

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ТЮМЕНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ  
И ЭТНОГРАФИИ**

*Сетевое издание*

**№ 1 (60)  
2023**

ISSN 2071-0437 (online)

Выходит 4 раза в год

**Главный редактор:**

Зах В.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

**Редакционный совет:**

Молодин В.И., председатель совета, акад. РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;  
Добровольская М.В., чл.-кор. РАН, д.и.н., Ин-т археологии РАН;  
Бауло А.В., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;  
Бороффка Н., PhD, Германский археологический ин-т, Берлин (Германия);  
Епимахов А.В., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН;  
Кокшаров С.Ф., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН; Кузнецов В.Д., д.и.н., Ин-т археологии РАН;  
Лахельма А., PhD, ун-т Хельсинки (Финляндия); Матвеева Н.П., д.и.н., ТюмГУ;  
Медникова М.Б., д.и.н., Ин-т археологии РАН; Томилов Н.А., д.и.н., Омский ун-т;  
Хлахула И., Dr. hab., ун-т им. Адама Мицкевича в Познани (Польша); Хэнкс Б., PhD, ун-т Питтсбурга (США);  
Чикишева Т.А., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН

**Редакционная коллегия:**

Дегтярева А.Д., зам. гл. ред., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Костомарова Ю.В., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН;  
Пошехонова О.Е., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН; Лискевич Н.А., отв. секретарь, к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Агапов М.Г., д.и.н., ТюмГУ; Адаев В.Н., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Бейсенов А.З., к.и.н., НИЦИА Бегазы-Тасмола (Казахстан);  
Валь Й., PhD, О-во охраны памятников Штутгарта (Германия); Ключева В.П., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Крийска А., PhD, ун-т Тарту (Эстония); Крубези Э., PhD, проф., ун-т Тулузы (Франция);  
Кузьминых С.В., к.и.н., Ин-т археологии РАН; Перерва Е.В., к.и.н., Волгоградский ун-т;  
Печенкина К., PhD, ун-т Нью-Йорка (США); Пинхаси Р., PhD, ун-т Дублина (Ирландия);  
Рябогина Н.Е., к.г.-м.н., ТюмНЦ СО РАН; Слепченко С.М., к.б.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Ткачев А.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Хартанович В.И., к.и.н., МАЭ (Кунсткамера) РАН

Утвержден к печати Ученым советом ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН

Сетевое издание «Вестник археологии, антропологии и этнографии»  
зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций; регистрационный номер: серия Эл № ФС77-82071 от 05 октября 2021 г.

Адрес: 625008, Червишевский тракт, д. 13, телефон: (345-2) 688-756, e-mail: vestnik.ipos@inbox.ru

Адрес страницы сайта: <http://www.ipdn.ru>

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2023

**FEDERAL STATE INSTITUTION  
FEDERAL RESEARCH CENTRE  
TYUMEN SCIENTIFIC CENTRE  
OF SIBERIAN BRANCH  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

**VESTNIK ARHEOLOGII, ANTROPOLOGII I ETNOGRAFII**

ONLINE MEDIA

**№ 1 (60)  
2023**

ISSN 2071-0437 (online)

There are 4 numbers a year

**Editor-in-Chief**

Zakh V.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

**Editorial Council:**

Molodin V.I. (Chairman of the Editorial Council), member of the RAS, Doctor of History,  
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Dobrovolskaya M.V., Corresponding member of the RAS, Doctor of History,  
Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Baulo A.V., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Boroffka N., PhD, Professor, Deutsches Archäologisches Institut (German Archaeological Institute) (Berlin, Germany)

Chikisheva T.A., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Chlachula J., Doctor hab., Professor, Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland)

Epimakhov A.V., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)

Koksharov S.F., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)

Kuznetsov V.D., Doctor of History, Institute of Archeology of the RAS (Moscow, Russia)

Hanks B., PhD, Professor, University of Pittsburgh (Pittsburgh, USA)

Lahelma A., PhD, Professor, University of Helsinki (Helsinki, Finland)

Matveeva N.P., Doctor of History, Professor, University of Tyumen (Tyumen, Russia)

Mednikova M.B., Doctor of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Tomilov N.A., Doctor of History, Professor, University of Omsk

**Editorial Board:**

Degtyareva A.D., Vice Editor-in-Chief, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Kostomarov Yu.V., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Poshekhonova O.E., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Lishevich N.A., Assistant Editor, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Agapov M.G., Doctor of History, University of Tyumen (Tyumen, Russia)

Adaev V.N., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Beisenov A.Z., Candidate of History, NITSIA Begazy-Tasmola (Almaty, Kazakhstan),

Crubezy E., PhD, Professor, University of Toulouse (Toulouse, France)

Khlyueva V.P., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Kriiska A., PhD, Professor, University of Tartu (Tartu, Estonia)

Kuzminykh S.V., Candidate of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Khartanovich V.I., Candidate of History, Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera  
(Saint Petersburg, Russia)

Pechenkina K., PhD, Professor, City University of New York (New York, USA)

Pererva E.V., Candidate of History, University of Volgograd (Volgograd, Russia)

Pinhasi R., PhD, Professor, University College Dublin (Dublin, Ireland)

Ryabogina N.Ye., Candidate of Geology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Slepchenko S.M., Candidate of Biology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Tkachev A.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Wahl J., PhD, Regierungspräsidium Stuttgart Landesamt für Denkmalpflege

(State Office for Cultural Heritage Management) (Stuttgart, Germany)

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: [vestnik.ipos@inbox.ru](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

URL: <http://www.ipdn.ru>

Зайцева О.В. \*, Водясов Е.В.

Томский государственный университет, просп. Ленина, 36, Томск, 634050  
E-mail: snori76@mail.ru (Зайцева О.В.); vodiasov\_ev@mail.ru (Водясов Е.В.)

## ЭФФЕКТ «СТАРОГО ДЕРЕВА» И ПРОБЛЕМЫ ДАТИРОВКИ ПАМЯТНИКОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*Рассматривается влияние эффекта «старого дерева» на радиоуглеродную хронологию железоплавильных площадок Южной Сибири. Разброс серии дат, получаемых для одних и тех же плавильных печей, иногда достигает тысячи лет. Это объясняется использованием для выжига угля долгоживущих пород деревьев, у которых внутренняя часть значительно древнее внешних колец. Сформулированы методические рекомендации, минимизирующие воздействие эффекта «старого дерева» при определении хронологии металлургических объектов.*

**Ключевые слова:** радиоуглеродное датирование, металлургия железа, эффект «старого дерева».

### Введение

О появлении металлургии железа в том или ином регионе в первую очередь свидетельствуют следы производственной деятельности в поселенческих слоях: фрагментированные остатки горнов, сопла, шлаки. Сам металлургический процесс представляет собой достаточно «грязное» производство и оставляет много отходов, хорошо фиксируемых в культурном слое. Трудности возникают при определении даты начала металлургической активности на поселениях. Наиболее надежным методом датировки в этом случае считается радиоуглеродный анализ угля, «застывшего» внутри железного шлака при проведении плавки. Такая методика более точна, чем датировка угля, обнаруженного в слое, так как уголь внутри шлака не перемещался, был «законсервирован» и не подвергался загрязнению более молодым углеродом, а значит, надежно отражает время проведения плавки. Конечно, стоит заметить, что наличие или отсутствие фрагментов угля в шлаковых блоках зависит от технологии плавки, и далеко не всегда возможно получить из шлаков требуемые образцы угля. Тем не менее последовательное получение спилов шлаков и их изучение позволяют отбирать микрофрагменты угля, достаточные для проведения AMS-датирования [Hendrickson et al., 2013].

В случае, если производственные комплексы оказываются вынесены за пределы поселений, радиоуглеродное датирование в принципе является единственным инструментом хронологической атрибуции металлургической деятельности. Например, в Южной Сибири рядом с железоплавильными печами различных эпох, как правило, отсутствуют как поселенческий культурный слой, так и отдельные находки, позволяющие датировать металлургические мастерские.

Однако при изучении различных металлургических площадок Южной Сибири мы столкнулись с серьезными трудностями при датировке объектов черной металлургии, поскольку разброс серии дат, полученной из одной железоплавильной печи, мог достигать тысячи лет. Главной причиной подобных расхождений, как будет показано далее, является эффект «старого дерева». Настоящая статья посвящена подробному анализу этого феномена и выработке новых методических рекомендаций, соблюдение которых позволит более надежно датировать металлургические объекты, минимизировав воздействие эффекта «старого дерева».

### Эффект «старого дерева». Причины и последствия

Под одним термином эффект «старого дерева» на самом деле скрываются две отдельные проблемы, способные приводить к удревнению датируемых объектов.

Первая проблема связана с возможностью вторичного использования древесины. Получая дату рубки дерева, мы должны учитывать, что оно могло быть срублено задолго до попадания образца в археологический слой, бревна от старых построек могли использоваться при сооружении новых и т.д. Вторичное использование древесины при заготовке угля для проведения плавки железа, конечно, возможно, но едва ли это было широко распространенной практикой.

---

\* Corresponding author.

Вторая проблема, скрывающаяся под термином «эффект старого дерева», значительно сложнее и приводит к более серьезным и систематическим погрешностям. К сожалению, она практически не учитывается российскими археологами при интерпретации получаемых ими дат. Дело в том, что внутренняя часть древесины ствола долгоживущих деревьев может существенно отличаться возрастом от внешней, так как по мере роста дерева его внутренние части отмирают и перестают обмениваться углеродом с окружающей средой еще при жизни самого дерева. Таким образом, сердцевина долгоживущего дерева оказывается значительно старше его внешних колец, и мы получаем не дату времени рубки дерева, а дату «смерти» той части дерева, откуда был взят образец [Schiffer, 1986; Cook, Comstock, 2014; Wright, 2017; Kim et al., 2019; Вагнер, 2006, с. 178–179].

Поворотной точкой для осознания этой проблемы мировым археологическим сообществом стала вышедшая в 1986 г. статья М. Шиффера, посвященная последствиям воздействия эффекта «старого дерева» на радиоуглеродную хронологию культуры Хохокам [Schiffer, 1986]. Удивительным для нас фактом стало то, что в Советском Союзе работа, раскрывшая механизм действия эффекта «старого дерева», появилась на десятилетие раньше, но осталась незамеченной мировой наукой, видимо, из-за языкового барьера [Фирсов, 1976]. Впрочем, эти исследования остались также незамеченными советскими и российскими археологами, и даже сегодня работ, в которых этому феномену уделено хоть какое-то внимание, насчитываются единицы [Зазовская, 2016, с. 159; Кузьмин, 2017, с. 158; Агатова и др., 2018, с. 95]. Эффект «старого дерева» может удревнить датированный объект как на несколько десятков лет, так и на тысячу и даже более лет, поэтому остановимся подробнее на механизмах этого явления.

Как известно, дерево растет в вегетационный период благодаря активности камбия, который образует годичные кольца древесины (каждое новое внешнее кольцо моложе предыдущего внутреннего). Наиболее хорошо годичные кольца видны у хвойных деревьев и некоторых лиственных (дуб, ясень и др.), произрастающих в климате с ярко выраженными сезонами года. Годичное кольцо обычно состоит из двух частей: ранняя древесина (светлая широкая полоса) и поздняя древесина (более темная узкая полоса). В клетчатке годичного кольца фиксирован тот радиоуглерод, который поглощен деревом из атмосферы в год формирования именно этого кольца. Далее в годичном кольце происходит только распад ядер углерода и его «старение» [Фирсов, 1976, с. 42].

Естественно, что чем больше возраст дерева, тем потенциально сильнее воздействие эффекта «старого дерева». Приведем примеры лиственниц-долгожителей из разных регионов России. В районе Полярного Урала обнаружена лиственница в возрасте 486 лет, в Средней Сибири — 609 лет, в Республике Алтай — 879 лет, в Республике Саха (Якутия) — 885 лет, а в Республике Тыва найдена лиственница возрастом 1307 лет [Ваганов и др., 2000; Мыглан и др., 2012; Тайник и др., 2019]. Касательно сосны, в лесостепной зоне Западной Сибири ее возраст может достигать 300 лет и более [Тайник, Баринов, Мыглан, 2019].

Здесь может возникнуть закономерное предположение о том, что такие долгоживущие деревья представляют огромную редкость, и их попадание в археологический слой маловероятно. В качестве примера приведем следующие цифры: в разных районах Республики Алтай средний возраст лиственниц составляет от 325 до 400–490 лет [Мыглан и др., 2012; Timoshok et al., 2014], а преобладающее поколение сибирского кедра в Горном Алтае имеет средний возраст 410–455 лет [Timoshok et al., 2014]. Таким образом, даже при использовании в древности средних по возрасту деревьев имеется высокая вероятность срабатывания эффекта «старого дерева», который может удревнить истинный возраст датированного объекта на несколько веков. Для нас также важно, что при неопределимом контексте вероятность взять образец угля из более древней сердцевины значительно выше, чем из внешних колец, которые занимают меньшую по площади часть ствола.

### **Эффект «старого дерева» в действии: проблемы датировки алтайских железоплавильных печей**

Металлургические площадки в Горном Алтае представляют собой особый тип археологических памятников. Одна или несколько железоплавильных печей сооружались на берегах рек, конкретное место определялось близостью рудных источников, наличием деревьев для выжигания угля и доступностью огнеупорной глины. Нахождение на таких площадках датированных предметов — огромная редкость. В 1976–1979 гг. железоплавильные мастерские Горного Алтая активно исследовал Н.М. Зиняков. Большие прямоугольные коробчатые печи он назвал печами кош-агачского типа и датировал VI–X вв. н.э., связывая их появление с пришлыми древнетюркскими традициями времен формирования Первого Тюркского каганата [Зиняков, 1988]. К сожалению, ни на одном из изучен-

ных в XX в. памятников черной металлургии в Горном Алтае не были отобраны образцы для радиоуглеродного датирования, что делало достаточно уязвимой точку зрения о том, что крупные металлургические центры появляются здесь лишь в раннем средневековье.

В начале XXI в. интерес к истории возникновения черной металлургии в Горном Алтае возродился. Различные исследовательские группы обратили внимание на возможность отбора проб для радиоуглеродного датирования из ранее исследованных объектов, получая при этом достаточно противоречивые результаты. Так, в 2002 г. Я.М. Гутак и Г.Г. Русанов отобрали образцы шлаков с впаянными в них кусками древесного угля из отвалов раскопанной Н.М. Зиняковым печи № 3 на стоянке Куяхтанар (Кош-Агачский р-н Республики Алтай). Радиоуглеродный возраст образца составил  $1775 \pm 35$  л.н. (COAH 5040). Было высказано предположение, что печь относится к гунно-сарматской эпохе [Гутак, Русанов, 2013]. Следующая группа ученых в 2014 г. также взяла здесь образец угля для AMS-датирования и получила другую дату —  $1515 \pm 33$  л.н. (NSKA-00833). Ими выдвинуто мнение, что печь № 3 следует датировать V–VI вв. н.э. [Агатова и др., 2018]. Третья группа ученых [Мураками и др., 2019] в ходе обследований в 2017 г. памятников черной металлургии Алтая взяла образец из раскопа той же печи № 3 и получила AMS-дату  $1540 \pm 20$  л.н. (IAAA-171076), близкую к NSKA-00833.

В 2018 г. мы также взяли два образца угля из шлака печи № 3 на стоянке Куяхтанар. Первая полученная дата —  $1970 \pm 170$  л.н. (Le-11999). С учетом калибровки с вероятностью  $1\sigma$  (68 %) дата укладывается в интервал 184 г. до н.э. — 235 г. н.э. Вторая дата показала возраст  $1650 \pm 80$  л.н. (Le-11997). Календарный возраст образца угля с вероятностью  $1\sigma$  (68 %) определен в интервале 261–535 гг. н.э.

Если мы сопоставим все даты печи № 3 на стоянке Куяхтанар, то увидим хронологический разброс почти в 900 лет (рис. 1). Здесь, конечно, можно было бы усомниться в корректности пробоотбора из отвалов старого раскопа и даже предположить, что не все полученные образцы могут происходить из одной и той же железоплавильной печи.

В 2018–2019 гг. мы возобновили исследование на стоянке Куяхтанар, раскопана железоплавильная печь № 4. На дне плавильной камеры находился огромный шлаковый блок весом 350 кг, внутри которого «запечатались» не просто угли, а фрагменты стволов лиственниц. Всего было отобрано 11 образцов угля — 6 из шлакового блока в плавильной камере и 5 образцов из шлаковой ямы, соединенной с печью специальным каналом [Vodyasov et al., 2020]. Нам повезло, что для датировки печи имелся столь надежный археологический контекст пробоотбора, однако результаты радиоуглеродного анализа, к нашему удивлению, опять показали очень широкий хронологический диапазон (рис. 1).

Как видим (рис. 1), разброс калиброванных дат для одной железоплавильной печи № 4 охватывает временной отрезок IX в. до н.э. — начало VI в. н.э., т.е. более тысячи лет. При этом железоплавильную печь в нашем случае можно расценивать как закрытый комплекс. После проведения одной или нескольких последовательных плавок печи забрасывались, и никакая иная хозяйственная деятельность на металлургических площадках не велась.

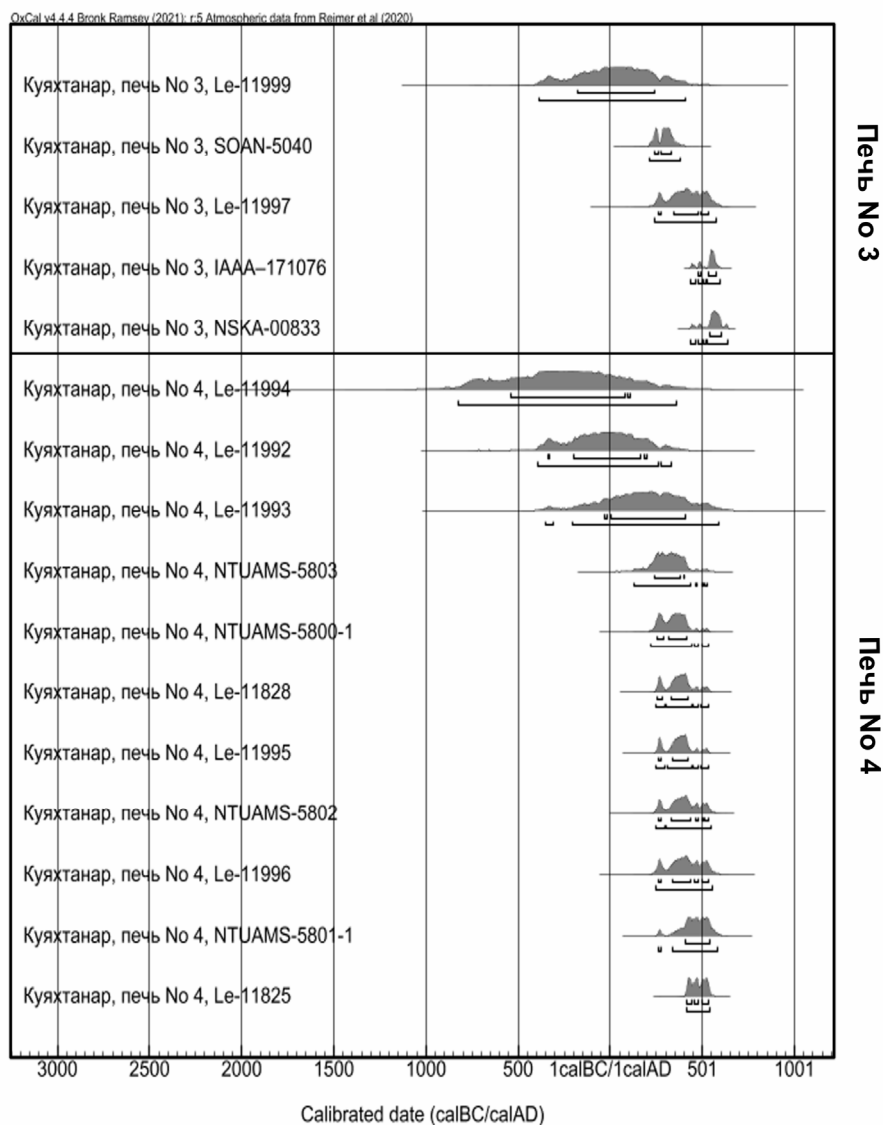
Получение дат широкого временного диапазона для одних и тех же археологических объектов при надежном контексте пробоотбора не могло объясняться «случайной» лабораторной ошибкой и требовало объяснения. Мы предположили, что наблюдаемые нами расхождения радиоуглеродного датирования связаны с описанным выше эффектом «старого дерева». Первые семь дат были получены жидкостно-сцинтилляционным методом в Лаборатории археологической технологии ИИМК РАН без привязки пробы к годичным кольцам деревьев.

Чтобы проверить свою гипотезу, мы провели дополнительное датирование еще 4 образцов из одного шлакового блока методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в Лаборатории Национального университета Тайваня. При этом два образца угля (NTUAMS-5801-1, NTUAMS-5802) были взяты из внешних колец деревьев, а два других образца угля (NTUAMS-5800-1, NTUAMS-5803) — из сердцевин.

Датирование разных колец двух деревьев подтвердило наличие эффекта «старого дерева» даже для небольших в диаметре алтайских лиственниц. Для дерева диаметром 5,5 см разница между внутренним и внешним кольцами составила 77 лет, для дерева диаметром 13 см — 96 лет. Для этой конкретной, как и для других плавок, могли использоваться и более крупные и старые деревья.

Радиоуглеродные даты образцов, взятых из сердцевин двух деревьев, показали близкий возраст. Первый образец дал дату  $1743 \pm 69$  л. н. (NTUAMS-5803), с учетом калибровки возраст оп-

ределается 244–401 гг. н.э. ( $1\sigma$ ). Второй образец показал дату  $1710 \pm 60$  л. н. (NTUAMS-5800-1), что с учетом калибровки дает интервал 253–415 гг. н.э. ( $1\sigma$ ). Если мы добавим к этим интервалам возраст деревьев, то получим, что время их рубки для плавки, наиболее вероятно, было осуществлено до 500 г. н.э. и после 244 г. н.э., так как деревья появились на свет после этой даты.



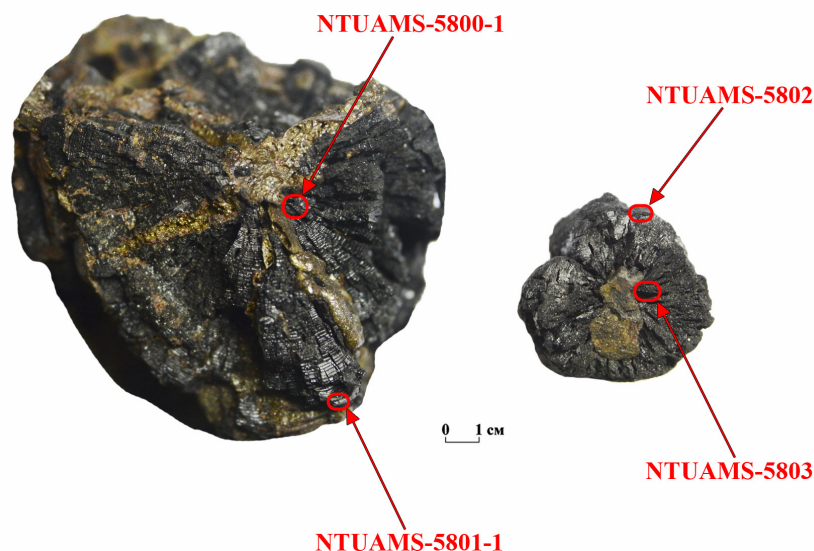
**Рис. 1.** Радиоуглеродное датирование железоплавильных печей 3 и 4 на стоянке Куяхтанар (Горный Алтай).

**Fig. 1.** Radiocarbon dating of iron-smelting furnaces No 3 and 4 at the Kuyathtar site (Altai Mountains).

Даты внешних колец (NTUAMS-5801-1, NTUAMS-5802) наиболее близки ко времени рубки дерева и проведению сыродутного процесса, так как менее подвержены эффекту «старого дерева». Дата NTUAMS-5801-1 с учетом калибровки укладывается в интервал 412–541 гг. н.э. ( $1\sigma$ ).

Таким образом, серия дат из одного археологического объекта, верифицированная AMS-датированием годовичных колец и возрастом самих деревьев, позволяет нам сузить время функционирования печи № 4 и предположить, что плавка проходила между 412 и 500 гг. н.э.

Проблема «неправильных» дат, увеличивающих возраст датируемого археологического объекта, наиболее характерна именно для древней металлургии, поскольку плавильщики, как правило, использовали древесный уголь из долгоживущих пород деревьев (сосна, лиственница, кедр, дуб и др.). В этом случае потенциальное удревнение практически неизбежно.



**Рис. 2.** Обгорелые стволы лиственниц из шлакового блока печи № 4 стоянки Куяхтанар. Контекст взятия проб для AMS-датирования.

**Fig. 2.** Burnt larch trunks from the slag block of furnace No 4 at the Kuyahtanar site. In-slag charcoal sampling for AMS-dating.

Далее мы хотим привести несколько примеров воздействия эффекта «старого дерева», который, на наш взгляд, мог привести к чрезмерному удревнению металлургических объектов и в других регионах.

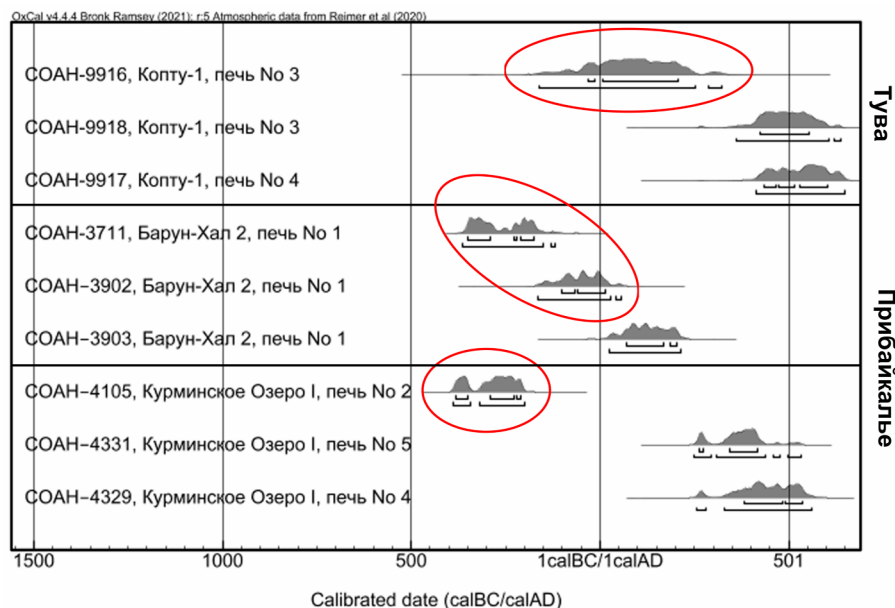
На металлургическом центре Курминское озеро I в Приольхонье для однотипных горнов, расположенных компактно на одной производственной площадке, получено три даты (рис. 3). С учетом калибровки горны № 4, 5 с Курминского озера I датированы III–VI вв. н.э., тогда как расположенный всего в 4 м от них горн № 2 отнесен авторами по анализу угля к IV–III вв. до н.э. [Харинский, Снопков, 2004, с. 181]. Видим опять, что хронологический разброс дат для одной производственной площадки охватывает почти 1000 лет! Авторы исследования предположили, что одинаковые горны функционировали на одном и том же месте столь продолжительное время [Там же, с. 181]. Однако более вероятным объяснением таких широких временных рамок является именно эффект «старого дерева», который значительно удревнил образец из горна № 2.

Датировка горнов с Курминского озера I может быть определена по наиболее поздней дате  $1635 \pm 55$  л. н. (СОАН-4329), что с учетом калибровки укладывается в IV–VI вв. н.э. Такая хронологическая атрибуция подтверждается и серией радиоуглеродных дат для аналогичных горнов, исследованных на городище Катылыг 5 в Туве, где они хорошо датированы III–IV вв. н.э. [Vodyasov et al., 2021].

Другой пример также происходит из Байкальского региона и связан с радиоуглеродным датированием железоплавильного горна с памятника Барун-Хал 2 (рис. 3). Для горна № 1 получено три даты:  $2180 \pm 30$  л.н. (СОАН-3711),  $2050 \pm 35$  л. н. (СОАН-3902) и  $1915 \pm 35$  л. н. (СОАН-3903) [Кожевников и др., 2000; Kozhevnikov et al., 2018]. После калибровки мы снова получаем широкий и сомнительный интервал в пределах IV в. до н.э. — II в. н.э. На наш взгляд, две наиболее ранние даты могут быть удревнены за счет эффекта «старого дерева». Если учитывать данный эффект, то при датировке горна следует опираться на самую позднюю дату (СОАН-3903), которая показывает календарный возраст в рамках I–II вв. н.э.

Наконец, третий пример, на который мы хотим обратить внимание, происходит из Тувы. В ходе обследования металлургического памятника Копту-1 мы отобрали 3 образца угля из заполнения железоплавильных горнов (рис. 3). Для горна 4 получена дата  $1575 \pm 65$  л. н. (СОАН-9917), что с учетом калибровки с вероятностью  $1\sigma$  (68 %) укладывается в 425–555 гг. н.э. Для соседнего горна 3 получено две даты. Первая дата показала возраст  $1940 \pm 90$  л.н. (СОАН-9916), что после калибровки с вероятностью  $1\sigma$  (68 %) дает интервал 32 г. до н.э. — 207 г. н.э. Вторая дата из того же горна 3 показала возраст  $1525 \pm 70$  л. н. (СОАН-9918), что с вероятностью  $1\sigma$  (68 %) укладывается в 435–604 гг. н.э. Как видим, две даты (СОАН-9917 и СОАН-9918)

для двух соседних горнов близки и сходятся в интервале V–VI вв. н.э., тогда как дата СОАН-9916, вероятно, удревнена за счет эффекта «старого дерева». Если бы мы в данном случае ограничились одной датой и образцом оказался СОАН-9916, то это могло стать основанием неверно датировать памятник I в. до н.э. — II в. н.э., так как эффект «старого дерева» не был бы выявлен и учтен.



**Рис. 3.** Радиоуглеродные даты байкальских и тувинских горнов. Красным обведены даты с возможным эффектом «старого дерева».

**Fig. 3.** Radiocarbon dates of the Baikal and Tuvan furnaces. The dates with the possible “old wood” effect are circled in red.

Простой математический расчет показывает, что в случае датировки печи № 3 стоянки Куяхтанар три радиоуглеродные даты из пяти показали завышенный возраст, а для соседнего горна № 4 таких дат оказалось 7 из 11 (рис. 1). На металлургической площадке Барун-Хал 2 две даты из трех, вероятно, удревнены за счет эффекта «старого дерева» (рис. 3). В случаях датировок Копту-1 и Курминского Озера I одна дата из трех дала завышенный возраст для каждого памятника соответственно (рис. 3). Таким образом, вероятность получения неверной более древней даты для металлургического горна в случае отбора одного образца угля для датирования может варьироваться от 33 до 66 %.

Проблема эффекта «старого дерева» не ограничивается датировкой металлургических объектов. Породы долгоживущих деревьев активно использовались в прошлом при строительстве домов, погребальных конструкций, при изготовлении средств передвижения, утвари и т.д. Во всех этих случаях также может скрываться потенциальная ошибка, связанная с эффектом «старого дерева».

### Возможности и ограничения радиоуглеродного датирования металлургических объектов с учетом эффекта «старого дерева»

Идеальным для радиоуглеродного датирования случаем является наличие впаивных в шлаковой блок достаточно крупных фрагментов горелого дерева с хорошо читаемыми годичными кольцами. Именно наличие фрагментов горелых лиственничных стволов позволило нам рассчитать погрешность эффекта «старого дерева» и датировать железоплавильную печь № 4 на стоянке Куяхтанар. Еще более точным, хотя и трудоемким и достаточно дорогостоящим, методом является “wiggle matching”. Для его применения необходима хорошая сохранность образца дерева и наличие в нем значительного числа годичных колец. Образец разделяется на блоки из десяти годичных колец, и для каждого блока получается своя радиоуглеродная дата. Их последовательность представляет собой «плавающую» дендрошкалу. Полученная серия радиоуглеродных определений сопоставляется с наиболее близким по конфигурации участком



калибровочной кривой, который и показывает хронологический интервал для исследуемого образца [Galimberti et al., 2004]. Пока нам неизвестно о применении метода “wiggle matching” для датировки металлургических объектов, хотя, на наш взгляд, для печей кош-агачского типа подобная процедура возможна, так как в шлаковых блоках встречаются фрагменты горелых стволов лиственницы с хорошо читаемыми годовыми кольцами.

К сожалению, в подавляющем большинстве случаев никакие крупные фрагменты стволов в шлаковых блоках не сохраняются, и археологи вынуждены иметь дело с микроскопическими фрагментами угля, впаянными в шлаки. Вес образца, который возможно получить в таких случаях, достаточен только для проведения AMS-датирования, который дороже «традиционного» жидкостно-сцинтилляционного метода. Фрагменты угля, получаемого при изучении спилов шлаков, могут происходить из любой части дерева, и невозможно установить, имеем ли мы дело с образцом из сердцевины или внешних колец.

На наш взгляд, первое, что необходимо сделать, чтобы понять степень возможного воздействия эффекта «старого дерева» в каждом конкретном случае,— это определить, из какой породы деревьев выжигался уголь для плавки. Анализ фрагментов углей, найденных на исследуемых археологических комплексах, позволяет надежно установить ботаническую принадлежность обугленной древесины. Определение осуществляется путем микроскопического изучения сколов угля в отраженном свете и сопоставления диагностических структур с ключами определения древесных видов [Barefoot, Hankins, 1982; Deforce, Haneca, 2012; Bishop et al., 2015]. Такие исследования проводятся также в России и не являются трудоемкими и дорогостоящими [Гольева, 2005; Семеняк и др., 2018]. После определения вида деревьев можно судить о их средней и максимальной продолжительности жизни в конкретных исследуемых природно-климатических условиях и, соответственно, о возможном среднем и максимальном воздействии эффекта «старого дерева».

Определение породы деревьев для выжигания угля даст нам диапазон возможного воздействия эффекта «старого дерева». Далее для получения даты проведения плавки необходимо получить серию минимум из трех дат из одного и того же металлургического объекта. В такой серии наиболее поздняя дата, вероятнее всего, будет ближе к возрасту археологического объекта. Как показывают приведенные выше примеры, одной даты для построения объективной хронологии недостаточно, так как с большей долей вероятности образец может происходить из внутренней части дерева и иметь более древний возраст. В этой связи имеет смысл пересмотреть хронологию многих металлургических объектов, датированных по одному образцу угля.

Проблема описанного эффекта «старого дерева» особенно остро встает именно при определении хронологии объектов древней металлургии, так как датировать их можно исключительно по древесному углю, выжигали который, как правило, из долгоживущих деревьев. Избежать эффекта «старого дерева» для других археологических объектов возможно, если отбирать образцы для AMS-датирования из недолговечных органических материалов (семена, тонкие ветки, трава и т.п.).

Еще один фактор, который может приводить к существенному удревнению образцов угля из металлургических горнов,— это эффект «ископаемого углерода». Этот эффект совсем недавно открыли и описали немецкие археологи [Gassmann, Schäfer, 2018]. При датировке древесного угля из шлаков I в. н.э. ими была получена серия радиоуглеродных дат, разброс которых составил более 3500 лет. Источником ископаемого углерода, вызывающего загрязнение и резкое удревнение образца, может выступать известняк. В сильно восстановительных условиях внутри горна, при температуре выше 900 °С, карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) полностью распадается на  $\text{CaO}$  и  $2\text{CO}$ . Как раз окись углерода и становится источником ископаемого углерода. Попадание его в систему плавки может осуществляться как через глиняные стенки горна, так и через железную руду, содержащую ископаемый углерод, например широко распространенный сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ). Пока это единственный описанный в мировой науке случай, вероятно, представляющий собой исключительное явление. Тем не менее если при анализе серии дат из одного металлургического объекта хронологический разброс серии составит несколько тысячелетий, то нужно будет работать не с эффектом «старого дерева», а следует учесть и изучить возможность воздействия ископаемого углерода.

Радиоуглеродное датирование является сегодня одним из наиболее распространенных и точных методов построения надежной хронологии. Получение надежных и «правильных» радиоуглеродных дат во многом зависит от методики отбора образцов и понимания возможных погрешностей, которые в том числе зависят от материала датируемого образца. В российской археологии, как правило, учитывается воздействие резервуарного эффекта при датировке об-

разцов из костей животных и человека, но пока недооценен эффект «старого дерева», возникающий при датировке образцов из древесины или древесного угля.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-78-10076).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агатова А.Р., Непол 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. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2018.46.2.090-099>

Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М., Хьюс М.К. Свидетели средневекового потепления климата // Природа. 2000. № 12. С. 53–56.

Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. М.: Техносфера, 2006. 576 с.

Гольева А.А. Информационные возможности определения пород по углям и древесине в археологических исследованиях // Археология Подмосковья. 2005. Вып. 2. С. 300–308.

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.

Зазовская Э.П. Радиоуглеродное датирование — современное состояние, проблемы, перспективы развития и использование в археологии // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 1 (32). С. 151–164.

Зиняков Н.М. История черной металлургии и кузнечного ремесла древнего Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. 276 с.

Кожевников Н.О., Кожевников О.К., Никифоров С.П., Снопков С.В., Харинский А.В. Древний центр металлургии железа в пади Барун-Хал // Байкальская Сибирь в древности. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. пед. ун-та, 2000. Вып. 2. Ч. 2. С. 166–195.

Кузьмин Я.В. Геоархеология: Естественные научные методы в археологических исследованиях. Томск: Издат. дом Том. гос. ун-та, 2017. 396 с.

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 ТГУ. История. 2019. № 60. С. 167–174. <https://doi.org/10.17223/19988613/60/25>

Мыглан В.С., Жарникова О.А., Малышева Н.В., Герасимова О.В., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 22–30.

Семеняк Н.С., Гольева А.А., Сыроватко А.С., Трошина А.А. Определение пород дерева по углям для целей палеоэкологических реконструкций (по материалам археологических памятников второй пол. I тыс. н.э. на Средней Оке) // Проблемы региональной экологии. 2018. № 4. С. 88–92.

Тайник А.В., Баринев В.В., Мыглан В.С. Происходящие климатические изменения и самые старые деревья Юга Сибири // Глобальные климатические изменения: Региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. С. 181–184.

Фирсов Л.В. Этюды радиоуглеродной хронологии Херсонеса Таврического. Новосибирск: Наука, 1976. 224 с.

Харинский А.В., Снопков С.В. Производство железа населением Приильхонья в Елгинское время // Известия Лаборатории древних технологий. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. Вып. 2. С. 169–187.

Barefoot A.C., Hankins F.W. Identification of modern and tertiary woods. Oxford: Oxford University Press, 1982. 189 p.

Bishop R.R., Church M.J., Rowley-Conwy P.A. Firewood, food and human niche construction: The potential role of Mesolithic huntergatherers in actively structuring Scotland's woodlands // Quaternary Science Reviews. 2015. Vol. 108. P. 51–75. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.11.004>

Cook R.A., Comstock A.R. Evaluating the old wood problem in a temperate climate: A fort ancient case study // American Antiquity. 2014. Vol. 79. P. 763–775. <https://doi.org/10.7183/0002-7316.79.4.763>

Deforce K., Haneca K. Ashes to ashes. Fuelwood selection in Roman cremation rituals in northern Gaul // Journal of Archaeological Science. 2012. Vol. 39. № 5. P. 1338–1348. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.024>

Galimberti M., Bronk Ramsey C., Manning S. Wiggle-Match Dating of Tree-Ring Sequences // Radiocarbon. 2004. № 46 (2). P. 917–924. <https://doi.org/10.1017/S0033822200035967>

Gassmann G., Schäfer A. Doubting radiocarbon dating from in-slag charcoal: Five thousand years of iron production at Wetzlar-Dalheim? // Archeologické rozhledy. 2018. № LXX. P. 309–327.

Hendrickson M., Hua Q., Pryce T.O. Using in-slag charcoal as an indicator of 'terminal' iron production within the Angkorian Period (10th–13th centuries AD) center of Preah Khan of Kompong Svay, Cambodia // Radiocarbon. 2013. № 55 (1). P. 31–47. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.v55i1.16152](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.v55i1.16152)

Kim J., Wright D.K., Hwang J., Kim J., Oh Y. The old wood effect revisited: A comparison of radiocarbon dates of wood and short-lived taxa from Korea // Archaeological and Anthropological Sciences. 2019. Vol. 11 (7). P. 3435–3448. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0766-8>

Kozhevnikov N.O., Kharinsky A.V., Snopkov S.V. Geophysical prospection and archaeological excavation of ancient iron smelting sites in the Barun-Khal valley on the western shore of Lake Baikal (Olkhon region, Siberia) // Archaeological Prospection. 2018. Vol. 26 (2). P. 103–119. <https://doi.org/10.1002/arp.1727>

Schiffer M.B. Radiocarbon dating and the old wood problem: The case of the Hohokam chronology // Journal of Archaeological Science. 1986. Vol. 13 (1). P. 13–30. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(86\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0305-4403(86)90024-5)

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Skorokhodov S.N. Ecology of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in the Altai Mountain Glacial Basins // Russian Journal of Ecology. 2014. Vol. 45. № 3. P. 194–200.

Vodyasov E.V., Stepanov I.S., Sadykov T.R., Asochakova E.M., Rabtsevich E.S., Zaitceva O.V., Blinov I.A. Iron metallurgy of the Xianbei period in Tuva (Southern Siberia) // Journal of Archaeological Science: Reports. 2021. Vol. 39. № 103160. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103160>

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. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102383>

Wright D.K. Accuracy vs. Precision: Understanding Potential Errors from Radiocarbon Dating on African Landscapes // African Archaeological Review. 2017. Vol. 34 (3). <https://doi.org/10.1007/s10437-017-9257-z>

**Zaitceva O.V. \*, Vodyasov E.V.**

Tomsk State University, prosp. Lenina, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation  
E-mail: snori76@mail.ru (Zaitceva O.V.); vodiasov\_ev@mail.ru (Vodyasov E.V.)

### The 'old wood' effect and problems of dating iron smelting sites

The paper is aimed at the analysis of the 'old wood' effect in radiocarbon chronology of iron smelting complexes of South Siberia. The production sites are here set outside the settlements, and radiocarbon dating remains the only means of their chronological attribution. With the example of Kuyahtanar metallurgical site in the Mountain Altai, we show that the range of a series of radiocarbon dates obtained for the same iron-smelting furnaces can span a thousand years. It has been established that such a chronological range can be explained by the use of wood from long-lived tree species for charcoal production and the resulting significant apparent age due to the 'old wood' effect. The essence of the effect consists in that as a tree grows, its inner annual rings die out and stop exchanging carbon with the environment, while the tree is still alive. Therefore, the pith of a long-lived tree is much older than its outer rings, and radiocarbon analysis determines not the age of the archaeological object, or time when the tree was cut, but the date of the death of that part of the tree which was sampled for the dating. Methodological recommendations have been drawn up capable of minimizing the impact of the 'old wood' effect in the dating of iron metallurgy sites. During the sampling, it is recommended to collect fragments of charcoal from the tree outer rings. In a case, where this is not possible, it is necessary to obtain a series of at least three dates for one site. In such a series, the latest of the three dates will be the closest to the age of the archaeological object. It is also necessary to determine the tree species used for burning the charcoal for smelting. After the tree species is identified, it becomes possible to infer its average and maximum life expectancy in the specific natural and climatic conditions, and, consequently, possible average and maximum impact of the 'old wood' effect. Since in the case of dating metallurgical sites the impact of the 'old wood' effect is virtually unavoidable, it is suggested that, in the future, the chronology of the complexes radiocarbon dated with a single sample of charcoal is revisited.

**Keywords:** radiocarbon dating, iron metallurgy, "old wood" effect.

**Funding.** The research was supported by the Russian Science Foundation (project No. 18-78-10076).

### REFERENCES

Agatova, A.R., Nepop, R.K., Slyusarenko, I.Y., Panov, V.S. (2018). New Data on Iron-Smelting Sites in the Kuektanar and Turgun Valleys, Southeastern Altai. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*, 46(2), 90–99. (Rus.). <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2018.46.2.090-099>

Barefoot, A.C., Hankins, F.W. (1982). Identification of modern and tertiary woods. Oxford University Press, Oxford.

Bishop, R.R., Church, M.J., Rowley-Conwy, P.A. (2015). Firewood, food and human niche construction: The potential role of Mesolithic huntergatherers in actively structuring Scotland's woodlands. *Quaternary Science Reviews*, 108, 51–75. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.11.004>

Cook, R.A., Comstock, A.R. (2014). Evaluating the old wood problem in a temperate climate: A fort ancient case study. *American Antiquity*, 79, 763–775. <https://doi.org/10.7183/0002-7316.79.4.763>

Deforce, K., Haneca, K. (2012). Ashes to ashes. Fuelwood selection in Roman cremation rituals in northern Gaul. *Journal of Archaeological Science*, 39(5), 1338–1348. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.024>

Firsov, L.V. (1976). *Studies of the radiocarbon chronology of Tauric Chersonesos*. Novosibirsk: Nauka. (Rus.).

Galimberti, M., Bronk Ramsey, C., Manning, S. (2004). Wiggle-Match Dating of Tree-Ring Sequences. *Radiocarbon*, 46(2), 917–924. <https://doi.org/10.1017/S0033822200035967>

Gassmann, G., Schäfer, A. (2018). Doubting radiocarbon dating from in-slag charcoal: Five thousand years of iron production at Wetzlar-Dalheim? *Archeologické rozhledy*, LXX, 309–327.

---

\* Corresponding author.

- Gol'eva, A.A. (2005). Informational possibilities of determining species by coal and wood in archaeological research. *Arkheologiya Podmoskov'ia*, (2), 300–308. (Rus.).
- Gutak, Ia.M., Rusanov, G.G. (2013). About the age of iron-smelting furnaces in the Kuyahtanar (Altai Mountains). *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*, 4(2), 18–20. (Rus.).
- Hendrickson, M., Hua, Q., Pryce, T.O. (2013). Using in-slag charcoal as an indicator of 'terminal' iron production within the Angkorian Period (10th–13th centuries AD) center of Preah Khan of Kompong Svay, Cambodia. *Radiocarbon*, 55(1), 31–47. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.v55i1.16152](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.v55i1.16152)
- Kharinskii, A.V., Snopkov, S.V. (2004). Iron production by the population of the Olkhon region in the Elga time. *Izvestiia Laboratorii drevnikh tekhnologii*, (2), 169–187. (Rus.).
- Kim, J., Wright, D.K., Hwang, J., Kim, J., Oh, Y. (2019). The old wood effect revisited: A comparison of radiocarbon dates of wood and short-lived taxa from Korea. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11(7), 3435–3448. <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0766-8>
- Kozhevnikov, N.O., Kharinsky, A.V., Snopkov, S.V. (2018). Geophysical prospection and archaeological excavation of ancient iron smelting sites in the Barun-Khal valley on the western shore of Lake Baikal (Olkhon region, Siberia). *Archaeological Prospection*, 26(2), 103–119. <https://doi.org/10.1002/arp.1727>
- Kozhevnikov, N.O., Kozhevnikov, O.K., Nikiforov, S.P., Snopkov, S.V., Kharinskii, A.V. (2000). Ancient center of iron metallurgy in the Barun-Khal valley. In: *Baikal'skaia Sibir' v drevnosti*. Vyp. 2. Ch. 2. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. ped. un-ta, 166–195. (Rus.).
- Kuz'min, Ia.V. (2017). *Geoarcheology: Natural Science Methods in Archaeological Research*. Tomsk: Izdatel'skii dom Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. (Rus.).
- Murakami, Ia., Soenov, V.I., Trifanova, S.V., Èbel', A.V., Bogdanov, E.S., Solov'ev, A.I. (2019). The exploration of the ferrous metallurgy sites in Altai in 2017. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriia*, (60), 167–174. (Rus.).
- Mygla, V.S., Zharnikova, O.A., Malysheva, N.V., Gerasimova, O.V., Vaganov, E.A., Sidorova, O.V. (2012). Construction of a tree-ring chronology and reconstruction of the summer air temperature in the south of Altai for the last 1500 years. *Geografiia i prirodnye resursy*, (3), 22–30. (Rus.).
- Schiffer, M.B. (1986). Radiocarbon dating and the old wood problem: The case of the Hohokam chronology. *Journal of Archaeological Science*, 13(1), 13–30. [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(86\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0305-4403(86)90024-5)
- Semeniakov N.S., Gol'eva A.A., Syrovatko A.S., Troshina A.A. (2018) Determination of wood species from coals for the purposes of paleoecological reconstructions (based on materials from archaeological sites of the second half of the 1st millennium AD on the Middle Oka). *Problemy regional'noi ekologii*, (4), 88–92. (Rus.).
- Tainik, A.V., Barinov, V.V., Mygla, V.S. (2019). Occurring climatic changes and the oldest trees in the South of Siberia. In: S.A. Kurolapa, L.M. Akimov, V.A. Dmitrieva (Eds.). *Global'nye klimaticheskie izmeneniia: Regional'nye efekty, modeli, prognozy: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Voronezh: Tsifrovaia poligrafiia, 181–184. (Rus.).
- Timoshok, E.E., Timoshok, E.N., Skorokhodov, S.N. (2014). Ecology of Siberian Stone Pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in the Altai Mountain Glacial Basins. *Russian Journal of Ecology*, 45(3), 194–200.
- Vaganov, E.A., Naurzbaev, M.M., Kh'ius, M.K. (2000). Witnesses of Medieval Climate Warming. *Priroda*, (12), 53–56. (Rus.).
- Vodyasov, E.V., Stepanov, I.S., Sadykov, T.R., Asochakova, E.M., Rabtsevich, E.S., Zaitceva, O.V., Blinov, I.A. (2021). Iron metallurgy of the Xianbei period in Tuva (Southern Siberia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 39(103160). <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103160>
- 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). <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102383>
- Wagner, G.A. (2006). *Scientific dating methods in geology, archeology and history*. Moscow: Tekhnosfera. (Rus.).
- Wright, D.K. (2017). Accuracy vs. Precision: Understanding Potential Errors from Radiocarbon Dating on African Landscapes. *African Archaeological Review*, 34(3). <https://doi.org/10.1007/s10437-017-9257-z>
- Zazovskaya, E.P. (2016). Radiocarbon dating — modern state, problem, prospects of development and use in archaeology. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, 32(1), 151–164. (Rus.).
- Zinyakov, N.M. (1988). *The history of iron metallurgy and blacksmith craft of ancient Altai*. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta. (Rus.).

Зайцева О.В., <https://orcid.org/0000-0002-4590-1238>

Водясов Е.В., <https://orcid.org/0000-0003-2277-2274>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Accepted: 05.09.2022

Article is published: 15.03.2023