

DOI: <https://doi.org/10.32653/CH191150-172>



Исследовательская статья

Каширская Наталья Николаевна  
к.б.н. старший научный сотрудник,  
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пушкино, Россия  
[nkashirskaya81@gmail.com](mailto:nkashirskaya81@gmail.com)

Чернышева Елена Владиславовна  
к.б.н., старший научный сотрудник  
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пушкино, Россия  
[e.chernyusheva@yandex.ru](mailto:e.chernyusheva@yandex.ru)

Малашев Владимир Юрьевич  
к.и.н., старший научный сотрудник  
Институт археологии РАН, Москва, Россия  
[malashev@yandex.ru](mailto:malashev@yandex.ru)

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ЖИРНОЙ ПИЩИ В СОСУДАХ ИЗ ПОГРЕБЕНИЙ РАННЕГО ЭТАПА АЛАНСКОЙ КУЛЬТУРЫ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

**Аннотация.** Численность липолитических микроорганизмов и липазная активность в почвах могут резко возрасти в случае поступления жиров. Для выявления исходного присутствия жиров в составе ритуальной пищи, была проведена оценка численности липолитических бактерий и определение липазной активности в грунтах из 60 сосудов из погребений Северного Кавказа III–IV вв. н.э. (ранний этап аланской культуры). Установлено, что в 85% всех сосудов численность липолитических бактерий в придонном слое не превышала уровня контроля и была в 4–20 раз ниже, чем в контрольной современной черноземной почве. В 15% выборки, где численность липолитических бактерий была на порядок выше, выявлялась также экстремально высокая активность пальмитат и стеарат-липазы С-16 и С-18. В 85% всех сосудов микробный след практически не сохранялся, однако оставался энзиматический след. Кластер с наибольшей вероятностью содержания животных жиров составлял 22 % выборки и отличался преобладающей активностью стеарат-липазы С-18. Два кластера с высокой вероятностью использования молочного и/или зернового растительного продукта, составляли 26% выборки. Грунт со дна этих сосудов характеризовался преобладающей активностью додеканоеат-липазы С-12. В 15% ритуальных сосудов с низкими значениями численности липолитиков и липазной активности, показана вероятность выделения молочнокислых бактерий и дрожжей, связанных с ферментацией пищи. Только в 22% выборки все показатели были ниже фонового уровня, что позволило идентифицировать ритуальные сосуды как пустые или содержащие воду. Таким образом, продукты с высоким содержанием жира часто использовались в погребальном обряде аланской культуры. На уровне тенденции можно отметить, что особенно жирная пища содержалась в сосудах из детского и женского погребального инвентаря, а также в кувшинах, устанавливаемых во входных ямах и используемых в ритуальных целях.

**Ключевые слова:** почвы; курганы; ранний этап аланской археологической культуры; Северный Кавказ; ритуальные сосуды; погребальная пища; жиры; липолитические микроорганизмы; липазная активность.

**Для цитирования:** Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Малашев В.Ю. Комплексный подход к выявлению жирной пищи в сосудах из погребений раннего этапа аланской культуры Северного Кавказа // История, археология и этнография Кавказа. 2023. Т. 19. No 1. С. 150–172. doi: [org/10.32653/ch191150-172](https://doi.org/10.32653/ch191150-172)

DOI: <https://doi.org/10.32653/CH191150-172>



Research paper

Natalia N. Kashirskaya,  
Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher  
Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino, Russia  
[nkashirskaya81@gmail.com](mailto:nkashirskaya81@gmail.com)

Elena V. Chernysheva,  
Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher  
Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Pushchino, Russia  
[e.chernyysheva@yandex.ru](mailto:e.chernyysheva@yandex.ru)

Vladimir Yu. Malashev,  
Cand. Sci. (History), Senior Researcher  
Institute of Archeology, RAS, Moscow, Russia  
[malashev@yandex.ru](mailto:malashev@yandex.ru)

## A COMPREHENSIVE APPROACH TO IDENTIFICATION OF FATTY FOODS IN VESSELS FROM THE BURIALS OF THE EARLY STAGE OF ALANIAN CULTURE IN THE NORTH CAUCASUS

**Abstract.** The number of lipolytic microorganisms and lipase activity in soils can increase significantly in case of soil enrichment with fat. To identify the initial presence of fats in the composition of ritual food, an assessment of the number of lipolytic bacteria and the determination of lipase activity in soils from 60 vessels from the burials of the North Caucasus of the III-IV centuries AD (the early stage of the Alanian culture) was carried out. We found that in 85% of all vessels, the number of lipolytic bacteria in the bottom layer did not exceed the control level and was 4-20 times lower than in the control modern chernozem soil. In 15% of the vessel samples, where the number of lipolytic bacteria was an order of magnitude higher, extremely high values of palmitate-lipase activity C-16 and stearate-lipase activity C-18 were also detected. In 85% of all vessels, the microbial trace was practically not preserved, but an enzymatic trace remained. The cluster with the highest probability of animal fat content was 22% of all vessels and was characterized by the predominant activity of stearate lipase C-18. Two clusters with a high probability of presence of dairy and/or grain products accounted for 26% of all samples. The soil from the bottom of these vessels was characterized by the predominant activity of dodecanoate-lipase C-12. In 15% of ritual vessels with low numbers of lipolytics and lipase activity, the probability of isolation of lactic acid bacteria and yeast associated with food fermentation was shown. Only in 22% of the samples, all indicators were below the background level, which made it possible to identify ritual vessels as empty or containing water. Thus, products with a high fat content were often used in the funeral rite of the Alanian culture. At the level of the trend, it can be noted that especially fatty food was contained in vessels from children's and women's funerary goods, as well as in jugs installed in entrance pits and used for ritual purposes.

**Keywords:** kurgans; soils; early stage of the Alanian archaeological culture; North Caucasus; ritual vessels; funeral food; fats; lipolytic microorganisms; lipase activity.

**For citation:** Kashirskaya N.N., Chernysheva E.V., Malashev V.Yu. A comprehensive approach to identification of fatty foods in vessels from the burials of the Early Stage of Alanian Culture in the North Caucasus. History, Archeology and Ethnography of the Caucasus. 2023. Vol. 19. N. 1. P. 150-172. [doi.org/10.32653/CH191150-172](https://doi.org/10.32653/CH191150-172)

## *Введение*

### *Химические и микробиологические методы реконструкции жира в погребальных сосудах*

Присутствие следов продуктов липидной природы в почвах и культурных слоях археологических памятников в первую очередь связано с пищей древнего населения. В ряде публикаций показана возможность с помощью аналитических методов органической химии с высокой точностью устанавливать тип пищи, которая исходно была помещена в сосуд, на основании исследования жирнокислотных профилей содержимого археологических сосудов [1]. Единственным фактором, сдерживающим массовое применение этого метода в практике археологических исследований, является сложность и высокая наукоемкость метода, а также возможность контаминации образца современными липидами при отборе, хранении и анализе. Это не позволяет выходить на уровень массовых определений и говорить о хроногеографических тенденциях изменений такого элемента погребальной обрядности, как жирсодержащая пища в сосудах. Очевидно, что сложные и дорогостоящие анализы не могут быть применены ко всей совокупности ритуальных сосудов даже в пределах одного могильника.

В этой связи возрастает роль доступных определений, позволяющих на качественном уровне выявлять присутствие тех или иных компонентов ритуальной пищи. В качестве наиболее быстрых методов, позволяющих выявлять исходное присутствие пищи, содержащей жиры, можно предложить учет липолитических микроорганизмов на твердых питательных средах и оценку липазной активности [2; 3].

Предлагаемый нами комплексный подход для реконструкции жирсодержащей пищи в погребальных сосудах лишен существенных ограничений, которые необходимо строго соблюдать, применяя для химического определения жирных кислот методы газовой хроматографии и масс-спектрометрии. При идентификации жиров с помощью этих методов, ни в коем случае нельзя допускать вероятность загрязнения образцов современными жирами и жироподобными соединениями. В процессе отбора образцов, источником контаминации могут быть естественные соединения липидной природы на руках человека, индивидуальные косметические средства, а также полиэтиленовые пакеты, которые могут использоваться для транспортировки и хранения образцов [4]. Известны случаи, когда олеамид современного происхождения был ошибочно интерпретирован как маркер оливкового масла в керамических сосудах из древних погребений [5], а присутствие эрукамида было принято, как доказательство исходного наличия злакового зерна в погребальных сосудах [6]. Кроме того, почвенно-микробиологические методы, как упоминалось нами ранее [2], позволяют раскрыть второй этап функционирования сосуда – ритуальный, тогда как жирно-кислотный анализ содержимого керамики позволяет раскрыть только первый, утилитарный, период существования сосуда, когда он использовался в качестве повседневной утвари для приготовления, хранения и транспортировки пищевых продуктов.

## ***Ферментация жиросодержащих пищевых продуктов с помощью липаз***

В молочной промышленности липазы широко используются для гидролиза молочного жира, приготовления масла, сливок и йогуртов, ускорения созревания и улучшения вкуса сыров. Воздействуя на молочный жир, липазы вырабатывают свободные жирные кислоты, что приводит к получению широкого спектра молочных продуктов с разнообразными вкусовыми характеристиками [7]. При производстве сыра, функционирование липаз приводит к образованию низкомолекулярных соединений, во многом определяющих вкусо-ароматические качества продукта, например, изо-валеральдегид, диацетил, 3-гидроксипутанон [8].

Исключительно высокое разнообразие продуктов ферментации молока в результате действия различных липаз обусловлено тем, что молочные жиры, которые могут содержать более 400 различных жирных кислот, относятся к наиболее сложным из всех жиров естественного происхождения [9]. В зависимости от высвобождаемых жирных кислот, гидролиз молочного жира может приводить к желательному (или нежелательному) качеству продукта ферментации. Короткоцепочечные жирные кислоты придают сыру сильный, пряный вкус; среднецепочечные играют большую роль в формировании мыльного аромата, а длинноцепочечные жирные кислоты вносят незначительный вклад в аромат [10; 11]. При переработке мясных и рыбных продуктов, липазы используются для придания вкуса и снижения жирности. Эти ферменты входят в состав мяса, рыбы, яиц, молока, злаков [7]. Кроме того, липазы применяются для улучшения качества продуктов хлебопекарной и пивоваренной промышленности, путем высвобождения короткоцепочечных жирных кислот при гидролизе жиров, входящих в состав злаков [7].

## ***Особенности каталитического действия липаз***

Липазы и эстеразы катализируют как гидролиз, так и синтез сложноэфирных связей [12]. Они могут участвовать в преобразовании широкого спектра субстратов, таких как триацилглицериды, сложные эфиры жирных кислот, липиды, синтетические и натуральные масла. Эти ферменты могут катализировать реакции на границе раздела органического растворителя и воды, или в растворителе без водной фазы, что делает их универсальным инструментом для масложировой, молочной, фармацевтической, хлебопекарной промышленности [12].

Липазы обладают исключительной селективностью. Выделяют три вида селективности липаз: селективность к субстрату, региоселективность (существует только один путь разрыва биомолекулы) и стереоселективность (разлагают только один стереоизомер) [13; 14]. Следовательно, можно с уверенностью говорить, что длинноцепочечные липазы, а именно додеканоат-липаза, миристинат-липаза, пальмитат-липаза и стеарат-липаза, участвуют в разложении материалов, содержащие остатки додекановой, миристиновой, пальмитиновой и стеариновой кислоты соответственно. Эти жирные кислоты входят в состав триглицеридов многих растительных и животных жиров. Таким образом, высокие значения активности вышеупомянутых липаз в грунте из ритуальных сосудов будут свидетельствовать о наличии жиров в составе ритуальной пищи.

## **Липолитические микроорганизмы пищевой промышленности**

Липазы вырабатываются многими микроорганизмами – бактериями, актиномицетами и грибами, включая дрожжи [12]. Микробные липазы привлекают наибольшее внимание пищевой промышленности, благодаря своей каталитической универсальности, специфичности, стабильности и большей доступности по сравнению с липазами животного и растительного происхождения [7; 15]. Среди липолитических бактерий известны: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fragi*, *Bacillus megaterium*, *Staphylococcus aureus*, *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* [7], *Alcaligenes sp.*, *Achromobacter sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Chromobacterium sp.* [12]. Среди грибов липолитические виды были изучены значительно шире: *Helvina lanuginosa*, *Rhizopus delemar*, *Eurotrium herbanorium*, *Aspergillus niger*, *Mucor circinelloi* [7], *Candida cylindracea*, *Humicola lanuginosa*, *Mucor miehei*, *Rhizopus arrhizus*, *R. delemar*, *R. japonicus*, *R. niveus*, *R. oryza* [16]. Лучшим продуцентом липазы в ряду липолитических грибов, выделенных из семян масличных растений, был признан *Lasiodiplodia theobromae* [17].

По сравнению с липазами микроскопических грибов, липазы бактериального происхождения в меньшей степени исследовались вследствие низкой специфичности к субстрату и высокой температурной чувствительности, что создает сложности при их использовании в пищевой промышленности [12]. Кроме того, грибы более выгодны для промышленного производства липаз, поскольку их липазы являются внеклеточными по своей природе.

Среди актиномицетов также известны представители с высокой липазной активностью, например, *Streptomyces sp.*, [18] или *Thermoactinomyces vulgaris*, чьи культуры используются в компостировании органических отходов с высоким содержанием жиров [19]. Известно, что в пищевых жирах, особенно в сливочном масле, актиномицеты содержатся в изобилии [18]. Хотя представители этой группы способны к олиготрофному типу питания [20; 21], они предпочитают богатые органическим веществом питательные среды, где развиваются активнее и проявляют способность к пигментации [20].

## **Липолитические микроорганизмы в почвах и их сохранность на протяжении длительных периодов времени**

Хотя липолитические микроорганизмы достаточно широко распространены в естественных местообитаниях, в незагрязненной жирами сельскохозяйственной почве лишь небольшой процент бактерий, выявленных с использованием селективных сред на основе ТВИН 80, был зарегистрирован на фоне более высокой численности актиномицетов и грибов [22]. При этом в экспериментальных образцах почвы, обогащенных различными видами растительного масла, большинство микроорганизмов относилось к бактериальным видам, а среди грибов был обнаружен только *Candida parapsilosis* [23]. В другой работе по исследованию почвы, загрязненной отходами производства растительного масла, соотношение бактериальных и

грибных штаммов составляло 38:14 [24]. Таким образом, повышенная численность липолитических бактерий в почве, по-видимому, может указывать на внесение липидного субстрата антропогенного происхождения. Однако актиномицеты и грибы также необходимо принимать во внимание, поскольку эти микроорганизмы в изобилии входят в состав пищевых продуктов, содержащих жиры [17; 18].

В условиях погребения микробные сообщества сохраняются в течение неопределенно долгого времени, за счет перехода клеток в покоящееся состояние [25]. При этом значительную долю в погребенных почвах составляют достаточно устойчивые группы микроорганизмов, связанные с деятельностью человека [26].

Мы полагаем, что липолитические бактерии, актиномицеты и грибы, средой обитания которых являются жиросодержащие пищевые продукты, способны сохраняться в почве, в условиях длительного погребения. Кроме того, смешивание пищевого продукта с почвой в процессе заполнения сосуда, может стимулировать развитие липолитического микробного комплекса почвы, вырабатывающего липазы для утилизации жиросодержащих органических субстратов [27]. Таким образом, высокие значения численности липолитических микроорганизмов и активности липаз, преобразующих длинноцепочечные жирные кислоты, позволят нам отделить сосуды с исходным присутствием пищи, содержащей жиры, от пустых или содержащих низкокалорийные пищевые продукты сосудов. Этот комплексный биохимический подход для реконструкции исходного присутствия жиросодержащих продуктов в различных археологических контекстах, уже был опробован и подтвердил свою эффективность в модельном эксперименте [3].

Целью данной работы было выделение группы ритуальных сосудов с исходным присутствием жиров, с помощью комплекса методов микробиологии и энзимологии.

## **Объекты исследования**

Для выявления исходного присутствия пищевых продуктов жировой природы исследовались образцы грунта со дна 60 ритуальных сосудов раннего этапа аланской культуры (III-IV вв.). Были исследованы 29 сосудов из погребений курганного могильника Братские 1-е курганы (Надтеречный район Чеченской Республики) и 31 сосуд из курганного могильника Октябрьский I (Моздокский район РСО-Алания). Охранно-спасательные исследования курганных могильников в зоне строительства магистрального газопровода «Моздок-Грозный» проводили ООО НПЦ «ДАРС» и Институт археологии РАН, совместно с Институтом гуманитарных исследований АН ЧР [28; 29].

Насыпи почти всех курганов были уничтожены распашкой. Большинство погребений совершено в Т-образных катакомбах (длинная ось камеры перпендикулярна длинной оси входной ямы), диагностических для аланской культуры. Ориентировка погребенных в катакомбах – в южном секторе. Особенностью группы памятников Среднего Терека является широтная ориентировка входных ям, что отличает их от некрополей городищ равнинно-предгорной полосы, где доминирует меридиональная ориентировка [30; 31].

Большая часть аланских керамических сосудов имеют характерные признаки. Отдельные, наиболее показательные формы, представлены далее.

Миски с загнутым внутрь бортиком являются наиболее распространенной формой посуды в погребальных комплексах аланской культуры со второй половины II по первую половину V в. н.э. Кувшинчики с ручкой, расположенной на плечиках или в месте максимального расширения тулова, со схематизированным зооморфным оформлением верхнего прилепа в виде высокого выступа, представлены двумя вариантами – узкие высокие формы первой половины III – начала IV в. н.э. и низкие, более широкодонные – IV в. н.э. Низкие кружки с ручкой, крепящейся верхним прилепом к венчику и возвышающейся над его плоскостью, характерны для более поздних захоронений (IV – первой половины V в. н.э.). Такие кружки орнаментированы по тулову широкими неглубокими вертикальными каннелюрами и имеют зооморфное оформление верхнего прилепа ручки [32].

Образцы грунта отбирались из верхнего слоя заполнения внутри сосуда, толщиной не более 1-2 см, и придонного слоя заполнения аналогичной толщины. Масса образцов, в зависимости от диаметра дна сосуда, варьировала от 5 до 100 г. Средняя часть заполнения, как правило, не используется в массовых анализах, поэтому в каждом из сосудов рассматриваемой большой выборки исследовались не более двух слоев. Пробы отбирались археологами в полевых условиях, с соблюдением стерильности при отборе. В лабораторию они были доставлены в пластиковых пакетах и хранились при комнатной температуре.

Контрольный образец грунта отбирался из верхней части каждого сосуда, поскольку уровень исходной численности липолитических бактерий в заполнявших сосуды грунтах, а также условия, от которых зависит сохранность микроорганизмов на протяжении длительного времени, в отдельных захоронениях могли существенно различаться. В верхней части сосуда, при прочих равных условиях, предполагается минимальное влияние исходного содержимого на микробное сообщество почвы, по сравнению с придонной частью, где наличие пищевого субстрата может привести к значительному росту численности микроорганизмов, ответственных за его разложение [33].

## ***Методы исследования***

Для учета липолитических бактерий в почвенных образцах из придонных и верхних слоев погребальных сосудов, а также в образцах модельного эксперимента, взятых для анализа спустя 14 месяцев после начала инкубации, использовалась твердая питательная среда следующего состава (г/л): твин-80 – 10, мясной пептон – 10, хлорид натрия – 5, хлорид кальция – 0.01, агар – 20. Питательная среда и растворы для разведения почвы стерилизовались в автоклаве при 121 °С в течение 30 минут. После стерилизации среда разливалась в чашки Петри, с толщиной слоя 3-5 мм.

Для получения первого десятикратного разведения, навески почвы 1 г. помещали в стерильные пластиковые флаконы и заливали 10 мл 0.5% раствора пирофосфата натрия, используемого для разрушения почвенных микроагрегатов. Почвенную суспензию гомогенизировали ультразвуком, используя дезинтегратор «Qsonica» CL-188, при 0.33 полной мощности прибора, в течение 15 с. Для получения второго разведения

1 мл суспензии первого разведения вносили в пробирку с 9 мл стерильной водопроводной воды. Каплю суспензии 50 мкл из второго разведения наносили на поверхность питательной среды в чашке Петри и растирали шпателем до полного впитывания.

Счет КОЕ (колониеобразующих единиц) липолитических бактерий проводили спустя 4-6 дней инкубации в термостате при 26 °С, после формирования полноценных колоний с ореолами из кальциевых солей жирных кислот в виде поверхностных пленок и/или пузырьков в толще агара. Численность КОЕ липолитических бактерий (тыс. / г почвы) определяли по формуле:  $N = a \times 20 \times 100 / 1000$ , где  $a$  – число колоний липолитических бактерий на поверхности среды, 20 – число капель по 50 мкл в 1 мл почвенной суспензии, 100 – второе разведение почвенной суспензии.

Эксперименты проводились в трех повторностях. Статистическую обработку данных проводили с помощью построения box plot диаграмм [34] и кластеризованных тепловых карт [35].

Полученные данные сравнивали с результатами модельного эксперимента, который проходит в лаборатории археологического почвоведения ИФХиБПП РАН с 2020 г. В образцы черноземной пахотной почвы, отобранные из верхнего слоя 0-25 см, массой 1 кг, вносили следующие субстраты: оливковое масло, сливочное масло, говяжий жир, бараний жир. Количество вносимого субстрата было уравновешено по содержанию стеариновой кислоты [3]. Стерилизация субстратов не проводилась, поскольку целью модельного эксперимента была оценка общего увеличения численности липолитических бактерий в черноземной почве – как за счет групп, характерных для самой почвы, так и за счет микрофлоры, характерной для того или иного жирового субстрата. Перед внесением в почву сливочное масло, бараний и говяжий жир были гомогенизированы путем плавления на водяной бане. Оливковое масло вносили без предварительной обработки. В контрольный образец вносили только воду. После тщательного перемешивания образцы в полиэтиленовых боксах инкубировали в термостате при 25 °С, контролируя влажность.

Липазную активность определяли микропланшетным методом с использованием процедуры гетеромолекулярного обмена [36; 37]. В работе проведено исследование шести липаз, гидролизующих субстраты с различной длиной углеродной цепи: бутират-эстераза С4 (субстрат 4-нитрофенил бутират), октаноат-липаза С8 (субстрат 4-нитрофенил октаноат), додеканоат-липаза С12 (субстрат 4-нитрофенил додеканоат), миристан-липаза С14 (субстрат 4-нитрофенил миристан), пальмитат-липаза С16 (субстрат 4-нитрофенил пальмитат) и стеарат-липаза С18 (субстрат 4-нитрофенил стеарат). Исходя из классификации, ферменты, разрушающие субстраты, состоящие из низших жирных кислот (меньше шести атомов углерода) относятся к эстеразам, тогда как к «истинным» липазам (специфические виды эстераз) относятся ферменты, гидролизующие водно-нерастворимые субстраты, такие как триглицериды (жиры), состоящие из длинноцепочечных высших жирных кислот [13].



## Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены результаты изменения численности липолитических микроорганизмов при внесении в почву жиров в условиях модельного эксперимента.

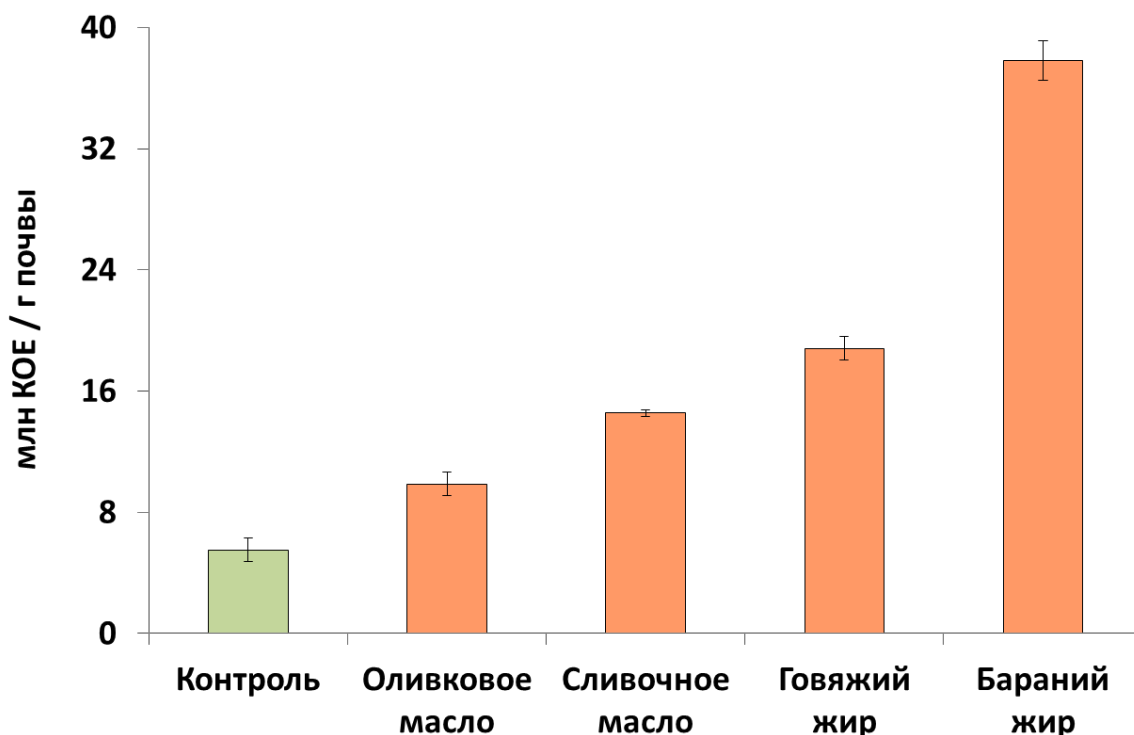


Рис. 1. Численность липолитических микроорганизмов, растущих на твердой питательной среде с Твин-80, в образцах чернозема, инкубированного при комнатной температуре в течение 1 года, после внесения жиров растительного и животного происхождения

Fig. 1. The number of lipolytic microorganisms growing on a solid nutrient medium with Tween-80 in samples of Chernozem soil incubated at room temperature for 1 year after the adding of vegetable and animal fats

Численность липолитических микроорганизмов возрастала в ряду «оливковое масло» – «сливочное масло» – «говяжий жир» – «бараний жир». В варианте с бараньим жиром количество колониеобразующих единиц (КОЕ) достигало 40 млн /г почвы, что в семь раз превышало показатели контрольного варианта. Эти данные подтверждают, что в случае с присутствием бараньего жира в сосудах (как наиболее вероятного источника липидов в диете средневекового населения), мы можем ожидать достоверного возрастания численности колоний липолитиков.

Результаты микробиологических посевов грунта из сосудов позволили выявить следующие закономерности. В 51 образце грунта из ритуальных сосудов раннеаланского времени (рис. 2 А) численность липолитических микроорганизмов в придонном слое заполнения варьировала 0.003 до 1.35 млн. КОЕ г / почвы – на уровне контрольных значений, характерных для верхнего слоя заполнения. Данная группа, составляющая 85% от общего количества проанализированных нами ритуальных сосудов, характеризовалась отсутствием микробиологических следов пищи, содержащей жиры.

В 9 сосудах (рис. 2 Б), где численность липолитических бактерий в придонном слое была высока, в отдельных случаях было отмечено существенное возрастание их

численности также и в верхнем слое, по сравнению с подавляющим большинством аналогичных образцов. Это может быть связано с частичным проникновением питательного субстрата в верхнюю часть сосуда в процессе заполнения его почвой, либо в результате перемешивания грунта почвенной мезофауной. Значения численности липолитических бактерий в придонном слое сосудов из аланских погребений с предполагаемым исходным содержанием пищи достигали 7.1 млн / г почвы и, в целом, были на порядок выше, чем в контрольных образцах. По всей видимости, при наличии жиросодержащего субстрата, имеет место резкое возрастание численности микроорганизмов, ответственных за его разложение, достаточное, чтобы микробиологический след исходного присутствия жира сохранялся на протяжении сотен лет в условиях погребения.

В отличие от численности липолитических бактерий, значения которой в 85% случаев не превышали фоновый уровень, высокая липазная активность выявлялась во многих образцах придонного грунта. При этом синхронное увеличение активности всех липолитических ферментов от С-4 до С-18 показывали только некоторые образцы.

Модельный эксперимент (рисунок 3) показал, что в контрольном варианте не обогащенного жирами современного чернозема активность истинных липаз С-16 и С-18 была в 3 – 10 раз меньше активности эстераз и липолитических ферментов, предпочитающих среднюю длину жирнокислотных цепей. Обогащение этой почвы жирами животного и растительного происхождения стимулировало, прежде всего, активность истинных пальмитат и стеарат-липазы, расщепляющих жирные кислоты с длиной углеродной цепи 16 и 18.

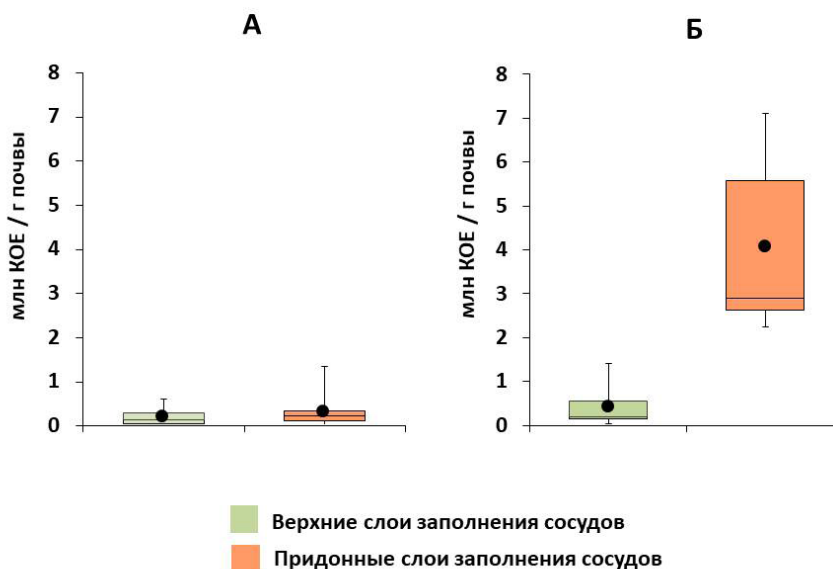


Рис. 2. Численность липолитических микроорганизмов, растущих на твердой питательной среде с Твин-80, в грунтах из 51 пустого сосуда (А) и 9 сосудов с предполагаемым присутствием пищи, содержащей жиры (Б)

Fig. 2. The number of lipolytic microorganisms growing on a solid nutrient medium with Twin-80 in soils of 51 empty vessels (A) and 9 vessels with the presumed presence of food containing fats (B)

Активность миристет-липазы С-14 и додеканоат-липазы С-12 в варианте с растительным маслом оставалась на уровне контроля, а бутират-эстераза С-4 и октаноат-липаза С-8, в целом, давали минимальные отклики, которые были заметны только в варианте с бараньим жиром.

Известно, что активность пальмитат и стеарат-липазы являются основными индикаторами присутствия животных жиров с высоким содержанием пальмитиновой и стеариновой кислоты. Миристет-липаза С-14 может выступать как дополнительный индикатор присутствия бараньего жира, который характеризуется повышенным содержанием миристиновой кислоты по сравнению с другими животными жирами [38]. Кроме того, энзиматические следы миристиновой кислоты могут указывать на жиросодержащий молочный продукт (сыр или сливочное масло) или редкие растительные и животные жиры: кокосовое, арахисовое и мускатное масло, рыбий жир или жир печени [39]. Додеканоат-липаза расщепляет жирную кислоту С-12, входящую в состав молочного жира, пальмового, кокосового и лаврового масла, по названию которого она известна как лауриновая кислота. Хотя вероятность использования редких растительных жиров в погребальном обряде степных скотоводческих культур достаточно низкая, однако продукты переработки молока, особенно сыры, теоретически, должны быть представлены не в меньшей степени, чем варианты с жирами животных.

Липолитический фермент	С4	С8	С12	С14	С16	С18
Контрольный уровень (нмоль 4-НФ/ г почвы час)	44	69	59	88	15	8
Увеличение относительно контрольного уровня (разы)						
Сливочное масло	1	1	2	2	5	6
Говяжий жир	1	1	5	5	15	14
Бараний жир	2	2	5	6	14	14
Оливковое масло	1	1	1	1	3	6

Рис. 3. Активность липолитических ферментов в модельном эксперименте

Fig. 3. Activity of lipolytic enzymes in a model experiment

Об этом свидетельствовали нередкие случаи обнаружения молочнокислых бактерий в грунте со дна сосудов рассматриваемой нами выборки. Однако поиск энзиматических следов молочного жира, к числу которых можно отнести и октаноат-липазу (С-8), усложняется в связи с тем, что липолитические ферменты, способные к расщеплению жирнокислотных цепей средней длины, в большинстве случаев проявляют более широкую субстратную специфичность, занимая промежуточное положение между эстеразами и истинными липазами [40]. Некоторые из них относят к эстеразам, если они способны проявлять активность по отношению к коротким жирнокислотным последовательностям. Поэтому не исключено, что повышенная активность октаноат-липазы С-8 будет связана с ростом концентрации масляной кислоты С-4, которая всегда образуется при порче пищевых продуктов, содержащих жиры,

и может расщепляться не только бутират-эстеразой С-4, но и другими эстеразами, способными к преобразованию различных жирнокислотных цепей, в ограниченном диапазоне их длины. В целом, по результатам модельного эксперимента можно сделать вывод, что для реконструкции содержимого погребальных сосудов наибольший интерес представляют липолитические ферменты с предпочитаемой длиной субстрата более 12 атомов углерода.

На рисунке 4 представлена липазная активность в грунтах со дна аланских погребальных сосудов, в сопоставлении с данными модельного эксперимента, полученными для контрольного варианта современного чернозема, не обогащенного жирами. Липазная активность варьировала от 0 до 100 нмоль 4-НФ / г почвы час. Для истинных липаз С-16 и С-18 было выявлено много низких значений – до 25%, а также экстремально высоких значений – до 15% в пределах выборки, что косвенно свидетельствует о низком фоновом уровне этих ферментов в почве, а также о прямой взаимосвязи их выработки микроорганизмами с поступлением в почву жиросодержащих субстратов. Особенно хорошо проявляется эта закономерность при сопоставлении уровня липазной активности в грунте со дна сосудов и контрольного уровня из модельного эксперимента. Для короткоцепочечных липаз С-4 и С-8 было выявлено близкое соответствие максимальных величин активности с контрольными значениями, без достоверных различий. Для липаз С-12 и С-14 сохранялась высокая степень корреляции максимальных величин с уровнем контроля. И только для истинных липаз 25 и 50% выборки располагались выше контрольного уровня, что свидетельствует об исключительной способности этих ферментов сохраняться в погребальном грунте на протяжении веков, особенно если принять во внимание, что биологическая активность контрольной современной почвы значительно выше, чем в грунтах из погребений.

Активность стеарат-липазы С-18 заметно отличалась от всех остальных случаев. Даже без учета выбросов, ее распределение не было равномерным: средняя величина сдвигалась к максимуму, а значение медианы соответствовало контрольному значению модельного эксперимента. Среди остальных липолитических ферментов, уровень медианы снижался по мере роста углеродной цепи, хотя максимальное значение этого показателя было отмечено для октаноат-липазы С-8. Снижение медианных величин активности липолитических ферментов по мере роста углеродной цепи было плавным, если сравнить его с резким падением контрольных значений в модельном эксперименте. Это может свидетельствовать о сбалансированном фоновом уровне активности липолитических ферментов в грунте на дне сосудов, в отличие от современной почвы с высокой активностью эстераз.

Сопоставление численности липолитических микроорганизмов и активности липолитических ферментов выявило не более 15% сосудов различного типа и происхождения с синхронным увеличением этих показателей. В остальных случаях, когда значения численности липолитиков были низкими, а активность одного или нескольких липолитических ферментов – высокой, наблюдалось разделение всех вариантов на две разнородные группы, одна из которых включала большую часть сосудов из курганного могильника Октябрьский I, а вторая – из Братских 1-х курганов. Такая картина свидетельствует, как мы полагаем, о влиянии условий внутри погребения на

общий фон липазной активности, в пределах каждого могильника. При этом никак не проявляло себя влияние условий погребения на фоновую численность липолитических микроорганизмов. Среднее значение этого показателя в верхних слоях заполнения сосудов из могильника Братские 1-е курганы достоверно не отличалось от аналогичной величины в образцах из могильника Октябрьский I. Не различался средний уровень обилия липолитиков также и в придонных слоях, поскольку выборка оказалась сбалансированной, и доля сосудов с пищей среди пустых сосудов была сходной в обоих могильниках. Такую же закономерность, на уровне могильников, проявляла активность липаз С-12 и С-14. Однако средний уровень бутират-эстеразы С-4, октаноат-липазы С-8 и истинных липаз С-16 и С-18 в сосудах из могильника Братские 1-е курганы был в 2 раза выше, чем в сосудах из могильника Октябрьский I. Как показано на рисунке 4, число экстремально высоких значений липазной активности в грунте со дна сосудов курганного могильника Братские 1-е курганы было в 8 раз выше, по сравнению с могильником Октябрьский I. Максимумы активности всех липолитических ферментов принадлежали сосудам из могильника Братские 1-е курганы. Половина всей выборки выше медианы для вариантов С-4, С-8, С-16 и С-18 также принадлежала преимущественно образцам из этого могильника.

Предполагая наличие фоновых показателей липазной активности в грунте со дна погребальных сосудов, мы, в качестве допущения, рассматривали их как медианные значения активности для каждого из липолитических ферментов. Для проведения итоговой кластеризации, фоновые значения численности липолитиков и активности липаз С-12, С-14, С-16 и С-18, рассчитанные отдельно для групп Братские 1-е курганы и Октябрьский I, вычитались из абсолютных величин всех показателей, при этом отрицательные значения рассматривались как нулевые. Оставшиеся максимумы принимались за 100%, после чего были рассчитаны относительные величины, чтобы избежать искажений вследствие значительных различий в единицах измерения численности липолитических микроорганизмов и липазной активности.

На последнем этапе расчетов, относительные значения численности липолитических бактерий были умножены на коэффициент 2.5. Этот коэффициент был установлен в ходе кластеризации путем подбора, таким образом, чтобы численность микроорганизмов и активность ферментов – показатели, полученные двумя различными методами – были разделены на первом этапе кластеризации. При этом общее число кластеров снижалось, а их размер увеличивался, что позволяло проводить более обобщенный обзор полученных данных. Такой подход не повлиял на соотношение показателей, полученных с помощью одного метода, и в некоторой мере позволил учесть фактор низкой сохранности микроорганизмов в погребениях.

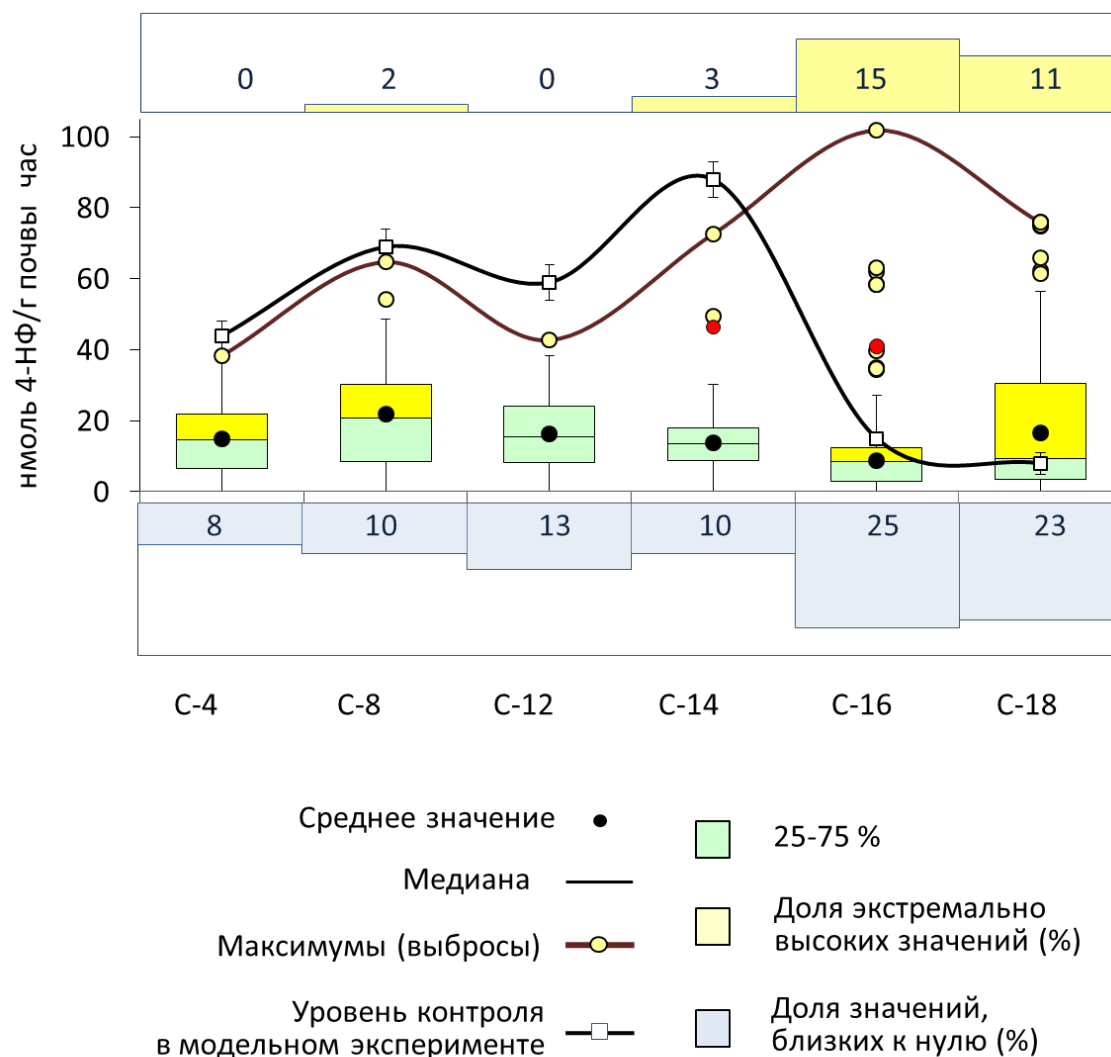


Рис. 4. Активность липолитических ферментов в нижних слоях заполнения погребальных сосудов аланской культуры. Желтым цветом отмечена часть выборки, преимущественно включающая образцы из курганного могильника Братские 1-е курганы, красными точками – отдельные образцы из курганного могильника Октябрьский I.

В подписях к рисунку указано: число атомов углерода – липолитический фермент – жирная кислота с наиболее высоким сродством к ферменту (общепотребительное название жирной кислоты)

*C-4* – бутират-эстераза – бутановая (масляная), *C-8* – октаноат-липаза – октановая (каприловая), *C-12* – додеcanoат-липаза – додекановая (лауриновая), *C-14* – мирилат-липаза – тетрадекановая (миристиновая), *C-16* – пальмитат-липаза – гексадекановая (пальмитиновая), *C-18* – стеарат-липаза – октадекановая (стеариновая)

Fig. 4. The activity of lipolytic enzymes in the lower layers of the filling from the burial vessels of the Alan culture. Yellow color marks the part of the sample, mainly including samples from the burial mound Bratskie 1-e kurgani, red points mark individual samples from the burial mound Oktyabr'skij I.

The captions to the figure indicate: the number of carbon atoms – lipolytic enzyme – fatty acid with the highest affinity for the enzyme (commonly used name of fatty acid).

*C-4* – butyrate-esterase – butane (oil), *C-8* – octanoate-lipase – octane (caprylic), *C-12* dodecanoate-lipase dodecane (lauric), *C-14* – myristate-lipase – tetradecane (myristic), *C-16* – palmitate-lipase – hexadecane (palmitic), *C-18* – stearate-lipase – octadecane (stearic)

Итоговая кластеризованная тепловая карта представлена на рисунке 4. Отдельной группой были выделены сосуды с наибольшими значениями численности липолитических бактерий и липазной активности *C-18*. Это были две кружки, одна из которых была найдена в детском погребении 814 курганного могильника

Октябрьский I, а вторая входила в состав женского погребального инвентаря из кургана 1452 могильника Братские 1-е курганы, (рис. 5, № 1, 2). В грунте со дна этой кружки были отмечены максимальные значения активности липаз С-14 и С-16, а также максимальная скорость роста выделенной из почвы смешанной культуры молочнокислых бактерий и дрожжей.

Следующая группа (рис. 5, № 3-7) включала 5 сосудов различного типа из погребений обоих курганных могильников. В пределах могильника Октябрьский I это были кувшин из кургана 837, а также кувшинчик и миска из кургана 14. Грунт на дне этих сосудов отличался, по сравнению с предыдущей группой, заметным снижением интенсивности всех липидных маркеров, особенно – в миске, где активность липазы С-14 и С-16 практически не отличалась от фонового уровня. Существенное увеличение активности всех липолитических ферментов (кроме активности липазы С-12, не превышавшей уровень фона в пределах рассматриваемого кластера) было отмечено в грунте со дна кувшина из кургана 1452 могильника Братские 1-е курганы. Кувшин стоял во входной яме и использовался в ритуальных целях. Здесь был выявлен активный рост чистой культуры молочнокислых бактерий и их высокая способность к сбраживанию сахаров. Замыкающая кластер миска из кургана 1355 могильника Братские 1-е курганы отличалась синхронным увеличением численности липолитических бактерий и активности пальмитат-липазы С-16. В целом, рассматриваемый кластер погребальных сосудов с пищей составлял 12% выборки. Выделение молочнокислых бактерий из некоторых сосудов, на фоне высокой активности липаз и численности липолитических бактерий, свидетельствует о продуктах ферментации молока с высоким содержанием жира.

Следующий крупный кластер, охватывающий несколько групп, включающих преимущественно сосуды из погребений курганного могильника Братские 1-е курганы, характеризовался высокой активностью стеарат-липазы С-18, при исчезающе малых значениях численности липолитических бактерий. В первой группе (рис. 5, № 8-10) сохранялась активность пальмитат-липазы С-16, и, в отдельных случаях, проявлялась активность липаз С-14 и С-12. В эту группу входили кувшин из кургана 1469, горшок из кургана 1457 и кружка из кургана 1383. В следующей группе, включающей кувшинчик и миску из курганов 1374 и 1373, обнаруживался слабый микробный след (рис. 5, № 11, 12). В трех подгруппах, расположенных ниже, последовательно проявлялась активность липаз С-14, С-16 и С-12 (рис. 5, № 13-20).

Высокие значения численности липолитических бактерий и липазной активности С-16, при снижении активности липазы С-18 до фонового уровня, были выявлены в отдельной группе, включающей кувшин, стоявший во входной яме и используемый для ритуальных целей, из кургана 1443 (рис. 5, № 21) и кружку из мужского погребального инвентаря в кургане 1425 (рис. 5, № 22).

Следующий кластер, где энзиматический след преимущественно был представлен активностью додеканоеат-липазы С-12, включал 8 сосудов (рис. 5, № 23-30). Эта группа включала кувшинчики, кувшины и кружки – по одному экземпляру от каждого могильника, а также миску из кургана 1395 могильника Братские 1-е курганы (рис. 5, № 30) и корчагу, входящую в состав женского погребального инвентаря из кургана 815 курганного могильника Октябрьский I (рис. 5, № 29). В грунте из корчаги все показатели снижались до фонового уровня, кроме активности додеканоеат-липазы С-12, которую можно рассматривать как показатель присутствия молочного жира. С другой стороны, из грунта на дне корчаги без активации высевались амилолитические бактерии, потребляющие крахмал, а интенсивность роста выделенных отсюда

молочнокислых бактерий была низкой, по сравнению с сосудами, рассмотренными выше. Это может свидетельствовать о том, что в корчаге находился зерновой продукт, стимулировавший в почве развитие микроорганизмов, использующих крахмал в качестве источника питания. В целом, биологическая активность в грунте из этого сосуда была на порядок ниже, чем в рассмотренных выше вариантах с синхронным увеличением численности липолитиков и истинных липаз. Сохранность амилолитических и молочнокислых бактерий здесь может свидетельствовать о наличии растительной пищи или алкогольного продукта, изготовленного на основе зерна. Это предположение можно отнести ко всем сосудам кластера, поскольку их типы – кувшины, кувшинчики и кружки – не исключают возможность содержания пива. Характерно, что миска из кургана 1395 могильника Братские 1-е курганы была помещена в отдельную подгруппу (рис. 5, № 30), поскольку, наряду с активностью липазы С-12, здесь повышалась активность липаз С-14 и С-16, свидетельствуя о наличии жиров животного происхождения.

В корчаге, найденной в кургане 784 (рис. 5, № 31) а также в кувшинчике из мужского погребального инвентаря в кургане 802 могильника Октябрьский I (рис. 5, № 32) выявлялось слабое увеличение активности мирилат-липазы С-14. Из грунта со дна кувшинчика были выделены молочнокислые бактерии, тогда как амилолитические микроорганизмы здесь не были обнаружены.

Следующие тринадцать сосудов, с показателями на уровне или ниже уровня фона (рис. 5, № 33-45), составляющие 22% выборки, были пустыми или содержали воду. В этот кластер входили четыре кувшина и четыре кувшинчика из погребений курганного могильника Октябрьский I, а также кувшин, кувшинчик и три кружки из погребений курганного могильника Братские 1-е курганы.

Оставшиеся сосуды составляли три кластера, первый из которых характеризовался низкими микробиологическими и энзиматическими показателями (рис. 5, № 46-52). В этой группе выделялся кувшин из мужского погребального инвентаря в кургане 1452 курганного могильника Братские 1-е курганы (рис. 5, № 52). В грунте со дна этого кувшина синхронно увеличивались значения активности липаз С-18 и С-16, тогда как остальные липазы активности не проявляли. Активность бутират-эстеразы С-4 и октаноат-липазы С-8, не представленные на данной карте, здесь также не превышали фонового уровня, что представляло достаточно редкий случай для сосудов с высокой активностью истинных липаз. Рассматриваемый кувшин был найден в парном погребении. Кружка в составе женского инвентаря этого погребения, а также кувшин, стоявший во входной яме и используемый в ритуальных целях, общий для всего погребального комплекса, отличались максимальными значениями липазной активности С-14 и С-16, занимая вторую и шестую позиции тепловой карты. Однако и мужской кувшин не был пустым, поскольку из грунта с его дна удалось выделить смешанные культуры молочнокислых бактерий и дрожжей, сохранившихся в почве и проявивших достаточно высокую активность роста, хотя и меньшую, чем в кружке и кувшине. Все эти культуры оказались способны к сбраживанию сахаров. Мы полагаем, что отсутствие заметных признаков жира в кувшине из того же самого погребения, где другие два сосуда характеризовались экстремальным уровнем большинства показателей, может свидетельствовать об использовании алкогольного напитка, например, пива. Вероятно, семья из кургана 1452 курганного могильника Братские 1-е курганы, имела достаточно высокий общественный статус, что отражается в размерах ровика и погребального сооружения, а также в характере инвентаря.



Следующая группа погребальных сосудов отличалась максимальными величинами активности додеканоат-липазы С-12 на фоне низкой активности миристетат и пальмитат-липазы С-14 и С-16 (рис. 5, № 53-55), что свидетельствует о большой вероятности исходного присутствия молочного жира. Однако в кружке 1474 (рис. 5, № 55), близкой по показателям к корчаге из кургана 815 курганного могильника Октябрьский I (рис. 5, № 29) не исключено присутствие зернового продукта.

В сосудах последней группы, с синхронным увеличением активности липаз С-12 и С-18 (рис. 5, № 56-60), скорее всего, присутствовали животные жиры. В этих группах практически все ритуальные сосуды – кувшины, кувшинчики и кружки – предполагают использование, как мясного бульона, так и молока.

Таким образом, из 60 сосудов раннего этапа аланской культуры, 38 (63,3% выборки) содержали высококалорийные продукты питания. Среди них было выявлено 9 сосудов с синхронным увеличением численности липолитических микроорганизмов и липазной активности (15% выборки) и 13 сосудов с преобладающей активностью липазы С-18, как показателя наличия животных жиров (22% выборки).

Два кластера ритуальных сосудов, где предполагается присутствие молочного жира и /или зернового растительного продукта, включали 16 сосудов и составляли 26%. Они характеризовались преобладающей активностью додеканоат-липазы С-12. По типу сосудов, молочная каша могла присутствовать в мисках из кургана 1395 курганного могильника Братские 1-е курганы (рис. 5, № 30) и кургана 817 могильника Октябрьский I (рис. 5, № 60). В корчаге из кургана 815 могло содержаться пиво.

В 9 сосудах, составляющих 15% выборки и характеризующихся низкими, но превышающими уровень контроля величинами численности липолитических бактерий и липазной активности, остается вероятность выделения молочнокислых бактерий и дрожжей, связанных с ферментацией молока и алкогольных напитков. К настоящему времени, это установлено для сосудов из мужского погребального инвентаря – кувшина из кургана 1452 курганного могильника Братские 1-е курганы и кувшинчика из кургана 802 могильника Октябрьский I.

Доля сосудов, которые по данным комплексного микробиологического и энзимологического анализа оказались пустыми или содержали воду, составляла 22% и была представлена преимущественно кувшинами и кувшинчиками.

На уровне тенденции можно отметить, что наиболее жирная пища содержалась в сосудах из детского и женского погребального инвентаря, а также в кувшинах, стоявших во входных ямах и используемых в ритуальных целях.

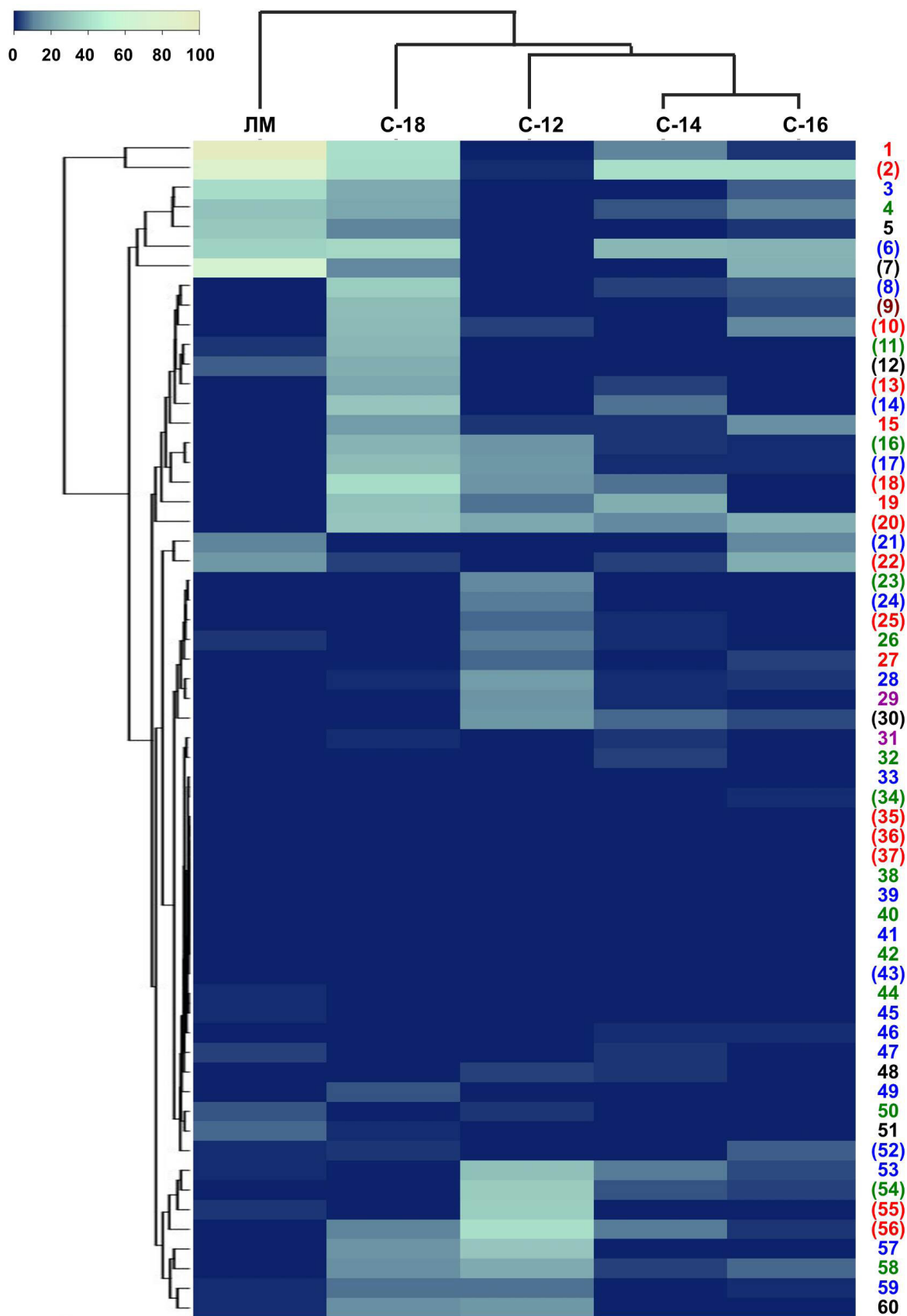


Рис. 5. Кластеризованная тепловая карта численности липолитических микроорганизмов и липазной активности в сосудах из погребений аланской культуры

*ЛМ* – липолитические микроорганизмы, *С-18* – стеарат-липаза, *С-12* додеканоат-липаза, *С-14* – миристит-липаза *С-16* – пальмитат-липаза.

Миски на рисунке обозначены черным цветом, кружки – красным, кувшины – синим, кувшинчики – зеленым, корчаги – фиолетовым, горшок – коричневым. В скобках отмечены сосуды из курганного могильника Братские курганы.

В подписях к рисунку сосуды обозначены следующим образом: *№ на рисунке*, № кургана и/или погребения, тип сосуда (номер сосуда в погребении).

Могильник Октябрьский I:

**1** – К. 814, кружка (1); **3** – К. 837, кувшин (2); **4** – К. 14, кувшинчик (2); **5** – К. 14, миска (8); **15** – К. 14, кружка (9); **19** – К. 810, двуручная кружка (12); **26** – К. 815, кувшинчик (2); **27** – К. 793, кружка (8); **28** – К. 828, кувшин (1); **29** – К. 815, корчага (5); **31** – К. 784, корчага (1); **32** – К. 802, кувшинчик (3); **33** – К. 849, кувшин (1); **38** – К. 768, кувшинчик (3); **39** – К. 838, П. 1, кувшин (1); **40** – К. 838, П. 1, кувшинчик (2); **41** – К. 848, кувшин (1); **42** – К. 849, кувшинчик (2); **44** – К. 842, кувшинчик (14); **45** – К. 837, П. 1 кувшин (1); **46** – К. 829, кувшин (1); **47** – К. 842, кувшин (15); **48** – К. 863, миска (1); **49** – К. 826, кувшин (1); **50** – К. 861, кувшинчик (1); **51** – К. 857, миска (1); **53** – К. 831, двуручный кувшин (1); **57** – К. 832, кувшин (3); **58** – К. 805, кувшинчик (3); **59** – К. 822, кувшин (1); **60** – К. 817, миска (1).

Могильник Братские 1-е Курганы-1:

**2** – К. 1452, кружка (28); **6** – К. 1452, кувшин (1); **7** – К. 1355, миска; **8** – К. 1469, кувшин (2); **9** – К. 1457, горшок (5); **10** – К. 1383, кружка (3); **11** – К. 1374, кувшинчик (1); **12** – К. 1373, миска (2); **13** – К. 1458, кружка (10); **14** – К. 12, П. 1, двуручный кувшин (1); **16** – К. 1378, кувшинчик (2); **17** – К. 1374, кувшин (3, повреждён); **18** – К. 1383, кружка (2); **20** – К. 1412, кружка (6); **21** – К. 1443, кувшин (1); **22** – К. 1425, кружка (2); **23** – К. 1389, кувшинчик (1); **24** – К. 1402, кувшин (4); **25** – К. 1401, кружка (1); **30** – К. 1395, миска (2); **34** – К. 1373, кувшинчик (1); **35** – К. 60, кружка (2); **36** – К. 1432, кружка (6); **37** – К. 1371, кружка (1); **43** – К. 1413, кувшин (1); **52** – К. 1452, кувшин (25); **54** – К. 60, кувшинчик (1); **55** – К. 1474, кружка (1); **56** – К. 1456, кружка (2).

Fig. 5. Clustered heat map of the number of lipolytic microorganisms and lipase activity in vessels from burials of the Alanian culture.

*LM* – lipolytic microorganisms, *С-18* – stearate-lipase, *С-12* dodecanoate-lipase, *С-14* – myristate-lipase, *С-16* – palmitate-lipase.

The bowls in the drawing are indicated in black, the mugs are red, the jugs are blue, the small jugs are green, the korchags are violet, the pot is brown. Vessels from the Kurgan cemetery Bratskie 1-e kurgani are marked in parentheses.

In the captions to the drawing, the vessels are indicated as follows: *No. in the figure*, No. of the kurgan, type of vessel (number of vessel in the burial).

Kurgan cemetery Oktyabr'skij I

**1** – К. 814, mug (1); **3** – К. 837, small jug (2); **4** – К. 14, jug (2); **5** – К. 14, bowl (8); **15** – К. 14, mug (9); **19** – К. 810, two-handed mug (12); **26** – К. 815, small jug (2); **27** – К. 793, mug (8); **28** – К. 828, jug (1); **29** – К. 815, korchaga (5); **31** – К. 784, korchaga (1); **32** – К. 802, small jug (3); **33** – К. 849, jug (1); **38** – К. 768, small jug (3); **39** – К. 838, item 1, jug (1); **40** – К. 838, burial 1, small jug (2); **41** – К. 848, jug (1); **42** – К. 849, small jug (2); **44** – К. 842, small jug (14); **45** – К. 837, burial 1, jug (1); **46** – К. 829, jug (1); **47** – К. 842, jug (15); **48** – К. 863, bowl (1); **49** – К. 826, jug (1); **50** – К. 861, small jug (1); **51** – К. 857, bowl (1); **53** – К. 831, two-handed jug (1); **57** – К. 832, jug (3); **58** – К. 805, small jug (3); **59** – К. 822, jug (1); **60** – К. 817, bowl (1).

Kurgan cemetery Bratskie 1-e kurgani

**2** – К. 1452, mug (28); **6** – К. 1452, jug (1); **7** – К. 1355, bowl; **8** – К. 1469, jug (2); **9** – К. 1457, pot (5); **10** – К. 1383, mug (3); **11** – К. 1374, small jug (1); **12** – К. 1373, bowl (2); **13** – К. 1458, mug (10); **14** – К. 12, burial 1, two-handed jug (1); **16** – К. 1378, small jug (2); **17** – К. 1374, jug (3, damaged); **18** – К. 1383, mug (2); **20** – К. 1412, mug (6); **21** – К. 1443, jug (1); **22** – К. 1425, mug (2); **23** – К. 1389, small jug (1); **24** – К. 1402, jug (4); **25** – К. 1401, mug (1); **30** – К. 1395, bowl (2); **34** – К. 1373, small jug (1); **35** – К. 60, mug (2); **36** – К. 1432, mug (6); **37** – К. 1371, mug (1); **43** – К. 1413, jug (1); **52** – К. 1452, jug (25); **54** – К. 60, small jug (1); **55** – К. 1474, mug (1); **56** – К. 1456, mug (2).

## Заключение

Исследования 60 сосудов из погребений раннего этапа аланской культуры выявили синергетический эффект при использовании методов оценки численности липолитических бактерий и активности ряда липолитических ферментов. Число сосудов, где в придонном грунте сохранились липолитические микроорганизмы, составляло 15% выборки. Здесь наблюдалось синхронное увеличение их численности и липазной активности. В остальных сосудах микробный след практически не сохранялся, однако оставался энзиматический след. Кластер с наибольшей вероятностью содержания животных жиров составлял 22 % всех сосудов и отличался преобладающей активностью стеарат-липазы С-18. Два кластера, где предполагались молочный жир и/или зерновой растительный продукт, составляли 26% выборки. Грунт со дна этих сосудов характеризовался преобладающей активностью додеканоат липазы С-12. В 15% ритуальных сосудов с низкими микробиологическими и энзиматическими показателями, могут, как показано для некоторых из них, сохраняться молочнокислые бактерии и дрожжи, связанные с ферментацией пищевых продуктов. Только в 22% выборки все показатели были ниже фонового уровня, что позволило идентифицировать эти сосуды как пустые или содержащие воду.

Таким образом, можно заключить, что продукты с высоким содержанием жира широко использовались в погребальном обряде раннего этапа аланской культуры.

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант 22-28-01725. Авторы выражают благодарности археологам Р.Г. Магомедову, М.В. Кривошееву, Ф.С. Дзутцеву, Х.М. Мамаеву, З.П. Кадзаевой, М.В. Сайпудинову за консультации и содействие в проведении исследований.

**Acknowledgements.** The study was carried out with the financial support of RSF foundation, grant project 22-28-01725. The authors would like to express their gratitude to the archeologists R.G. Magomedov, M.V. Krivosheev, F.S. Dzutsev, H.M. Mamaev, Z.P. Kadzaev, M.V. Saipudinov for their consultations and cooperation in conducting the research.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожидаев В.М., Сергеева Я.Э., Зайцева И.Е., Яцишина Е.Б. Идентификация остатков погребальной пищи в глиняных лепных сосудах методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 58. № 4. С. 146-155.
2. Чернышева Е.В., Борисов А.В., Малашев В.Ю. Микробиологический подход к реконструкции исходного присутствия жиров в сосудах из погребений аланской культуры // Краткие сообщения Института археологии. 2021. №. 263. С. 105–116. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.105-116
3. Чернышева Е.В., Каширская Н.Н., Дуцанова К.С. Почвенные биохимические индикаторы присутствия жира в различных археологических контекстах // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2023. (в печати).
4. Whelton H.L., Hammann S., Cramp L.J.E., Dunne J., Roffet-Salque M., Evershed R.P. A call for caution in the analysis of lipids and other small biomolecules from

## REFERENCES

1. Pozhidaev VM., Sergeeva YaE., Zajtseva IE., Yatsishina EB. Identification of remains of burial food in clay molded vessels by GC-MS method. *Butlerov's reports*. 2019, 58: 146-155. (In Russ.)
2. Chernysheva EV., Borisov AV., Malashev VYu. Microbiological approach to the reconstruction of the initial presence of fats in vessels from the burials of the Alanian culture. *Brief reports of the Institute of Archaeology*. 2021, 263: 105-116. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.263.105-116. (In Russ.)
3. Chernysheva E.V., Kashirskaya N.N., Dushchanova K.S. Soil biochemical indicators of fat in various archeological contexts. *Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography*. 2023, in press. (In Russ.)
4. Whelton HL., Hammann S., Cramp L.J.E., Dunne J., Roffet-Salque M., Evershed RP. A call for caution in the analysis of lipids and other small biomolecules from archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science*. 2021, 132: 105397. DOI: 10.1016/j.jas.2021.105397

archaeological contexts // *Journal of Archaeological Science*. 2021. V. 132. P. 105397. DOI: 10.1016/j.jas.2021.105397

5. Qanbari-Taheri N., Karimy A.H., Holakooei P., Kobarfard F. Organic residue analysis of Iron Age ceramics from the archaeological site of Kanizirin, western Iran // *Archaeometry*. 2020. V. 62. P. 612-625. DOI: 10.1111/arc.12541

6. Manzano E., García A., Cantarero S., García D., Morgado A., Vilchez J.L. Molecular and isotopic analyses on prehistoric pottery from the Virués-Martínez cave (Granada, Spain) // *Journal of Archaeological Science: Report*. 2019. V. 27. P. 101929. DOI: 10.1016/j.jasrep.2019.101929

7. Sachan S., Singh A. Lipase enzyme and its diverse role in food processing industry // *Everyman's Science*. 2015. V. 4. P. 214-218.

8. Xiao F., Li Z., Pan L. Application of microbial lipase and its research progress // *Progress in Applied Microbiology*. 2018. V. 1. №. 1.

9. Lopez C., Briard-Bion V., Ménard O., Beaucher E., Rousseau F., Fauquant J., Leconte N., Robert B. Fat globules selected from whole milk according to their size: Different compositions and structure of the biomembrane, revealing sphingomyelin-rich domains // *Food Chemistry*. 2011. №. 2. V. 125. P. 355-368. 10.1016/j.foodchem.2010.09.005

10. Deeth H. C. Enzymes exogenous to milk in dairy technology: Lipases // *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2022. P. 640 – 647. 10.1016/B978-0-12-818766-1.00225-7

11. Gupta R., Rath P., Bradoo S. Lipase mediated upgradation of dietary fats and oils // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2003. №. 6. V. 43. P. 635-644. 10.1080/10408690390251147

12. Negi S. Lipases: A promising tool for food industry // *Green Bio-processes*. – Springer, Singapore. 2019. P. 181-198.

13. Casas-Godoy L., Duquesne S., Bordes F., Sandoval G., Marty A. Lipases: an overview // *Methods of molecular biology*. 2012. V. 861. P. 3-30. DOI: 10.1007/978-1-61779-600-5\_1

14. Verma S., Meghwanshi G. K., Kumar R. Current perspectives for microbial lipases from extremophiles and metagenomics // *Biochimie*. 2021. V. 182. P. 23-36. 10.1016/j.biochi.2020.12.027

15. Chandra, P., Singh, R., Arora, P. K. Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review // *Microbial Cell Factories*. 2020. V. 19. №. 1. P. 1-42. 10.1186/s12934-020-01428-8

16. Godtfredsen S. E. Microbial lipases // *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer, Dordrecht, 1990. P. 255-274.

17. Venkatesagowda, B., Ponugupaty, E., Barbosa, A. M., Dekker, R. F. Diversity of plant oil seed-associated fungi isolated from seven oil-bearing seeds and their potential for the production of lipolytic enzymes // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. №. 1. V. 28. P. 71-80. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0793-4>

18. Sztajer H., Maliszewska I., Wiczorek J. Production of exogenous lipases by bacteria, fungi, and actinomycetes // *Enzyme and Microbial Technology*. 1988. №. 8. V. 10. P. 492-497.

19. Ke, G. R., Lai, C. M., Liu, Y. Y., & Yang, S. S. Inoculation of food waste with the thermo-tolerant

5. Qanbari-Taheri N., Karimy A.H., Holakooei P., Kobarfard F. Organic residue analysis of Iron Age ceramics from the archaeological site of Kanizirin, western Iran. *Archaeometry*. 2020, 62:612-625. DOI: 10.1111/arc.12541

6. Manzano E., García A., Cantarero S., García D., Morgado A., Vilchez J.L. Molecular and isotopic analyses on prehistoric pottery from the Virués-Martínez cave (Granada, Spain). *Journal of Archaeological Science: Report*. 2019, 27:101929. DOI: 10.1016/j.jasrep.2019.101929

7. Sachan S, Singh A. Lipase enzyme and its diverse role in food processing industry. *Everyman's Science*. 2015, 4:214-218.

8. Xiao F., Li Z., Pan L. Application of microbial lipase and its research progress. *Progress in Applied Microbiology*. 2018, 1:1.

9. Lopez C., Briard-Bion V., Ménard O., Beaucher E., Rousseau F., Fauquant J., Leconte N., Robert B. Fat globules selected from whole milk according to their size: Different compositions and structure of the biomembrane, revealing sphingomyelin-rich domains. *Food Chemistry*. 2011, 125: 355-368. 10.1016/j.foodchem.2010.09.005

10. Deeth HC. Enzymes exogenous to milk in dairy technology: Lipases. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2022: 640-647. 10.1016/B978-0-12-818766-1.00225-7

11. Gupta R., Rath P., Bradoo S. Lipase mediated upgradation of dietary fats and oils. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2003, 43: 635-644. 10.1080/10408690390251147

12. Negi S. Lipases: A promising tool for food industry. *Green Bio-processes*. Springer, Singapore, 2019: 181-198.

13. Casas-Godoy L., Duquesne S., Bordes F., Sandoval G., Marty A. Lipases: an overview. *Methods of molecular biology*. 2012, 861: 3-30. DOI: 10.1007/978-1-61779-600-5\_1

14. Verma S., Meghwanshi G. K., Kumar R. Current perspectives for microbial lipases from extremophiles and metagenomics. *Biochimie*. 2021, 182: 23-36. 10.1016/j.biochi.2020.12.027

15. Chandra P., Singh R., Arora PK. Microbial lipases and their industrial applications: a comprehensive review. *Microbial Cell Factories*. 2020, 19: 1-42. 10.1186/s12934-020-01428-8

16. Godtfredsen SE. Microbial lipases. *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer, Dordrecht, 1990: 255-274.

17. Venkatesagowda B, Ponugupaty E., Barbosa AM, Dekker RF. Diversity of plant oil seed-associated fungi isolated from seven oil-bearing seeds and their potential for the production of lipolytic enzymes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012, 28: 71-80. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0793-4>

18. Sztajer H, Maliszewska I, Wiczorek J. Production of exogenous lipases by bacteria, fungi, and actinomycetes. *Enzyme and Microbial Technology*. 1988, 10: 492-497.

19. Ke GR., Lai CM., Liu YY. & Yang SS. Inoculation of food waste with the thermo-tolerant lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost. *Bioresource technology*. 2010, 101: 7424-7431.

20. Reddy GSN., Potrafka RM, Garcia-Pichel F. *Modestobacter versicolor* sp. nov., an actinobacterium from biological soil crusts that produces melanins under oligot-

lipolytic actinomycete *Thermoactinomyces vulgaris* A31 and maturity evaluation of the compost // *Bioresource technology*. 2010. № 19. V. 101. P. 7424-7431

20. Reddy G. S. N., Potrafka R. M., Garcia-Pichel F. *Modestobacter versicolor* sp. nov., an actinobacterium from biological soil crusts that produces melanins under oligotrophy, with emended descriptions of the genus *Modestobacter* and *Modestobacter multiseptatus* Mevs et al. 2000 // *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2007. № 9. V. 57. P. 2014-2020.

21. Fu, Y., Luo, Y., Auwal, M., Singh, B. P., Van Zwieten, L., Xu, J. Biochar accelerates soil organic carbon mineralization via rhizodeposit-activated Actinobacteria // *Biology and Fertility of Soils*. 2022. № 5. V. 58. P. 565-577.

22. Ko. W.H., Wang I.T., Ann P.J. A simple method for detection of lipolytic microorganisms in soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. V. 37. P. 597-599. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.09.006>

23. Popoola B.M. Onilude A. A. Microorganisms Associated with Vegetable Oil Polluted Soil // *Advances in Microbiology*. 2017. V.7 №5. P. 377-386. doi: 10.4236/aim.2017.75031.

24. Lechuga E.G.O., Zapata I.Q., Niño K.A. Detection of extracellular enzymatic activity in microorganisms isolated from waste vegetable oil contaminated soil using plate methodologies // *African Journal of Biotechnology*. 2016. V. 15 № 11. P. 408-416. DOI: 10.5897/AJB2015.14991

25. Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Борисов А.В., Шишлина Н.И. Состояние микробных сообществ под курганными палеопочв пустынно-степной зоны эпохи средней бронзы (XXVII–XXVI вв. до н. э.) в связи с динамикой увлажнения климата // *Почвоведение*. 2017. № 2. С. 239-248. DOI: 10.7868/S0032180X1702006X

26. Khomutova T.E., Borisov A.V. Estimation of microbial diversity in the desert steppe surface soil and buried palaeosol (IV mil. BC) using the TRFLP method // *Journal of Arid Environments*. 2019. V. 171. P. 104004. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104004

27. Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Хомутова Т.Э., Дуцанова К.С., Потапова А.В., Борисов А.В. Археологическая микробиология: теоретические основы, методы и результаты // *Российская археология*. 2021. № 2. С. 7-18. DOI: 10.31857/S086960630010975-1

28. Малашев В.Ю. Отчет об охранно-спасательных исследованиях могильника «Братские 1-е курганы» в зоне строительства магистрального газопровода «Моздок–Грозный» в Надтеречном районе Чеченской Республики в 2018 г. (Открытые листы №№ 410, 411) // *Архив ИА РАН*. Р-1. 2018. № 64940-64949.

29. Малашев В.Ю., 2019. Отчет об охранно-спасательных исследованиях курганных могильников «Октябрьский I» и «Киевский I» в зоне строительства магистрального газопровода «Моздок–Грозный» в Моздокском районе Республики Северная Осетия-Алания в 2019 г. (Открытые листы №№ 2739, 2740) // *Архив ИА РАН*. Р-1. 2019. № 69231-69240.

30. Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г., Дзугев Ф.С., Мамаев Х.М., Кривошеев М.В. Охранно-спасательные исследования могильника «Братские 1-е курганы» на территории Чеченской Республики в 2018 г. // *История, археология и этнография Кавказа*. 2018. № 4. Т. 14. С. 195-206. DOI: 10.32653/CH144195-206

rophy, with emended descriptions of the genus *Modestobacter* and *Modestobacter multiseptatus* Mevs et al. 2000. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2007, 57: 2014-2020.

21. Fu Y, Luo Y, Auwal M, Singh BP., Van Zwieten L, Xu J. Biochar accelerates soil organic carbon mineralization via rhizodeposit-activated Actinobacteria. *Biology and Fertility of Soils*. 2022, 58: 565-577.

22. Ko WH., Wang IT., Ann PJ. A simple method for detection of lipolytic microorganisms in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005, 37:597-599. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.09.006>

23. Popoola BM. Onilude AA. Microorganisms Associated with Vegetable Oil Polluted Soil. *Advances in Microbiology*. 2017, 7: 377-386. doi: 10.4236/aim.2017.75031.

24. Lechuga EGO., Zapata IQ, Niño KA. Detection of extracellular enzymatic activity in microorganisms isolated from waste vegetable oil contaminated soil using plate methodologies. *African Journal of Biotechnology*. 2016, 15: 408-416. DOI: 10.5897/AJB2015.14991

25. Khomutova TE., Demkina TS., Borisov AV., Shishlina NI. State of microbial communities in paleosols buried under kurgans of the desert-steppe zone in the middle Bronze Age (27<sup>th</sup> – 26<sup>th</sup> centuries BC) in relation to the dynamics of climate humidity. *Eurasian soil science*. 2017, 50: 229-238. DOI: 10.1134/S1064229317020065

26. Khomutova TE., Borisov AV. Estimation of microbial diversity in the desert steppe surface soil and buried palaeosol (IV mil. BC) using the TRFLP method. *Journal of Arid Environments*. 2019, 171: 104004. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2019.104004

27. Kashirskaya NN., Chernysheva EV., Khomutova TE., Dushchanova KS., Potapova AV., Borisov AV. [Archeologicheskaya mikrobiologiya: teoreticheskie osnovy, metody i rezul'taty]. *Russian archaeology*. 2021, 2: 7-18. DOI: 10.31857/S086960630010975-1 (In Russ.)

28. Malashev VYu. Open sheets №№ 410, 411 [Otkrytye listy №№ 410, 411]. *Archive IA RAN*. R-1. 2018. № 64940-64949. (In Russ.)

29. Malashev VYu. Open sheets №№ 2739, 2740 [Otkrytye listy №№ 2739, 2740]. *Archive IA RAN*. R-1. 2019. № 69231-69240. (In Russ.)

30. Malashev VU, Magomedov RG, Dzutsev FS, Mamaev HM, Krivosheev MV. Security and rescue research of the burial ground "Brotherly 1st barrows" on the territory of the Chechen Republic in 2018. *History, Archeology and Ethnography of the Caucasus*. 2018;14(4):195-206. doi: 10.32653/CH144195-206 (In Russ.)

31. Malashev V.Y., Magomedov R.G., Dzutsev F.S., et al. Secure-and-preserve research of the Oktyabrskiy I and Kievskiy I Burial Grounds of Early Alanian culture at the Middle Terek in Mozdok District of the Republic of North Ossetia-Alania In 2019. *History, Archeology and Ethnography of the Caucasus*. 2020. 16(2): 439-460. doi: 10.32653/CH162439-460 (In Russ.)

32. Korobov DS., Malashev VYu., Faßbinder J. The Comprehensive Study of the Early Alan Burials of the Fourth Century in North Ossetia *Brief reports of the Institute of Archaeology*. 2020, 260: 441-458. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.260.441-458 (In Russ.)

33. Demkin VA., Demkina TS., Udaltsov SN. Reconstruction of burial food in clay vessels from the kurgan

31. Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г., Дзугцев Ф.С., Мамаев Х.М., Кадзаева З.П. Охранно-спасательные исследования могильников раннего этапа аланской культуры на Среднем Тереке Октябрьский I и Киевский I в Моздокском районе Республики Северная Осетия-Алания в 2019 г. // История, археология и этнография Кавказа. 2020. № 2. Т. 16. С. 439-460. DOI: 10.32653/СН162439-460
32. Коробов, Д. С., Малашев, В. Ю., Фассбиндер, Й. Комплексное исследование раннеаланских захоронений IV в. н. э. в Северной Осетии. Краткие сообщения Института археологии. 2020. № 260. С. 441-458. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.260.441-458
33. Демкин В.А., Демкина Т.С., Удальцов С.Н. Реконструкция погребальной пищи в глиняных сосудах из курганных захоронений с использованием фосфатного и микробиологического методов // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2014. № 2. Т. 25. С. 148-159.
34. Krzywinski, M. & Altman, N. Visualizing samples with box plots. // Nature methods. 2014. № 11. P. 119-120. doi:10.1038/nmeth.2813
35. Zhao, S., Guo, Y., Sheng, Q., Shyr, Y. Advanced heat map and clustering analysis using heatmap3 // BioMed research international. 2014. V. 2014. https://doi.org/10.1155/2014/986048
36. 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. V. 51. P. 707-718. DOI: 10.1071/SR13043.
37. Margenot A.J., Nakayama Y., Parikh S.J. Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples // Soil biology & biochemistry. 2018. V. 125. P. 350-360. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.11.006
38. Игнатовец О.С., Лазарева О.Г., Леонтьев В.Н. Идентификация животного жира по жирнокислотному составу // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2006. № 1. Т. 1. С. 257-260.
39. Касторных М., Кузьмина В., Пучкова Ю. Товароведение и экспертиза пищевых жиров, молока и молочных продуктов. Litres: 2022. 327 с.
40. Akram, F., Mir, A. S., Roohi, A. An Appraisal on Prominent Industrial and Biotechnological Applications of Bacterial Lipases //Molecular Biotechnology. 2022. C. 1-23. https://doi.org/10.1007/s12033-022-00592-z
- burials with use of phosphate and microbiological methods. *Bulletin of Archeology, Anthropology and Ethnography*. 2014, 25: 148-159. (In Russ.)
34. Krzywinski M. & Altman N. Visualizing samples with box plots. *Nature methods*. 2014, 11: 119-120. doi:10.1038/nmeth.2813
35. Zhao S., Guo Y., Sheng Q., Shyr Y. Advanced heat map and clustering analysis using heatmap3. *BioMed research international*. 2014, 5: 427-438 https://doi.org/10.1155/2014/986048
36. Cowie A., Lonergan, V.E., Rabbi FSM., Fornasier F., Macdonald C., Harden S., Kawasaki A., Brajesh K., Singh BK. The impact of carbon farming practices on soil carbon in northern New South Wales. *Soil Research*. 2013, 51: 707-718. DOI: 10.1071/SR13043.
37. Margenot AJ., Nakayama Y., Parikh SJ. Methodological recommendations for optimizing assays of enzyme activities in soil samples. *Soil biology & biochemistry*. 2018, 125: 350-360. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.11.00638. Ignatovets OS., Lazareva OG., Leontyev VN. Identification of animal fat by fatty acid composition. *Proceedings of the Belarusian State University. Series: Physiological, biochemical and molecular basis of functioning of biosystems*. 2006, 1: 257-260. (In Russ.)
39. Kastornyh M., Kuzmina V., Puchkova Yu. *Commodity research and examination of edible fats, milk and dairy products*. Litres: 2022.(In Russ.)
40. Akram F., Mir AS., Roohi A. An Appraisal on Prominent Industrial and Biotechnological Applications of Bacterial Lipases. *Molecular Biotechnology*. 2022, C. 1-23. https://doi.org/10.1007/s12033-022-00592-z

Поступила в редакцию 31.10.2022

Принята в печать 05.02.2023

Опубликована 30.03.2023

Received 31.10.2022

Accepted 105.02.2023

Published 30.03.2023