

EDN: JSRKNO

УДК 577.121

Fatty Acid Composition of a Pottery Vessel from the Bronze Age Settlement of Elchimo-1 (Siberia, Angara Region) as an Indicator of the Ancient Human Diet

**Anastasia K. Okrugina^a, Anatoly N. Boyandin^b,
Pavel V. Mandryka^a and Denis Y. Rogozin^b**

*^aSiberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

*^bInstitute of Biophysics SB RAS
Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 13.03.2024, received in revised form 03.09.2024, accepted 12.09.2024

Abstract. The research of the diet of ancient people provides valuable information about the conditions of their habitat in a certain area and climate changes, which determine the shift in types of economic activity of various ancient cultures. Certain components of food products, particularly fatty acids and other lipids, are adsorbed into the walls of pottery pots used for food preparation, remaining unchanged for millennia. Modern chromatographic methods make it possible to determine the quantitative and qualitative composition of these substances and, thus, assess the components of the diet of the ancient individual that used the vessel. In this study, the composition of fatty acids adsorbed into the walls of a clay vessel found at the Elchimo-1 site in the Lower Angara region (Krasnoyarsk Krai) in layers corresponding to the Bronze Age was identified using gas chromatography. The composition of fatty acids demonstrated that the vessel contained markers of ruminant animals (moose, roe deer, noble deer, northern deer). Additionally, other products were present, the identification of which requires further research. The obtained results suggest that that vessel was used for preparing various foods; however, the proportions of plant-based food and fish products were relatively low.

Keywords: fatty acids, gas chromatography, Bronze Age, pottery, lipid residue analysis, biomarkers.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: rogozin@ibp.ru

ORCID: 0000-0002-9190-2792 (Boyandin A.); 0000-0002-8647-3823 (Mandryka P.); 0000-0002-9350-2936 (Rogozin D.)

Acknowledgements. The research was financially supported by the State Assignment of the Institute of Biophysics SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS. The number of this research is FWES-2024–0024. This research is also part of the scientific program of the Laboratory of Archaeology of Yenisei Siberia at the Siberian State University.

Citation: Okrugina A. K., Boyandin A. N., Mandryka P. V., Rogozin D. Y. Fatty acid composition of a pottery vessel from the Bronze Age settlement of Elchimo-1 (Siberia, Angara region) as an indicator of the ancient human diet. *J. Sib. Fed. Univ. Biol.*, 2024, 17(3), 337–347. EDN: JSRKN0



Жирнокислотный состав керамического сосуда стоянки бронзового века Ельчимо-1 (Сибирь, Приангарье) как индикатор пищевого рациона древнего человека

**А. К. Округина^а, А. Н. Бояндин^б,
П. В. Мандрыка^а, Д. Ю. Rogozin^б**

*^аСибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск*

*^бИнститут биофизики СО РАН
ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. Выяснение диеты древних людей дает ценную информацию об условиях их обитания в данной местности, а также об изменениях климата, обуславливающих смену типов хозяйственной деятельности различных древних культур. Некоторые компоненты пищевых продуктов, в частности жирные кислоты, а также другие липиды, адсорбируются в стенки керамических сосудов, используемых для приготовления пищи, и сохраняются в неизменном виде в течение тысячелетий. С помощью современных методов хроматографии становится возможным определить количественный и качественный состав этих веществ и тем самым оценить особенности диеты древнего человека, использовавшего данный сосуд. В настоящей работе с помощью газовой хроматографии выявлен состав жирных кислот, адсорбированных в стенки глиняного сосуда, найденного на стоянке Ельчимо-1 в Нижнем Приангарье (Красноярский край) в слоях, соответствующих бронзовому веку. На основе состава жирных кислот можно утверждать, что в сосуде присутствуют маркеры жвачных животных (лося, косули, благородного оленя, северного оленя). Кроме того, присутствовали и другие продукты, идентификация которых требует дальнейших исследований. Полученные результаты позволяют предполагать, что данный сосуд использовался для приготовления разной пищи, однако преобладала мясная, а доля растительной пищи и продуктов ихтиофауны относительно низка.

Ключевые слова: жирные кислоты, газовая хроматография, бронзовый век, керамика, анализ липидных остатков, биомаркеры.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств Государственного задания Института биофизики СО РАН, обособленного подразделения ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, номер темы FWES-2024–0024, а также научной программы Лаборатории археологии Енисейской Сибири ГИ СФУ.

Цитирование: Округина, А. К. Жирнокислотный состав керамического сосуда стоянки бронзового века Ельчимо-1 (Сибирь, Приангарье) как индикатор пищевого рациона древнего человека / А. К. Округина, А. Н. Бояндин, П. В. Мандрыка, Д. Ю. Рогозин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2024. 17(3). С. 337–347. EDN: JSRKNO

Введение

Органические остатки, фиксируемые при археологических раскопках, представлены разнообразными материалами, иногда сохраняются на керамике и инструментах. В последних случаях к таким остаткам относятся ДНК, белки и липиды, которые являются важными биомаркерами. Керамика – наиболее распространенный вид древних предметов на археологических памятниках (Roffet-Salque et al., 2017; Irto et al., 2022). Часто она выступает источником для датировки исследуемых археологических объектов, определением культурных и торговых связей древних обществ. Однако не всегда она представлена целыми сосудами и обладает индивидуальными идентифицирующими признаками, такими как орнамент, клейма, и другими уникальными особенностями. Извлечение и анализ древних органических остатков из керамики позволяют раскрыть информацию о питании древних людей, обработке пищевых продуктов, торговле, а также о способах ведения хозяйства и миграции народов (Regert, 2011).

Исследования нагара керамических сосудов проводятся различными методами, в частности, анализируются фитолитный, спорово-пыльцевой и изотопный состав нагаров (Кузьмин, 2017), а также в настоящее время развиваются методы протеомного анализа (Wilkin et al., 2021).

Эти исследования способствуют более точному пониманию функции того или иного

сосуда в конкретном жилище, а следовательно – помогут выявить особенности быта его обитателей. Применение современных физических и химических методов позволяет идентифицировать органические молекулы, содержащиеся в древних остатках (Мокрушин и др., 2020). Изучая специфику происхождения и их количественное соотношение, можно определить функциональное назначение сосуда: столовая посуда, кухонный горшок, емкость для хранения продуктов, ритуальный сосуд для сжигания благовоний, лампа и т.д.

На сегодняшний день липиды являются одним из основных химических классов веществ, исследуемых в археологической керамике. Липиды представляют собой широкую группу соединений, которые включают жиры, масла, воски, стероиды и различные смолы. Они имеют разнообразную структуру, но большинство из них относительно устойчивы к разложению. Органические молекулы могут сохраняться в виде обугленных или впитавшихся остатков в стенки керамических сосудов, например, в виде нагара. Приготовление пищи приводит к адсорбции жирных кислот в стенках керамических сосудов, где они могут сохраняться на протяжении многих столетий (Evershed et al., 1997). Независимо от их возраста или среды, в которой они хранились, они представляют собой сложные смеси, содержащие многочисленные молекулярные компоненты с широким диапазоном

молекулярной массы, преобразованные в результате деятельности человека и измененные в результате естественного разложения. Доказано, что жирные кислоты могут быть выделены из весьма древних образцов, возрастом до 10–12 тыс. лет (Evershed et al., 1997). Примерно половина проанализированных керамических фрагментов содержит достаточное количество жирных кислот для анализа методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией.

На текущий момент эти методы активно применяются во всем мире (Van de Velde et al., 2019; Parakosta et al., 2019; Азаров, Пожидаев, 2020). Данное направление в археологии является передовым и актуальным, здесь ожидаются значительные научные достижения в обозримом будущем. За последние годы методы анализа этих молекул значительно улучшились, хотя остаются проблемы с обеспечением достоверности результатов и отсутствием искажений из-за присутствия загрязняющих современных биомолекул.

Целью настоящей работы является апробация метода жирнокислотного анализа к древним керамическим сосудам на примере сосуда с конкретной стоянки и получение информации о ежедневном рационе древних обитателей стоянки бронзового века Ельчимо-1 на территории Енисейской Сибири.

Материалы и методы

Объект исследования

Керамический сосуд во фрагментированном состоянии был найден на полу жилища № 1 поселения Ельчимо-1 в ходе археологических работ 2022 года экспедицией Сибирского федерального университета. Этот памятник расположен на берегу реки Ангара напротив п. Пинчуга Богучанского района Красноярского края (рис. 1). Фрагменты сосуда размещались вокруг очага в пределах углубленного жилища округлой формы, которое по конструктивным особенностям и археологическим находкам в нем относит-



Рис. 1. Карта с указанием участка отбора проб керамического сосуда жилища № 1 поселения Ельчимо-1
Fig. 1. A map showing the sampling site of the pottery vessel of house No. 1 in the settlement of Elchimo-1

ся к бронзовому веку (середине II тыс. до н.э.) (Мандрыка, Сенотрусова, 2023).

В период обитания поселка Ельчимо-1, состоящего из четырех жилищ, территория Нижнего Приангарья была заселена группами населения, занимающимися присваивающими формами хозяйствования – охотой, собирательством и рыболовством. Песчаный состав культурного слоя плохо сохранил остеологический материал, в связи с чем при раскопках зафиксированы лишь небольшие фрагменты неопределимых костей. В очаге жилища № 1 фрагментов жженных костей, в том числе рыбьих, также не отмечено.

После визуальной оценки и реконструкции установлено, что сосуд лепился в форме ёмкости (рис. 2), имеет простую открытую баночную форму с округлым дном, объёмом около 6000 мл. В составе формовочной массы обнаружены дресва различных цветов (черная и белая) и округлые зерна песка. На внешней, заглаженной поверхности края сосуда нанесен орнамент в виде наклонных

параллельных прочерченных линий и пояса «жемчужин», выдавленных ямками изнутри. Цвет черепков варьирует от серо-коричневого с преобладанием красноватого оттенка на внутренней стороне до коричневого. На внешней стороне стенок горшка сохранились темные пятна и светлые участки интенсивного прокала, на горловине – следы черной копоти. С внутренней стороны под краем сосуда читается полоса обожженного нагара. Фиксация сосуда в жилище с очагом указывает на его возможное использование для приготовления пищи, т.е. в качестве кухонной посуды.

Отбор проб

Для проведения исследований взяты три фрагмента (образца) керамического сосуда: образец № 1 – край сосуда с нагаром, образец № 2 – край сосуда без нагара, образец № 3 – придонная часть сосуда с нагаром (рис. 3). После извлечения из земли образцы ничем не обрабатывались. Отбор проб кера-



Рис. 2. Керамический сосуд, найденный в полу жилища № 1 поселения Ельчимо-1

Fig. 2. A pottery vessel found on the floor of house No. 1 in the settlement of Elchimo-1



Рис. 3. Фрагменты керамического сосуда с участками отбора проб (видны темными полосами)

Fig. 3. Fragments of a pottery vessel with sampling regions (visible as dark stripes)

мического порошка для анализов осуществлялся с внутренней поверхности каждого образца, путём соскабливания керамического порошка стальным буром. Из образца № 1 была отобрана проба только глубинного слоя, из образцов № 2 и № 3 отбирались по две пробы – одна из поверхностного слоя, вторая – из глубинного.

Анализ жирных кислот

Для анализа проб к навескам 20 мг образцов добавляли по 1 мл метанола и 200 мкл концентрированной серной кислоты, после чего нагревали в закрытых флаконах при температуре 70 °С в течение четырех часов. После нагревания материалов метиловые эфиры жирных кислот были трижды экстрагированы с использованием порций гексана по 4 мл. Гексановые экстракты объединяли и упаривали. Затем остатки были обработаны силирующим агентом с целью превращения непрореагировавших примесей в летучие соединения. Этот процесс включал добавление 20 мкл смеси (99 % N, O-бис(триметилсилил) трифторацетамида и 1 % триметилхлорсилана) и нагревание до температуры 70 °С в течение часа. После этого образцы были повторно выпарены, остатки растворялись в 200 мкл гексана

каждый и подвергались анализу методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (Bondetti et al., 2020).

Данные о липидах получены путем анализа на капиллярной колонке HP-FFAP в газовом хроматографе Agilent 6890N. В качестве газа-носителя использовался гелий, а образцы вводили в количестве 1 мкл с разделением потока 30:1. Температура нагревателя была установлена на уровне 220 °С. Программа работы печи включала следующие режимы: начальная температура – 120 °С, время удержания – 1 минута; нагрев до 180 °С со скоростью 4 °С/мин, время удержания 10 минут; нагрев до 220 °С со скоростью 4 °С/мин, время удержания 12 минут; нагрев до 230 °С со скоростью 10 °С/мин, время удержания 36 минут; общее время анализа составило 85 минут. Идентификация соединений осуществлялась с использованием масс-селективного квадрупольного детектора Agilent 5975С, подключенного к блоку газового хроматографа.

Результаты

Состав жирных кислот

Было выявлено, что исследованные образцы содержат разнообразные соединения с углеродной цепью от 14 до 20 атомов, пре-

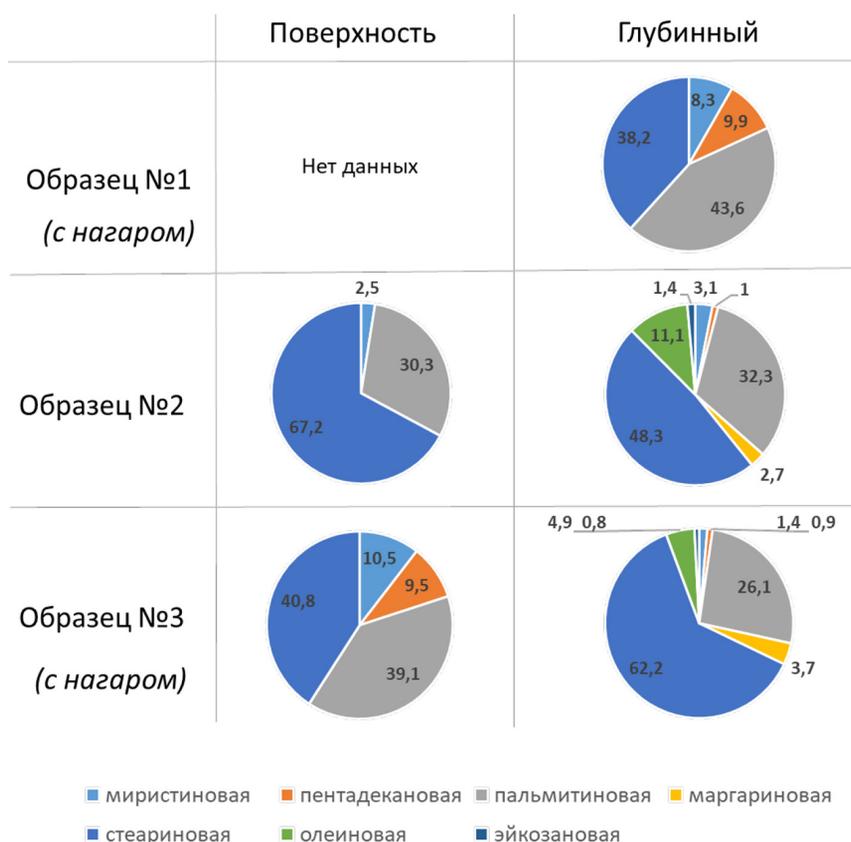


Рис. 4 Состав жирных кислот различных участков керамического сосуда, цифрами показаны проценты от суммы жирных кислот в данном образце

Fig. 4 Fatty acid composition in fragments of the pottery vessel. The numbers show the percentages of the total fatty acids in a given sample

имущественно насыщенные неразветвленные соединения. Во всех без исключения пробах, как в глубинных, так и в поверхностных слоях, были обнаружены следующие кислоты: миристиновая, пальмитиновая и стеариновая (рис. 4). Состав глубинных слоев был более разнообразным: в глубинной пробе образца № 1 обнаружена также пентадекановая кислота, а в глубинных пробах образцов № 2 и № 3 – пентадекановая, маргариновая, олеиновая и эйкозановая (рис. 4).

В количественном отношении во всех без исключения пробах преобладали стеариновая (октадекановая, C18:0) и пальмитиновая (гексадекановая, C16:0) кислоты, их процентное содержание от суммы жирных кислот

в поверхностном слое варьирует от 40,8 % до 67,2 % и от 30,3 % до 39,1 % соответственно, а в глубинном слое от 38,2 % до 62,2 % и от 26,1 % до 43,6 % соответственно (рис. 4). Доля прочих кислот была заметно меньше (рис. 4).

Очевидным сходством обладают глубинная проба образца № 1 и поверхностная проба образца № 3 как по составу, так и по относительному содержанию кислот. В обоих образцах доля пентадекановой кислоты значительно выше, чем в остальных образцах.

В таблице представлены величины соотношений процентного содержания стеариновой кислоты к таковому пальмитиновой кислоты в пробах фрагментов изучаемого сосуда.

Таблица. Соотношение содержания насыщенных жирных кислот

Table. The ratio of saturated fatty acids

Образец	C18:0/C16:0	Классификация ¹
№ 1 (глубинный)	0,88	Животные жиры
№ 2 (глубинный)	1,50	Животные жиры
№ 2 (поверхностный)	2,22	Животные жиры
№ 3 (глубинный)	2,38	Животные жиры
№ 3 (поверхностный)	1,04	Животные жиры
Среднее	1,60	Животные жиры

¹ Согласно (Papakosta et al., 2015)

Обсуждение

Абсолютное преобладание (в сумме более 80 %) пальмитиновой и стеариновой кислот, включая участки на поверхности сосуда, объясняется их широкой распространенностью. Количественное соотношение суммарного содержания пальмитиновой и стеариновой кислот в данных образцах не характерно для жвачных животных, у которых обычно процент таких кислот составляет около 50–60 % (Пожидаев и др., 2016). Считается, что содержание насыщенных кислот (пальмитиновой, стеариновой и миристиновой) остается стабильным в течение всего времени захоронения. Благодаря этому можно использовать соотношение их содержания для определения типа жиров в органических остатках археологических образцов. Поскольку на поверхности сосуда жирные кислоты могут подвергаться окислению, а также привноситься из внешней среды и почв во время залегания, хранения, транспортировки и обработки, основное внимание при интерпретации должно быть уделено тем кислотам, которые обнаруживаются в глубине керамического тела, но отсутствовали на поверхности.

Олеиновая кислота (C18:1) – ненасыщенная жирная кислота, источником которой являются продукты как растительного, так

и животного происхождения. Пентадекановая (C15:0) и маргариновая (C17:0) кислоты образуются в пищеварительном тракте животных под влиянием микроорганизмов (Colonese et al., 2017). Эйкозановая кислота (C20:0) является маркером растительных масел (Van de Velde et al., 2019). Таким образом, наши результаты указывают на преимущественно животное происхождение липидов в образцах.

Учитывая географическую локацию исследуемого памятника в таежной зоне Нижнего Приангарья, можно предположить наличие маркеров таких животных, как лось (*Alces alces*), косуля (*Capreolus pygargus*), благородный олень (*Cervus elaphus*), северный олень (*Rangifer tarandus*), которые обитали в этом районе с неолита до современности. Точное определение вида животного требует дополнительных исследований.

Для точной идентификации возможного хранения молока в сосуде из Ельчимо-1 требуется использование изотопного подхода (Copley et al., 2003; Evershed et al., 2008). В перспективе это может позволить более точно установить присутствие и маркеров ихтиофауны, включая крупных рыб, таких как осетровые, щука и налим, которые традиционно ловились и употреблялись древними людьми данного региона (Дударёк, Лохов, 2014).

Соотношение C18:0/C16:0 кислот используется в качестве показателя животного либо растительного происхождения источника. Считается, что данный показатель выше 0,5 характерен для продуктов животного происхождения, в то время как для растительной пищи и продуктов ихтиофауны этот показатель, как правило, не превышает 0,5 (Papakosta et al., 2015). В нашем случае соотношения содержания стеариновой и пальмитиновой кислот для каждого фрагмента сосуда находятся в диапазоне 0,88–2,38, а среднее значение по всем образцам сосуда составляет 1,6 (табл.), что позволяет сделать вывод о преобладании жиров животного происхождения в данном сосуде.

Заключение

Присутствие более разнообразного спектра жирных кислот в глубинных слоях керамики по сравнению с поверхностными свидетельствует о том, что данный сосуд использовался для приготовления либо хранения пищи, что привело к адсорбции жирных кислот в керамическое тесто.

Список литературы / References

Азаров Е. С., Пожидаев В. М. (2020) Исследования органических остатков на керамике позднего бронзового века лесной полосы Восточной Европы методом ГХ/МС. *Труды VI (XXII) Всероссийского археологического съезда в Самаре, Том 3*. Самара, Самарский государственный социально-педагогический университет, с. 207–208 [Azarov E. S., Pozhidaev V. M. (2020) A study of organic residues on ceramics of the Late Bronze Age in the forest belt of Eastern Europe by GC/MS method. *Proceedings of the VI (XXII) All-Russian Archaeological Congress in Samara, Vol. 3*. Samara, Samara State University of Social Sciences and Education, p. 207–208 (in Russian)]

Дударёк С. П., Лохов Д. Н. (2014) Погребальные комплексы бронзового века Северного Приангарья. Вопросы хронологии и культурной принадлежности. *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология»*, 7: 54–80 [Dudariok S. P., Lokhov D. N. (2014) Burial complexes of the Bronze Age in the Northern Angara region. Chronology problems and cultural identity. *Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series* [Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya»], 7: 54–80 (in Russian)]

Применение метода газовой хроматографии позволило установить, что в данном сосуде, обнаруженном на стоянке бронзового века Ельчимо-1 могли находиться разнообразные продукты преимущественно животного происхождения, включая мясо жвачных животных (лося, косули, благородного оленя, северного оленя). Доля растительной пищи и продуктов ихтиофауны была относительно низкой. Вероятно, обнаружение следов растений затруднено из-за одновременного приготовления разных продуктов, обладающих высоким содержанием масел и жиров, вместе с растениями с низким содержанием масла.

Дальнейшее использование этого метода позволит уточнять археологические реконструкции по палеоэкологии древних обществ, решать задачи вместе с другими естественнонаучными методами. Липидный анализ может применяться для сравнения археологических разновременных образцов с целью выявления исторических закономерностей изменения диеты, изменения хозяйственной деятельности древних людей, их миграций по Сибири и прилегающим территориям.

Кузьмин Я.В. (2017) *Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях*. Томск, Издательский дом Томского государственного университета, 396 с. [Kuzmin Y.V. (2017) *Geoarchaeology: methods of natural sciences in archaeological research*. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 396 p. (in Russian)]

Мандрыка П.В., Сенотрусова П.О. (2023) Жилище бронзового века на поселении Ельчимо-1 в Нижнем Приангарье. *Древности Приенисейской Сибири. Вып. XI*. Красноярск, Сибирский федеральный университет, с. 31–43 [Mandryka P.V., Senotrusova P.O. (2023) Bronze Age house at the settlement Elchimo-1 in the lower Angara region. *Antiquities of Yenisei Siberia. Issue XI*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, p. 31–43 (in Russian)]

Мокрушин И.Г., Красновских М.П., Подосенова Ю.А., Сарапулов А.Н. (2020) Физико-химические методы анализа в археологических исследованиях. *Труды Камской археолого-этнографической экспедиции*, 17: 14–26 [Mokrushin I.G., Krasnovskikh M.P., Podosenova Yu. A., Sarapulov A.N. (2020) Physical-chemical methods of analysis in archaeological research. *Proceedings of the Kama Archaeological and Ethnographic Expedition* [Trudy Kamskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii], 17: 14–26 (in Russian)]

Пожидаев В.М., Зайцева И.Е., Камаев А.В., Вишневецкая М.В., Яцишина Е.Б. (2016) Исследование заполнения сосудов из погребений XI в. на могильнике Шекшово в Суздальском ополье. *Краткие сообщения Института археологии*, 245-II: 226–239 [Pozhidaev V.M., Zaitseva I.E., Kamaev A.V., Vishnevskaya M.V., Yatsishina E.B. (2016) The study of vessel residue from 11th century graves at the Shekshovo cemetery in Suzdal' opolye. *Brief Communications of the Institute of Archaeology* [Kratkie soobshcheniya Instituta arkheologii], 245-II: 226–239 (in Russian)]

Bondetti M., Lucquin A., Savel'ev N. A., Weber A. W., Craig O.E., Jordan P.D. (2020) Resource processing, early pottery and the emergence of Kitoi culture in Cis-Baikal: Insights from lipid residue analysis of an Early Neolithic ceramic assemblage from the Gorelyi Les habitation site, Eastern Siberia. *Archaeological Research in Asia*, 24: 100225

Colonese A.C., Lucquin A., Guedes E.P., Thomas R., Best J., Fothergill B. T., Sykes N., Foster A., Miller H., Poole K., Maltby M., Von Tersch M., Craig O.E. (2017) The identification of poultry processing in archaeological ceramic vessels using in-situ isotope references for organic residue analysis. *Journal of Archaeological Science*, 78: 179–192

Copley M.S., Berstan R., Dudd S.N., Docherty G., Mukherjee A.J., Straker V., Payne S., Evershed R.P. (2003) Direct chemical evidence for widespread dairying in prehistoric Britain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(4): 1524–1529

Evershed R.P., Mottram H.R., Dudd S.N., Charters S., Stott A.W., Lawrence G.J., Gibson A.M., Conner A., Blinkhorn P.W., Reeves V. (1997) New criteria for the identification of animal fats preserved in archaeological pottery. *Naturwissenschaften*, 84(9): 402–406

Evershed R.P., Payne S., Sherratt A.G., Copley M.S., Coolidge J., Urem-Kotsu D., Kotsakis K., Özdoğan M., Özdoğan A.E., Nieuwenhuys O., Akkermans P.M. M. G., Bailey D., Andeescu R.-R., Campbell S., Farid S., Hodder I., Yalman N., Özbaşaran M., Bıçakçı E., Garfinkel Y., Levy T., Burton M.M. (2008) Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding. *Nature*, 455: 528–531

Irto A., Micalizzi G., Bretti C., Chiaia V., Mondello L., Cardiano P. (2022) Lipids in archaeological pottery: A review on their sampling and extraction techniques. *Molecules*, 27(11): 3451

Papakosta V., Oras E., Isaksson S. (2019) Early pottery use across the Baltic—a comparative lipid residue study on Ertebølle and Narva ceramics from coastal hunter-gatherer sites in southern Scandinavia, northern Germany and Estonia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24: 142–151

Papakosta V., Smittenberg R.H., Gibbs K., Jordan P., Isaksson S. (2015) Extraction and derivatization of absorbed lipid residues from very small and very old samples of ceramic potsherds for molecular analysis by gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and single compound stable carbon isotope analysis by gas chromatography–combustion–isotope ratio mass spectrometry (GC–C–IRMS). *Microchemical Journal*, 123: 196–200

Regert M. (2011) Analytical strategies for discriminating archeological fatty substances from animal origin. *Mass Spectrometry Reviews*, 30(2): 177–220

Roffet-Salque M., Dunne J., Altoft D.T., Casanova E., Cramp L.J. E., Smyth J., Whelton H.L., Evershed R.P. (2017) From the inside out: Upscaling organic residue analyses of archaeological ceramics. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16: 627–640

Van de Velde T., Deschepper E., Mestdagh B., De Clercq W., Vandenabeele P., Lynen F. (2019) Lipids, funerals, gifts and feasts. Organic residue analysis on Merovingian ceramics from the Elversele burial field (Belgium). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24: 30–38

Wilkin S., Ventresca Miller A., Fernandes R., Spengler R., Taylor W. T.-T., Brown D. R., Reich D., Kennett D. J., Culleton B. J., Kunz L., Fortes C., Kitova A., Kuznetsov P., Epimakhov A., Zaibert V. F., Outram A. K., Kitov E., Khokhlov A., Anthony D., Boivin N. (2021) Dairying enabled Early Bronze Age Yamnaya steppe expansions. *Nature*, 598: 629–633