

А.В. Юмина, М.О. Филатова✉

Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия
E-mail: mayaphylatova@gmail.com

Дендрохронологическое исследование археологического угля: особенности и перспективы

В статье рассматриваются особенности дендрохронологического исследования углей – материала, который долгое время считался неперспективным для древесно-кольцевого анализа. Массовые находки угля на различных археологических памятниках и его достаточно хорошая сохранность в культурном слое позволили усовершенствовать современные подходы к пробоподготовке и методике исследований этого материала, что стало важным шагом для дендрохронологического датирования большого количества памятников, на которых отсутствует древесина. Целью статьи является анализ обугленной древесины в качестве объекта для дендрохронологического исследования и оценка существующих методов пробоподготовки угля с точки зрения снятия ограничений, возникающих при работе с этим материалом. Рассмотрены основные изменения дерева, которые оно претерпевает в процессе нагревания и горения, на морфологическом, физическом и химическом уровнях. Проанализированы такие важные аспекты структуры углей, как усадка, рассыпчатость и трещины, влияние процесса стеклования, потеря последнего кольца в процессе горения, показано влияние этих деформаций на процесс дальнейшего дендрохронологического датирования. В статье изложены важные аспекты пробоподготовки угля, отличные от методики обработки сухой или заболоченной древесины. Рассмотрена проблема датирования углей радиоуглеродным методом, выраженная в «эффекте старого дерева». Проанализированы примеры исследований, в которых хронологии, построенные по древесному углю, были перекрестно датированы с хронологиями, построенными по необугленной древесине, что доказывает перспективность дендрохронологических исследований рассматриваемого материала. Были сделаны выводы о том, что дальнейшая перспектива развития дендрохронологического анализа археологического угля может быть найдена в исследованиях углей с деревянных конструкций поселенческих и погребальных памятников, а также с памятников равнинных территорий.

Ключевые слова: уголь, антракология, дендрохронология, археология.

A.V. Yumina, M.O. Filatova✉

Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia
E-mail: mayaphylatova@gmail.com

Dendrochronological Research of Archaeological Charcoal: Specific Aspects and Prospects

This article discusses specific aspects of dendrochronological research using charcoal – a material long considered unpromising for tree-ring analysis. Frequent discoveries of charcoal at various archaeological sites and its relatively good preservation in cultural layers have made it possible to enhance modern approaches to sample preparation and research methodologies for this material. This represents a significant step forward in dendrochronological dating for a greater number of sites where wood was absent. This article analyzes charred wood as object of dendrochronological study and evaluates the available methods for charcoal sample preparation in terms of overcoming the limitations imposed by this material. Key transformations of wood during heating and burning are examined at morphological, physical, and chemical levels. Important structural aspects of charcoal, such as shrinkage, friability, and cracking, are analyzed along with influence of vitrification, loss of the final growth ring during combustion, and impact of these deformations on the subsequent dendrochronological dating. The article outlines some crucial aspects of charcoal sample preparation, which differ from the methods used for dry or waterlogged wood. The challenges of radiocarbon dating of charcoal, particularly the “old wood effect,” are also discussed. In some case studies, the chronologies constructed from charcoal were cross-dated with chronologies derived from uncharred wood, demonstrating capacity of dendrochronological research involving this material. It is concluded that further advancements in dendrochronological analysis of archaeological charcoal may be achieved through studies of charcoal from wooden structures at settlements and burial sites, and from sites in lowland regions.

Keywords: charcoal, anthracology, dendrochronology, archaeology.

Введение

Уголь является одним из наиболее распространенных археологических материалов, который встречается в культурном слое в виде остатков древесного топлива из очагов, сгоревших конструкций, в выгребных ямах, печах, на памятниках горнодобывающей, металлургической промышленности и пр. [Деревянко и др., 2007; Борзунов, 2019; Baton et al., 2017; Ру, Durand, Ancel, 2013]. Дендрохронологический анализ угля – это раздел антракологии, который является относительно новым направлением в науке, так как долгое время уголь считался малоперспективным объектом для построения древесно-кольцевых хронологий в силу своих физических особенностей. Одной из главных причин тому является сохранность этого материала в слое преимущественно в мелких фрагментах. Высокий уровень рассыпчатости не только усложняет процесс пробоподготовки углей, но и затрудняет процесс перекрестной датировки образцов между друг другом, так как зачастую небольшие фрагменты содержат недостаточное количество годовичных колец, чтобы затем древесно-кольцевые шкалы, построенные по ним, смогли наложиться друг на друга и образовать хронологическую цепочку.

В то же время уголь имеет большое преимущество перед деревом, что делает все усилия в работе с этим материалом оправданными. Пройдя через процесс горения, дерево становится более химически стабильным, устойчивым к окислению и микробальным процессам, таким образом становясь неподверженным гниению, в то время как необугленная древесина для сохранения в культурном слое требует сложных комбинированных условий состояния почвы и климата [Филатова и др., 2021].

Таким образом, мы можем выделить две основных особенности угля – фрагментарность и высокая сохранность. Эти характеристики породили в науке следующую несбалансированность: уголь на археологических памятниках представлен шире, чем дерево хорошей сохранности, но методика работы с этим материалом разработана хуже. В данной статье мы рассмотрим какие новые качества приобретает древесина, претерпев горение, и как они влияют на дендрохронологический анализ, с какими трудностями сталкиваются исследователи в процессе пробоподготовки углей и какие варианты решения проблем были предложены до настоящего времени, а также рассмотрим удачные примеры дендрохронологического анализа этого материала.

Особенности материала

Образование угля происходит двумя путями: (1) карбонизация, в случае отсутствия кислорода, и (2) обугливание, при наличии ограниченного доступа к кислороду. При нагревании и горении дерево

переживает изменения на следующих трех уровнях: 1) морфологическом – потемнение древесины, в результате чего она становится черной; 2) физическом – значительная потеря массы, усадка и возможные анатомические искажения в результате образования и потери летучих веществ; 3) химическом – преобразование целлюлозы, лигнина в основном в ароматические структуры, которые формируют новый химический продукт, обогащенный углеродом [Braadbaart, Poole, 2008, p. 2435].

Одним из самых негативных для исследования характеристик угля является его рассыпчатость. В процессе нагревания и горения происходит гомогенизация клеток трахеид и исчезновение клеточных слоев, идет усадка древесины, образуются трещины, как следствие клеточная структура дерева слабеет и распадается [Li et al., 2024, p. 116].

При горении дерево дает усадку. Значения усадки приблизительно представляют 12–20 % радиально и 7–13 % продольно [Brossier, Poirier, 2018, p. 116], несмотря на это рисунок годовичных колец и кривые прироста углей коррелируют с синхронными им живыми деревьями, что и является фундаментом для создания древесно-кольцевых хронологий по углю.

Другим важным фактором, влияющим на создание древесно-кольцевой хронологии по углю, является мягкая структура последнего образовавшегося кольца дерева, которое зачастую может не сохраниться в процессе горения, что отражается на точности датировки. В ходе проведения эксперимента, исследующего изменения свойств древесных фрагментов в процессе горения [Oberhänsli et al., 2019], было установлено, что при горении уничтожается ранняя древесина последнего кольца из-за своей менее твердой структуры, в то время как поздняя сохраняется. Таким образом, наибольшую вероятность установить год срубки дерева, сохранившегося в виде угля, мы имеем в случае, когда оно было срублено зимой или осенью и сохранило позднюю древесину последнего кольца.

С горением дерева связан еще один процесс, который характерен не для всех образцов. Это процесс стеклования (vitrification), плавления анатомической структуры древесины, на первых стадиях которого образец приобретает нарастающие блеск и рефракцию, на последних же этапах процесса происходит полное слияние структуры и превращение образца в нераспознаваемую массу. Это изменение анатомической структуры в результате гомогенизации может быть вызвано специфическими условиями горения или тафономией [Marguerie, Hunot, 2007, p. 1421]. Присутствие таких образцов в коллекции с памятника почти всегда делает их непригодными для дендрохронологического датирования в силу утраты ими четких границ колец.

Таким образом, для создания древесно-кольцевой хронологии по углям работа проводится с небольшими фрагментами с лимитированным количеством

колец, что может негативно влиять на корреляцию образцов друг с другом. Если для образцов обычной, необугленной древесины приемлемым количеством годовичных колец является 50/70, то для углей некоторые исследователи предлагают сократить минимальный порог до 30 колец [Fouédjeu et al., 2021, p. 39; Pichler et al., 2013, p. 995].

Методика пробоподготовки

Основная особенность методики работы с углем заключается в необходимости зафиксировать их наибольшую площадь и отшлифовать для получения ровной поверхности, не дав материалу рассыпаться. Существует два варианта подготовки ровной поверхности для дальнейшего шлифования: в первом варианте угли помещаются в воду и затем замораживаются, таким образом консервируясь, во втором варианте угли фиксируются изолентой, скотчем или клеем, после чего подвергаются обычной сушке с постоянным обновлением удерживающего материала [Blondel et al., 2018, p. 5]. Важно отметить, что второй вариант пробоподготовки подходит только для образцов со средним уровнем рассыпчатости.

После того как образец был зафиксирован и высушен необходимо добиться ровной поверхности по максимальной площади его поперечного среза, где сохранилось наибольшее количество годовичных колец. В зависимости от состояния, размера и формы образца выбирается метод абразивной обработки: шлифовка, полировка, срезание поверхности скальпелем вручную или создание клеточного среза.

Одной из последних работ, наиболее полно описывающей процесс пробоподготовки археологических углей, стала статья В.С. Мыглана и соавторов, посвященная исследованию данного материала из металлургических печей Юго-Восточного Алтая [Мыглан и др., 2023] и Тувы [Непоп и др., 2025]. Пробоподготовка опиралась на использование стандартного шлифовального оборудования. Для обработки коллекции использовался тарельчато-ленточный шлифовальный станок (лента Р600, 1000, круг Р1000). Важным аспектом пробоподготовки, описанной в статье, является решение проблемы скапливающейся в процессе шлифования угольной пыли, которая заполняет трахеиды и препятствует визуализации клеточной структуры. Для удаления пыли использовался промышленный пылесос. На следующем этапе образцы угля были подвержены цифровой обработке с помощью сканирующего микроскопа Axio Vision V16.

Учитывая ранее указанные недостатки работы с углем, а именно небольшой размер образцов, изменения анатомической структуры вследствие горения, трещины и т.д., все это делает необходимым в рамках дальнейшего измерения ширины годовичных колец обеспечить максимальное качество просматриваемости годовичных колец, чтобы исключить возможные

ошибки при создании хронологии. Для этого при работе с углем необходимо работать только с цифровыми изображениями высокого разрешения, исключив создание хронологий на полуавтоматических установках типа LINTAB.

Примеры исследований

На сегодняшний день наибольшее количество работ по созданию хронологий по обугленной или горевшей древесине связано с памятниками горнодобывающей и металлургической промышленности и относятся к Средневековью и раннему Новому времени [Fouédjeu et al., 2021; Raab et al., 2015; Backmeroff, 2013], что обусловлено большим количеством образцов на этих памятниках. Подобные исследования не только дают возможность получить точную датировку, но и реконструировать сырьевую базу [Ру, Durand, Ancel, 2013].

Первая работа, посвященная дендрохронологическому датированию углей, была опубликована в 2001 г. [Backmeroff, Di Pasquale, 2001]. В ходе исследования, описанного в работе, была получена абсолютная датировка трех углевыжигательных печей из Центральные Итальянских Альп X–XV вв. Также в статье впервые приведены особенности создания древесно-кольцевых хронологий по обугленной древесине; авторы отмечают, что для подобных исследований в выборке необходимы образцы, имеющие не менее 30 годовичных колец, а также содержащие выразительные минимумы и максимумы прироста.

Еще одно исследование по Альпийскому региону посвящено датировке памятника горнодобывающей промышленности шахты Маук Е в Австрийских Альпах [Pichler et al., 2013], где сохранилось большое количество угольных остатков, использовавшихся при ослаблении камня огнем для получения доступа к рудным источникам. Всего для анализа было взято 240 углей, диаметр которых редко превышал 5 см, максимальное значение – 10 см, длина образцов была от 6 до 138 годовичных колец, со средним значением 35. Для датировки памятника была использована мастер-хронология из Центральные Альп (Eastern Alpine Conifer Chronology, BC 7109 to AD 2002) и Альпийских предгорий (BC 811 to BC 593). В результате перекрестной датировки была создана хронология длиной в 148 лет с 855 по 707 гг. до н.э., при этом промежуток с 813 по 714 гг. был покрыт образцами, содержащими менее 20 колец. Как мы уже указывали выше, дерево редко сохраняет периферийное кольцо после горения, однако в шахте Маук Е сохранился один такой образец, который датировался 708 г., а последние сохранившиеся кольца 15 других образцов были датированы между 707 и 712 гг., таким образом, удалось прийти к выводу, что исследуемая шахта перестала использоваться в течение нескольких лет после 707 г.

Другим примером дендрохронологического исследования угля является изучение материалов 14 археологических памятников производства древесного угля в республике Чехия [Rybníček, Bajer, Friedl, 2022]. В процессе раскопок в печах были найдены различные породы древесины: ель, дуб, бук, сосна. Из 214 образцов наиболее удачными для создания хронологии оказались образцы пихты (из них датировалось 113 образцов), в хронологии по другим породам вошло следующее количество образцов: дуб – 60, бук – 35, ель – 5, сосна – 1. Наиболее ранние фрагменты датировались летом 1682 г., наиболее молодые – второй половиной XIX в. Особое внимание авторы уделяют тому факту, что несмотря на то, что успех дендрохронологического датирования не был абсолютным, этот метод все же является более эффективным чем радиоуглеродное датирование, особенно для образцов последних 350 лет, т.к. после 1650 г. для радиоуглеродной калибровочной кривой становятся характерными своеобразные «виляния» (wiggles).

Еще один пример создания древесно-кольцевой хронологии по археологическим углям: исследование древнего региона добычи меди в Оберхальбштайн долине, Швейцария [Oberhänsli et al., 2019]. Угли от хвойных деревьев: всего 534 фрагмента угля и 7 деревянных объектов были взяты с 23 исследованных памятников, большинство из которых находились на высоте между 1 695 и 2 450 м над ур. м. По результатам работ были созданы две хронологии, которые перекрестно датировались с хронологией по центральным и восточным Альпам и покрыли период от XII до VII в. до н.э. Это исследование показало, что датирование углей дендрохронологическим методом способно даже выходить за пределы Гальштатского плато, которое создает сложности для датирования памятников, относящихся к периоду 800 г. до н.э. – 400 г. н.э. [Садыков, Слюсаренко, 2022].

Примером проведения дендрохронологического датирования на американских материалах является работа, посвященная исследованию углежогных печей в регионе Грейт-Бейсин (США) XIX в. [Strachan et al., 2013]. Посредством установления точных дат производства угля удалось связать этот процесс с конкретным историческим событием (строительством железной дороги). В исследовании была выявлена сезонность использования печей, а также оценена скорость восстановления лесных массивов, использованных в качестве сырьевой базы для производства угля.

Примером российского дендрохронологического исследования углей является работа В.С. Мыглана и соавторов по материалам из металлургических печей Чуйской и Курайской котловин Горного Алтая [Мыглан и др., 2023]. В процессе раскопок были собраны куски шлака с многочисленными фрагментами углей, которые были оценены как перспективные для дендрохронологического исследования. После разделения кусков шлака и углей была получена коллекция

из 448 дендрообразцов. Только 360 из них оказались пригодны для измерения линейных параметров ширины годовичных колец. Было отобрано 10 образцов, отличавшихся стабильностью и длиной прироста, которые стали эталонными для создания 10 групп перекрестно датированных индивидуальных серий, в которых перекрестно датировались остальные образцы коллекции. Результатом работы стало 9 усредненных древесно-кольцевых хронологий, в которые вошли 160 образцов коллекции. Не вошедшие в хронологии образцы имели либо недостаточное количество годовичных колец, либо слишком выраженные индивидуальные особенности прироста. Хронологии неравномерно наполнены образцами (от 2 до 104) и имеют неодинаковый коэффициент корреляции – от 0,41 до 0,78.

В статье также уделено внимание важной проблеме, связанной с радиоуглеродным датированием археологических углей. Дело в том, что для корректной датировки деревянного объекта принципиально важно подкорковое кольцо, указывающее на год сруба. Выше указывалось, что в процессе горения последнее кольцо дерева редко сохраняется, поэтому при радиоуглеродной датировке угля исследователи могут столкнуться с «эффектом старого дерева». Суть этого явления заключается в том, что метод радиоуглерода использует для датировки только сохранившиеся кольца, которые могут не отражать реальный возраст объекта, а быть фактически моложе его на величину, соответствующую отсутствующим годовичным кольцам. Таким образом, ошибочно принимать узкие кольца, сохранившиеся на углях, за подкорковые. Проведенная работа показала, что датировка древесного угля методом радиоуглеродного датирования без предварительного дендрохронологического анализа может привести к ошибке в определении реального времени существования памятника [Непоп и др., 2025].

В продолжение работ по применению метода дендрохронологии для древесных углей из южных регионов Сибири В.С. Мыгланом и соавторами были получены первые результаты по датировке памятника Кара-Дыт II, создана 138-летняя хронология (Республика Тува, Россия) [Мыглан и др., 2024].

Рассмотренные примеры показывают нам, что уголь, несмотря на нарушение структуры в результате горения, перекрестно датируется с хронологиями по живым деревьям. Все рассмотренные нами исследования имеют две общие черты: уголь для их проведения происходит из металлургических печей или с памятников по производству угля, все археологические памятники, уголь с которых был объектом исследований, находились в высокогорных районах. Таким образом, следующим закономерным шагом в развитии дендрохронологического анализа угля станет применение метода на территориях равнинного типа и поселенческих или погребальных памятниках.

Заключение

На сегодняшний день уголь является одним из наиболее распространенных материалов в археологических памятниках, поэтому невозможно игнорировать перспективы этого материала для реконструкции прошлого, в т.ч. для получения дендрохронологических датировок.

Рассмотренные выше особенности угля на морфологическом, физическом и химическом уровнях привели к необходимости создания новых методик пробоподготовки, поиску способов получения наилучших результатов датирования при достижении максимальной сохранности образца.

На данный момент особенную актуальность имеет применение дендрохронологического датирования углей на материалах обугленных построек для расширения сферы применения метода.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2025-0005 «Природные условия обитания древнего человека в четвертичном периоде Евразии». Автор благодарит Д.В. Папина за консультации в описании археологической ситуации бронзового века Алтая.

Список литературы

Борзунов В.А. О культурной принадлежности иткульских и гамаюно-иткульских древностей Зауралья // РА. – 2019. – № 3. – С. 131–146.

Деревянко А.П., Шуньков М.В., Цыбанков А.А., Ульянов В.А. Изучение голоценовых слоев в восточной галерее Денисовой пещеры // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2007. – Т. XIII. – С. 228–233.

Мыглан В.С., Агатова А.Р., Непоп Р.К., Тайник А.В., Филатова М.О., Баринов В.В. Новый подход к изучению древесных углей из археологических памятников на примере металлургических печей Юго-Восточного Алтая // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2023. – Т. 51, № 2. – С. 85–95.

Мыглан В.С., Тайник А.В., Баринов В.В., Филатова М.О., Бусова В.С., Сычева О.В., Наумова О.В., Жарников З.Ю. Новые методики в дендроархеологии: возможности изучения древесных углей из археологических памятников (на примере стоянки Кара-Дыт II, Республика Тыва) // РА. – 2024. – № 1. – С. 93–104.

Непоп Р.К., Агатова А.Р., Мыглан В.С., Баринов В.В., Филатова М.О., Петрожицкий А.В. К вопросу о хронологической атрибуции памятников черной металлургии на Юго-Восточном Алтае на основании радиоуглеродного датирования и дендрохронологического анализа древесных углей // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2025. – Т. 53, № 2. – С. 86–95.

Садыков Т.Р., Слюсаренко И.Ю. Переход через Гальштатское плато в Уюкской котловине // Евразия в энеолите – раннем Средневековье (инновации, контакты, трансляции идей и технологий). – СПб., 2022. – С. 217–220.

Филатова М.О., Жарников З.Ю., Баринов В.В., Тайник А.В., Мыглан В.С. Потенциал дендроархеологии в разных природных зонах Западной Сибири // Stratum plus. – 2021. – № 6. – С. 349–360.

Backmeroff C.E. Precisely Dating Iron-Ore Mining and its Effects on an Alpine Valley: Summary of a Dendrochronological Investigation of Charcoal Hearths and Relict Woodland Stands // Mining and Cultural Landscape – 8th Intern. Symp. on Archaeol. Mining History / ed. J. Silvertant. – 2013. – P. 218–251.

Backmeroff C.E., Pasquale G. di. Dendrochronological dating of charcoal kilns: a new method for dating historical land use at the upper timberline // Tree Rings and People. International Conference on the Future of Dendrochronology. Davos, 22–26 Sept. 2001. Abstracts. – Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL. – 2001. – P. 260–262.

Baton F., Nguyen Tu T.T., Derenne S., Delorme A., Delarue F., Dufraisse A. Tree ring ¹³C of archeological charcoals as indicator of past climatic seasonality. A case study from the Neolithic settlements of Lake Chalain (Jura, France) // Quatern. Intern. – 2017. – Vol. 457. – P. 50–59.

Blondel F., Cabanis M., Girardclos O., Paradis-Grenouillet S. Impact of carbonization on growth rings: Dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites // Quatern. Intern. – 2018. – № 463. – P. 268–281.

Braadbaart F., Poole I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts // J. of Archaeol. Sci. – 2008. – Vol. 35, No. 9. – P. 2434–2445.

Brossier B., Poirier P. A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts // J. of Archaeol. Sci.: Reports. – 2018. – Vol. 19. – P. 115–126.

Fouédjeu L., Saulnier M., Lejay M., Dušátko M., Labbas V., Jump A.S., Burri S., Buscaino S., Py-Saragaglia V. High resolution reconstruction of modern charcoal production kilns: An integrated approach combining dendrochronology, micromorphology and anthracology in the French Pyrenees // Quatern. Intern. – 2021. – Vol. 593–594. – P. 306–319.

Li G., Gao L., Liu F., Qiu M., Dong G. Quantitative studies on charcoalification: Physical and chemical changes of charring wood // Fundamental Research. – 2024. – Vol. 4, No. 1. – P. 113–122.

Marguerie D., Hunot J.-Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France // J. of Archaeol. Sci. – 2007. – Vol. 34, No. 10. – P. 1465–1478.

Oberhänsli M., Seifert M., Bleicher N., Schoch W.H., Reitmaier-Naef L., Turck R., Reitmaier T., Della Casa P. Dendrochronological dating of charcoal from high-altitude prehistoric copper mining and smelting sites in the Oberhalbstein Valley (Grisons, Switzerland) // Der Anschnitt, Beih. 42. – 2019. – P. 245–260.

Pichler T., Nicolussi K., Goldenberg G., Hanke K., Kovács K., Thurner A. Charcoal from a prehistoric copper mine in the Austrian Alps: dendrochronological and dendrological data, demand for wood and forest utilisation // *J. of Archaeol. Sci.* – 2013. – Vol. 40. – P. 992–1002.

Py V., Durand A., Ancel B. Anthracological analysis of fuel wood used for firesetting in medieval metallic mines of the Faravel district (southern French Alps) // *J. of Archaeol. Sci.* – 2013. – Vol. 40. – P. 3878–3889.

Raab A., Takla M., Raab T., Nicolay A., Schneider A., Heußner K.-U., Bonisch E. Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination // *Quatern. Intern.* – 2015. – Vol. 367. – P. 111–122.

Rybníček M., Bajer A., Friedl M. Dendrochronology improves understanding of the charcoal production history // *Dendrochronologia*. – 2022. – Vol. 75. – P. 79–83.

Strachan S., Biondi F., Lindström S.G., McQueen R., Wigand P.E. Application of dendrochronology to historical charcoal-production sites in the Great Basin, United States // *Historical Archaeology*. – 2013. – Vol. 47, No. 4. – P. 103–119.

References

Backmeroff C.E. Precisely Dating Iron-Ore Mining and its Effects on an Alpine Valley: Summary of a Dendrochronological Investigation of Charcoal Hearths and Relict Woodland Stands. *Mining and Cultural Landscape – 8th Intern. Symp. on Archaeol. Mining History* / ed. J. Silvertant, 2013. P. 218–251.

Backmeroff C.E., Pasquale G. di. Dendrochronological dating of charcoal kilns: a new method for dating historical land use at the upper timberline. In *Tree Rings and People. Intern. Conf. on the Future of Dendrochronology. Davos, 22–26 Sept. 2001. Abstracts*. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, 2001. P. 260–262.

Baton F., Nguyen Tu T.T., Derenne S., Delorme A., Delarue F., Dufraisie A. Tree-ring ^{13}C of archeological charcoals as indicator of past climatic seasonality. A case study from the Neolithic settlements of Lake Chalain (Jura, France). In *Quatern. Intern.*, 2017. Vol. 457. P. 50–59.

Blondel F., Cabanis M., Girardclos O., Paradis-Grenouillet S. Impact of carbonization on growth rings: Dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites. In *Quatern. Intern.*, 2018. No. 463. P. 268–281.

Borodulin V.A. O kul'turnoy prinadlezhnosti itkul'skikh i gamayuno-itkul'skikh drevnostey Zaural'ya. In *Rossiyskaya arkhologiya*, 2019. No. 3. P. 131–146. (In Russ.).

Braadbaart F., Poole I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. In *J. of Archaeol. Sci.*, 2008. Vol. 35, No. 9. P. 2434–2445.

Brossier B., Poirier P. A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological

and natural contexts. In *J. of Archaeol. Sci.: Reports*, 2018. Vol. 19. P. 115–126.

Derevyanko A.P., Shunkov M.V., Tsybankov A.A., Ulyanov V.A. Izucheniye golotsenovykh sloyev v vostochnoy galeree Denisovoy peshchery. In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2007. Vol. XIII. P. 228–233. (In Russ.).

Filatova M.O., Zharnikov Z.Y., Barinov V.V., Taynik A.V., Myglan V.S. Dendroarchaeology potential in various natural areas in West Siberia. In *Stratum plus*, 2021. No. 6. P. 349–360. (In Russ.).

Fouédjeu L., Saulnier M., Lejay M., Dušátko M., Labbas V., Jump A.S., Burri S., Buscaino S., Py-Saragaglia V. High resolution reconstruction of modern charcoal production kilns: An integrated approach combining dendrochronology, micromorphology and anthracology in the French Pyrenees. In *Quatern. Intern.*, 2021. Vol. 593–594. P. 306–319.

Li G., Gao L., Liu F., Qiu M., Dong G. Quantitative studies on charcoalification: Physical and chemical changes of charring wood. In *Fundamental Research*, 2024. Vol. 4. No. 1. P. 113–122.

Marguerie D., Hunot J.-Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. In *J. of Archaeol. Sci.*, 2007. Vol. 34, No. 10. P. 1465–1478.

Myglan V.S., Agatova A.R., Nepop R.K., Taynik A.V., Filatova M.O., Barinov V.V. A New approach to the study of archaeological charcoal: the case of metallurgical furnaces of the Southeastern Altai. In *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2023. Vol. 51, No. 2. P. 74–84. (In Russ.).

Myglan V.S., Taynik A.V., Barinov V.V., Filatova M.O., Busova V.S., Sycheva O.V., Naumova O.V., Zharnikov Z.Y. New methods in dendroarchaeology: possibilities for studying charcoals from archaeological sites (the case of the Kara-Dyt II site, Republic of Tyva). In *Rossiyskaya arkhologiya*, 2024. No. 1. P. 93–104. (In Russ.).

Nepop R.K., Agatova A.R., Myglan V.S., Barinov V.V., Filatova M.O., Petrozhytskiy A.V. On dating archaeological sites evidencing ferrous metallurgy in the Southeastern Altai, based on radiocarbon and dendrochronological analyses of charcoal. In *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2025. Vol. 53, No. 2. P. 89–98. (In Russ.).

Oberhänsli M., Seifert M., Bleicher N., Schoch W.H., Reitmaier-Naef L., Turck R., Reitmaier T., Della Casa P. Dendrochronological dating of charcoal from high-altitude prehistoric copper mining and smelting sites in the Oberhalbstein Valley (Grisons, Switzerland). In *Der Anschnitt, Beih.*, 2019. Vol. 42. P. 245–260.

Pichler T., Nicolussi K., Goldenberg G., Hanke K., Kovács K., Thurner A. Charcoal from a prehistoric copper mine in the Austrian Alps: dendrochronological and dendrological data, demand for wood and forest utilization. In *J. of Archaeol. Sci.*, 2013. Vol. 40. P. 992–1002.

Py V., Durand A., Ancel B. Anthracological analysis of fuel wood used for firesetting in medieval metallic mines of the Faravel district (southern French Alps). In *J. of Archaeol. Sci.*, 2013. Vol. 40. P. 3878–3889.

Raab A., Takla M., Raab T., Nicolay A., Schneider A., Heußner K.-U., Bonisch E. Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): Detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination. In *Quatern. Intern.*, 2015. Vol. 367. P. 111–122.

Rybníček M., Bajer A., Friedl M. Dendrochronology improves understanding of the charcoal production history. In *Dendrochronologia*, 2022. Vol. 75. P. 79–83.

Sadykov T.R., Slyusarenko I.Y. Perekhod cherez Gal'shtatskoye plato v Uyukskoy kotlovine. In *Evraziya v eneolite – rannem srednevekov'ye* (innovatsii, kontakty,

translyatsii idey i tekhnologii). St. Petersburg, 2022. P. 217–220. (In Russ.).

Strachan S., Biondi F., Lindström S.G., McQueen R., Wigand P.E. Application of dendrochronology to historical charcoal-production sites in the Great Basin, United States. In *Historical Archaeology*, 2013. Vol. 47, No. 4. P. 103–119.

Юмина А.В. <https://orcid.org/0009-0004-8240-0522>
Филатова М.О. <https://orcid.org/0000-0001-5828-4809>

Дата сдачи рукописи: 29.08.2025 г.