — по высоким откликам на фруктозу, янтарную и лимонные кислоты, а также на мальтозу и сахарозу. В варианте со сливочным маслом выявлены повышенные отклики на уксусную и молочную кислоту. Значительный отклик на внесение молочной кислоты также был обнаружен в варианте со свиным жиром.

Таким образом, полученные предварительные данные по изучению динамики разложения жировых субстратов дают основания для реконструкции исходного присутствия жира в различных археологических контекстах методами почвенной микробиологии и биохимии. Однако для более точной экстраполяции результатов модельного эксперимента на археологические объекты необходимо больше точек наблюдения во времени, так как внесение субстратов с различными свойствами и составом может провоцировать сукцессию микробного сообщества по разным типам. Следовательно, равновесное состояние микробного сообщества в каждом варианте опыта будет достигнуто в разное время.

Археологические памятники

Заполнение погребальных сосудов. В образцах грунта из погребений курганных могильников Октябрьский I, Киевский I и Братские 1-е курганы было проведено определение численности липолитических микроорганизмов и активности шести липаз (рис. 4). Липолитические микроорганизмы и липазная активность были обнаружены во всех изученных сосудах, но повышенные значения выявлены только в 15–20 % сосудов. В отношении только одной кружки была выявлена высокая липазная активность и численность липолитиков. Причем высокая ферментативная активность достигалась за счет активности именно длинноцепочечных липаз (C_{14} , C_{16} и C_{18}), ответственных за разложение жиров. Это с большой вероятностью указывает на исходное наличие жиров в данной кружке. В целом же следует отметить, что показатели количественного учета колоний на чашках в большей степени зависят от внешних факторов (глубина, химические свойства почв, влажность и др.), чем активность ферментов, поэтому результаты могут не совпадать.

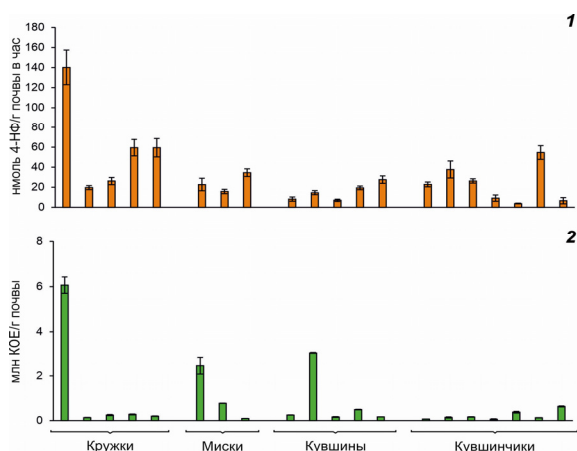


Рис. 4. Суммарная липазная активность (1) и численность липолитических микроорганизмов (2) в сосудах из погребений курганных могильников Октябрьский I, Киевский I и Братские 1-е курганы.

Fig. 4. Total lipase activity (1) and abundance of lipolytic microorganisms (2) in vessels from kurgan cemeteries Oktyabrsky I, Kievsky I and Bratsky 1st kurgans.

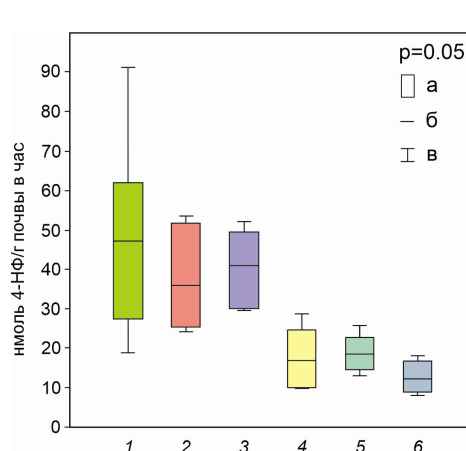


Рис. 5. Суммарная липазная активность в грунте из погребений:

a — межквартильное расстояние; б — медиана; в — min-max. 1 — череп; 2 — грудь; 3 — таз; 4 — колени; 5 — ступни; 6 — фон.

Fig. 5. Total lipase activity of soils of burials: a — interquartile range; б — median; в — min-max. 1 — skull; 2 — chest; 3 — pelvis; 4 — knees; 5 — feet.

Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах

Результаты анализа позволяют говорить, что жир, хотя и не являлся каким-то экзотическим либо эпизодическим (сезонным) продуктом, тем не менее всегда находился в частом (или постоянном) дефиците и ценился весьма высоко, представляя собой продукт статусный. Очевидно, жир не столь широко использовался в погребальном обряде в качестве ритуальной пищи, а если и присутствовал, то помещался в сосудах малого объема (кружки, миски).

Грунт из погребений. Здесь было проведено исследование только липазной активности (рис. 5). Во всех случаях высокая липазная активность была обнаружена в грунте под черепом. Учитывая, что, независимо от конституции человека, в черепе содержится до 2–3 л жировой ткани, полученный результат позволяет считать данный подход весьма информативным. Также высокая липазная активность была выявлена в образцах грунта в области грудного отдела и таза, т.е. в участках, где заведомо в теле человека содержится больше жира. В грунте под коленями и ступнями активность липолитических ферментов была значительно ниже, лишь немного выше, чем в образцах фона, отобранных в различных частях погребальной камеры. Таким образом, как мы и предполагали, исследование грунта под различными участками скелета показывает возможность реконструкции исходного содержимого сосудов методами почвенной микробиологии и биохимии.

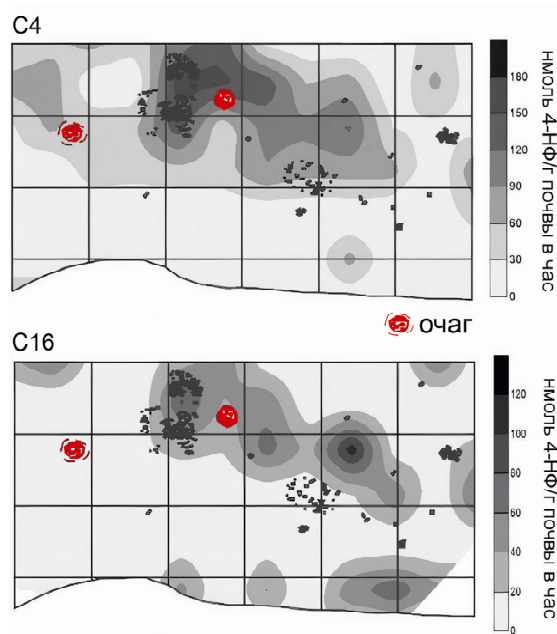


Рис. 6. Распределение липазной активности на территории поселения Ксизово-1.

Fig. 6. Distribution of lipase activities at settlement Ksizovo-1.

Культурный слой поселения Ксизово-1. Проведено исследование культурного слоя модельного участка поселения площадью 84 м². Образцы были отобраны сплошной площадью с каждого квадратного метра культурного слоя на одном уровне зачистки (40–60 см), соответствующей пласту с наибольшей концентрацией археологического материала [Потапова и др., 2020]. В пределах каждого квадратного метра отбирали репрезентативно образцы из пяти точек, а для дальнейшего лабораторного анализа использовали усредненный образец. На основании полученных данных были построены площадные диаграммы. В образцах грунта проведено исследование активности бутират-эстеразы (C₄) и пальмитат-липазы (C₁₆). Сравнительный анализ полученных данных с распределением археологических объектов позволил установить, что повышенные значения активности липазы, ответственной за разложение жиров, были выявлены в местах концентрации керамики вблизи очагов (рис. 6). Приуроченность липазных аномалий к очагам может указывать на поступление в почву субстратов липидной природы и служить в качестве индикаторов мест приготовления пищи на памятниках.

Заключение

Численность липолитических микроорганизмов и уровень ферментативной активности в почве прямо зависит от количества поступающего органического субстрата, в разложении кото-

рого они участвуют. После разложения органических остатков в почве формируется микробный и ферментный пул, который может сохраняться на протяжении длительного периода времени. В основе этого положения лежит концепция биологической памяти почв [Borisov et al., 2021].

В данном исследовании впервые показана возможность реконструкции исходного присутствия жиросодержащих субстратов в различных археологических контекстах, а именно: в почвенно-грунтовом заполнении сосудов из погребений, в грунте под различными частями скелета, а также в культурном слое на различных участках поселения.

Обоснованность такой реконструкции была показана на примере изучения динамики разложения жировых субстратов в модельном эксперименте. Но для более точной экстраполяции результатов модельного эксперимента на археологические объекты необходимо больше точек наблюдения во времени, так как внесение субстратов с различными свойствами и составом может провоцировать сукцессию микробного сообщества по разным типам. Следовательно, равновесное состояние микробного сообщества в каждом варианте опыта будет достигнуто в разное время. В связи с этим исследования динамики разложения липидных субстратов будут продолжены нами в дальнейшем. Сейчас можем сказать, что по высокой численности липолитических микроорганизмов и активности липаз с длинной углеродной цепью (C₁₂–C₁₈) возможно с большой вероятностью реконструировать присутствие жиров животного происхождения.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность археологам д.и.н. Д.С. Коробову, к.и.н. Е.И. Гаку, к.и.н. М.В. Ивашову, к.и.н. А.А. Клещенко, к.и.н. В.Ю. Малашеву за предоставленную возможность работы на памятниках, содействие в проведении полевых исследований, отборе образцов и консультации.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-28-01725.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисов А.В., Петерс С., Чернышева Е.В., Коробов Д.С., Рейнхольд С. Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры (XIII–IX вв. до н.э.) в окрестностях г. Кисловодска // Вестник археологии, антропологии, этнографии. 2013. № 4. С. 142–162.

Борисов А.В., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Чернышева Е.В. Биологическая память почв об изменениях условий почвообразования и антропогенной деятельности в прошлом: микробная и ферментная составляющие // Почвоведение. 2021. № 7. С. 849–861. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21070029>

Гак Е.И., Чернышева Е.В., Ходжаева А.К., Борисов А.В. Опыт выявления и систематизации инфраструктурных признаков поселения катакомбной культуры Рыкань-3 в лесостепном Подонье // РА. 2014. № 4. С. 19–28.

Ленинджер А. Основы биохимии. М.: Мир, 1985. Т. 1. 367 с.

Скурихин И.М., Волгарев М.Н. (отв. ред.). Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов. М.: Агропромиздат, 1987. 360 с.

Хомутова Т.Э., Дуцанова К.С., Борисов А.В. Микробиологический подход к реконструкции исходного содержимого горшков из подкурганых захоронений // Нижневолж. археол. вестник. 2020. Т. 19. № 1. С. 188–201. <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2020.1.10>

Потапова А.В., Пинской В.Н., Гак Е.И., Каширская Н.Н., Борисов А.В. Изменчивость свойств культурного слоя поселения эпохи бронзы Ксизово-1 в лесостепном Подонье // РА. 2020. № 1. С. 60–75. <https://doi.org/10.31857/S086960630008254-8>

Borisov A. V., Demkina T. S., Kashirskaya N. N., Khomutova T. E., Chernysheva E. V. Changes in the past soil-forming conditions and human activity in soil biological memory: Microbial and enzyme components // Eurasian Soil Science. 2021. Vol. 54 (7). P. 1078–1088. <https://doi.org/10.1134/S1064229321070024>

Campbell C. D., Chapman S. J., Cameron C. M., Davidson M. S., Potts J. M. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil // Applied and Environmental Microbiology. 2003. Vol. 69. P. 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>

Casas-Godoy L., Duquesne S., Bordes F., Sandoval G., Marty A. Lipases: An overview // Methods of molecular biology. 2012. Vol. 861. P. 3–30.

Chernysheva E., Korobov D., Borisov A. Thermophilic microorganisms in arable land around medieval archaeological sites in Northern Caucasus, Russia: Novel evidence of past manuring practices // Geoarchaeology. 2017. Vol. 32. P. 494–501. <https://doi.org/10.1002/gea.21613>

Chernysheva E. V., Korobov D. S., Khomutova T. E., Borisov A. V. Urease activity in cultural layers at archaeological sites // Journal of Archaeological Science. 2015. Vol. 57. P. 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.01.022>

Cowie A., Lonergan, V. E., Rabbi F. S. M., Fornasier F., Macdonald C., Harden S., Kawasaki A., Brajesh K., Singh B. K. The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales // Soil Research. 2013. Vol. 51. P. 707–718. <https://doi.org/10.1071/SR13043>

Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах

Degens B.P., Harris J.A. Development of physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities // *Soil Biology & Biochemistry*. 1997. Vol. 29. P. 1309–1320. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00076-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00076-X)

Dick R.P., Sandor J.A., Eash N.S. Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru // *Agriculture, Ecosystem & Environment*. 1994. Vol. 50. P. 123–131. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90131-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90131-7).

Evershed R.P. Biomolecular archaeology and lipids // *World Archaeology*. 1993. Vol. 25. P. 74–93

Evershed R.P. Organic residues in archaeology: The archaeological biomarker revolution // *Archaeometry*. 2008. Vol. 50. P. 895–924. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00446.x>

Fornasier F., Margon A. Bovine serum albumin and Triton X-100 greatly increase phosphomonoesterases and arylsulphatase extraction yield from soil // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 2682–2684. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.04.024>

Giacometti C., Demyan M.S., Cavani L., Marzadori C., Ciavatta C., Kandeler E. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems // *Applied Soil Ecology*. 2013. Vol. 64. P. 32–48. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>

Inanova A., Marfenina O. Soil fungal communities as bioindicators of ancient human impacts in medieval settlements in different geographic regions of Russia and southwestern Kazakhstan // *Quaternary International*. 2015. Vol. 365. P. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.016>

Kashirskaya N.N., Plekhanova L.N., Chernisheva E.V., Eltsov M.V., Udaltsov S.N., Borisov A. V. Temporal and Spatial Features of Phosphatase Activity in Natural and Human-Transformed Soils // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53 (1). P. 97–109. <https://doi.org/10.1134/S1064229320010093>

Liu E., Yan C., Mei X., Wenqing H., Bing S. H., Ding L., Liu Q., Liu S., Fan T. Long-term effect of chemical fertilizer, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China // *Geoderma*. 2010. Vol. 158. P. 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.029>

Lori M., Symnaczyk S., Mäder P., de Deyn G., Gattinger A. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity — A meta-analysis and meta-regression // *PLoS One*. 2017. Vol. 12. P. e0180442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>

Marfenina O.E., Ivanova A.E., Kislova E.E., Sacharov D.S. The mycological properties of medieval culture layers as a form of soil 'biological memory' about urbanization // *Journal of Soils and Sediments*. 2008. Vol. 8. P. 340–348. <https://doi.org/10.1007/s11368-008-0032-2>

Nannipieri P., Giagnoni L., Landi L., Renella G. Role of phosphatase enzymes in soil // Bunemann E, Oberson, A., Frossard, E. (Eds.). *Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling: Soil biology*. Vol. 26. Springer, Heidelberg, 2011. P. 215–243.

Palacios D., Busto M.D., Ortega N. Study of a new spectrophotometric end-point assay for lipase activity determination in aqueous media // *LWT — Food Science and Technology*. 2014. Vol. 55. P. 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.027>

Skujins J.J. Extracellular enzymes in soil // *Critical Review in Microbiology*. 1976. Vol. 4. P. 383–421.

Chernysheva E.V. *, Kashirskaya N.N., Dushchanova K.S.

FRC PSCBR RAS, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science

Institutskaya st., 2, Pushchino, 142290, Russian Federation

E-mail: e.chernysheva@yandex.ru (Chernysheva E.V.); nkashirskaya81@gmail.com (Kashirskaya N.N.);

kamilla.dushchanova@gmail.com (Dushchanova K.S.)

Soil biochemical indicators of initial presence of fat in different archaeological contexts

The article proposes a new biochemical approach for the reconstruction of the initial presence of fat-containing products in different archaeological contexts (ceramic vessels from burials, soil samples in different parts of the skeleton and cultural layers of archaeological sites) based on the study of qualitative and quantitative changes in the parameters of the soil microbial community, namely, specific groups of microorganisms (lipolytics), a number of lipolytic enzymes, as well as the utilization spectrum of readily available low molecular weight substrates. Ground samples of the studied objects were collected in the following regions: ceramic vessels — the Republic of North Ossetia-Alania and the Chechen Republic; burials — Krasnodar Krai; the cultural layer of the settlement — Lipetsk region. The number of lipolytic microorganisms and the level of enzymatic activity in the soil directly depend on the amount of the incoming substrate, in the decomposition of which they participate. After the decomposition of organic residues in the soil, a microbial and enzyme pools are formed, which can persist for a long period. The obtained preliminary data on the study of the decomposition dynamics of fatty substrates give us possibility for the reconstruction of the initial presence of fat in different archaeological contexts using the methods of soil microbiology and biochemistry. But, for a more accurate extrapolation of the results of a model experiment to archaeological objects, more points of observation in time are needed, since the introduction of substrates with

* Corresponding author.

different properties and composition can provoke microbial community succession in different ways. Hence, the equilibrium state of the microbial community in each variant of the experiment will be reached at different times. However, the results of the study of soils and cultural layers of archaeological sites of Bronze Age and early medieval time have convincingly shown the possibility of applying our approach. As we assumed, the maximum lipase activity was found in the soil samples under the skull, chest and pelvis, i.e. in areas of human body with the highest content of fat tissues. This showed the possibility for reconstruction the original contents of the vessels from burials using the methods of soil microbiology and biochemistry. A high number of lipolytic microorganisms and lipase activity were detected only in 15–20 % of the vessels. We suggest that fat food may not have been as widely used in the funeral rite as ritual food. The study of lipase activity made it possible to clarify the features of the economic usage of the territory of archaeological site, to identify possible places for cooking.

Keywords: archaeological microbiology, soil biological memory, microbial communities, enzyme activity, cultural layers.

Acknowledgements. The authors express their deep gratitude to the archaeologists: doctor of historical sciences D.S. Korobov and candidates of historical sciences: E.I. Gak, M.V. Ivashov, A.A. Kleshchenko and V.Yu. Malashev for the opportunity to work on archaeological sites, assistance in field research, sampling and consultation.

Funding. The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 22-28-01725.

REFERENCES

- Borisov, A.V., Peters, S., Chernysheva, E.V., Korobov, D.S., Reinhold, S. (2013). Chemical and microbiological properties of cultural layers of Koban culture settlements in the vicinity of c. Kislovodsk. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 142–162. (Rus.).
- Borisov, A.V., Demkina, T.S., Kashirskaya, N.N., Khomutova, T.E., Chernysheva, E.V. (2021). Changes in the past soil-forming conditions and human activity in soil biological memory: Microbial and enzyme components. *Eurasian Soil Science*, 54(7), 1078–1088. <https://doi.org/10.1134/S1064229321070024>
- Campbell, C.D., Chapman, S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S., Potts, J.M. (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>
- Casas-Godoy, L., Duquesne, S., Bordes F., Sandoval, G., Marty, A. (2012). Lipases: An overview. *Methods of molecular biology*, 861, 3–30.
- Chernysheva, E., Korobov, D., Borisov, A. (2017). Thermophilic microorganisms in arable land around medieval archaeological sites in Northern Caucasus, Russia: Novel evidence of past manuring practices. *Geoarchaeology*, 32, 494–501. <https://doi.org/10.1002/gea.21613>
- Chernysheva, E.V., Korobov, D.S., Khomutova, T.E., Borisov, A.V. (2015). Urease activity in cultural layers at archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, 57, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.01.022>
- Cowie, A., Lonergan, V.E., Rabbi, F.S.M., Fornasier, F., Macdonald, C., Harden, S., Kawasaki, A., Brajesh, K., Singh, B.K. (2013). The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales. *Soil Research*, 51, 707–718. <https://doi.org/10.1071/SR13043>
- Degens, B.P., Harris, J.A. (1997). Development of physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry*, 29, 1309–1320. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00076-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00076-X)
- Dick, R.P., Sandor, J.A., Eash, N.S. (1994). Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru // *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 50, 123–131. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90131-7](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90131-7)
- Evershed, R.P. (1993). Biomolecular archaeology and lipids. *World Archaeology*, 25, 74–93.
- Evershed, R.P. (2008). Organic residues in archaeology: The archaeological biomarker revolution. *Archaeometry*, 50, 895–924. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2008.00446.x>
- Fornasier, F., Margon, A. (2007). Bovine serum albumin and Triton X-100 greatly increase phosphomonoesterases and arylsulphatase extraction yield from soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 39, 2682–2684. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.04.024>
- Gak, E.I., Chernysheva, E.V., Khodhaeva, A.K., Borisov, A.V. (2014). An experience of systematization of infrastructural features of the settlement of the Rykan-3 catacomb culture in the forest-steppe Don region. *Rossiyskaya arkheologiya*, (4), 19–28.
- Giacometti, C., Demyan, M.S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., Kandeler, E. (2013). Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 64, 32–48. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>
- Ivanova, A., Marfenina, O. (2015). Soil fungal communities as bioindicators of ancient human impacts in medieval settlements in different geographic regions of Russia and southwestern Kazakhstan. *Quaternary International*, 365, 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.016>
- Kashirskaya, N.N., Plekhanova, L.N., Chernisheva, E.V., Eltsov, M.V., Udaltsov, S.N., Borisov, A.V. (2020). Temporal and Spatial Features of Phosphatase Activity in Natural and Human-Transformed Soils. *Eurasian Soil Science*, 53(1), 97–109. <https://doi.org/10.1134/S1064229320010093>

Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах

Khomutova, T.E., Dushchanova, K.S., Borisov, A.V. (2020). Microbiological approach to reconstruction of the original content of pots from the burials. *The Lower Volga Archaeological Bulletin*, 19(1), 188–201. (Rus.). <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2020.1.10>

Lehninger, A.L. (1985). *Principles of biochemistry*. Moscow: Worth Publishers. (Rus.).

Liu, E., Yan C., Mei, X., Wenqing, H., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., Fan, T. (2010). Long-term effect of chemical fertilizer, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 158, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.029>

Lori, M., Symnaccik, S., Mäder, P., de Deyn, G., Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity — A meta-analysis and meta-regression. *PLoS One*, 12, e0180442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>

Marfenina, O.E., Ivanova, A.E., Kislova, E.E., Sacharov, D.S. (2008). The mycological properties of medieval culture layers as a form of soil 'biological memory' about urbanization. *Journal of Soils and Sediments*, 8, 340–348. <https://doi.org/10.1007/s11368-008-0032-2>

Nannipieri, P., Giagnoni, L., Landi, L., Renella, G. (2011). Role of phosphatase enzymes in soil. In: Bunnemann E., Oberson A., Frossard E. (Eds.) *Phosphorus in action: Biological processes in soil phosphorus cycling: Soil biology*, 26, Springer, Heidelberg.

Palacios, D., Busto, M.D., Ortega, N. (2014). Study of a new spectrophotometric end-point assay for lipase activity determination in aqueous media. *LWT — Food Science and Technology*, 55, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.027>

Potapova, A.V., Pinskoy, V.N., Gak, E.I., Kashirskaya, N.N., Borisov, A.V. (2020). Variability of the cultural layer properties of the Bronze Age settlement Kszizovo-1 in the forest-steppe Don region. *Rossiyskaya arheologiya*, (1), 60–75. <https://doi.org/10.31857/S086960630008254-8>

Skujins, J.J. (1976). Extracellular enzymes in soil. *Critical Review in Microbiology*, 4, 383–421.

Skurikhin, I.M., Volgarev, M.N. (Eds.) (1987). *Chemical composition of food products. Book 2: Reference tables for the content of amino acids, fatty acids, vitamins, macro- and microelements, organic acids and carbohydrates*. Moscow: Agropromizdat. (Rus.).

Чернышева Е.В., <http://orcid.org/0000-0002-8526-4798>

Каширская Н.Н., <https://orcid.org/0000-0001-8353-3192>

Душанова К.С., <https://orcid.org/0000-0002-7980-9560>

Сведения об авторах:

Чернышева Елена Владиславовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, ФИЦ Пушинский научный центр биологических исследований РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, г. Пушкино.

Каширская Наталья Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФИЦ Пушинский научный центр биологических исследований РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, г. Пушкино.

Душанова Камилла Савировна, научный сотрудник, ФИЦ Пушинский научный центр биологических исследований РАН, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, г. Пушкино.

About the authors:

Chernysheva Elena V., Candidate of Biological Sciences, Researcher, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino.

Kashirskaya Natalya N., Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino.

Dushchanova Kamilla S., Researcher, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino.



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

Accepted: 05.12.2022

Article is published: 15.06.2023