

УДК 551.8+902.674+502.5

## ПЕРВАЯ В РОССИИ ДЛИТЕЛЬНАЯ 377-ЛЕТНЯЯ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ХРОНОЛОГИЯ ПО ДРЕВЕСНЫМ УГЛЯМ ИЗ ДРЕВНИХ ЖЕЛЕЗОПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ АЛТАЯ (ГОРЫ ЮГА СИБИРИ)

© 2024 г. В. С. Мыглан<sup>1</sup>, В. В. Баринов<sup>1</sup>, А. Р. Агатова<sup>2,3,\*</sup>, Р. К. Непоп<sup>2,3</sup>, М. О. Филатова<sup>4</sup>

Поступило 22.12.2023 г.

После доработки 15.01.2024 г.

Принято к публикации 16.01.2024 г.

Древесный уголь является распространённым материалом для радиоуглеродного датирования и в то же время недооценён в качестве объекта дендрохронологического анализа — метода, позволяющего датировать природные и историко-археологические события с точностью до года. Разработанный авторами новый подход к пробоподготовке древесного угля снимает ранее существовавшие ограничения для использования этого хрупкого материала в дендрохронологических исследованиях и позволяет привлекать его в качестве эффективного источника информации в палеоэкологии, палеоклиматологии, палеогеографии, археологии. С применением нового подхода построена 377-летняя древесно-кольцевая хронология по археологическим углям из древних железоплавильных печей Чуйско-Курайского металлургического района Алтая. Это первая в России и наиболее длительная в мировой дендрохронологической практике древесно-кольцевая хронология по древесному углю. Её дальнейший анализ позволит получить новую информацию о природных и археологических событиях высокогорного региона, расположенного в самом центре Евразии.

*Ключевые слова:* дендрохронология, древесный уголь, железоплавильная печь, горы юга Сибири

DOI: 10.31857/S2686739724050207

### ВВЕДЕНИЕ

Древесный уголь часто встречается в почвах, озёрных и болотных отложениях четвертичного возраста, а также широко распространён в исторических и археологических памятниках. Он является материалом для радиоуглеродного датирования и в то же время совершенно недооценён в качестве объекта дендрохронологического анализа — одного из немногих количественных методов, позволяющих датировать природные и историко-археологические события с точностью до года. Данное временное разрешение может являться определяющим фактором в случаях, когда продолжительность исследуемых событий меньше, чем точность большинства других

методов датирования. Как правило, материалом для дендрохронологического анализа служат керны живых и спилов с сохранившихся остатков деревьев. Древесный уголь в качестве материала для построения древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) в мировой практике используется значительно реже вследствие хрупкости, значительной фрагментированности, сложности пробоподготовки и измерения параметров годичных колец на аналоговом оборудовании [1, 2]. В России до настоящего времени древесный уголь для этой цели не использовали.

Разработанный авторами новый подход к пробоподготовке снимает ранее существовавшие ограничения и позволяет привлекать этот материал в качестве эффективного источника информации [3, 4]. Наличие комплекса современного цифрового оборудования для проведения дендрохронологических измерений в Сибирской дендрохронологической лаборатории СФУ и формирование большой коллекции археологических углей из Чуйско-Курайского металлургического района Алтая позволили построить первые в России хронологии по древесному углю. Их максимальная длительность

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>4</sup>Институт археологии и этнографии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

\*E-mail: agat@igm.nsc.ru



**Рис. 1.** Положение пробных участков и участков сбора образцов древесного угля в Чуйской (Ч) и Курайской (К) котловинах Русского Алтая. Треугольники – участки сбора углей: 1 – Куектанар, 2 – Юстыд, 3 – Тюргунь. Ёлочка – пробные участки Киг и Кг1 в лесостепной зоне Курайской котловины.

составила 290 лет [3, 4]. Дальнейшее пополнение коллекции углей из железоплавильных печей алтайских nomadov дало возможность значительно увеличить максимальную длительность ДКХ. В данной статье представлены результаты построения и обоснование качества (репрезентативности) 377-летней древесно-кольцевой хронологии по древесному углю. Представленная ДКХ является самой длительной в мировой дендрохронологической практике.

Проводимые исследования направлены на расширение базы материалов, используемых в дендрохронологии, и вносят вклад в совершенствование одного из самых точных геохронологических методов. Дендрохронологический анализ археологических углей из древних железоплавильных печей Алтая позволит получить новую информацию о хронологии природных и археологических событий региона, расположенного в самом центре крупнейшего континента Земли.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

В юго-восточной части Русского Алтая (ЮВ Алтае) древесный уголь встречается в отложениях Чуйской и Курайской впадин и долин обрамляющих их хребтов, а также в большом количестве обнаружен в металлургических шлаках в ходе археологических раскопок древних железоплавильных печей [5, 6]. Сосредоточение здесь многочисленных сыродутных горнов позволило выделить обширный Чуйско-Курайский металлургический район. Преобладающие коробчатые печи кош-агачского типа были отнесены к древнетюркскому времени (VI-первой половине X века н.э.) на основании типологических признаков и находок датирующих предметов [5]. В дальнейшем наиболее молодые радиоуглеродные даты включенных в шлаки углей [4, 7–9] и фрагмента коры – уникального свидетельства последней плавки в печи памятника Куэктанар-1 [7, 8] подтвердили это определение. Взгляд

на более древний возраст печей и их сооружение в эпоху хунну приведён в работах [6, 10].

Коллекция фрагментов углей и кусков шлака с включениями древесных углей собрана в местах раскопок сыродутных горнов в долинах рек Юстыд (Чуйская впадина) и Тюргунь (Курайская впадина), а также в устье р. Куектанар в долине р. Чуя между впадинами (рис. 1).

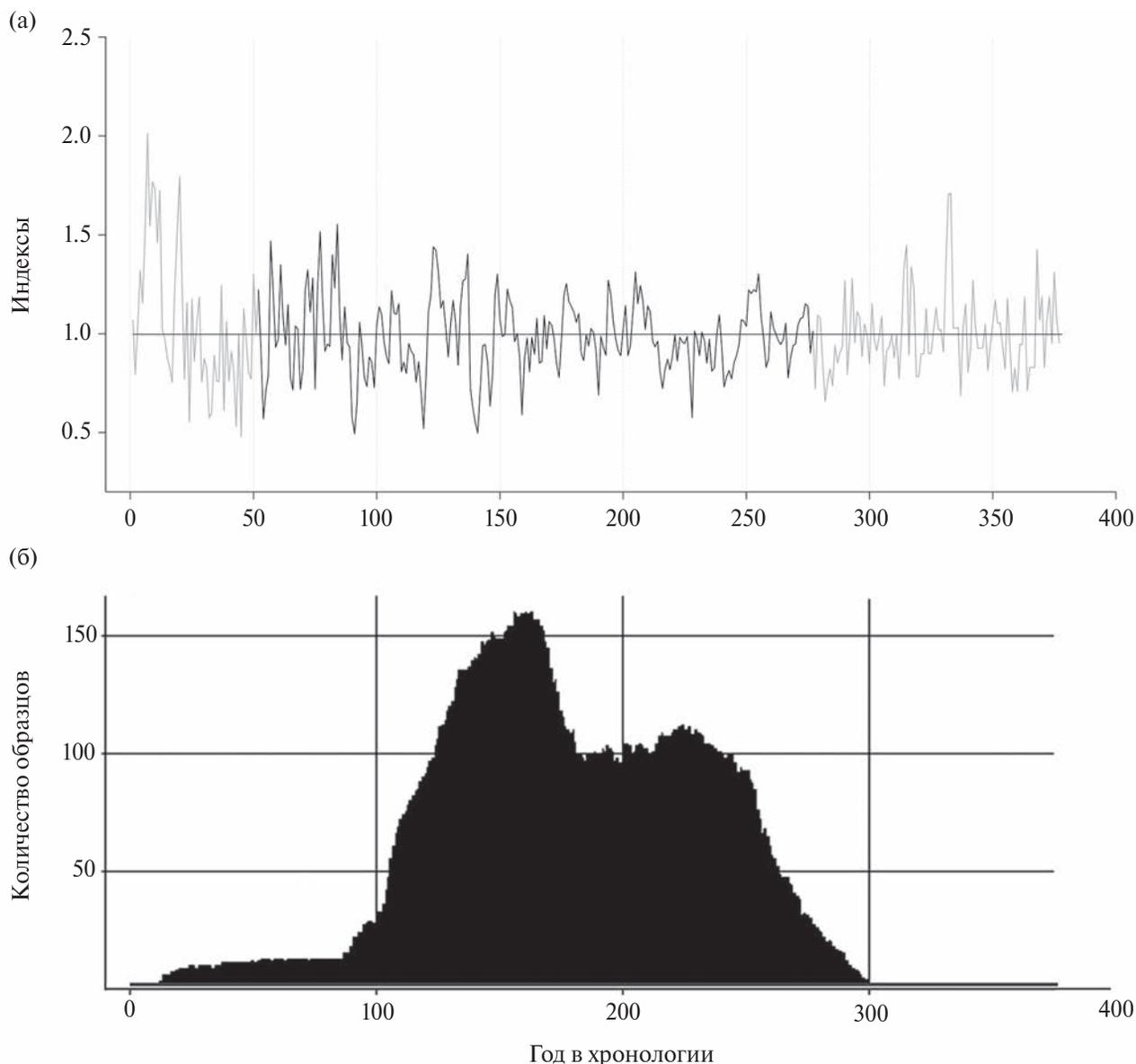
Высокогорный ЮВ Алтай характеризуется суровым аридным климатом, при этом аридизация усиливается в юго-восточном направлении: если в Курайской котловине выпадает 150–200 мм осадков в год, то в Чуйской котловине – уже всего 80–150 мм/год. Около двух третей годовой суммы осадков приходится на летний период. Среднегодовая температура здесь отрицательная – (–5.6)°С. Засушливый климат и незначительная численность населения способствуют хорошей сохранности многочисленных археологических памятников от позднего палеолита до Средневековья.

Курайская котловина (25x20 км) залегает на высотах 1470–1600 м н.у.м., представляет собой холмистую равнину, в северо-западной части которой преобладают сухие, а на юге и юго-востоке – опустыненные степи. Лиственница сибирская произрастает в виде лент и куртин в понижениях рельефа. Для получения лесотаксационных характеристик в Курайской котловине были заложены два пробных участка – Kиг и Kгi (рис. 1). Чуйская котловина, крупнейшая на Алтае (70x40 км), расположена на высотах 1730–2100 м н.у.м. В её пределах значительную площадь занимают полупустыни с соле- и засухоустойчивой растительностью. В настоящее время в пойме рек встречаются одиночные деревья лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*). На её более широкое произрастание в прошлом указывают остатки пней в пойме р. Чуя недалеко от районного центра пос. Кош-Агач, исторические записи о строительстве пос. Ташанта, а также сообщения местных жителей о находках фрагментов пней лиственницы в долинах ныне безлесной юго-восточной части котловины и окружающих её хребтов. Несмотря на отсутствие в настоящее время древесной растительности в долине Юстыда здесь расположен целый ряд железоплавильных печей, шлаки из которых включают многочисленные фрагменты древесного угля. Долина Чуи в устье р. Куектанар и долина р. Тюргунь, откуда также отбирались образцы археологических древесных углей, заселены лесом с участием лиственницы.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ существующих решений по пробоподготовке древесных углей показал их низкую результативность применительно к задаче быстрой обработки коллекции. В результате был разработан подход, позволяющий выполнить быструю и качественную пробоподготовку большого числа углей практически любого размера и формы [3, 4]. Подготовленные угли фотографировали в отражённом свете при 30-кратном увеличении с помощью микроскопа AXIO zoom. V16 (“Carl Zeiss”). В дальнейшем изображения обрабатывались в программе CooRecorder 9.3, где в ручном режиме выполнялось измерение линейных размеров по трём параметрам: ширина годичного кольца, ширина ранней древесины и ширина поздней древесины. Графическое представление полученных данных выполнялось в программе CDendro 9.4. Датирование всех измеренных серий было проведено посредством сочетания графической перекрестной датировки и кросскорреляционного анализа. В ходе этой процедуры выявлялись выпавшие кольца и ошибки измерения. Возрастной тренд измеренных серий убирал путём стандартизации сплайном  $\frac{2}{3}$  длины каждой серии. 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), чувствительности, стандартного отклонения, EPS, RBAR и других (детально методика изложена на сайте Сибирской дендрохронологической лаборатории <https://www.sibdendro.com>).

В последнее десятилетие ряд исследователей независимо друг от друга предложили схожие подходы к обработке древесного угля для построения хронологий [11–13]. Тем не менее предложенный нами подход имеет свои отличия. Так, вместо термоусадочных трубок разного диаметра для фиксации хрупких углей (фрагментов) мы используем термоклей (наносится по периметру образца). Удаление пыли после шлифовки углей происходит при помощи пылесоса, а не воздухом под давлением, что максимально сохраняет структуру трахеид кольца. Измерение и фотографирование образцов производится нами на микроскопе при 20–30-кратном увеличении, что позволяет получить чёткое изображение самых узких колец. Последнее имеет принципиальное значение, поскольку дендрохронологический анализ древесных углей, собранных



**Рис. 2.** 377-летняя древесно-кольцевая хронология по древесным углям, извлечённым из шлаков железоплавильных печей Чуйско-Курайского металлургического района (а), и её наполненность образцами (б). Серая кривая – годовичные колебания индексов прироста, чёрная кривая отражает период, на котором параметр EPS, оценивающий чувствительность ДКХ к изменению внешних факторов,  $\geq 0.85$ , горизонтальная линия – арифметическая средняя.

в горной местности [3, 4, 14], выявил наличие образцов с крайне узкими годичными кольцами (среднее значение 0.15 мм). Как следствие, даже относительно небольшие фрагменты таких углей могут содержать большое количество годичных колец [4, 15]. Предложенный нами подход демонстрирует высокую эффективность и позволяет привлекать подобные образцы для дальнейшего анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Параметры ДКХ, построенной по археологическому древесному углю.* Максимальная

древесно-кольцевая хронология, построенная нами по археологическому древесному углю, составляет 377 лет (рис. 2). В представленную ДКХ вошли 275 перекрёстно датированных индивидуальных серий прироста. Средняя длина измеренных серий составляет 74 года, среднее значение ширины годичного кольца – 0.26 мм, максимальное значение годичного кольца – 1.99 мм. Стандартное отклонение – 0.22, коэффициент чувствительности EPS (показывающий, насколько хронология пригодна для проведения климатических реконструкций) – 0.18. EPS  $\geq 0.85$  характеризует период с 50 по 275 год.

Межсерийный коэффициент корреляции – 0.52. В выборку были включены 69 образцов длиной менее 50 годичных колец (минимальное количество годичных колец в образце – 24). Данные образцы содержали уникальное (реперное) сочетание нескольких годичных колец, которое позволяет соотнести их с общей кривой прироста.

*Оценка обеспеченности (репрезентативности) построенной ДКХ.* Обоснованность построения ДКХ по углям из железоплавильных печей Юго-Восточного Алтая подтверждает оценка минимального количества древесины, необходимого для одной плавки в сыродутном горне кош-агачского типа. Как показали многочисленные археологические исследования, объём рабочей камеры печи этого типа в среднем составляет ~1 м<sup>3</sup> [5, 6]. Древесный уголь использовали в качестве топлива и смешивали с обогащённой дроблёной рудой для получения шихты. Обязательным этапом в технологическом процессе был предварительный сильный прогрев камеры [5], что также требовало топлива. Последующая укладка и утрамбовка древесного угля производилась до уровня воздуходушных сопел (~¾ объёма горна). Верхняя часть камеры (~¼ объёма горна) заполнялась шихтой, которая добавлялась по мере прогорания угля. Плавка могла продолжаться от нескольких часов до нескольких суток. Таким образом, минимальный объём древесного угля, необходимого для одной плавки железа сыродутным способом, превосходил объём рабочей камеры, который можно принять в качестве минимальной оценки расхода топлива.

При бытовавшем тогда ямном углежжении выход угля не превышал 30% от объёма использованной сырой древесины [16, 17]. Следовательно, для одной плавки в горне кош-агачского типа требовалось заготовить не менее 3 м<sup>3</sup> древесины.

Для оценки количества деревьев, необходимых для получения такого объёма древесины, был рассчитан средний объём древесины, который можно заготовить с одного дерева. Объём ствола растущего дерева может быть оценен формулой [18]:

$$V = 0.001 \cdot d \cdot 2,$$

где  $d$  – диаметр на высоте 1.3 м.

При высоте дерева более/менее 25 м результат увеличивается/уменьшается на каждый метр высоты для хвойных пород на 3–4%, для лиственных – на 5% [18]. Для определения среднего диаметра и высоты деревьев рассматриваемого

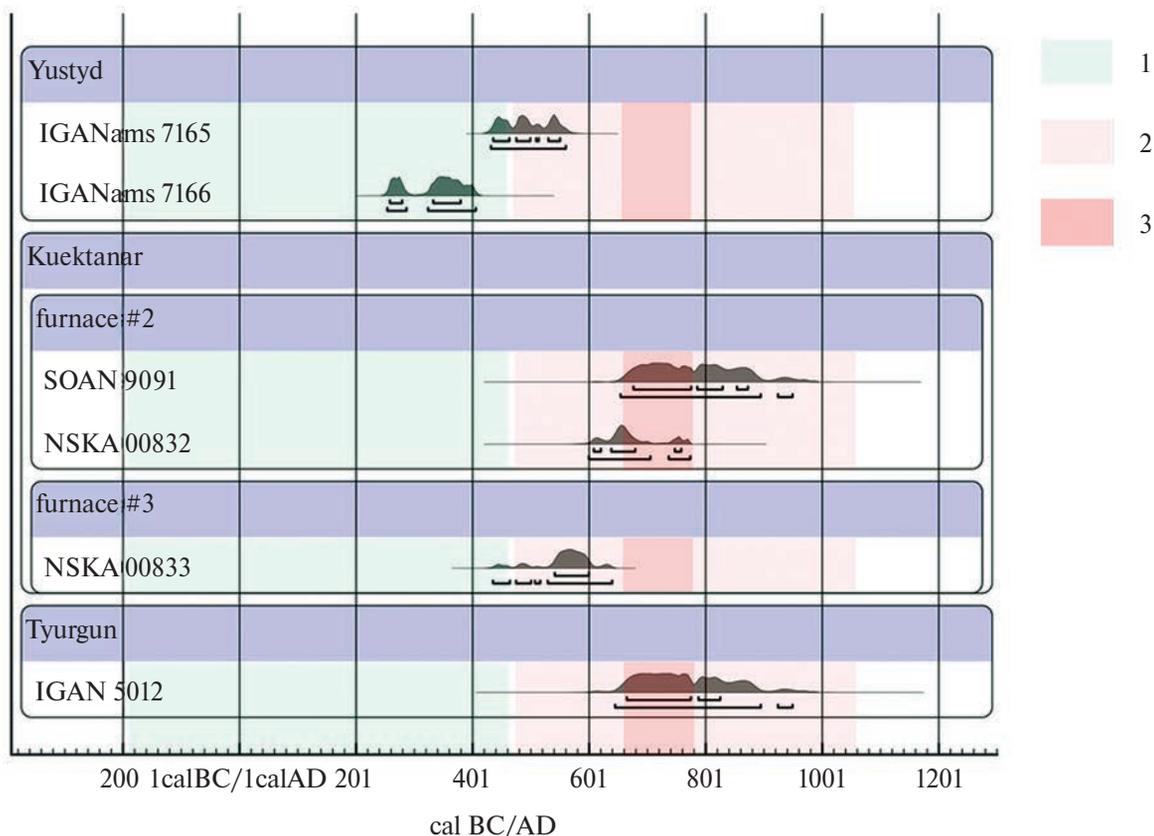
района Алтая нами использованы данные с двух пробных участков – Киг и Кг1, заложенных в лесостепной части Курайской котловины (рис. 1). Современные лесные насаждения здесь в основном представлены разреженными лиственничными древостоями и одиночными старовозрастными деревьями. Согласно лесотаксационным данным, средний диаметр стволов на высоте 1.3 м составляет 440 мм. Объём древесины, получаемой при рубке такого дерева, составляет 0.88 м<sup>3</sup>. Принимая во внимание, что средняя высота деревьев на пробных участках – 10.65 м, объём древесины, получаемый при рубке одного дерева, произрастающего в Курайской котловине, составляет от 0.35 до 0.48 м<sup>3</sup>. Таким образом, для получения 3 м<sup>3</sup> древесины, необходимых для одной плавки железа сыродутным способом в печи кош-агачского типа, использовалось как минимум 7–9 деревьев такого размера.

При сплошной валке, когда ведётся порубка разновозрастных и, следовательно, разноразмерных деревьев, объём заготавливаемой древесины уменьшается. Кроме того имеются потери, связанные с последующей сортировкой и транспортировкой углей. Таким образом, в действительности количество деревьев, использованных при выплавке железа номадами, было ещё больше. Косвенным подтверждением такой оценки может служить алтайский эпос, где есть упоминания о некоторых особенностях процесса углежжения и объёме получаемого древесного угля. Так, в сказаниях об Алтын Тууди [19] приведены такие строки: “... Шестьдесят лиственниц срубил, Большой костёр из них разожгла, Две суммы угля наготовила”.

Следует подчеркнуть, что сыродутные печи Чуйско-Курайского палео-металлургического района использовали многократно – от двух до семи раз [5]. В печи на участке Куктанар, угли из которой использованы нами для построения ДКХ, было проведено как минимум три плавки [6]. Таким образом, даже в одной железоплавильной печи кош-агачского типа при выполнении нескольких плавок была задействована древесина как минимум 30 деревьев. Такая оценка позволяет утверждать, что для построения всех древесно-кольцевых хронологий по археологическим углям из сыродутных горнов ЮВ Алтая была использована древесина как минимум 60 деревьев.

## ДИСКУССИЯ

До настоящего времени древесные угли из железоплавильных печей Алтая применяли исключительно для радиоуглеродного датирования



**Рис. 3.** Радиоуглеродные даты, полученные нами для углей из железоплавильных печей на участках Юстыд, Кукетанар и Тюргунь [4, 7, 8]. Калибровка ( $1\sigma$  и  $2\sigma$ ) выполнена в программе OxCal 4.4.4. Цветом обозначены: 1 – хуннская эпоха; 2 – древнетюркская эпоха; 3 – интервал времени, в течение которого произошла последняя плавка в печи № 2 памятника Куэктанар-1.

[6–10]. Хорошая сохранность годичных колец на фрагментах обугленной древесины привела к идее использовать их для построения древесно-кольцевых хронологий [3, 4]. Для этого была собрана коллекция отдельных углей и шлаков с включениями углей из сырдутных горнов в долинах рек Тюргунь, Юстыд, Кукетанар и разработана методика пробоподготовки.

В 2021–2022 гг. для пробоподготовки и дендрохронологического анализа было отобрано 448 образцов. Ширина годичного кольца была измерена у 360 образцов, оказавшихся пригодными для измерения линейных параметров годичных колец. Это позволило построить 9 ДКХ, в которые вошли 160 образцов, т.е. около 44% от их общего числа [3]. Максимальная длительность ДКХ на этом этапе исследований составила 290 лет.

Пополнение коллекции и продолжение работы в 2023 г. позволило завершить обработку древесных углей и увеличить количество образцов

до 640. Часть образцов, содержащих менее 30 годичных колец, была исключена из дальнейшего анализа, т.к. малое число годичных колец в образце не всегда позволяет однозначно выполнить перекрёстную датировку – появляются два и более возможных варианта календарной датировки. Из 640 образцов пригодными для измерения линейных параметров годичных колец оказались 455. Расширение коллекции образцов позволило существенно увеличить наполненность хронологий, полученных ранее. Наибольшие успехи достигнуты для хронологии 1\_4 [3]: её длина возросла с 290 до 377 годичных колец, а число серий в ней увеличилось с 99 до 275. Средняя длина серий увеличилась с 67 до 74 лет, несмотря на включение значительного числа образцов, длина которых составляет менее 50 колец. В выборке уменьшилось среднее значение ширины годичного кольца – с 0.31 до 0.26 мм, но при этом увеличилось максимальное значение ширины – с 1.44 до 1.99 мм. Значение

коэффициента чувствительности не изменилось (0.18), но при этом увеличился период, на котором  $EPS \geq 0.85$ : если первоначально коэффициент имел такие значения на интервале 60–260 гг., то в новой ДКХ — на интервале 50–275 гг. В итоге построенная нами 377-летняя ДКХ по древесному углю стала первой в России и максимальной по длительности в мировой дендрохронологической практике.

В настоящий момент хронология является относительной. Её корреляция с региональной абсолютной 2367-летней ДКХ “Mongun” для верхней границы леса [20] положительного результата не дала [3, 4]: номады вырубали леса во впадинах и долинах, где температурно-влажностные условия отличаются от таковых на верхней границе леса. Тем не менее массив  $^{14}\text{C}$ -дат отдельных углей, полученный до начала дендрохронологических работ, определяет интервал календарного времени, к которому “угольная” ДКХ может быть привязана — IV в. до н. э. – VIII в. н. э. [4, 6–10]. Этот интервал включает скифскую (частично), хуннскую и древнетюркскую (частично) археологические эпохи. Столь значительная ширина интервала, в первую очередь, может быть обусловлена невысокой точностью радиоуглеродных дат и эффектом “старого дерева” [4], кроме того не исключена возможность датирования углей из шлаков разных эпох. В целом в ходе углежжения и железоплавильного производства в шлаках концентрируются фрагменты наиболее древних частей древесины. Как следствие,  $^{14}\text{C}$ -дат более молодых внешних колец в выборке меньше, однако именно они более близки ко времени функционирования печей.

Нами были получены шесть  $^{14}\text{C}$ -дат (AMS и LSC) фрагментов углей со всех трёх участков, с которых собиралась коллекция образцов для дендрохронологического анализа (рис. 3). Датирование было выполнено в разных лабораториях России (Новосибирск, Москва) и США (Аризона, Джорджия) и показало, что печи кош-агачского типа, более вероятно, функционировали в древнетюркское время [4].

В заполнении рабочей камеры железоплавильной печи № 2 памятника Куэхтонар-1 нами была сделана уникальная находка фрагмента слабо обугленной коры лиственницы [7, 8]. Дата коры (NSKA-00832) соответствует времени рубки дерева и с большой долей вероятности — времени последней плавки. Использование этой информации при калибровке с доверительным интервалом  $2\sigma$  даты СОАН-9091 фрагмента угля, найденного рядом в заполнении рабочей камеры

этой же печи, помогло максимально точно (для радиоуглеродного анализа) установить время последней плавки — между 655 и 765 гг. н. э., что соответствует древнетюркскому времени [7, 8]. На сегодняшний день это самая точная реконструкция времени плавки в одной из печей кош-агачского типа с использованием радиоуглеродного метода. Тем не менее даже в этом случае точность хронологических построений превысила 100 лет (рис. 3). Очевидно, что применение дендрохронологического анализа с его годичным разрешением позволит приблизиться к решению данной проблемы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный нами подход к пробоподготовке древесных углей позволяет привлекать древесные угли в качестве эффективного источника информации [3, 4]. Он даёт возможность проводить пробоподготовку большого количества древесных углей для дендрохронологического анализа с применением оборудования, имеющегося в дендрохронологических лабораториях России. Разработка этого подхода дала возможность построить 377-летнюю древесно-кольцевую хронологию по археологическому древесному углю — первую в России и максимальную по длительности в мировой дендрохронологической практике.

Совершенствование методик дендрохронологического анализа древесного угля имеет несомненную значимость для развития одного из наиболее точных методов датирования. Привязка ДКХ, построенной по углям из железоплавильных печей Чуйско-Курайского металлургического района Алтая, к календарной шкале поможет снять дискуссионные вопросы о принадлежности сыродутных горнов кош-агачского типа к определенной археологической культуре. Кроме того, “угольные” ДКХ смогут выступить в качестве основы для погодичной реконструкции режима увлажнения территории, выявления частоты экстремальных засух, т.е. внесут вклад в понимание эволюции ландшафтов и климата в северном сегменте Центрально-Азиатского горного пояса в голоцене.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность Е.В. Водясову и И.Ю. Слюсаренко за возможность работы с коллекцией углей с памятника Куэхтонар.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 22-27-00454).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nelle O., Guggenbichler E., Putz U., Schmidgall J.* Eine mittelalterliche Kohlenmeilergrube im Vorderen Bayerischen Wald. Ergebnisse archäologischer, anthrakologischer und bodenkundlicher Untersuchungen // *Archäologisches Korrespondenzblatt*. 2003. V. 33. № 3. P. 457–467.
2. *Tolksdorf J. F., Elburg R., Schroder F., Knapp H., Herbig C., Westphal T., Schneider B., Fülling A., Hemker C.* Forest exploitation for charcoal production and timber since the 12th century in an intact medieval mining site in the Niederpöbel Valley (Erzgebirge, Eastern Germany) // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2015. V. 4. P. 487–500.
3. *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.
4. *Agatova A., Neron R., Myglan V., Barinov V., Tainik A., Filatova M.* Potentiality of Charcoal as a Dendrochronological and Paleoclimatic Archive: Case Study of Archaeological Charcoal from Southeastern Altai, Russia // *Climate*. 2023. V. 11(7). P. 150.
5. *Зиняков Н. М.* История черной металлургии и кузнечного ремесла древнего Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1988. 274 с.
6. *Водясов Е. В., Зайцева О. В.* Древнейшие памятники черной металлургии в Горном Алтае: новые данные из долины р. Юстыд // *Сибирские исторические исследования*. 2020. № 2. С. 125–147.
7. *Agatova A. R., Neron R. K., Korsakov A. V.* Vanishing iron-smelting furnaces of the South Eastern Altai, Russia-Evidences for highly developed metallurgical production of ancient nomads // *Quaternary International*. 2018. V. 483. P. 124–135.
8. *Агатова А. Р., Непон Р. К., Слюсаренко И. Ю., Панов В. С.* Новые данные комплексных исследований памятников железоплавильного производства в долинах рек Куектанар и Тюргун (Юго-Восточный Алтай) // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2018. Т. 46. № 2. С. 90–99.
9. *Мураками Я., Соенов В. И., Трифанова С. В., Эбель А. В., Богданов Е. С., Соловьев А. И.* Изучение памятников черной металлургии на Алтае в 2017 году // *Вестник Томского государственного университета. История*. 2019. № 60. С. 167–174.
10. *Гутак Я. М., Русанов Г. Г.* О возрасте железоплавильных печей урочища Куяктанар (Горный Алтай) // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2013. № 2(4). С. 18–20.
11. *Marguerie D., Bernard V., Bégin Y., Terral J.-F.* Dendroanthracologie / In: Payette S., Filion L. (eds.). // *La Dendroécologie: Principes, méthodes et applications*. Quebec: Presses de l'Université Laval, 2010. P. 311–347.
12. *Blondel F., Cabanis M., Girardclos O., Grenouillet-Paradis S.* Impact of carbonization on growth rings: dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites // *Quaternary International*. 2018. V. 463. P. 268–281.
13. *Brossier B., Poirier P.* A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2018. V. 19. P. 115–126.
14. *Oberhänsli M., Seifert M., Bleicher N., Schoch W., 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: Turck R., Stöllner T., Goldenberg G. (eds.). // *Alpine Copper II – Alpenkupfer II – Rame delle Alpi II – Cuivre des Alpes II. New Results and Perspectives Prehistoric Copper Production*. Bochum: VML Verlag Marie Leidorf GmbH, 2019. P. 245–260.
15. *Pichler Th., Nicolussi K., Goldenberg G., Hanke K., Kovacs K., Thurner A.* Charcoal from a prehistoric copper mine in the Austrian Alps: dendrochronological and dendrological data, demand for wood and forest utilization // *Journal of Archaeological Science*. 2013. V. 40. P. 992–1002.
16. *Коробкин В. А.* Углежжение. Свердловск: Металлургиздат, 1948. 340 с.
17. *Сунчугашев Я. И.* Древняя металлургия Хакасии. Эпоха железа. Новосибирск: Наука, 1979. 192 с.
18. *Справочник лесничего. Под редакцией А.Н. Филипчака. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.*
19. *Алтын Тууди: Алтайский героический эпос / Под ред. А. Л. Коптелова. Новосибирск: Новосибирское областное государственное издательство, 1950. 108 с.*
20. *Мыглан В. С., Ойдунаа О. Ч., Ваганов Е. А.* Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2012. № 3. С. 76–83.

## THE FIRST IN RUSSIA LONG 377-YEAR TREE-RING CHRONOLOGY BASED ON CHARCOALS FROM ANCIENT ALTAI IRON-SMELTING FURNACES (MOUNTAINS OF SOUTHERN SIBERIA)

V. S. Myglan<sup>a</sup>, V. V. Barinov<sup>a</sup>, A. R. Agatova<sup>b,c,#</sup>, R. K. Nepop<sup>b,c</sup>, M. O. Filatova<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation*

<sup>b</sup>*V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>c</sup>*Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation*

<sup>d</sup>*Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: agat@igm.nsc.ru*

Charcoal is a common material for radiocarbon dating and is underestimated as an object of dendrochronological analysis – a method that allows dating natural and historical-archaeological events with an accuracy of up to a year. The new approach to charcoal sample preparation developed by the authors removes previously existing restrictions on the use of this fragile material in dendrochronological studies and allows it to be used as an effective source of information in paleoecology, paleoclimatology, paleogeography and archaeology. Applying this approach, a 377-year tree-ring chronology was constructed using archaeological coals from ancient iron-smelting furnaces in the Chuya-Kurai ferrous metallurgy province of the Russian Altai. This is the first tree-ring chronology of charcoal in Russia and the longest in the world dendrochronological practice. Its further analysis will provide new information about the nature and archaeological events of the high mountain region located in the center of Eurasia.

*Keywords:* dendrochronology, charcoal, iron-smelting furnaces, mountains of southern Siberia