

С.В. Жилич^{1✉}, К.С. Бурашникова^{1, 2}, Н.А. Рудая¹

¹Институт археологии и этнографии

Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет

Новосибирск, Россия

E-mail: snezhy@yandex.ru

Возможности применения метода анализа макроуглей в археологии

В статье рассматривается метод анализа макроскопических углей (более 100 мкм) как ключевой инструмент в археологии и палеоэкологии для реконструкции истории пожаров и стратегий использования топлива древними людьми. Несмотря на относительную хрупкость, уголь, образующийся при неполном сгорании органики, отличается высокой сохранностью в различных обстановках и может быть обнаружен в отложениях возрастом до миллиона лет. За время своего существования (ок. 50 лет) метод анализа макроуглей активно развивался и сейчас используется по всему миру. Это происходит благодаря его доступной методологии вместе с огромными возможностями применения в комбинациях с методами археологии и палеоэкологии для получения самых разных результатов. Представлен обзор основных направлений практического применения метода на примерах исследований по всему миру: от дифференциации природных и антропогенных источников возгорания, реконструкции агропасторальных ландшафтов Внутренней Азии и Патагонии до изучения топливных стратегий в Анатолии и Австралии. Наиболее продуктивное применение метода макроуглей происходит в исследованиях совместно с палинологическим и антрахнологическим анализами. Применения статистического моделирования и новейших методов автоматической микроскопии позволяют анализировать одновременно большое число образцов и палеозаписей для получения высокоточных данных о взаимодействии человека и среды в голоцене и построения глобальных моделей пожаров для отдельных регионов или целых полушарий. Приводятся конкретные примеры успешного применения методики в работах лаборатории естественно-научных методов в археологии ИАЭТ СО РАН на памятниках Южной Сибири и Центральной Азии.

Ключевые слова: угли, археология, реконструкция пожаров, реконструкция использования топлива, палеоландшафты.

S.V. Zhilich^{1✉}, K.S. Burashnikova^{1, 2}, N.A. Rudaya

¹Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russia
E-mail: snezhy@yandex.ru

Application of Macrocharcoal Analysis in Archaeology

This article discusses the method for analyzing macroscopic charcoal (larger than 100 μm) as a key archaeological and paleoecological tool for reconstructing the history of fires and fuel use strategies among ancient people. Despite its relative fragility, charcoal, which was emerged from incomplete combustion of organic matter, can be found in sediments up to a million years old and is highly preservable in various environments. Over the last 50 years, the method of macrocharcoal analysis has been actively developed and is now used worldwide due to its straightforward methodology and capacity to be combined with other archaeological and paleoecological methods for producing a wide range of data. The article provides an overview of the main practical applications of the method illustrated by the examples of research from around the world, including differentiation of natural and anthropogenic sources of fire, reconstruction of agro-pastoral landscapes in the Inner Asia and Patagonia, and study of fuel strategies in Anatolia and Australia. The macrocharcoal method becomes the most productive when combined with the palynological and anthracological analysis. Statistical modelling and the latest automatic microscopy methods enable simultaneous analysis of large numbers of samples and paleorecords, which provides highly accurate data on human–environment interactions in the Holocene and makes it possible to construct global fire models for specific regions or entire hemispheres. Specific examples of successful application of this methodology can be found in the studies on the sites of Southern Siberia and Central Asia, which have been done in the PaleoData Laboratory at the IAET SB RAS.

Keywords: charcoal, archaeology, fire reconstruction, fuel use reconstruction, paleolandscapes.

Уголь в археологическом контексте часто считается продуктом использования топливных ресурсов [Marquier, Otto, 2020]. Уголь состоит из неорганических углеродных и минеральных соединений, образующихся в результате неполного сгорания растительных остатков, в основном древесины, но также и травы, кустарников или навоза травоядных животных. Уголь, как правило, инертен и хорошо сохраняется, есть примеры извлечения угля из отложений, возраст которых составляет более миллиона лет.

Однако хрупкость угля, обусловленная его высококористой структурой, является основной причиной его фрагментации во время горения и постседиментационных процессов [Théry-Parisot, Chabal, Chrzavzez, 2010]. Крупные угольные частицы размером более 5 мм встречаются не часто, они видны невооруженным глазом и могут быть исследованы антракологическим анализом с определением породы исходной древесины. Угли размером от 100 мкм до 2 мм часто не видны, но после лабораторной обработки могут быть исследованы под световым микроскопом в проходящем свете. Такие угли считаются макроуглями, в противопоставление микроуглям размером менее 100 мкм, которые часто подсчитывают при рутинном палинологическом анализе. Экспериментальные исследования говорят, что фрагментация угля не оказывает существенного влияния на палеоэкологическую интерпретацию и информацию о топливных стратегиях, которую можно получить из ассоциаций различных морфотипов и пространственного распределения угля [Chrzavzez et al., 2014; Arranz-Otaegui, 2017]. Благодаря этому исходные топливные стратегии, которые использовались для топки очага, можно реалистично оценить в археологическом контексте с помощью анализа макроуглей. Ассоциации морфотипов углей отражают случайный или сознательный выбор конкретных видов деревьев и кустарников, определенных частей древесины и даже трав.

Однако само по себе обнаружение углей на территории памятника или рядом с ним не всегда означает связь этого угля с деятельностью человека, поскольку не ясно, было ли горение естественным или имело антропогенную причину. Для повышения качества информации, полученной из данных о распределении углей и выделения вклада деятельности человека, необходимы более широкая оценка среды в связи с лесными пожарами, учет локальной экологии, топографии и климата, а также учет возможного этнографического и социального контекстов [Moore, 2001].

Особенно важно разделение палеоэкологического и археологического контекстов для палеолитических памятников, когда очаги не всегда можно выделить и палеоэкологические данные малочисленны. В работе [Jha, Samrat, Sanyal, 2021] сформулированы критерии отнесения угольных остатков к антропологическому воздействию в отсутствии конструкции, относимой к очагу: наличие обожженных костей;

ассоциация угля со слоями, в которых были обнаружены обожженные кости и каменные артефакты; для пещер – наличие пепловых отложений.

Методологически метод анализа макроуглей начал развиваться с 1980-х гг. Общая схема реализации метода включает отбор образцов из разреза или точечно, лабораторную обработку разной степени тщательности (от удаления только органики до полного цикла обработки щелочью, кислотами и тяжелой жидкостью для выделения более легкой угольной фракции), микроскопирование чаще с выделением размерных классов (100, 300 и 500 мкм) и морфотипов, относимых к травянистым и древесным углям [Courtney-Mustaphi, Pisaric, 2014]. Анализ большого количества образцов непрерывной колонкой, при сопоставлении с данными о возрасте отложений, может дать распределение количества углей во времени.

Одно из достоинств метода анализа макроуглей – это его «адаптивность», возможность использовать множество вариантов отбора образцов, пробоподготовки и финальной интерпретации для модификации метода. В сочетании с различными геологическими, палеоэкологическими и статистическими методами это позволяет получать самые разнообразные результаты. Благодаря своей универсальности метод давно вошел в повседневную практику мировых археологических исследований [Schmidt, 1997].

Наиболее часто встречается традиционный подход совместной интерпретации данных по макроуглям с геологическими и палинологическими данными (или другими археоботаническими данными, непылевыми палиноморфами), в т. ч. из озерных отложений. Данные из одного или нескольких независимых разрезов, не слишком удаленных друг от друга, скоррелированные на основе датирования, сопоставляют с археологическими данными. Такие исследования довольно многочисленны и активно развиваются в Азии. В обзоре [Spate, Leipe, Motuzaitė Matuzevičiūtė, 2022] обобщены данные 27 озерных и палеопочвенных разрезов для изучения антропогенного воздействия и модификаций ландшафтов горного региона Внутренней Азии (Китай, Монголия, Казахстан). По совокупности археологических и палеоэкологических подходов (зооархеологические, археоботанические и палинологические данные) было установлено, что интенсивный агропасторализм установился в регионе ок. 4 500 л.н., а начиная с 4 000 л.н., согласно палеоэкологическим данным, обнаруживаются значительные изменения в ландшафтах, изменения в накоплении угля и других косвенных данных, связанных с внедрением сельского хозяйства. Около 2 000 и 1 000 л.н. эти параметры проявились еще сильнее, что связывается с более поздней интенсификацией землепользования. Отмечено, что эти воздействия не являются однородными или непрерывными по всем записям и могут свидетельствовать о том, что временная и пространственная изменчивость в динамике ландшафтов может быть связана не только

ко со сменой фаз заселения и хозяйствования, но быть результатом взаимодействия факторов, включая реакцию на обилие влаги из-за долгосрочных изменений в атмосферной циркуляции (интенсивности летних муссонов и систем западной циркуляции).

Ярким примером такого подхода может служить уникальное исследование влияния человека на динамику пожаров в голоцене Патагонии [Méndez et al., 2016]. Выбранный для исследования лесостепной горный район характеризуется периодической и низкой интенсивностью заселения охотниками-собирателями в голоцене, временные интервалы заселения были детально установлены по семи археологическим памятникам в долине реки Сиснес. Данные о заселении были сопоставлены с высокоразрешающими записями по палинологии и макроуглям из геологических разрезов бассейна той же реки на основе детального радиоуглеродного датирования. Такой подход для оценки взаимосвязи между тенденциями в археологических, пыльцевых и угольных записях позволил достоверно выявить значительный вклад антропогенного влияния в увеличение интенсивности палеопожаров.

Следующим по частоте применения является очень естественное и продуктивное совмещение анализа макроуглей с антракологическим и дендрохронологическим анализами. По крупным древесным углем, которые удается выявить в процессе исследования археологических памятников или геологических разрезов, можно установить исходную породу древесины и по совокупности данных большого количества проб реконструировать смену древесных сообществ, изменение облесенности территории, использование конкретной древесины для определенных хозяйственных целей.

Масштабное исследование углей из разрезов и отложений шести археологических памятников в Центральной Анатолии [Kabukcu, 2017], относимых к позднему плейстоцену – среднему голоцену, дало ряд результатов, которые можно считать эталонными для этого подхода. Большое количество проб, проанализированных на ряде близких по возрасту памятников, позволили установить, что существуют устойчивые региональные тенденции в распространенности и частоте встречаемости таксонов топливной древесины в разные периоды и в различных местах обитания. Это подтверждает, что в региональном масштабе антракологические остатки, полученные из различных бытовых топливных древесных отходов, накопленных в течение длительного времени, достоверно отражают распределение в пространстве и времени видов индикаторов лесных массивов по всему региону и могут фиксировать значительные изменения в составе лесной растительности со степенью, которая в настоящее время недоступна палинологическим архивам. Важен вывод о том, что относительная стабильность прибрежных влажных лесов в сочетании с их продуктивностью имела большое значение на

ранних этапах оседлой жизни и становления первых агропастбищных хозяйств и была важным фактором в выборе места для поселения. Вместе с тем были установлены изменения в распространении дуба (*Quercus*) и можжевельника (*Juniperus*), связанные с их избирательным использованием в качестве топлива в более поздние стадии развития агропасторализма.

Менее масштабное исследование антракологических материалов на ряде археологических памятников Австралии [Burgess et al., 2021] выявило стабильность присутствия и устойчивость лесов акации к антропогенному воздействию на протяжении всей истории заселения региона (50 тыс. лет). Постоянное использование древесины акации для сбора дров в Западной пустыне Австралии свидетельствует о том, что это продуктивное растение внесло существенный вклад в обитаемость этого засушливого ландшафта.

Одно из направлений совместного использования анализа макроуглей и антракологического анализа – реконструкция высотной границы леса или отдельной породы в конкретные периоды времени. Этот вопрос так же важен для археологии, как и для палеоэкологии, поскольку лес на высотной границе более чувствителен к внешнему воздействию в ходе формирования антропогенных ландшафтов. Такие исследования наиболее распространены в Европе [Carcaillet, Brun, 2000; Figueiral, Carcaillet, 2005; Novák et al., 2017]. Есть примеры применения такого подхода для установления времени исчезновения леса. Так в исследовании [Bain et al., 2018] удалось установить время сведения леса на островах Карибского бассейна и доказать, что оно было связано с доколониальной эпохой, что противоречило первоначальной гипотезе.

По мере накопления достаточного количества записей и большого набора образцов древесины для конкретного региона можно применить продвинутые статистические методы для объединения данных и их обобщения. Так с помощью многомерного анализа исследователи обобщили сведения по базе данных 42 таксонов деревьев из 48 археологических уровней и выявили для последних 11 000 лет четыре фазы в развитии растительности на юге Франции, каждая из которых характеризуется ключевым видом древесных растений [Heinz, Thiébault, 1998]. В центральном регионе Ирландии с помощью процентного частотного и многомерного анализов проанализированы 18 000 фрагментов угля из 57 археологических раскопов, выявлены избирательное использование лесных ресурсов для хозяйственных нужд и закономерные изменения таксономического состава в зависимости от типов участков, типов объектов и временных периодов. Было обнаружено, что в первоначальные периоды заселения отбор лесных ресурсов был низким, но становился все более выраженным со временем [O'Carroll, Mitchell, 2017].

По мере наполнения глобальных баз данных, включающих записи по распределению углей как

на археологических памятниках, так и в геологических разрезах (Global Charcoal Database 3 – GCDv3, 736 записи на 2015 год), производятся попытки глобальных пространственных реконструкций [Tan et al., 2013], моделирования пожаров и анализ в сочетании с другими палеоэкологическими данными. Удалось выявить глобальные тренды горения биомассы, пространственные закономерности, лежащие в основе временных тенденций в данных. Установлено, что за последние несколько десятилетий объемы сжигания биомассы резко возросли в обоих полушариях, но особенно в северном, где потоки древесного угля сейчас выше, чем когда-либо за последние 22 000 лет [Marlon et al., 2016].

В работах последнего десятилетия начали применяться автоматические методы распознавания угля с измерением его параметров и оценкой объема на основе специализированного программного обеспечения [Halsall et al., 2018; Zou et al., 2021]. Эти методы демонстрируют более значимые результаты, чем количественная оценка угольных частиц, в сравнительных исследованиях множества разрезов, включая удаленные.

В лаборатории естественно-научных методов ИАЭТ СО РАН применяется метод анализа макроуглей для различных приложений. Начиная с 2020 г. удалось исследовать ряд озер Алтая и Алтайского края, а также применить анализ макроуглей в комбинациях с другими методами. Так, в археологическом аспекте метод был использован для анализа отложений памятника Сурунгур совместно с комплексом археоботанических методов и было установлено использование различных топливных стратегий в разные периоды времени [Жилич, Чаргинов, Шнайдер, 2022]. В комплексе с химическими [Шашков и др., 2023] и микроморфологическими [Brancaleoni et al., в печати] методами были изучены пепловые прослои отложений пещеры Сельунгур и установлено использование навоза травоядных (преимущественно лошади) в качестве топлива. В комплексе со статистическими методами анализа распределения артефактов в отложениях палеолитического памятника Орхон-7 (Монголия) было выявлено, что угли из отложений, вероятнее всего, не связаны с деятельностью человека, а скорее отражают природную составляющую пожарной активности [Marchenko et al., 2022].

Благодарности

Исследование выполнено по проекту НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2025-0005 «Природные условия обитания древнего человека в четвертичном периоде Евразии».

Список литературы

Жилич С.В., Чаргинов Т., Шнайдер С.В. Исследование макроугольков из угольных прослоев отложений

археологического памятника Сурунгур (Ферганская долина, Южный Кыргызстан) // Теория и практика археологических исследований. – 2022. – Т. 34, № 1. – С. 163–180.

Шашков М.В., Жилич С.В., Мачей Т.Ч., Салтанат Т.К., Бенце А.К.В., Шнайдер С.В. Опыт определения копромаркеров в отложениях археологических памятников (по материалам стоянки Сельунгур, Южный Кыргызстан) // Oriental Studies. – 2023. – Т. 16, № 5. – С. 1210–1227.

Arranz-Otaegui A. Evaluating the impact of water flotation and the state of the wood in archaeological wood charcoal remains: Implications for the reconstruction of past vegetation and identification of firewood gathering strategies at Tell Qarassa North (south Syria) // Quatern. Intern. – 2017. – Vol. 457. – P. 60–73.

Bain A., Faucher A.M., Kennedy L.M., LeBlanc A.R., Burn M.J., Boger R., Perdikaris S. Landscape transformation during ceramic age and colonial occupations of Barbuda, West Indies // Environ. Archaeol. – 2018. – Vol. 23, No. 4. – P. 36–46.

Brancaleoni G., Maggelakis T., Zerboni A., Schmid C., Zhilich S., Maksudov F., Krivoshapkin A., Krajcarz M.T., Viola B., Benazzi S., Jaouen K., Taylor W.T.T. Inner Asian pastoralism within the Mongol Empire: Multi proxy investigations at Sel’Ungur Cave, Kyrgyzstan // Geoarchaeology. – 2025 (в печати).

Byrne C., Dotte-Sarout E., van Leeuwen S., McDonald J., Veth P. The dependable deep time Acacia: Anthracological analysis from Australia’s oldest Western Desert site // J. Archaeol. Sci. Report. – 2021. – Vol. 40. – P. 103187.

Carcailliet C., Brun J.J. Changes in landscape structure in the northwestern Alps over the last 7000 years: lessons from soil charcoal // J. Veg. Sci. – 2000. – Vol. 11, No. 5. – P. 705–714.

Chravzez J., Théry-Parisot I., Fiorucci G., Terral J.F., Thibaut B. Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: Experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics // J. Archaeol. Sci. – 2014. – Vol. 44. – P. 30–42.

Courtney-Mustaphi C.J., Pisaric M.F. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments // Prog. Phys. Geogr. – 2014. – Vol. 38. – P. 734–754.

Figueiral I., Carcailliet C. A review of Late Pleistocene and Holocene biogeography of highland Mediterranean pines (*Pinus* type *sylvestris*) in Portugal, based on wood charcoal // Quatern. Sci. Rev. – 2005. – Vol. 24, No. 23–24. – P. 2466–2476.

Halsall K.M., Ellingsen V.M., Asplund J., Bradshaw R.H., Ohlson M. Fossil charcoal quantification using manual and image analysis approaches // Holocene. – 2018. – Vol. 28, No. 8. – P. 1345–1353.

Heinz C., Thiébault S. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in southern France // Quatern. Res. – 1998. – Vol. 50, No. 1. – P. 56–68.

Jha D.K., Samrat R., Sanyal P. The first evidence of controlled use of fire by prehistoric humans during the Middle Paleolithic phase from the Indian subcontinent // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. – 2021. – Vol. 562. – P. 110151.

Kabukcu C. Woodland vegetation history and human impacts in south-central Anatolia 16,000–6500 cal BP: Anthracological results from five prehistoric sites in the Konya plain // *Quatern. Sci. Rev.* – 2017. – Vol. 176. – P. 85–100.

Marchenko D.V., Zhilich S.V., Rybin E.P., Nokhrina T.I., Bazargur D., Gunchinsuren B., Olsen J.W., Khatsenovich A.M. Evidence of wildfire versus anthropogenic combustion features: Spatial and macro-charcoal analyses of the final middle Paleolithic horizon at Orkhon-7, central Mongolia // *Archaeol. Res. Asia.* – 2022. – Vol. 32. – P. 100409.

Marlon J.R., Kelly R., Daniau A.-L., Vannière B., Power M.J., Bartlein P., Higuera P., Blarquez O., Brewer S., Brücher T., Feurdean A., Romera G.G., Iglesias V., Maezumi S.Y., Magi B., Courtney Mustaphi C.J., Zihai T. Reconstructions of biomass burning from sediment-charcoal records to improve data–model comparisons // *Biogeosciences.* – 2016. – Vol. 13, No. 11. – P. 3225–3244.

Marquer L., Otto T. Microscopic Charcoal Signal in Archaeological Contexts // Handbook for the Analysis of Micro-Particles in Archaeological Samples. – Cham: Springer Intern. Publ., 2020. – C. 225–254.

Méndez C., De Porras M.E., Maldonado A., Reyes O., Nuevo Delaunay A., García J.L. Human effects in Holocene fire dynamics of central western Patagonia (~ 44 S, Chile) // *Front. Ecol. Evol.* – 2016. – Vol. 4. – P. 100.

Moore J. Can't see the wood for the trees: interpreting woodland fire history from microscopic charcoal // Environmental archaeology: meaning and purpose. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. – P. 211–227.

Novák J., Abraham V., Kočár P., Petr L., Kočárová R., Nováková K., Houfková P., Jankovská V., Vaněček Z. Middle-and upper-Holocene woodland history in central Moravia (Czech Republic) reveals biases of pollen and anthracological analysis // *Holocene.* – 2017. – Vol. 27, No. 3. – P. 349–360.

O'Carroll E., Mitchell F.J.G. Quantifying woodland resource usage and selection from Neolithic to post Mediaeval times in the Irish Midlands // *Environ. Archaeol.* – 2017. – Vol. 22, No. 3. – P. 219–232.

Schmidt P. Archaeological views on a history of landscape change in East Africa // *J. Afr. Hist.* – 1997. – Vol. 38, No. 3. – P. 393–421.

Spate M., Leipe C., Motuzaitė Matuzevičiūtė G. Reviewing the palaeoenvironmental record to better understand long-term human-environment interaction in inner asia during the late Holocene // *Front. Ecol. Evol.* – 2022. – Vol. 10. – P. 939374.

Tan Z., Huang C., Pang J., Zhou Y. Wildfire history and climatic change in the semi-arid Loess Tableland in the middle reaches of the Yellow River of China during the Holocene: Evidence from charcoal records // *The Holocene.* – 2013. – Vol. 23, No. 10. – P. 1466–1476.

Théry-Parisot I., Chabal L., Chravazze J. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* – 2010. – Vol. 291. – P. 142–153.

Zou Y., Miao Y., Yang S., Zhao Y., Wang Z., Tang G., Yang S. A new automatic statistical microcharcoal analysis method based on image processing, demonstrated in the Weiyuan section, Northwest China // *Front. Earth Sci.* – 2021. – Vol. 9. – P. 609916.

References

Arranz-Otaegui A. Evaluating the impact of water flotation and the state of the wood in archaeological wood charcoal remains: Implications for the reconstruction of past vegetation and identification of firewood gathering strategies at Tell Qarassa North (south Syria). In *Quatern. Intern.* 2017. Vol. 457. P. 60–73.

Bain A., Faucher A.M., Kennedy L.M., LeBlanc A.R., Burn M.J., Boger R., Perdikaris S. Landscape transformation during ceramic age and colonial occupations of Barbuda, West Indies. In *Environ. Archaeol.* 2018. Vol. 23, No. 1. P. 36–46.

Brancaleoni G., Maggelakis T., Zerbini A., Schmid C., Zhilich S., Maksudov F., Krivoshapkin A., Krajcarz M.T., Viola B., Benazzi S., Jaouen K., Taylor W.T.T. Inner Asian pastoralism within the Mongol Empire: Multi proxy investigations at Sel'Ungur Cave, Kyrgyzstan. In *Geoarchaeology*, 2025 (In press).

Byrne C., Dotte-Sarout E., van Leeuwen S., McDonald J., Veth P. The dependable deep time Acacia: Anthracological analysis from Australia's oldest Western Desert site. In *J. Archaeol. Sci. Rep.* 2021. Vol. 40. P. 103–187.

Carcaillet C., Brun J.J. Changes in landscape structure in the northwestern Alps over the last 7000 years: lessons from soil charcoal. In *J. Veg. Sci.*, 2000. Vol. 11, No. 5. P. 705–714.

Chravazze J., Théry-Parisot I., Fiorucci G., Terral J.F., Thibaut B. Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: Experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. In *J. Archaeol. Sci.*, 2014. Vol. 44. P. 30–42.

Courtney-Mustaphi C.J., Pisaric M.F. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. In *Prog. Phys. Geogr.* 2014. Vol. 38. P. 734–754.

Figueiral I., Carcaillet C. A review of Late Pleistocene and Holocene biogeography of highland Mediterranean pines (*Pinus* type *sylvestris*) in Portugal, based on wood charcoal. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2005. Vol. 24, No. 23–24. P. 2466–2476.

Halsall K.M., Ellingsen V.M., Asplund J., Bradshaw R.H., Ohlson M. Fossil charcoal quantification using manual and image analysis approaches. In *Holocene*, 2018. Vol. 28, No. 8. P. 1345–1353.

Heinz C., Thiébault S. Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in southern France. In *Quatern. Res.*, 1998. Vol. 50, No. 1. P. 56–68.

Jha D.K., Samrat R., Sanyal P. The first evidence of controlled use of fire by prehistoric humans during the Middle Paleolithic phase from the Indian subcontinent. In *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2021. Vol. 562. P. 110–151.

- Kabukcu C.** Woodland vegetation history and human impacts in south-central Anatolia 16,000–6500 cal BP: Anthracological results from five prehistoric sites in the Konya plain. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2017. Vol. 176. P. 85–100.
- Marchenko D.V., Zhilich S.V., Rybin E.P., Nokhrina T.I., Bazargur D., Gunchinsuren B., Olsen J.W., Khatsenovich A.M.** Evidence of wildfire versus anthropogenic combustion features: Spatial and macro-charcoal analyses of the final middle Paleolithic horizon at Orkhon 7, central Mongolia. In *Archaeol. Res. Asia*, 2022. Vol. 32. P. 100409.
- Marlon J.R., Kelly R., Daniau A.-L., Vannière B., Power M.J., Bartlein P., Higuera P., Blarquez O., Brewer S., Brücher T., Feurdean A., Romera G.G., Iglesias V., Maezumi S.Y., Magi B., Courtney Mustaphi C.J., Zhihai T.** Reconstructions of biomass burning from sediment-charcoal records to improve data–model comparisons. In *Biogeosciences*, 2016. Vol. 13, No. 11. P. 3225–3244.
- Marquer L., Otto T.** Microscopic Charcoal Signal in Archaeological Contexts. Handbook for the Analysis of Micro-Particles in Archaeological Samples. Cham: Springer Intern. Publ., 2020. P. 225–254.
- Méndez C., De Porras M.E., Maldonado A., Reyes O., Nuevo Delaunay A., García J.L.** Human effects in Holocene fire dynamics of central western Patagonia (~ 44 S, Chile). In *Front. Ecol. Evol.*, 2016. Vol. 4. P. 100.
- Moore J.** Can't see the wood for the trees: interpreting woodland fire history from microscopic charcoal. In *Environmental archaeology: meaning and purpose*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001. P. 211–227.
- Novák J., Abraham V., Kočář P., Petr L., Kočárová R., Nováková K., Houfová P., Jankovská V., Vaněček Z.** Middle-and upper-Holocene woodland history in central Moravia (Czech Republic) reveals biases of pollen and anthracological analysis. In *Holocene*, 2017. Vol. 27, No. 3. P. 349–360.
- O'Carroll E., Mitchell F.J.G.** Quantifying woodland resource usage and selection from Neolithic to post Mediaeval times in the Irish Midlands. In *Environ. Archaeol.*, 2017. Vol. 22, No. 3. P. 219–232.
- Schmidt P.** Archaeological views on a history of landscape change in East Africa. In *J. Afr. Hist.*, 1997. Vol. 38, No. 3. P. 393–421.
- Shashkov M.V., Zhilich S.V., Machej T.Ch., Saltanat T.K., Bence A.K.V., Shnajder S.V.** Opyt opredeleniya kopromarkerov v otlozhenniyah arheologicheskikh pamyatnikov (po materialam stoyanki Sel'ungur, Yuzhnyj Kyrgyzstan). In *Oriental Studies*, 2023. Vol. 16, No. 5. P. 1210–1227. (In Russ.).
- Spatz M., Leipe C., Motuzaitė Matuzevičiūtė G.** Reviewing the palaeoenvironmental record to better understand long-term human-environment interaction in inner asia during the late Holocene. In *Front. Ecol. Evol.*, 2022. Vol. 10. P. 939374.
- Tan Z., Huang C., Pang J., Zhou Y.** Wildfire history and climatic change in the semi-arid Loess Tableland in the middle reaches of the Yellow River of China during the Holocene: Evidence from charcoal records. In *Holocene*, 2013. Vol. 23, No. 10. P. 1466–1476.
- Théry-Parisot I., Chabal L., Chravázez J.** Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological context. In *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2010. Vol. 291. P. 142–153.
- Zhilich S.V., Charginov T., Shnajder S.V.** Study of macrocharcoal remains from charcoal interlayers at the Surungur archaeological site depositions (Fergana valley, Southern Kyrgyzstan). In *Theory and practice of archaeological research*, 2022. Vol. 34. No. 1. P. 163–180. (In Russ.).
- Zou Y., Miao Y., Yang S., Zhao Y., Wang Z., Tang G., Yang S.** A new automatic statistical microcharcoal analysis method based on image processing, demonstrated in the Weiyuan section, Northwest China. In *Front. Earth Sci.*, 2021. Vol. 9. P. 609916.

Жилич С.В. <https://orcid.org/0000-0002-0365-0602>
Бурашникова К.С. <https://orcid.org/0009-0003-6208-3251>
Рудая Н.А. <https://orcid.org/0000-0003-1536-6470>

Дата сдачи рукописи: 01.09.2025 г.