

НОВЫЕ МЕТОДИКИ В ДЕНДРОАРХЕОЛОГИИ: ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ УГЛЕЙ ИЗ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ (на примере стоянки Кара-Дыт II, Республика Тыва)

© 2024 г. В. С. Мыглан^{1,*}, А. В. Тайник^{1,**}, В. В. Баринов^{1,***}, М. О. Филатова^{2,****}, В. С. Бусова^{3,*****}, О. В. Сычева^{3,*****}, О. В. Наумова^{1,*****}, З. Ю. Жарников^{1,*****}

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

³Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vmiglan@sfu-kras.ru

**E-mail: ataynik@sfu-kras.ru

***E-mail: vybarinov@sfu-kras.ru

****E-mail: mayaphylatova@gmail.com

*****E-mail: kulturnijkarman@gmail.com

*****E-mail: olyscheva@gmail.com

*****E-mail: ovnaumova@sfu-kras.ru

*****E-mail: zzharnikov@sfu-kras.ru

Поступила в редакцию 23.03.2023 г.

После доработки: 13.06.2023 г.

Принята к публикации 17.10.2023 г.

Традиционно древесные угли из археологических памятников считались мало пригодным материалом для проведения дендрохронологического датирования. Нами исследовано 23 образца угля из памятника Кара-Дыт II (Республика Тыва, Россия). Анализ существующих решений по пробоподготовке такого материала показал их низкую скорость и результативность. В данной статье применен авторский подход, позволяющий выполнить быструю и качественную пробоподготовку большого числа древесных углей с минимальными трудозатратами. В результате по археологическим древесным углям удалось построить 138-летнюю древесно-кольцевую хронологию. Продолжение работы в этом направлении позволит решить проблему с построением длительной древесно-кольцевой хронологии в аридной зоне Южной Сибири. Такая хронология – уникальный инструмент для определения календарного возраста древесины из многочисленных курганов Тувы и углубленного изучения вопроса о связи климата и социума за последние два тысячелетия.

Ключевые слова: Республика Тыва, дендрохронология, древесно-кольцевая хронология (ДКХ), древесные угли, железоплавильный горн.

DOI: 10.31857/S0869606324010066, **EDN:** ZWFEIM

Развитие спектра естественнонаучных методов во второй половине прошлого века позволило широко применять их и в археологии. Этот опыт оказался настолько успешным, что обращение к ним прочно вошло в повседневную практику ученых. Один из самых точных естественнонаучных методов датирования с разрешением в год/сезон – дендрохронологический. Он повсеместно стал применяться при обнаружении древесины удовлетворительной сохранности (Büntgen et al., 2019; Жарников и др.,

2020; Мыглан и др., 2020). Однако исследователи сталкиваются с рядом ограничений, которые существенно затрудняют процесс датирования памятников. Первое – плохая сохранность археологической древесины, второе – отсутствие для ряда регионов длительных древесно-кольцевых хронологий, пригодных для датирования.

Внедрение цифровых методов в дендрохронологическую практику (т.е. переход от непосредственного полуавтоматического измерения ширины годовых колец на образцах древесины



Рис. 1. Карта-схема района отбора образцов, в результате исследования которых построены древесно-кольцевые хронологии. 1, 2 – верхняя граница леса, хронологии Mongun и Kolch (соответственно); 3, 5 – лесостепная зона, хронологии Bora и Nan (соответственно); 4 – стоянка Кара-Дыт II, хронология КД.

Fig. 1. A schematic map of the area, which provided samples for the study. Based on its results tree-ring chronologies discussed in the paper were constructed

под стереоскопическим микроскопом к измерению параметров годичных колец на цифровых изображениях высокого разрешения, полученных с помощью разного рода сканеров, фотоаппаратов, микроскопов и т.п. оборудования) подталкивает к переосмыслению названных ограничений в дендроархеологии, в первую очередь связанных с плохой сохранностью древесины. Яркий пример – древесные угли, которые широко распространены и часто фиксируются в ходе археологических раскопок. Тем не менее до сих пор древесные угли рассматривались как неперспективные в дендрохронологическом плане, пригодные только для определения видового состава и радиоуглеродного датирования (Филатова, Филатов, 2021). Считалось, что из-за их хрупкости процесс пробоподготовки и измерения существенно затруднен, а в силу небольшого размера и сильной фрагментарности они содержат небольшое количество древесных колец. В итоге потенциал древесных углей как источника информации оставался нераскрытым.

В рамках настоящей статьи рассматривается эффективность нового подхода пробоподготовки древесных углей из археологического памятника Кара-Дыт II (Республика Тыва, Россия), что снимает ранее существовавшие ограничения. Разработанная методика позволила использовать древесные угли как полноценный источник

дендрохронологической информации, строить по ним древесно-кольцевые хронологии, а значит, выполнять календарную перекрестную датировку, что ранее считалось трудно осуществимым. Результаты исследования наглядно показывают, что в настоящее время древесный уголь превращается в весьма перспективный источник информации о прошлом.

Материалы и методы. Места сбора образцов располагаются в Республике Тыва, в северо-западной части Убсунурской котловины (рис. 1). В ходе разведки полевого сезона 2019 г. отдельным отрядом Тувинской археологической экспедиции Института истории материальной культуры РАН на берегу р. Кара-Дыт выявлена стоянка Кара-Дыт II, расположенная в 24.32 км к юго-западу от с. Саглы, в 4.4 км к северо-западу от дороги Хандагайты-Саглы, высота над уровнем моря – 1666–1668 м (рис. 2). Кара-Дыт – тюркское словосочетание, которое переводится как “черная лиственница”. Вероятно, названием река обязана лиственницам с обугленной корой в результате степных пожаров, которые и сегодня встречаются по ее берегам.

На правом пойменном берегу реки зафиксирована небольшая площадка однослойной стоянки со смешанным слоем и без каких-либо выявленных конструкций. Культурный слой насыщен фрагментами красноглиняной лепной



Рис. 2. Общий вид окрестностей стоянки Кара-Дыт II, вид с севера.

Fig. 2. A general view of the surroundings of the Kara-Dyt II site, north view

керамики и железных шлаков, костями животных, найдена игла из медного сплава. Изучено 133 м² из общей площади в 450. В 2022 г. разведывательный шурф (2 × 1 м) в 195 м ниже по течению реки позволил почти полностью раскрыть один из сильно разрушенных горнов. В его заполнении в перемешанном состоянии зафиксированы фрагменты шлаков (71.5 кг) с крупными включениями древесных углей, фрагменты глиняных обмазки и воздуходувных сопел. Как сказано выше, среди артефактов, обнаруженных на памятнике, значительную часть составляют находки, связанные с металлургическим и кузнечным производством: куски железной руды, железные шлаки, фрагменты кричного железа. Вероятно, что пребывание людей на стоянке было связано именно с производственными процессами и носило временный характер.

Анализ существующих решений по пробоподготовке древесных углей показал их низкую результативность применительно к задаче быстрой обработки (в России отсутствуют исследования, связанные с построением древесно-кольцевых хронологий (далее ДКХ) по углям). Кратко остановимся на них. Классический способ подразумевает разламывание угля в поперечном направлении (Stokes, Smiley, 1996. P. 42). Несомненно, на разломе хорошо (четко) видны годовичные кольца и отсутствуют следы внешних загрязнений. Однако в нашем случае

сложно разломить крупные угли (диаметром более 50 мм), а мелкие (до 8 мм) часто разрушаются в результате механического воздействия. Главные недостатки этого подхода — отсутствие возможности стабильно получать ровную плоскость по линии разлома и потеря образца в случае неудачи. Существует способ, опирающийся на ручную подрезку лезвием поверхности углей под микроскопом (Rybnicek et al., 2022). Результат подрезки можно улучшить последующим контрастированием (порошком мела, пастой и др. мелкодисперсными составами), но, несмотря на хороший конечный результат, этот способ требует существенных трудозатрат и высокую квалификацию персонала, а значит, он плохо применим для массовой обработки материала. Вариант, связанный с пропиткой сложными составами с последующей подрезкой (шлифовкой), позволяет получать превосходное по качеству изображение (Rossi et al., 2006), но себестоимость оборудования и расходных материалов для подготовки образцов не позволяет использовать данный подход на массовом материале.

В результате для решения стоящей задачи сотрудниками Сибирской дендрохронологической лаборатории разработан авторский подход, позволяющий с минимальными трудозатратами выполнить быструю и качественную пробоподготовку большого числа древесных углей практически любого размера и формы. Важно

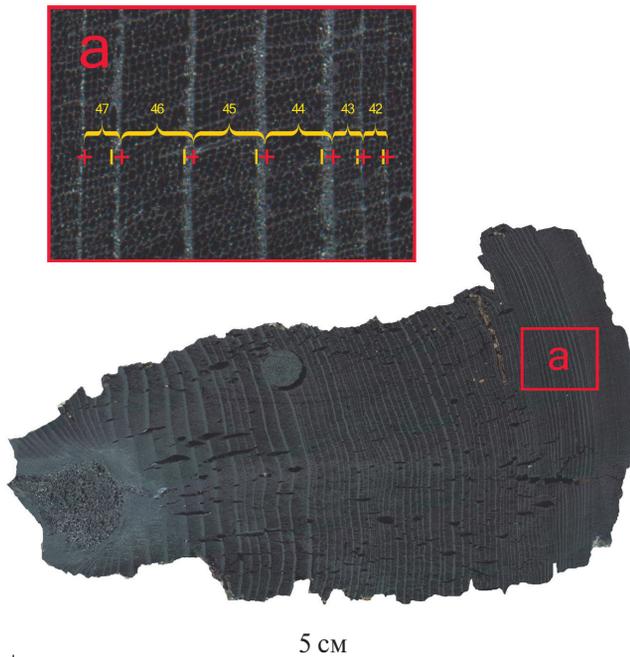


Рис. 3. Образец KD 004. Обозначения: а – подготовленная поверхность древесного угля под 30-кратным увеличением; фигурные скобки – границы годовичных колец; цифры – порядковый номер годовичного кольца; вертикальные отрезки – границы ранней древесины годовичного кольца; кресты – границы поздней древесины.

Fig. 3. KD 004 sample

подчеркнуть, что метод опирается на использование стандартного (обычного) шлифовального и микроскопического оборудования, имеющегося в распоряжении практически любой естественнонаучной лаборатории (которая занимается изучением древесины), т.е. имеет высокую степень доступности (воспроизводимости).

Образцы поступили в лабораторию в виде двух шлаков с включениями древесных углей (весом в пределах 5 кг). В процессе пробоподготовки потребовалось провести работу по извлечению хрупких древесных углей с наименьшими потерями материала. Для этого шлаки разламывали с помощью кирки, в некоторых случаях применялась углошлифовальная машина с алмазным диском. Всего извлечено 23 образца угля (рис. 3).

Древесные угли шлифовались на тарельчато-ленточном шлифовальном станке (лента P600, P1000, круг P1000). В процессе шлифовки образцов образуется угольная пыль, которая заполняет трахеиды и препятствует визуализации клеточной структуры. Для ее удаления

использовался бытовой пылесос. Для качественного (полного) удаления пыли очень важно предварительно высушить угли (до уровня не более 7%-ной влажности), поскольку при избыточной влажности образцов пыль забивает трахеиды и слипается, при высыхании затвердевает и ее невозможно удалить.

Для измерения годовичных колец все чаще выполняется сканирование поверхности образцов с помощью профессиональных сканеров высокого разрешения (Brossiera, Poiriera, 2018). В нашем случае подготовленная торцевая поверхность древесных углей фотографировалась в отраженном свете при 30-кратном увеличении с помощью микроскопа AXIO zoom.V16 (CARL ZEISS), оснащенного моторизованным предметным столиком (рис. 3а). Применение микроскопа обусловлено наличием в образцах депрессий прироста годовичных колец, ширина которых неразличима на изображениях, полученных при помощи сканера (с разрешением 4800 dpi). Полученные фотографии годовичных колец образцов сшивались в программном пакете ZEN (CARL ZEISS), дополнялись сопроводительной информацией об увеличении, масштабе и т.п., после чего конвертировались в формат TIFF (Tagged Image File Format). В дальнейшем изображения обрабатывались в программе CooRecorder 9.8 (CR) (Larsson, 2013), где в ручном режиме выполнялось измерение линейных размеров по трем параметрам ширины: годовичного кольца; ранней древесины годовичного кольца; поздней древесины годовичного кольца (рис. 3а). Графическое представление полученных данных выполнялось в программе CDendro 9.8 (Larsson, 2013). Датирование всех измеренных серий проведено посредством сочетания графической перекрестной датировки (Douglass, 1919) и кросс-корреляционного анализа в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL (Holmes, 1983) и TSAP v3.5 (Rinn, 1996).

В ходе процедуры происходило выявление выпавших колец и ошибок измерений, с последующим обращением к цифровым изображениям (проверялся факт наличия или отсутствия годовичного кольца, вносились поправки в измерения). Возрастной тренд измеренных серий убирался путем стандартизации сплайном в $\frac{2}{3}$ от длины каждой серии (Cook, Krusic, 2008).

Таблица 1. Параметры индивидуальных серий прироста, полученных по древесным углям

Table 1. Parameters of individual growth series obtained from charcoal

№ лаб.	Порядковые номера ГК в общей относительной ДКХ	Длина ДКХ, лет	R	Средняя ширина ГК, мм	Максимальная ширина ГК, мм	SD
kd001	45–109	65	0.73	0.63	1.48	0.32
kd003	75–111	37	0.40	0.99	1.51	0.28
kd004	1–125	125	0.70	0.39	1.49	0.34
kd005	51–98	48	0.51	0.73	1.65	0.37
kd006	36–66	31	0.51	0.86	1.70	0.37
kd007	20–95	76	0.88	0.59	1.88	0.34
kd008	37–87	51	0.61	0.35	0.66	0.15
kd009	48–91	44	0.62	0.48	0.96	0.20
kd010	45–73	29	0.72	0.46	0.90	0.21
kd011	27–65	39	0.71	0.44	1.01	0.19
kd012	28–78	51	0.82	0.36	0.92	0.20
kd013	99–138	40	0.69	0.46	0.97	0.20
kd014	88–124	37	0.65	0.22	0.42	0.08
kd015	51–95	45	0.81	0.44	0.94	0.25
kd016	49–130	82	0.59	0.16	0.66	0.15
kd017	54–80	27	0.89	0.31	0.64	0.15
kd018	74–97	24	0.50	0.32	0.54	0.09
kd019	64–89	26	0.78	0.33	0.64	0.14
kd020	33–48	16	0.70	1.09	1.81	0.31
kd021	34–77	44	0.78	0.37	0.72	0.17
kd022	79–113	35	0.77	0.45	0.98	0.23
<i>Среднее значение</i>		46	0.68	0.50	1.07	0.23

Примечание: № лаб. – номер лабораторный, ГК – годовое кольцо, ДКХ – древесно-кольцевая хронология, R – коэффициент множественной корреляции, SD – стандартное отклонение.

Выбор такого способа стандартизации определялся наличием у отдельных образцов коротких периодов с резким увеличением прироста (что характерно для прироста деревьев из лесостепной зоны). Оценка качества построенных хронологий выполнялась на основе применения традиционных показателей: коэффициентов корреляции (множественной и Пирсона), стандартного отклонения, EPS (чувствительность ДКХ к изменению внешних факторов (зависит от количества анализируемых образцов и показывает, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности)), RBAR (среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями) и др. (Wigley at al., 1984).

Результаты. Из 23 образцов 21 оказался пригоден для измерения линейных параметров годовых колец. Измеренные индивидуальные серии прироста были перекрестно датированы относительно друг друга, т.е. одна индивидуальная серия принималась за эталон и выставлялась на нулевой год, относительно которого выполнялась перекрестная датировка остальных рядов измерений. Параметры измеренных и датированных друг относительно друга индивидуальных серий прироста приведены в табл. 1.

Качество полученной выборки (число повторений и согласованность прироста) позволило построить стандартизованную древесно-кольцевую хронологию длительностью 138 лет, которая на периоде в 75 лет отражает внешний климатический сигнал (рис. 4).

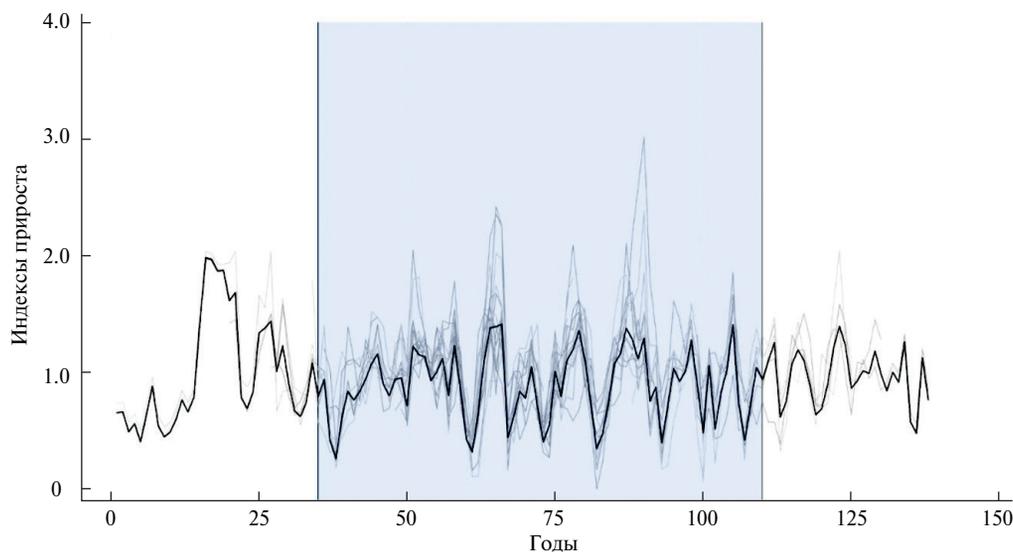


Рис. 4. Стандартизированная древесно-кольцевая хронология KD (черная линия). Другие обозначения: серые линии – индивидуальные серии прироста; заливка – период при обозначенном стандартном отклонении, EPS.
Fig. 4. Standardized KD tree-ring chronology (black line)

Радиоуглеродная дата. С целью определения времени существования горна отобраны образцы древесного угля из заполнения рабочей камеры, по которым получена дата 1648 ± 25 BP (2σ 265–535 calAD) (SPb-3816). Перевод радиоуглеродных дат в календарные проводился при помощи программы OxCal 4.4. Результаты получены в Лаборатории изотопных исследований кафедры геологии и геоэкологии Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург).

Последующая калибровка радиоуглеродной даты проводилась при помощи программы OxCal 4.4. Из рис. 5 хорошо видно, что с наибольшей вероятностью время заготовки древесного угля приходится на интервал с 352 по 441 г. н.э.

Наш опыт работы в дендроархеологии наглядно показывает, что увеличение доступности профессионального технического оборудования и цифровизация приводят к быстрому увеличению качества, расширения возможностей применения существующих и появлению новых подходов пробоподготовки. Это расширяет область применения дендрохронологического метода, в первую очередь для анализа материалов, ранее считавшихся непригодными к обработке, например, появляется возможность использовать древесные угли для построения тысячелетних древесно-кольцевых хронологий в лесостепной зоне. Несомненные

преимуществами предложенного нами подхода – существенное снижение затрат на приобретение оборудования; повышение качества (точности) измерения годичных колец; появление возможности полноценной удаленной работы по измерению образцов (достаточно установить специализированную программу Coorecorder на подходящий по параметрам компьютер); снятие проблемы верификации (качество измерений на изображении легко проверяется независимыми исследователями); расширение диапазона измеряемых параметров годичного кольца (помимо ширины годичного кольца такой подход позволяет одновременно получить значения ширины ранней и поздней частей годичного кольца, оптическую плотность и др.). Важно подчеркнуть, что полученное изображение фиксирует клеточную структуру образца в момент оптимального состояния (достигнутое качество поверхности углей при пробоподготовке со временем неизбежно снижается, т.е. в дальнейшем не придется тратить время на повторную подготовку).

Не менее важный момент связан с возможностью применения новой методики пробоподготовки углей применительно к древесным углям на разных территориях. В нашем случае новая методика пробоподготовки успешно применена во второй раз (первый опыт см. Мыглан и др., 2023), т.е. продемонстрировала универсальность,

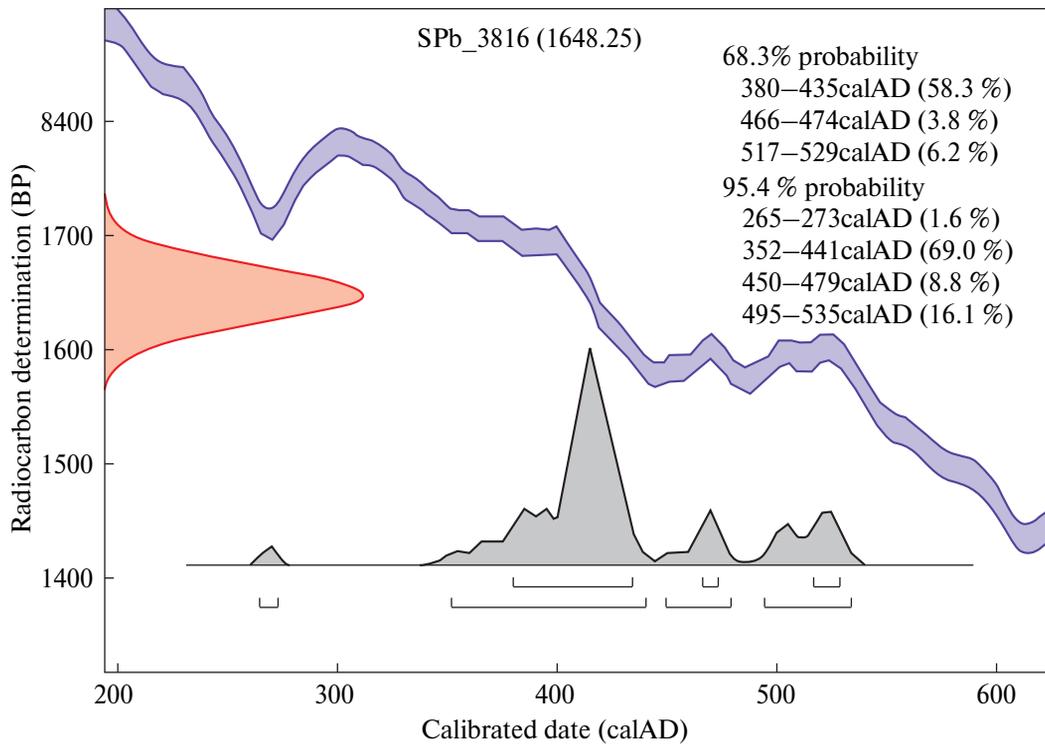


Рис. 5. Калибровка радиоуглеродной даты в программе OxCal.

Fig. 5. Calibration of radiocarbon dates in the OxCal program

и самое главное – масштабируемость, применимость к любым древесным углям.

Следует отметить, что полученная радиоуглеродная дата – это достаточно “грубая” календарная датировка, поскольку при отборе образца на радиоуглеродное датирование не удалось избежать “эффекта старого дерева”. Суть данного явления заключается в том, что при датировке древесины ключевое значение имеет факт наличия подкорового кольца, который прямо указывает на дату заготовки древесины. В случае древесных углей крайне сложно определить количество потерянных периферийных колец, что ведет к ошибке в датировке (сдвигу в прошлое на величину утерянных годовичных колец). Классический подход к решению такой проблемы заключается в том, что перед проведением радиоуглеродной датировки отбирается материал с углей, ширина годовичных колец которых указывает на близость подкорового кольца. За год заготовки древесины в таком случае принимается группа наиболее поздних близкорасположенных дат (Vodysov et al., 2020). Но на наш взгляд, такой подход следует применять с большой осторожностью, поскольку проведение радиоуглеродных датировок без

привлечения дендрохронологического анализа (в случаях когда это возможно) намного увеличивает вероятность ошибки.

Наиболее оптимально использование при датировании метода “wiggles matching”, который дает большую точность датировки вплоть до нескольких лет (следует учитывать, что точность метода зависит от наклона калибровочной кривой). В данном случае при наличии древесно-кольцевой хронологии КД (построенной из перекрестно датированных относительно друг друга древесных углей) появляется возможность через известные интервалы времени (например, 30 лет) отобрать несколько проб материала для радиоуглеродного анализа. Для того чтобы обеспечить необходимый вес пробы, материал может отбираться не только с одного, но и с нескольких образцов древесного угля, так как они содержат годовичное кольцо, датируемое одним годом.

Принципиальный вопрос, с которым сталкивается любой исследователь древесины с археологического памятника, связан с поиском источника происхождения древесины. Для решения этого вопроса нами выполнено сравнение параметров древесно-кольцевых хронологий,

Таблица 2. Параметры древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) для лесостепной зоны и верхней границы произрастания древесной растительности

Table 2. Parameters of tree-ring chronologies (TRC) for the forest-steppe zone and the upper limit of woody vegetation growth

Название хронологии		KD	Han	Bora	Kolch
Высота над уровнем моря, м		1680	1550	1550	2220
Количество образцов, шт.		21	32	16	50
Протяженность ДКХ	длина, лет	138	485	335	1452
	интервал, годы	1–138	1534–2018	1679–2013	561–2012
Средняя длина индивидуальной серии, лет		46	249	182	284
Ширина годовичного кольца, мм	средняя	0.47	0.27	0.53	0.43
	максимальная	1.88	3.33	3.05	3.72
Межсерийный коэффициент корреляции		0.69	0.84	0.77	0.66
Чувствительность		0.25	0.54	0.37	0.29
Стандартное отклонение		0.33	0.56	0.49	0.35

полученных по древесным углям (KD), с хронологиями, построенными по прилегающим участкам лесной растительности в степной части Убсунурской котловины (хронология Han, Bora, Тайник и др., 2022) и верхней границе леса (хронология Kolch, Тайник, 2019) (рис. 1).

Сравнение параметров хронологий (табл. 2) показало, что такие параметры ДКХ KD, как средняя ширины годовичного кольца, – сопоставимы с параметрами остальных хронологий; максимальная ширина годовичного кольца меньше, чем у остальных ДКХ, скорее всего, по причине того, что образцы углей из хронологии KD представляют собой фрагменты стволов деревьев, у которых отсутствуют начальные (центральные) кольца периода “большого роста”. Обращаясь к другим параметрам хронологий (межсерийный коэффициент корреляции, чувствительность и стандартное отклонение), можно констатировать, что простое сопоставление параметров ДКХ для прилегающих лесостепных участков и верхней границы распространения древесной растительности не позволяют однозначно разобраться в этом вопросе.

Учитывая, что калиброванная радиоуглеродная дата древесного угля приходится на интервал с 352 по 441 г. н.э., для решения вопроса

об источнике происхождения древесины привлечена 2367-летняя региональная хронология по ширине годовичного кольца для верхней границы произрастания древесной растительности – Mongun (Myglan et. al., 2012). Место отбора образцов (рис. 1, 1), по которым получена ДКХ Mongun, расположено в 120 км условно западнее стоянки Кара-Дыг II (рис. 1, 4), по образцам с которой получена хронология KD, а ее качество позволяет датировать образцы палеодревесины с верхней границы леса в Республике Тыва и прилегающих территориях за весь указанный период. Проведенная перекрестная датировка ДКХ Mongun с KD (в программе COFESHA) показала, что хронологии не датируются. Это свидетельствует о том, что в древесных углях с памятника Кара-Дыг II не содержится сигнал, связанный с изменением температурного поля на данной территории.

Следует отметить, что построение ДКХ KD по древесным углям для аридной зоны Южной Сибири имеет принципиальное значение. В прикладном аспекте ее календарная привязка позволит дать точный ответ о времени функционирования металлургических печей, которые могут быть связаны с функционированием стоянки Кара Дыг II. В более широком аспекте проведение дальнейших исследований

позволит привлечь археологическую древесину (древесные угли) в качестве важного источника экологической и палеоклиматической информации (Омурова и др., 2018). Дендрохронологические исследования исследуемой территории показали, что средний возраст лиственницы достигает 300 лет, а максимальный — более тысячи (Тайник и др., 2022). По этой причине работа в этом направлении приближает нас к возможности построения двухтысячелетней ДКХ для лесостепной зоны. На сегодняшний день наибольшая длительность ДКХ в этой зоне достигает 1102 года, а опубликована только 778-летняя часть этой хронологии (Тауник et al., 2023).

Получение региональной ДКХ такой длительности откроет широкие возможности для выполнения реконструкции режима увлажнения исследуемой территории, засух с высоким разрешением (год). Кроме того, закладывает прочный фундамент для решения старой научной проблемы, связанной с проведением календарной датировки образцов древесины из многочисленных курганов, расположенных в степных долинах Южной Сибири.

Итак, разработка нового подхода к изучению древесных углей из металлургических печей Республики Тыва и внедрение современных способов анализа дендрохронологических материалов открывают новые перспективы в деле изучения климатических изменений и культурного наследия прошлого. Проведение дальнейших исследований в этом направлении потенциально позволит решить принципиальную проблему, связанную с построением тысячелетней древесно-кольцевой хронологии и календарной датировкой многочисленных курганов в аридной зоне Южной Сибири.

Кроме того, радиоуглеродный возраст углей, извлеченных из шлаков, соответствует времени существования носителей кокельской археологической культуры (III–V вв.) и позволяет перейти к соотношению этих данных с материалами стоянки Кара-Дыт II, на которой зафиксированы аналогичные следы плавки и обработки железа. До сих пор культурно-хронологическая привязка памятника оставалась дискуссионной из-за сильно переотложенного культурного слоя и отсутствия каких-либо важных маркирующих поселенческий слой находок (предметов из металла хорошей сохранности,

серий венчиков сосудов и т.д.). Продолжение исследований на правом берегу р. Кара-Дыт поможет определить границы производственной зоны и сделать эту связь более точной.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 23-78-10118.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Жарников З.Ю., Мыглан В.С., Сидорова М.О., Аболи-на Л.А. Генезис деревянной архитектуры Енисейска в контексте последствий пожара 1869 г. // Былые годы. 2020. № 55 (1). С. 173–187.
- Мыглан В.С., Агатова А.Р., Непон 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. 74–84.
- Мыглан В.С., Омурова Г.Т., Баринов В.В., Кардаш О.В. Методические аспекты определения типа, возраста и происхождения археологической древесины (на примере построек Надымского городка) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2020. Т. 48, № 3. С. 80–89.
- Омурова Г.Т., Баринов В.В., Кардаш О.В., Ваганов Е.А., Мыглан В.С. Реконструкция экстремальных палеоклиматических событий на севере Западной Сибири по археологической древесине (на примере Надымского городка) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. Т. 46, № 3. С. 32–40.
- Тайник А.В. Изменения ширины годичных колец лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) и температуры воздуха на верхней границе леса в Республике Тыва: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2019. 22 с.
- Тайник А.В., Мыглан В.С., Баринов В.В., Ойдунаа О.Ч., Наумова О.В. Сеть опорных древесно-кольцевых хронологий для проведения судебно-ботанических (дендрохронологических) экспертиз и датировки архитектурных построек в Республике Тыва: свидетельство о регистрации базы данных № 2022620160 от 19.01.2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47779331> (дата обращения: 22.11.2023).
- Тайник А.В., Мыглан В.С., Баринов В.В., Ойдунаа О.Ч., Наумова О.В. Сеть опорных древесно-кольцевых хронологий для проведения судебно-ботанических (дендрохронологических) экспертиз и датировки архитектурных построек в Республике Тыва: свидетельство о регистрации базы данных № 2022620160 от 19.01.2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47779331> (дата обращения: 22.11.2023).

- Филатова М.О., Филатов Е.А.* Первое антракологическое исследование древесных углей в Восточной Сибири: по материалам мастерской им. А.П. Окладникова // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Т. 27. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии Сибирского отд. РАН, 2021. С. 289–293.
- Brossiera B., Poiriera P.* A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts // Journal of Archaeological Science: Reports. 2018. Vol. 19. P. 115–126.
- Büntgen U., Krusic P.J., Piermattei A., Coomes D.A., Esper J., Myglan V.S., Kirdyanov A.V., Camarero J.J., Crivellaro A., Körner Ch.* Limited capacity of tree growth to mitigate the global greenhouse effect under predicted warming // Nature Communications. 2019. Vol. 10. 2171.
- Cook E.R., Krusic P.J.* Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN) [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.ideo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (дата обращения: 09.11.2023).
- Douglass A.E.* Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Vol. 1. Washington: Carnegie Institution, 1919. 127 p.
- Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring bulletin. 1983. Vol. 44. P. 69–75.
- Larsson L.* CooRecorder and Cdendro programs of the CooRecorder. Cdendro package version 7.6 [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://www.cybis.se/forfun/dendro/> (дата обращения: 26.11.2021).
- Myglan V.S., Oidupaa O.Ch., Vaganov E.A.* A 2367-year Tree-Ring Chronology for the Altai-Sayan Region (Mongun-Taiga Mountain Massif) // Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia. 2012. № 40 (3). P. 76–83.
- Rinn F.* TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 269 p.
- Rossi S., Anfodillo T., Menardi R.* Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems // IAWA Journal (International Association of Wood Anatomists Journal). 2006. 27 (1). P. 89–97.
- Rybnicek M., Kyncl T., Vavrcik H., Kolar T.* Dendrochronology improves understanding of the charcoal production history // Dendrochronologia. 2022. Vol. 75. 125994.
- Stokes M.A., Smiley T.L.* An Introduction to Tree-Ring Dating. Tucson: University of Arizona Press, 1996. 73 p.
- Taynik A., Myglan V., Barinov V., Oidupaa O., Churakova (Sidorova) O.* Ancient larch trees in the Tuva Republic, land of the oldest trees in Russia // Eco.mont. 2023. Vol. 15, № 2. P. 13–19.
- Vodyasov E.V., Zaitceva O.V., Vavulin M.V., Pushkarev A.A.* The earliest box-shaped iron smelting furnaces in Asia: New data from Southern Siberia // Journal of Archaeological Science: Reports. 2020. Vol. 31. 102383.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D.* On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // Journal of Climate and Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. P. 201–213.

NEW METHODS IN DENDROARCHAEOLOGY: POSSIBILITIES FOR STUDYING CHARCOALS FROM ARCHAEOLOGICAL SITES (the case of the Kara-Dyt II site, Republic of Tyva)

**Vladimir S. Myglan^{a, #}, Anna V. Taynik^{a, ##}, Valentin V. Barinov^{a, ###},
Maya O. Filatova^{b, ####}, Varvara S. Busova^{c, #####}, Olga V. Sycheva^{c, #####},
Oksana V. Naumova^{a, #####} and Zakhar Yu. Zharnikov^{a, #####}**

^aSiberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

^bInstitute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch RAS, Novosibirsk, Russia

^cInstitute for the History of Material Culture RAS, St. Petersburg, Russia

[#]E-mail: vmiglan@sfu-kras.ru

^{##}E-mail: ataynik@sfu-kras.ru

^{###}E-mail: vvbarinov@sfu-kras.ru

^{####}E-mail: mayaphylatova@gmail.com

^{#####}E-mail: kulturnijkarman@gmail.com

^{#####}E-mail: olysycheva@gmail.com

^{#####}E-mail: ovnaumova@sfu-kras.ru

^{#####}E-mail: zzharnikov@sfu-kras.ru

Traditionally, charcoal from archaeological sites was considered an unsuitable material for dendrochronological dating. The authors examined 23 coal samples from the Kara-Dyt II site (Republic of Tyva, Russia). An analysis of existing solutions for sample preparation of such material showed their low speed and efficiency. This article uses the approach developed by the authors, which allows for quick and high-quality sample preparation of a large number of charcoals with minimal labour costs. As a result, it was possible to construct a 138-year tree-ring chronology using archaeological charcoal. Further work in this direction will make it possible to solve the problem of constructing a long-term tree-ring chronology in the arid zone of South Siberia. This chronology provides a unique tool for determining the calendar age of wood from numerous burial mounds in Tuva and for an in-depth study of the relationship between climate and society over the past two millennia.

Keywords: Republic of Tyva, dendroarchaeology, tree-ring chronology (DRC), charcoal, iron smelting forge.

REFERENCES

- Brossiera B., Poiriera P., 2018. A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 19, pp. 115–126.
- Büntgen U., Krusic P.J., Piermattei A., Coomes D.A., Esper J., Myglan V.S., Kirilyanov A.V., Camarero J.J., Crivellaro A., Körner Ch., 2019. Limited capacity of tree growth to mitigate the global greenhouse effect under predicted warming. *Nature Communications*, 10, 2171.
- Cook E.R., Krusic P.J., 2008. Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN) (Electronic resource). URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>.
- Douglass A.E., 1919. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity, 1. Washington: Carnegie Institution. 127 p.
- Filatova M.O., Filatov E.A., 2021. The first anthracological study of charcoal in Eastern Siberia: based on materials from the A.P. Okladnikov workshop. *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territoriy [Problems of archaeology, ethnography, anthropology of Siberia and adjacent territories]*, 27. Novosibirsk: Izdatel'stvo Instituta arkheologii i etnografii Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk, pp. 289–293. (In Russ.)
- Holmes R.L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring bulletin*, 44, pp. 69–75.
- Larsson L., 2013. CooRecorder and Cdendro programs of the CooRecorder. Cdendro package version 7.6 (Electronic resource). URL: <http://www.cybis.se/forfun/dendro/>.
- Myglan V.S., Agatova A.R., Nepop R.K., Taynik A.V., Filatova M.O., Barinov V.V., 2023. A new approach to the study of archaeological charcoal: The case of metallurgical furnaces of the Southeastern Altai. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii [Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia]*, vol. 51, no. 2, pp. 74–84. (In Russ.)
- Myglan V.S., Oidupaa O.Ch., Vaganov E.A., 2012. A 2367-year Tree-Ring Chronology for the Altai-Sayan Region (Mongun-Taiga Mountain Massif). *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 40 (3), pp. 76–83.
- Myglan V.S., Omurova G.T., Barinov V.V., Kardash O.V., 2020. Methodological aspects of determining type, age, and origin of archaeological wood: the case of fort Nadym. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii [Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia]*, vol. 48, no. 3, pp. 80–89. (In Russ.)
- Omurova G.T., Barinov V.V., Kardash O.V., Vaganov E.A., Myglan V.S., 2018. Reconstruction of extreme palaeoclimatic events in Northwestern Siberia using ancient wood from fort Nadym. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii [Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia]*, vol. 46, no. 3, pp. 32–40. (In Russ.)
- Rinn F., 1996. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution. 269 p.
- Rossi S., Anfodillo T., Menardi R., 2006. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal (International Association of Wood Anatomists Journal)*, 27 (1), pp. 89–97.
- Rybnicek M., Kyncl T., Vavrcik H., Kolar T., 2022. Dendrochronology improves understanding of the charcoal production history. *Dendrochronologia*, 75, 125994.
- Stokes M.A., Smiley T.L., 1996. An Introduction to Tree-Ring Dating. Tucson: University of Arizona Press. 73 p.
- Taynik A., Myglan V., Barinov V., Oidupaa O., Churakova (Sidorova) O., 2023. Ancient larch trees in the Tuva Republic, land of the oldest trees in Russia. *Eco.mont*, vol. 15, no. 2, pp. 13–19.
- Taynik A.V., 2019. Izmeneniya shiriny godichnykh kolets listvennitsy sibirskoy (*Larix sibirica* ldb.) i temperatury vozdukha na verkhney granitse lesa v Respublike Tyva: avtoreferat dissertatsii ... kandidata biologicheskikh nauk [Changes in the width of annual rings of Siberian larch (*Larix sibirica* ldb.) and air temperature at the upper border of the forest in the Republic of Tyva: an author's Abstract of the Thesis for the Doctoral degree in Biology]. Krasnoyarsk. 22 p.

- Taynik A.V., Myglan V.S., Barinov V.V., Oydupaa O.Ch., Naumova O.V.*, 2022. Set' opornykh drevesno-kol'tsevykh khronologiy dlya provedeniya sudebno-botanicheskikh (dendrokronologicheskikh) ekspertiz i datirovki arkhitekturnykh postroek v Respublike Tyva: svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh № 2022620160 ot 19.01.2022 (Elektronnyy resurs) [Network of reference tree-ring chronologies for forensic botanical (dendrochronological) examinations and dating of architectural buildings in the Republic of Tyva: Database Registration Certificate No. 2022620160 of 19.01.2022 (Electronic resource)]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47779331>.
- Vodyasov E.V., Zaitceva O.V., Vavulin M.V., Pushkarev A.A.*, 2020. The earliest box-shaped iron smelting furnaces in Asia: New data from Southern Siberia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 31, 102383.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D.*, 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, pp. 201–213.
- Zharnikov Z.Yu., Myglan V.S., Sidorova M.O., Abolina L.A.*, 2020. The genesis of wooden architecture in Yeniseisk in the context of the 1869 fire consequences. *Bylye gody [Bygone years]*, 55 (1), pp. 173–187. (In Russ.)