

Научная статья

УДК 903.01

DOI 10.25205/1818-7919-2023-22-3-24-35

Изучение свойств кости как топлива по результатам экспериментальных наблюдений

Марина Сергеевна Нестерова

Институт археологии и этнографии
Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

msnesterova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4024-6753>

Аннотация

Статья посвящена результатам экспериментальных исследований свойств кости как топлива. Приводится обоснование и описание экспериментальных костров, способов фиксации параметрических характеристик и их статистический анализ. Проведенная серия экспериментов позволила выявить, что использование костного топлива в качестве дополнительного источника горючего материала увеличивает максимальную температуру горения до 800–900 °С и средний диапазон температуры горения более чем на 100 °С, обеспечивает устойчивую высокую температуру. Было выявлено, что состояние кости (сухая / свежая; целая / фрагментированная), а также ее структура (с преобладанием компактной / губчатой ткани) влияет на ее горючие свойства. Сделан вывод о том, что кость не является универсальным видом топлива, но некоторые ее свойства могли использоваться для операций, требующих устойчивой высокой температуры.

Ключевые слова

костер, эксперимент, виды топлива, кости животных, температурное воздействие

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-78-00115

Для цитирования

Нестерова М. С. Изучение свойств кости как топлива по результатам экспериментальных наблюдений // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2023. Т. 22, № 3: Археология и этнография. С. 24–35. DOI 10.25205/1818-7919-2023-22-3-24-35

Bone as a Fuel: Studying the Properties Based on the Results of Experimental Observations

Marina S. Nesterova

Institute of Archaeology and Ethnography
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russian Federation

msnesterova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4024-6753>

Abstract

Purpose. Burnt animal bones are regularly found at archaeological sites of different eras and territories. One of the popular hypotheses suggests that they were used as fuel. The purpose of this work, based on experimental observations, is to determine the combustion temperature regime of bones different types in comparison with wood.

Results. A series of nine experimental bonfires revealed the following advantages of bone as fuel: 1) increase in the maximum combustion temperature to 800–900 °C versus 600–700 °C in a fire with wood fuel only; 2) increase

© Нестерова М. С., 2023

ISSN 1818-7919

Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2023. Т. 22, № 3: Археология и этнография. С. 24–35

Vestnik NSU. Series: History and Philology, 2023, vol. 22, no. 3: Archaeology and Ethnography, pp. 24–35

in the average range of combustion temperature by more than 100 °C; 3) minimization of temperature fluctuations; 4) ensuring a stable high temperature. We also found that the bones condition (fresh / dry; unbroken / fragmented) and its structure (the predominance of compact / spongy bone tissue) affects its combustible properties. Fresh bones with spongy tissue predominance (the spine, limbs bones) have the best qualities. Dry fragmented bones burn much worse and have no advantages over other fuels.

Conclusion. Thus, animal bones are not universal independent fuel. Some of its properties could be used for operations requiring a stable high temperature. It could be simple activities (cooking, heating, hearth maintenance, drying) and the specialized ones.

Keywords

bonfire, experiment, fuels, animal bones, temperature exposure

Acknowledgements

This work was funded by Russian Science Foundation, project no. 20-78-00115

For citation

Nesterova M. S. Bone as a Fuel: Studying the Properties Based on the Results of Experimental Observations. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*, 2023, vol. 22, no. 3: Archaeology and Ethnography, pp. 24–35. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7919-2023-22-3-24-35

Введение

Кости животных со следами температурного воздействия регулярно встречаются в заполнении очажных устройств на археологических памятниках самых разных эпох и территорий. Однако их интерпретация зачастую остается проблематичной. Традиционно предлагается несколько моделей, объясняющих их нахождение в древних очагах: следы приготовления пищи, утилизация пищевых отходов в гигиенических целях, случайное попадание, ритуальное сжигание, использование кости в качестве топлива [Cain, 2005, p. 874; Costamagno et al., 2009]. О горючих свойствах кости писал еще Геродот: «Заложив мясо в котлы, поднимают кости жертвы и на них производят варку... Кости отлично горят» [1972, с. 61]. Документированное использование кости как топлива было зафиксировано на многочисленных памятниках верхнего палеолита, расположенных в зоне перегляционных тундр [Costamagno et al., 2009; Morin, 2010; Петровичева, Зубавичус, 2020, с. 19]. Обожженные кости встречаются в большом количестве и в очажных устройствах на поселениях эпохи бронзы, раннего железного века на территории Сибири, Казахстана, Прикамья, южнорусских степей, в том числе в местах, богатых лесом [Гришин, 1980, с. 94–95; Чиндина, 1984, с. 137; Venescke et al., 2021].

Изучение обожженных костей из заполнения очажных устройств с целью определения причины их попадания в контекст включает несколько аспектов.

1. Определение видового и морфологического состава костей с целью установить, имел ли место преднамеренный отбор костей по виду или типу костной ткани [Costamagno et al., 2009]. Так, экспериментальные исследования, базирующиеся на изучении верхнепалеолитических памятников Франции, позволили установить, что для использования в качестве топлива лучше всего подходят кости с преобладанием губчатой ткани [Théry-Parisot et al., 2004].

2. Изучение физико-химических свойств кости и их изменений при нагревании с целью определить температуру и условия горения, исходные характеристики кости. Костная ткань представляет собой сложный материал, состоящий из воды, органических белков (преимущественно коллаген I типа) и минеральных соединений (биоапатит) [Solari et al., 2015]. В процессе термического воздействия костная ткань проходит следующие этапы трансформации: при температуре до 200 °C теряется вода, при температуре от 200 до 450 °C разлагается органическое вещество, и, наконец, при температуре от 450 до 650 °C сжигаются органические остатки; при температуре выше 650 °C обнаруживаются только неорганические остатки [Pijoan et al., 2007]. Эти изменения по-разному влияют на цвет кости [Cain, 2005, p. 875], текстуру растрескивания [Joly, March, 2003] и микроструктуру [Shipman et al., 1984; Gallo et al., 2021].

3. Экспериментальные исследования горючих свойств кости для определения преимущественных качеств данного типа топлива. Было выявлено, что кость обладает слабой теплопроводностью, что ограничивает ее способность воспламеняться самостоятельно [Clattenburg, 1975]. Так, минимальная температура воспламеняемости (теплового потока, создаваемого внешним источником тепла) кости составляет около 380 °С, что эквивалентно свойствам сырой древесины. Соответственно, использование кости как единственного типа топлива невозможно. Но при сравнении соотношения массы топлива и длительности горения кость показывает лучшие результаты, чем древесина, т. е. эквивалентная масса костного топлива горит дольше и быстрее достигает температурного максимума [Théry-Parisot, Costamagno, 2005, p. 248].

Вопрос о причинах использования кости в качестве топлива, учитывая ее специфические свойства, является дискуссионным. Одна из гипотез базируется на теории стресса окружающей среды в период бытования памятников и, соответственно, модели приспособления к суровым холодам в условиях недостатка древесины [Costamagno et al., 2009; Marquer et al., 2010, p. 2744; Петровичева, Зубавичус, 2020, с. 19]. Другая гипотеза основана на модели сезонности поселений. Исследователи полагают, что кость использовалась в зимнее время в связи с труднодоступностью других топливных ресурсов [Costamagno et al., 2009]. Наконец, в соответствии с третьей гипотезой костное топливо использовалось для специфических операций, требующих открытого огня в течение длительного времени [Théry-Parisot, Costamagno, 2005].

Цель данной работы – выявление особенностей температурного режима горения разных видов кости в сравнении с древесиной, основанное на экспериментальных наблюдениях.

Материалы и методы

Любая костная ткань состоит из воды, органического и минерального компонентов, соответственно, разные кости идентичны по своим биохимическим свойствам. При этом компактные (кортикальные) и губчатые (трабекулярные) костные ткани различаются по структуре. Компактная кость имеет низкую (до 10 %) или нулевую пористость. Губчатая кость обладает высокой пористостью от 50 до 90 %. Граница между этими типами размыта: так, губчатая ткань преобладает в эпифизах, а плотная компактная ткань образует ствол диафиза длинных костей [Gallo et al., 2021]. Однако именно пористость кости влияет на скорость и характер диагенеза кости под воздействием температуры, в процессе которого сначала испаряется вода, а потом выгорает органическая составляющая. Стояла задача проверить, влияет ли на условия и температуру горения предварительная обработка (варка, сушка, удаление мягких тканей) и намеренная фрагментация костей. Поэтому для эксперимента были выбраны кости в различных состояниях: сырые / вареные / сухие, с мягкими тканями / без мягких тканей, целые / фрагментированные, с преобладанием губчатой / компактной ткани. Они принадлежали барану (лопатки, кости конечностей), корове (позвонки, кости конечностей), свинье (кости конечностей). Для каждого эксперимента была отобрана эквивалентная масса костей, порой существенно разнящаяся по объему (рис. 1).

Для выявления свойств кости как топлива была проведена серия контролируемых экспериментов. Все экспериментальные костры разводились под открытым небом без предварительной подготовки места при сходных температурных и влажностных условиях (солнечная безветренная погода, +9 °С). Всего было проведено три экспериментальные серии с одновременным горением трех костров (см. таблицу). В каждой серии разводился контрольный костер с исключительно древесным топливом. Вес и количество древесного топлива во всех кострах было идентичным – около 10 кг колотой сухой березы. Это обусловлено установленной низкой теплопроводностью костного топлива, исключаяющей его использование в качестве единственного источника горючего [Théry-Parisot, Costamagno, 2005]. Кость добавлялась в костер спустя 20–30 мин, после достижения устойчивой температуры 300–400 °С. Темпера-

турные колебания фиксировалась с помощью регистратора температуры АКТАКОМ в комплекте с термопарами К-типа с диапазоном измерений от -50 до $1\ 200$ °С. В каждом костре было установлено две термопары – одна на глубине 5–7 см от дна кострового места (для наблюдения за формированием прокала), вторая в центральной части костра, в месте максимально интенсивного горения (рис. 2). Температура автоматически фиксировалась каждую минуту. Основное топливо перемещалось таким образом, чтобы прогорело максимально.

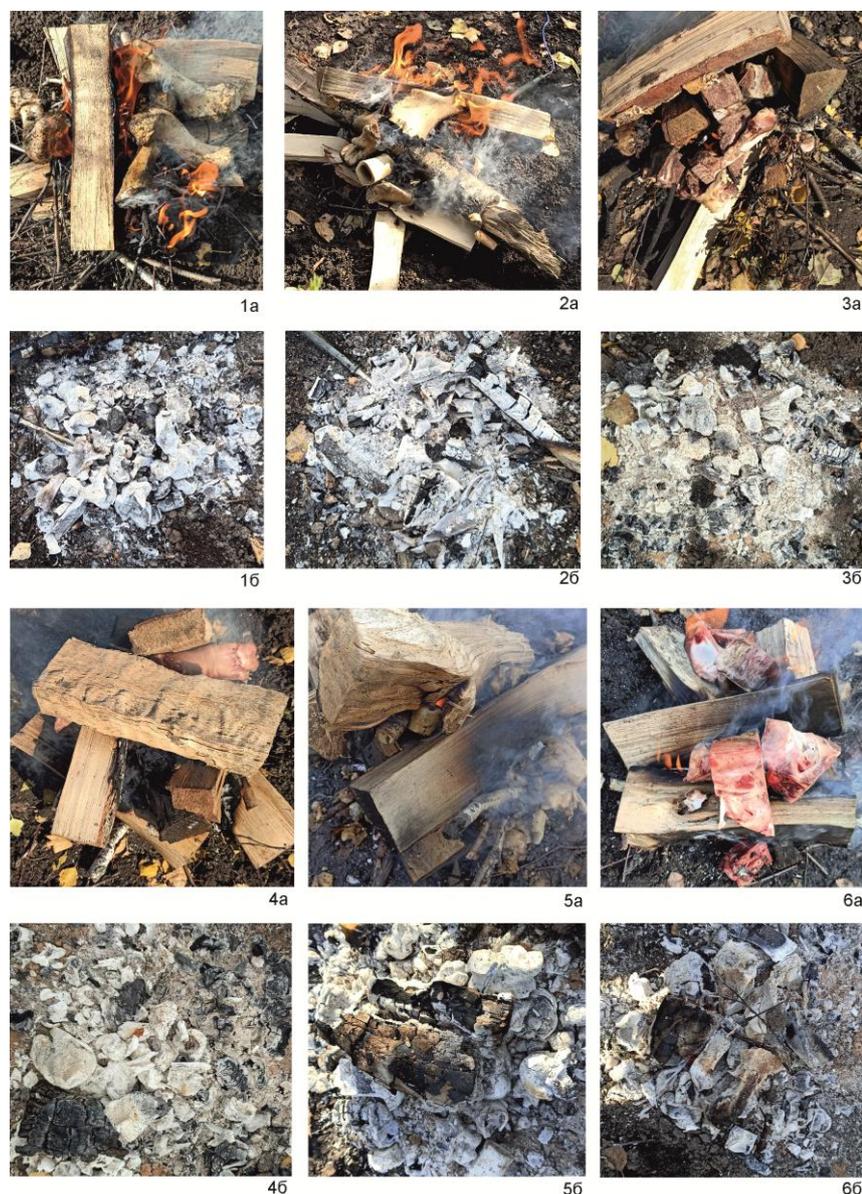


Рис. 1. Экспериментальные костры с костным топливом:

1 – костер 2; 2 – костер 3; 3 – костер 5; 4 – костер 6; 5 – костер 8; 6 – костер 9;

a – объекты после закладки костного топлива;

б – объекты после остывания костра до температуры ниже 100 °С.

Фото без масштаба. Обозначения костров соответствуют порядковым номерам в таблице

Fig. 1. Experimental with bone fuel:

1 – bonfire 2; 2 – bonfire 3; 3 – bonfire 5; 4 – bonfire 6; 5 – bonfire 8; 6 – bonfire 9;

a – objects after adding bone fuel; *b* – objects after cooling the fire to a temperature below 100 °С.

Photo without scale. The bonfire designations correspond to the serial numbers in the table

Основные характеристики экспериментальных костров
Main characteristics of experimental bonfires

№ эксперимента	№ костра	Вид топлива	Общее время горения	Температура горения, °С	
				максимальная	средняя в период горения открытого огня
Серия 1	1	Древесина	3 ч 32 мин	618,1	529,7
	2	Древесина + крупные сухие кости (кости конечностей)	2 ч 50 мин	773,3	613,7
	3	Древесина + фрагментированные сухие кости (лопатки, эпифизы)	3 ч 42 мин	707,3	642,3
Серия 2	4	Древесина	4 ч 03 мин	761,9	551,8
	5	Древесина + вареные кости (ребра, позвонки)	3 ч 52 мин	865,3	749,8
	6	Древесина + сырые кости с мягкими тканями (кости конечностей)	4 ч 25 мин	819,1	673,5
Серия 3	7	Древесина	3 ч 58 мин	714,2	581,5
	8	Древесина + вареные кости (кости конечностей)	4 ч 43 мин	900,3	771,5
	9	Древесина + фрагментированные сырые кости (ребра, позвонки)	4 ч 19 мин	867,3	784,5



Рис. 2. Процесс фиксации температуры экспериментальных костров с помощью регистраторов и термопар

Fig. 2. Fixing process of experimental bonfires temperature using recorders and thermocouples

Последующая статистическая обработка и визуализация (расчет средних и медианных показателей, построение температурных кривых) осуществлялось с помощью программных пакетов Excel, STATISTICA (версия 13.3), Past (версия 4.05).

Результаты исследования

Мы отдаем себе отчет, что анализируемые температурные колебания могут зависеть от разных внешних факторов, поэтому требуется проведение дополнительных повторяющихся экспериментов, однако считаем, что описанные ниже наблюдения не являются случайными.

Общее время горения в разных кострах варьировало от 2 ч 50 мин до 4 ч 43 мин (см. таблицу). Условно завершением этапа горения считалось устойчивое достижение температуры менее 100 °С при пиролизе без пламени. Минимальный показатель связан с костром 2 (порядковые номера см. в таблице), где сжигались крупные нефрагментированные кости конечностей барана в высушенном состоянии без мягких тканей. Максимальные значения показали костры 6 и 8, где сжигались сырые с мягкими тканями и вареные без мягких тканей кости конечностей свиньи. Близкое к ним значение у костра 9 с фрагментированными сырыми костями позвоночника коровы. Показатели контрольных костров с древесиной без костей относятся к средним по продолжительности и сопоставимы с данными костров 2 и 5 (с фрагментированными сухими / вареными костями с преобладанием губчатой ткани). Соответственно, чем более сухая и фрагментированная кость, чем больше в ней преобладание компактной костной ткани, тем короче период горения. Это объясняется меньшим количеством воды в структуре, что приводит к более быстрому переходу к фазе разложения органического вещества.

Время горения открытого огня с момента закладывания костей до перехода в пиролиз без пламени составило в среднем для всех костров приблизительно 1 ч 30 мин, в том числе для контрольных костров без костного топлива. Таким образом, длительность процесса горения с открытым пламенем не зависит от количества и качества костного топлива, что еще раз подтверждает низкую теплопроводность кости.

Для этой стадии пиролиза были составлены отдельные температурные кривые (рис. 3) и скрипичный график (рис. 4), где костры расположены в порядке возрастания средней температуры горения, порядковый номер соответствует данным, приведенным в таблице. Для удобства анализа и наглядности данные дублирующих костров без костного топлива были исключены, так как имеют схожие параметры. Температурные кривые в целом показывают неоднородность и колебания температуры во всех экспериментальных кострах (см. рис. 2). Устойчиво низкими температурами по сравнению с другими кострами отличается костер без костного топлива. Близкие к нему значения у объектов с сухим костным топливом. Так, максимальная температура костров без древесного топлива составляет от 618,1 до 761,9 °С, а костров с сухим костным топливом – 707,3 и 773,3 °С соответственно. Костры с вареным и сырым костным топливом достигают температуры от 819,1 до 900,3 °С (см. таблицу). При этом кости конечностей без мягких тканей дают максимально высокие показатели. Вероятно, это объясняется наличием суставных и хрящевых тканей, содержащих большое количество жировых органических соединений. Показатели средней температуры в период горения открытого огня также демонстрируют похожие тенденции: от 530 до 580 °С для костров с древесиной, 613,7 и 642,3 °С для костров с сухими костями, от 750 до 785 °С для сырого и вареного костного топлива. Из последней категории выбивается костер 6, для поддержания которого использовались сырые кости конечностей свиньи без предварительной подготовки и удаления мягких тканей, средняя температура которого в период открытого горения составила 673,5 °С. Вероятно, обилие мягких тканей препятствует интенсивному горению собственно кости. Также следует отметить появление обильного пара при горении сырых костей.

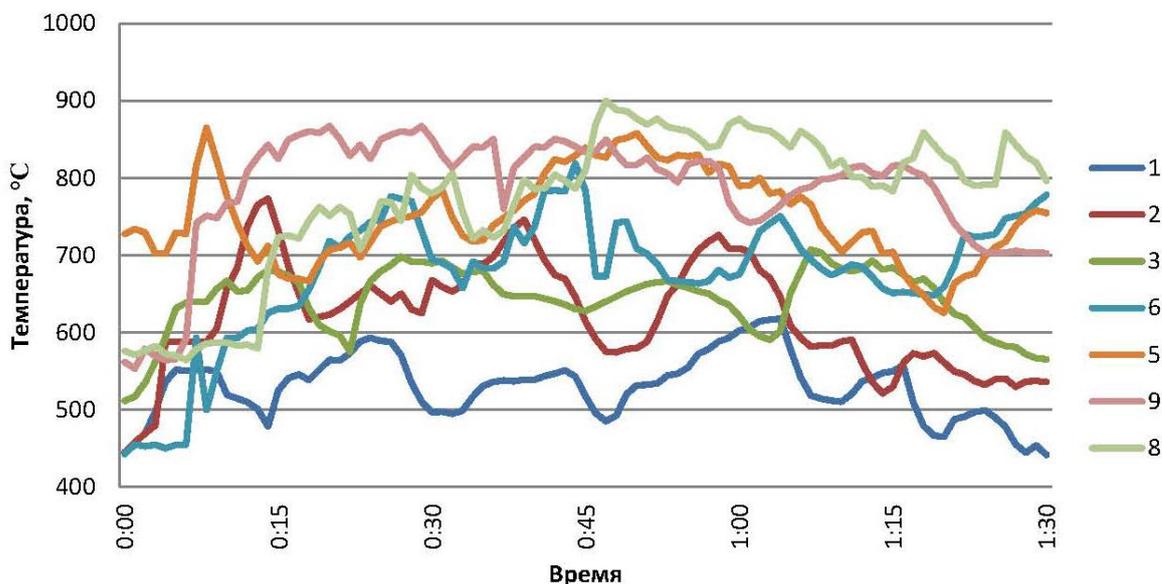


Рис. 3. График температурных кривых.
Обозначения рядов соответствуют порядковым номерам костров в таблице

Fig. 3. Temperature curves graph.
The row designations correspond to the bonfires serial numbers in the table

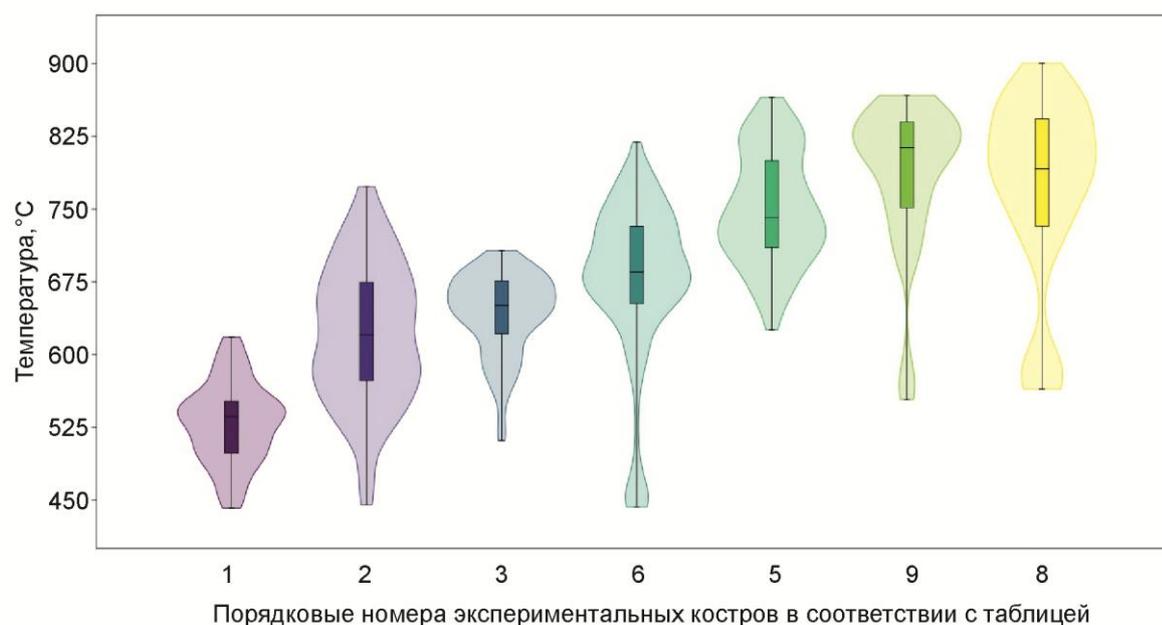


Рис. 4. Скрипичный график распределения плотности температурных показателей экспериментальных костров

Fig. 4. Violin plot of the density distribution of temperature indicators of experimental bonfires

Эти наблюдения хорошо демонстрируются в скрипичном графике с бокс-плотом, который отражает как максимальные и минимальные значения, так и плотность распределения данных, что наглядно иллюстрирует диапазон и устойчивость температуры горения (см. рис. 4). Минимальный диапазон со средними значениями ниже 600 °С характеризует костер без костного топлива. В диапазоне до 650 °С располагаются значения костров с сухим костным топливом, при этом фрагментированные кости с преобладанием губчатой ткани демонстрируют большую плотность значений и однородность температуры в отличие от сухих костей конечностей. Неустойчивость температурных показателей также характерна для костра 6 с сырыми костями конечностей и мягкими тканями, при этом межквартильный размах расположен в диапазоне от 675 до 750 °С, что свидетельствует о более высоких горючих свойствах данного вида костного топлива. Наконец, лучшие показатели соответствуют кострам 5, 8 и 9 с сырыми и вареными костями. При этом следует отметить, что идентичные по морфологии кости позвоночника коровы демонстрируют лучшие качества в случае, если их предварительно не отваривать. Вероятно, процесс варки как один из вариантов тепловой обработки также влияет на изменение биохимической структуры кости. Вареные кости конечностей характеризуются большим межквартильным размахом, что говорит о меньшей температурной однородности процесса горения, хотя и достигают сходных значений в диапазоне от 750 до 830 °С.

Наконец, были проанализированы условия «остывания» костра, а именно участок пиролиза после прекращения открытого огня до достижения устойчивой температуры ниже 100 °С (рис. 5). Все костры демонстрируют схожую тенденцию: в течение часа происходит медленное снижение температуры, наблюдаются периодические небольшие скачки температуры, после уменьшения температуры ниже 500 °С скорость остывания увеличивается. При этом корреляция между видами топлива в костре практически отсутствует, хотя можно отметить, что дольше всех остывали костры 6, 8, 9, демонстрирующие также высокие максимальные и средние значения.

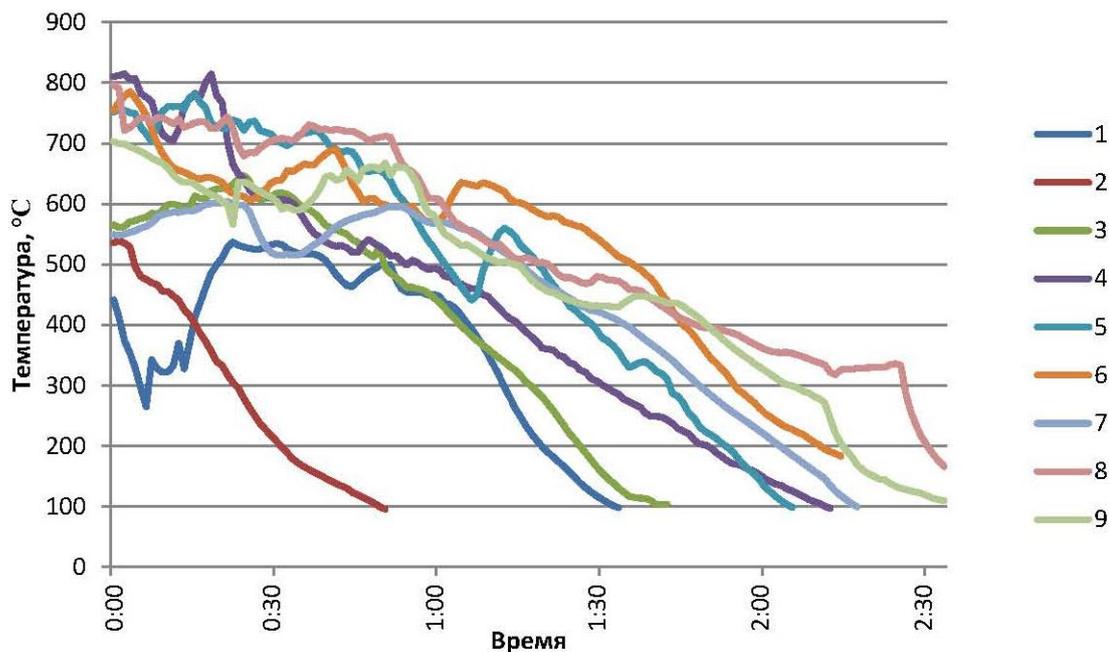


Рис. 5. График температурных кривых остывания.
Обозначения рядов соответствуют порядковым номерам костров в таблице

Fig. 5. Cooling curves graph.
The row designations correspond to the bonfires serial numbers in the table

Следует отметить, что при достижении порогового значения 100 °С уменьшение температуры существенно замедлялось. Это связано с тем, что в процессе функционирования костра место, на котором он был разведен, прогревалось как раз примерно до этой температуры, о чем говорят данные термопар, установленных ниже уровня разведения огня на 5–7 см.

Еще одно наблюдение связано с условиями образования пепла. Несмотря на то что потеря костной массы в результате сгорания визуально оценивается примерно в 60–70 %, костры с использованием костного топлива характеризуются большим скоплением остатков в виде костного пепла и фрагментов кальцинированных костей по сравнению с древесными кострами. Также древесный уголь оказался сильнее подвержен различным тафономическим процессам. По прошествии 8 месяцев в результате воздействия дождя, снега и холодных температур от костров с древесным топливом остались только следы прокала с незначительным количеством мелких угольков, тогда как на месте костров с костным топливом по-прежнему фиксируется большое количество кальцинированных костей разной степени фрагментированности.

Заключение

Проведенная серия экспериментов позволила выявить, что использование костного топлива в качестве дополнительного источника горючего материала:

- 1) увеличивает максимальную температуру горения до 800–900 °С против 600–700 °С в обычном костре с древесным топливом;
- 2) увеличивает средний диапазон температуры горения более чем на 100 °С;
- 3) минимизирует температурные колебания;
- 4) обеспечивает устойчивую высокую температуру.

При этом количество костного топлива практически не влияет на длительность как горения открытого огня, так и общего времени пиролиза. Эти параметры определяются массой топлива, обладающего высокой теплопроводностью.

Также можно выделить следующие факторы, влияющие на горючие свойства костей:

1) условная влажность кости и ее предварительная обработка (сырая, вареная, сухая): хуже всех горит сухая кость, что связано, вероятно, с уменьшением количества воды и органических веществ в структуре костной ткани в процессе высушивания;

2) степень фрагментации: чем более фрагментирована кость, тем быстрее она сгорает;

3) характер костной ткани (компактная или губчатая). Плотность костей влияет на устойчивость температуры: чем более пористая кость, тем лучше она позволяет держать температуру, поскольку выгорание органических веществ происходит равномерно и постепенно. Между тем количество жировой, хрящевой, суставной ткани, по-видимому, влияет на энергетические свойства костного топлива, обеспечивая достижение максимальных температурных значений.

Таким образом, кость не является универсальным видом топлива, но некоторые ее свойства могли использоваться для операций, требующих устойчивой высокой температуры. К ним могли относиться как простые виды деятельности (приготовление пищи, обогрев, поддержание очага, сушка), так и специализированные. Также сырая кость при горении образует выделение обильного пара, что могло использоваться в процессе обработки кожи или дерева [Beyries, 2008]. Не следует забывать, что древних людей отличало рациональное использование всего спектра доступных биоресурсов (см., например: [Lévi-Strauss, 1962]), поэтому утилизация костей в виде топлива для поддержания одного из стратегических объектов – очага – выглядит вполне убедительной даже в условиях наличия других источников топлива.

В перспективе планируется увеличение серии экспериментов, анализ других источников топлива, условий образования прокала. Еще одним направлением исследования станет изучение микроструктуры экспериментальных экземпляров кости для сопоставления полученных результатов с археологическими образцами с целью определения характеристики костей, используемых древними популяциями в качестве топлива.

Список литературы

- Геродот.** История в девяти книгах. Л.: Наука, 1972. 604 с.
- Гришин Ю. С.** Древняя добыча меди и олова. М.: Наука, 1980. 186 с.
- Петровичева Т. И., Зубавичус Е. Я.** Особенности использования кости как топлива для костров в верхнем палеолите Русской равнины // *Археология евразийских степей*. 2020. № 5. С. 17–24. DOI 10.24852/2587-6112.2020.5.17.24
- Чиндина Л. А.** Древняя история Среднего Приобья в эпоху железа: кулайская культура. Томск: ТГУ, 1984. 256 с.
- Benecke N., Vasiliev S. K., Molodin V. I., Mylnikova L. N., Nesterova M. S., Reinhold S.** Vengerovo-2 – a Krotovo Culture Site in the Baraba Forest-Steppe: An Archaeozoological Study. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2021, vol. 49 (2), pp. 53–63. DOI 10.17746/1563-0110.2021.49.2.053-063
- Beyries S.** Modélisation du travail du cuir en ethnologie: proposition d'un système ouvert à l'archéologie. *Anthropozoologica*, 2008, vol. 43, no. 1, pp. 9–42.
- Cain C. R.** Using Burned Animal Bone to Look at Middle Stone Age Occupation and Behavior. *Journal of Archaeological Science*, 2005, vol. 32, pp. 873–884.
- Clattenburg G.** Thermal Properties of Cancellous Bone. *Journal of Biomedical Materials Research*, 1975, vol. 9, pp. 169–182.
- Costamagno S., Théry-Parisot I., Castel J. C., Brugal J.-F.** Combustible ou non? Analyse multifactorielle et modèles explicatifs sur des ossements brûlés paléolithiques. In: *Gestion des Combustibles au Paléolithique et au Mésolithique: Nouveaux Outils, Nouvelles Interpretations*. Oxford, Archaeopress, 2009, pp. 65–84.

- Gallo G., Fyhrie M., Paine C., Ushakov S. V., Izuho M., Gunchinsuren B., Zwyns N., Navrotsky A.** Characterization of Structural Changes in Modern and Archaeological burnt bone: Implications for Differential Preservation Bias. *PLoS ONE*, 2021, vol. 16 (7), e0254529. DOI 10.1371/journal.pone.0254529
- Joly D., March R.** Etude des ossements brûlés: essai de corrélation de méthodes pour la détermination des températures. In: *Le feu domestique et ses structures au néolithique et aux âges des métaux*, Actes du colloque Intern. de Bourg-en Bresse et Beaune, 7–8 Octobre 2000. Montagnac, Ed. Monique Mergoil, 2003, pp. 299–310.
- Lévi-Strauss C.** *La Pensée sauvage*, Paris, Pion, 1962, 389 p.
- Marquer L., Otto T., Nespoulet R., Chiotti L.** A New Approach to Study the Fuel Used in Hearths by Hunter-Gatherers at the Upper Palaeolithic Site of Abri Pataud (Dordogne, France). *Journal of Archaeological Science*, 2010, vol. 37 (11), pp. 2735–2746.
- Morin E.** Implication taphonomiques de l'utilisation de l'os comme combustible. *Palethnologie*, 2010, vol. 2, pp. 215–223.
- Pi Joan C. M., Mansilla J., Leboeiro I., Lara V. H., Bosch P.** Thermal Alterations in Archaeological Bones. *Archaeometry*, 2007, vol. 49, pp. 713–727. DOI 10.1111/J.1475-4754.2007.00331.X
- Shipman P., Foster G., Schoeninger M.** Burnt Bones and Teeth: An Experimental Study of Color, Morphology, Crystal Structure and Shrinkage. *Journal of Archaeological Science*, 1984, vol. 11 (4), pp. 307–325.
- Solari A., Olivera D., Gordillo I., Bosch P., Fetter G., Lara V. H., Novelo O.** Cooked Bones? Method and Practice for Identifying Bones Treated at Low Temperature. *International Journal of Osteoarchaeology*, 2015, vol. 25, pp. 426–440. DOI 10.1002/oa.2311
- Théry-Parisot I., Brugal J.-P., Costamagno S., Guilbert R.** Conséquences taphonomiques de l'utilisation des ossements comme combustible. Approche expérimentale. *Les nouvelles de l'Archéologie*, 2004, vol. 95, pp. 19–22.
- Théry-Parisot I., Costamagno S.** Propriétés combustibles des ossements: Données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur emploi dans les sites paléolithiques. *Gallia préhistoire*, 2005, vol. 47, pp. 235–254.

References

- Benecke N., Vasiliev S. K., Molodin V. I., Mylnikova L. N., Nesterova M. S., Reinhold S.** Vengerovo-2 – a Krotovo Culture Site in the Baraba Forest-Steppe: An Archaeozoological Study. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2021, vol. 49 (2), pp. 53–63. DOI 10.17746/1563-0110.2021.49.2.053-063
- Beyries S.** Modélisation du travail du cuir en ethnologie: proposition d'un système ouvert à l'archéologie. *Anthropozoologica*, 2008, vol. 43, no. 1, pp. 9–42.
- Cain C. R.** Using Burned Animal Bone to Look at Middle Stone Age Occupation and Behavior. *Journal of Archaeological Science*, 2005, vol. 32, pp. 873–884.
- Chindina L. A.** Drevnyaya istoriya Srednego Priob'ya v epokhu zheleza: kulaiskaya kul'tura [Ancient history of the Middle Ob region in the Iron Age: Kulai culture]. Tomsk, TSU Press, 1984, 256 p. (in Russ.)
- Clattenburg G.** Thermal Properties of Cancellous Bone. *Journal of Biomedical Materials Research*, 1975, vol. 9, pp. 169–182.
- Costamagno S., Théry-Parisot I., Castel J. C., Brugal J.-F.** Combustible ou non? Analyse multifactorielle et modèles explicatifs sur des ossements brûlés paléolithiques. In: *Gestion des Combustibles au Paléolithique et au Mésolithique: Nouveaux Outils, Nouvelles Interprétations*. Oxford, Archaeopress, 2009, pp. 65–84.
- Gallo G., Fyhrie M., Paine C., Ushakov S. V., Izuho M., Gunchinsuren B., Zwyns N., Navrotsky A.** Characterization of Structural Changes in Modern and Archaeological burnt bone:

- Implications for Differential Preservation Bias. *PLoS ONE*, 2021, vol. 16 (7), e0254529. DOI 10.1371/journal.pone.0254529
- Grishin Yu. S.** Drevnyaya dobycha medi i olova [Ancient mining of copper and tin]. Moscow, Nauka, 1980, 186 p. (in Russ.)
- Herodotus.** Istoriya v devyati knigakh [The Nine Books of the History]. Leningrad, Nauka, 1972, 604 p. (in Russ.)
- Joly D., March R.** Etude des ossements brûlés: essai de corrélation de méthodes pour la détermination des températures. In: Le feu domestique et ses structures au néolithique et aux âges des métaux, Actes du colloque Intern. de Bourg-en Bresse et Beaune, 7–8 Octobre 2000. Montagnac, Ed. Monique Mergoïl, 2003, pp. 299–310.
- Lévi-Strauss C.** La Pensée sauvage, Paris, Pion, 1962, 389 p.
- Marquer L., Otto T., Nespoulet R., Chiotti L.** A New Approach to Study the Fuel Used in Hearths by Hunter-Gatherers at the Upper Palaeolithic Site of Abri Pataud (Dordogne, France). *Journal of Archaeological Science*, 2010, vol. 37 (11), pp. 2735–2746.
- Morin E.** Implication taphonomiques de l'utilisation de l'os comme combustible. *Palethnologie*, 2010, vol. 2, pp. 215–223.
- Petrovicheva T. I., Zubavichus E. Ya.** Osobennosti ispol'zovaniya kosti kak topliva dlya kostrov v verkhnem paleolite Russkoi ravniny [Features of the use of bones as fuel for campfires in the Upper Paleolithic of the Russian Plain]. *Arkheologiya evraziiskikh stepei [Archaeology of the Eurasian Steppes]*, 2020, no. 5, pp. 17–24. (in Russ.) DOI 10.24852/2587-6112.2020.5.17.24
- Pi Joan C. M., Mansilla J., Leboreiro I., Lara V. H., Bosch P.** Thermal Alterations in Archaeological Bones. *Archaeometry*, 2007, vol. 49, pp. 713–727. DOI 10.1111/J.1475-4754.2007.00331.X
- Shipman P., Foster G., Schoeninger M.** Burnt Bones and Teeth: An Experimental Study of Color, Morphology, Crystal Structure and Shrinkage. *Journal of Archaeological Science*, 1984, vol. 11 (4), pp. 307–325.
- Solari A., Olivera D., Gordillo I., Bosch P., Fetter G., Lara V. H., Novelo O.** Cooked Bones? Method and Practice for Identifying Bones Treated at Low Temperature. *International Journal of Osteoarchaeology*, 2015, vol. 25, pp. 426–440. DOI 10.1002/oa.2311
- Théry-Parisot I., Brugal J.-P., Costamagno S., Guilbert R.** Conséquences taphonomiques de l'utilisation des ossements comme combustible. Approche expérimentale. *Les nouvelles de l'Archéologie*, 2004, vol. 95, pp. 19–22.
- Théry-Parisot I., Costamagno S.** Propriétés combustibles des ossements: Données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur emploi dans les sites paléolithiques. *Gallia préhistoire*, 2005, vol. 47, pp. 235–254.

Информация об авторе

Марина Сергеевна Нестерова, кандидат исторических наук
Scopus Author ID 57191256001
WoS Researcher ID Q-3214-2016

Information about the Author

Marina S. Nesterova, Candidate of Science (History)
Scopus Author ID 57191256001
WoS Researcher ID Q-3214-2016

Статья поступила в редакцию 06.05.2022;
одобрена после рецензирования 01.08.2022; принята к публикации 01.09.2022
The article was submitted on 06.05.2022;
approved after reviewing on 01.08.2022; accepted for publication on 01.09.2022