

СРЕДНЕВЕКОВЬЕ

УДК 902/904, 543.42: 543.442:543.5

<https://doi.org/10.24852/2587-6112.2025.1.303.314>

ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ЧЁРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ПЕРМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ В СРЕДНЕВЕКОВЬЕ (ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ)¹

© 2025 г. А.Р. Смертин, Е.А. Курунова, О.Ю. Каменщиков, И.Г. Мокрушин

Исследование посвящено вопросу изучения сырьевой базы металлургического процесса на основе археологических материалов средневековых поселений Пермского Предуралья. В работе представлены результаты определения породной принадлежности древесного угля с целью описания топливной составляющей. Угли представлены как цельными кусками из производственных сооружений – углежогных ям и металлургических печей, так и отдельными недогоревшими вкраплениями топлива в металлургических шлаках. По результатам исследований установлено, что угли на три четверти представлены сосной, на одну четверть – березой. Данные породы имеют достаточно высокую теплотворную способность. В то же время, судя по природно-географической ситуации в регионе (на основании палинологических исследований), береза и сосна – одни из самых доступных произрастающих пород. Их использование универсально как для черной, так и для цветной металлургии. Также в одной плавке металла могли задействоваться как отдельные породы, так и сосново-березовая угольная смесь для выравнивания температурных режимов производственного цикла. Древостой Пермского Предуралья не ограничивался двумя породами, что позволяет говорить о сознательном и рациональном подходе к выбору дерева при его заготовке вокруг поселений для переугливания к металлургическому процессу.

Ключевые слова: археология, антракология, уголь, топливо, металлургия, шлак, средневековье, Пермское Предуралье, сканирующая электронная микроскопия.

FUEL RESOURCES FOR FERROUS METALLURGY IN THE PERM CIS-URALS IN THE MEDIEVAL PERIOD (EXPERIENCE IN DETERMINING CHARCOAL BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY)²

A.R. Smertin, E.A. Kukunova, O. Yu. Kamenshchikov, I.G. Mokrushin

The paper presents the results of an instrumental anatomical study of charcoal. The aim of this work is to characterize the metallurgical process. There are several examples of charcoal as an object of study in the literature. Archaeological materials from medieval settlements of the Permian Urals served as a source. A total of 13 samples were taken, but this is an incomplete list. Wood is very poorly preserved in local acidic soils. Charcoal represents solid particles formed at industrial facilities (metallurgical furnace and coal pit), as well as individual inclusions in metallurgical slags. The analysis showed that charcoal is three quarters pine and one quarter birch. These species have high thermal efficiency. At the same time, judging by the natural and geographical situation in the region (according to palynological studies), birch and pine are among the most

¹ Исследование по анализу углей и подготовка публикации выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>; изучение и описание металлургических комплексов выполнено в рамках государственной темы «Этнокультурные процессы в центре Евразии: археология и этнография Урала». Рег. номер: 124021500047-2.

² Research on coal analysis and preparation of the publication were financially supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-68-10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>; the study and description of metallurgical complexes were carried out as a part of the State Task: «Ethnocultural processes in the center of Eurasia: archaeology and ethnography of the Urals. Registration number 124021500047-2».

accessible types of vegetation. Both individual species and a mixture of pine-birch coal could be used for smelting one metal. The tree stand of the Permian Urals was not limited to two species. Ancient metallurgists consciously and rationally approached the choice of wood for the metallurgical process.

Keywords: archaeology, anthracology, charcoal, fuel, metallurgy, slag, Middle Ages, Perm Cis-Urals, scanning electron microscopy

Введение

Освоение процесса получения железа является одним из важнейших исторических событий. Уровень развития чёрной металлургии напрямую отражает степень жизнеобеспечения в железном веке, так как именно железо было ведущим материалом для производства орудий труда, вооружения и предметов быта. Исследование данной ремесленной отрасли зачастую происходит через изучение самих сооружений для выплавки и нагрева металла (печи и горны) и продукции (крицы и шлаки, кузнечные изделия). Однако вопросы сырьевой базы редко обсуждаются в научном сообществе. Это справедливо и по отношению к основному виду топлива для металлургии – древесному углю. Каменный уголь и иные виды топлива не рассматриваются, так как их свидетельства не зафиксированы археологически.

Целью данного исследования является характеристика видового состава древесины, использовавшейся в качестве топлива для сыродутного (нагнетание сырого воздуха использовалось до середины XIX века) металлургического процесса в виде угля. Для населения Пермского Предуралья периода Средневековья – финно-угорских племен, носителей ломоватовской (V–XI) и родановской (XII–XIV вв.) археологических культур – данных исследований ранее не производилось. Технологический процесс получения железных предметов включал следующие стадии: послойную укладку угля и измельченной, промытой и высушенной руды массой от нескольких единиц до десятков килограммов; зажигание угля и химическое восстановление железа действием оксида углерода (угарного газа) при температуре более 500 °C; образование и сьем (выпуск) железосиликатного шлака из рудных примесей при температуре более 700–800 °C; охлаждение и извлечение крицы – пористой массы чистого восстановленного железа; нагревание и ковка готовых изделий. (Снопков и др., 2016, с. 22–35). На качество готовых изделий, таким образом, влияло как железосодержащее сырье и его подготовка,

так и уголь, получаемый по отдельной технологии пиролиза в условиях пониженного доступа кислорода в углежогных ямах.

Природно-географическая характеристика региона

Территория Верхнего и Среднего Прикамья располагается в таёжной зоне лесов, на северо-востоке Восточно-Европейской равнины и на западных склонах Урала. Эта местность совпадает с современными административными границами Пермского края и в данном случае именуется Пермским Предуральем. Данная территория покрыта лесами на 70%; в северной части лесной покров составляет 90% и снижается до 30% на юге (Пьянков и др., 2009, с. 68–71).

Проводимые в последние годы палинологические исследования растительных отложений позволяют реконструировать природные условия древности.

В Верхнем Прикамье в древостое со времен начала позднего плейстоцена и до современности преобладает пихта и сосна, в эпоху Средневековья распространяются среднетаежные темнохвойные и светлохвойные формации лесов, доля широколиственных лесов снижается, однако липа сохраняет небольшие ареалы (Лычагина и др., 2020, с. 77–78). К примеру, вблизи Роданова (Полютово) городища (X – нач. XIV вв.) произрастали таежные леса, включавшие мелколиственные, светлохвойные и темнохвойные формации. Причём во время существования городища леса постепенно сводились и вокруг поселения преобладали открытые пространства (Лаптева и др., 2020, с. 108). В Чашкинском микрорегионе в составе древостоя тоже имелись подтаежные и таежные породы, близкие к современным (сосна и береза) (Зарецкая и др., 2020, с. 55–56).

В окрестностях Рождественского городища на р. Обве до появления поселения распространялись липово-еловые и липово-пихтово-еловые леса. В основной же период функционирования городища (X – нач. XIV вв.) происходила деградация липово-темнохвойных лесов, возросла роль березы (Лаптева и др., 2019, с. 30).

В Среднем Прикамье на р. Сылве (Кунгурская лесостепь) произрастали подтаежные формации с преобладанием открытых березовых лесов и примесью сосны и ели (Шумиловских и др., 2018, с. 494).

Распространение березовых лесов является индикатором антропогенного воздействия, т. к. именно эти леса растут на местах пожарищ, там, где была использована подсека (Лаптева и др., 2019, с. 30). Свободные от леса участки стали активно появляться после XII в., с распространением подсеочно-огневой системы и пашенного земледелия (Сарапулов, 2015, с. 18), а также ввиду заготовки дров для выжига древесного угля – основного и единственного вида топлива для металлургии.

Углежжение

Повсеместный покров территории Прикамья лесом обеспечивал местное население древесным углем – доступным топливом для металлургии и кузнечного дела. Использование угля диктовалось необходимостью повысить теплотворную способность топлива, достигаемые температуры проводимых химическо-технологических манипуляций и создать восстановительную среду. Железная руда, содержащая окислы железа: гематит, лимонит, магнетит, бурый железняк (смесь гидроокислов железа), – восстанавливалась под действием угарного газа – продукта неполного окисления углерода (Снопков и др., 2016, с. 22–35).

Древесный уголь – конечный продукт пиролитического разложения древесины. При нагревании она теряет воду и растворённые неорганические вещества, газообразные продукты термоллиза, эфирные масла, смолы и иные вещества. По сравнению даже с сухим деревом уголь имеет меньший вес и объём, большую тепловую способность, меньшее содержание примесей, снижающих качество металла и готовых изделий.

Производство угля происходило в кучах или в углежогных ямах. Для исследуемой территории, вероятно, характерен ямный способ выжига. Древесина выкладывалась в яму и плотно закрывалась дёрном, оставались небольшие отверстия (продухи) для небольшого поступления воздуха. Далее древесина разжигалась и при недостатке воздушных потоков переугливалась, но не сгорала полностью. Важно было следить за

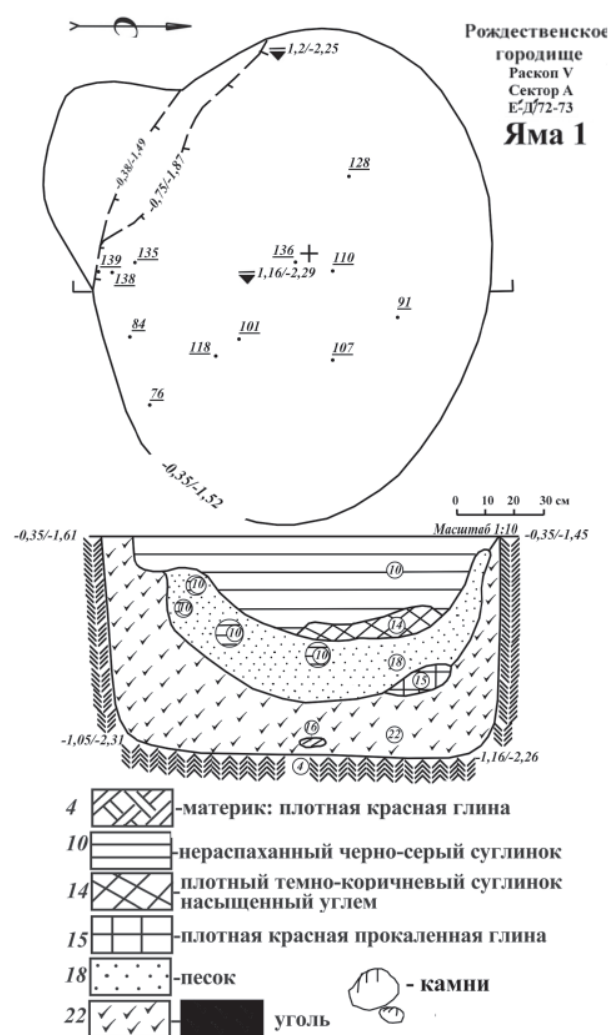


Рис. 1. Углежогная яма с Рождественского городища.

Fig 1. Charcoal pit at the Rozhdestvensk settlement.

поступлением кислорода и не допускать ни полного сгорания угля, ни потухания. Таким образом, наиболее и наименее плотные породы древесины оказывались малоприспособленными. Процесс переугливания выполнялся от нескольких дней до одного месяца и проходил при температуре около 500–600 °С. Объем угля, согласно экспериментам, не зависел от способа выжига (Гопак, 1986, с. 419), на выходе составлял 12–30% от исходного веса древесины (Наумов, 2004, с. 96; Вязов и др., 2013, с. 204). Исходя из этого, можно предположить, что уголь металлургии могли выжигать не только при мастерских, но и на месте рубки, так как доставка уменьшившейся в объеме обугленной древесины не так трудозатратна.

Потребление древесного угля в металлургии было значительным. Он использовался для первоначального прогрева печи, самого металлургического процесса,ковки. По

Таблица 1. Описание образцов угля
Table 1. Description of charcoal samples

Памятник	№ образца	Определение	Описание комплекса	Указание к рисунку
Телячий Брод, селище	1	Сосна	Источник: уголь, коллекция 2017 г. Происходит из ямы производственного назначения (сектор А, яма 1). Яма располагалась рядом с металлургической печью, имела подпрямоугольную форму размерами около 1,9х1,1 м, глубина до 0,56 м, заполнение серым комковатым суглинком с примесью угля, дно полностью заполнено углём.	Рис. 4: 1-2
	2	Сосна	Источник: уголь, коллекция 2017 г. Происходит из производственного объекта – металлургической печи (сектор А, сооружение 1). Печь располагалась на уступе террасы при переходе в низкую пойму (на обрыве). Она была представлена линзовидным скоплением глиняной обмазки, криц, шлака и угля, вытянутым по склону берега, т.к. после использования завалилась по склону. Печь, вероятно, имела вертикальную форму усеченного конуса. Овальное основание было размером 1х0,75 м, толщиной до 20 см. Диаметр колошника составлял порядка 35 см, толщина стенок достигала 5-7 см, высота была до 70-80 см. Объем печи вмещал порядка 0,2 м ³ .	Рис. 4: 3
	3	Сосна	Источник: дерево, коллекция 2017 г. Происходит из приямка производственного назначения (сектор А). Фрагмент дерева имел вытянутую форму и небольшие размеры, представлял собой окантовку основания печи (рама?).	Рис. 4: 4
Саламатово I, городище	4А	Сосна	Источник: железистый шлак, коллекция 2013 г. Происходит из производственного объекта - горна (Г/22). Горн представлен слегка заглубленной конструкцией. Каменистая яма с угольным заполнением, диаметром 30 см и глубиной 25 см была перекрыта каменной кладкой со следами золы, диаметром 110 см и мощностью 40 см.	Рис. 4: 5
	4Б	Береза		Рис. 4: 6
	5	Сосна	Источник: железистый шлак, коллекция 2012 г. Происходит из производственного объекта - горна (Г/19, очаг 13). Горн представлен овальным глиняным прокалом размерами 30х70 см с каменной обкладкой снаружи, общие размеры конструкции 100х70 см.	Без иллюстрации
Рождественское, городище	6	Сосна	Источник: железистый шлак, коллекция 2012 г. Происходит из культурного слоя в пределах мастерской по обработке черных и цветных металлов, между нагревательными горными и ямами-зольниками (объекты 1-4).	Рис. 4: 7
	7	Береза	Источник: железистый шлак, коллекция 2008 г. Происходит из производственного объекта – горна (объект 1). Сооружение было устроено на площадке из сырой глины, размерами 2х2 м и представлено подковообразным горном из глины, с высотой стенок до 25 см.	Рис. 4: 8
Рачево, городище	8А	Сосна	Источник: железистый шлак, коллекция 2013 г. Происходит из культурного слоя (№438).	Рис. 4: 9
	8Б	Сосна		Без иллюстрации
Роданово (Полютово), городище	9	Сосна	Источник: железистый шлак, коллекция 2019 г. Происходит из культурного слоя.	Рис. 4: 10
	10А	Береза	Источник: медистый шлак, коллекция 2019 г. Происходит из культурного слоя (№438).	Рис. 4: 11
	10Б	Сосна		Рис. 4: 12

различным подсчётам, расход угля к готовому железу и стали по массе составлял от 8:1 до 15:1 частей (Pleiner, 2000, p. 118).

Свидетельства углежжения весьма мало-численны для всех территорий. В археоло-

гических материалах Пермского Предуралья известно лишь несколько углежогных ям (Смертин, 2023, с. 75–76).

Одно такое сооружение известно на Чашкинском II селище (VIII–XIII вв.). Яма

располагалась в нижней части поселения, на озерном берегу. В плане она была представлена подпрямоугольной формой 2,5×2,4 м, глубина 1,2 м. Объем конструкции был заполнен светло-коричневым культурным слоем с высоким содержанием древесного угля, который образовывал сплошной пласт в придонной части ямы. Рядом располагалось пятно с отвалом шлака и прокаленной глиной. В непосредственной близости к яме была найдена железная крица (Крыласова и др., 2014, с. 257).

Другая углежогная яма известна по материалам Рождественского городища (IX–XIV вв.). Она была найдена на восточной окраине городища, в пределах мастерской по работе с металлом. Яма была представлена овалом 1,6×1,2 м глубиной 1,15 м, заполнена светло-серым суглинистым слоем с примесью угля, а внизу ямы полностью углем (рис. 1). Отдельными пятнами фиксировалась красная прокаленная глина (Крыласова, 2012, с. 17–19, 124).

Ещё одно ямное сооружение для производства древесного угля исследовано на селище Телячий Брод (VII–XIV вв.). Оно находилось на окраине селища, практически за его пределами, на понижении террасы в пойму, недалеко от сыродутной металлургической печи. Яма имела форму прямоугольника размерами 1,9×1,1 м, глубину 0,56 м, заполнение представлено серым суглинком с включениями угля, донная часть была устлана цельным углём. Внутри ямы и по её краям также встречались включения красной обожженной глины. Радиоуглеродная дата сооружения – X–XIII вв. (Абдулова, 2017, с. 11, 88).

Подобная яма с углем найдена на городище Устин II (IX–XIII вв.) в составе металлургической мастерской. Она имела округлую форму диаметром 1 м, глубину до полуметра, была заполнена крупным углем (Оборин, 1963, с. 28).

Описанные объекты могли служить и хранилищами угля вблизи печей и горнов. Однако его высокая концентрация, а также включение обожженной глины может говорить и об углежогном назначении конструкций. Множество подобных сооружений для выжига угля могли устраиваться и вне поселений. Тем не менее в этом ещё предстоит разобраться.

История изучения

Исследование древесного угля в археологии происходит в основном в контексте

решения задач датирования культурных слоёв и объектов при помощи радиоуглеродного метода. Выступление угля не просто средством, а объектом исследований встречается редко. В основном учёными оценивается его общая роль в древней металлургии. Определение видового различия деревьев, шедших на пережог, встречается в литературе единично. Редко встречается и химический анализ угля.

В частности, уголь с поселения Колесовка-1 на Куликовом поле был определен как дуб на основании низкой влажности и зольности образцов (Наумов, 2004, с. 98). Химический анализ данных углей показал, что пережог происходил без доступа кислорода при температуре 500–550°C (Наумов, 2004, с. 97). Металлурги Западной Германии VIII–XI вв. из Изернхагена производили уголь из березы (23%), ольхи (20%), орешника (14%), бука (12%) и дуба (11%), реже из сосны, ивы и ясеня (20%) (Pleiner, 2000, p. 118). В Англии, к примеру, древесный уголь XVIII в. определен как дуб, береза и ива (Crew, 2009, p. 20–21). Два образца угля из металлургических шлаков с Древней Руси (Прогонное поле и Кушманское городище) были определены как сосна (Колчин, 1953, с. 40). То же самое выявлено и по материалам Норвегии IV–VII вв. (Espelund, 2011, p. 88), средневековой Сибири: в Томском Приобье (Плетнева, 1990, с. 103) и Хакасско-Минусинской котловине (Сунчугашев, 1979, с. 117). Наиболее крупная выборка из 12 образцов по материалам Юго-Восточного Алтая происходит из металлургических шлаков, дерево определено как лиственница сибирская (Мыглан и др., 2023, с. 99).

Большинство исследователей пришли к мнению, что выбор древесины для углежжения диктовался доступностью конкретных пород в окружающем древостое.

Материалы и методы исследования **Методы**

Ранее описаны методики идентификации породы древесины из археологических материалов с помощью ИК-спектроскопии (Пожидаев и др., 2019, с. 911–921) и определение в соответствии с конкретными видовыми анатомическими узорами обугленной древесины с помощью цифрового стереоскопического микроскопа ботанической принадлежности (Семеняк и др., 2018, с. 88–92).

В Лаборатории термических методов анализа ИГНИУ разработана методика определения древесной породы с помощью карбонизации древесных остатков в приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F1 при продувке инертным газом с последующим анализом карбонизированных остатков с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N, совмещенного с рентгенофлуоресцентным анализом (Мокрушин и др., 2019, с. 34–43). Разработанная методика анализа позволяет за один пиролитический эксперимент установить набор параметров, пригодных для дальнейшей систематизации и изучения: теплотворная способность образца, влажность, процент лигнина и целлюлозы, зольность. Дальнейшие исследования с использованием электронной микроскопии позволяют не только определить породу древесины, но и описать, например, элементный состав поверхности угля и следы соединений металлов. Созданная база данных эталонных микрофотографий различных древесных пород, в том числе характерных именно для Прикамья, позволяет активно использовать данную методику анализа археологического угля и идентификации древесных пород (Подосёнова и др., 2022, с. 282–297; Смертин и др., 2023, с. 142–155).

Главными трудностями при проведении исследования породной принадлежности образцов стали плохая сохранность угля, практически полное покрытие поверхности глинистыми включениями, её частичная минерализация. Данные факты усложняют идентификацию породной принадлежности традиционными микроскопическими (в т. ч. мацерационными) и спектральными методами.

Учитывая вышесказанное, итоговая методика подготовки и анализа древесных находок состоит в следующем: отобранные образцы с включениями угля карбонизируются в непрерывном токе аргона в керамических тиглях или лодочках. Затем в остатках определяется направление древесных волокон при помощи оптического микроскопа и из каждой древесной находки подготавливаются образцы для исследования в тангенциальном (TLS), радиальном (RLS) и поперечном разрезе. Далее подготовленные образцы приклеиваются на токопроводящую подложку для съёмки на сканирующем электронном микроско-

пе Hitachi S-3400N, где объект изучается с увеличением от 30х до 1500х в зависимости от степени сохранности. При необходимости проводятся качественные и количественные определения состава поверхностей образцов. С помощью имеющейся базы идентифицируется порода подготовленного образца.

Материалы

Материалом для определения видового состава древесины в данном исследовании послужила серия остатков древесных углей из металлургических сооружений пяти средневековых поселений Пермского Предуралья: Телячий Брод, селище (VII–XIV вв.), Саламатово I (XI–XIII вв.), Рождественское (IX–XIV вв.), Рачево (XI–XIII вв.), Роданово (Полотово) (X–XIV вв.) городища (рис. 2). Сам уголь происходил как из производственных сооружений, так и из металлургических шлаков. В первом случае фракция угля была весьма крупной, пробоотбор происходил без затруднений. Во втором случае уголь был представлен отдельными включениями в губчатых металлургических шлаках. Его попадание в состав шлаков происходило стихийно через налипание остатков недогоревшего топлива к расплавленным отходам металлургического производства. Небольшой размер угля (рис. 3), его плохая сохранность в высококислотных почвах Пермского края затруднили пробоподготовку образцов и составление репрезентативной выборки. Всего удалось отобрать 13 образцов угля, что является максимально исчерпывающим результатом для имеющихся археологических коллекций региона (табл. 1).

Обсуждение результатов

В итоге были зафиксированы следующие породы дерева: сосна (10), береза (3). Ведущей заготавливаемой породой выступала сосна, второстепенный показатель дала береза. Причём в одном экземпляре шлака зафиксированы остатки обоих видов древесины (образцы № 4А–4Б, № 10А–10Б). Следовательно, во время одной плавки металлургии могли загружать рабочую камеру печи смешанным топливом – сосново-березовым углём.

Естественная влажность свежесрубленной древесины составляет 40–80%, воздушно-сухой древесины 20–30%. При этом сосна, как правило, имеет большую влажность и дольше высыхает. Теплотворная способность сухой древесины весьма различна. Ориентировочное значение в Гкал/м³ в порядке убывания

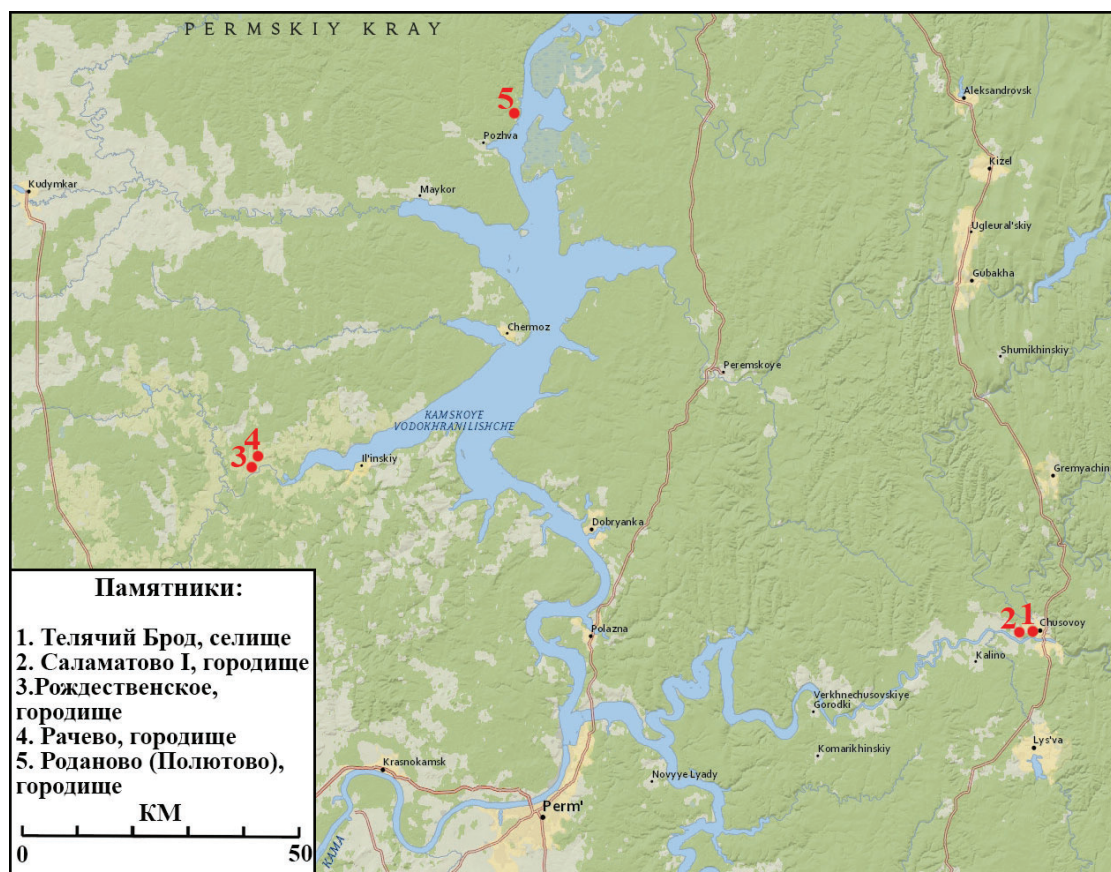


Рис. 2. Карта расположения памятников археологии в Пермском Предуралье.

Fig 2. Location of archaeological sites in the Perm Cis-Urals.

для 1,85 – лиственница; 1,72 – береза; 1,40 – сосна; 1,30 – осина; 1,25 – ель; 1,02 – пихта (Меньшиков и др., 2018, с. 64). Естественно, теплотворная способность твердолиственных деревьев (дуб, клен и др.) весьма выше, однако эти деревья в лесной зоне Пермского Предуралья встречаются единично. Лиственница – наиболее теплотворное топливо в приведенном списке, кроме того, её древесина является ценным материалом, пригодным для строительства и производства предметов быта, поэтому для производства угля, по всей видимости, чаще всего использовались следующие два вида древесины – береза и сосна. Горение древесины происходит при температурах зачастую недостаточных для целей металлургического производства. Для повышения теплотворной способности и температуры горения было необходимо переугливание древесины. При этом её теплотворность возрастает в разы до значений около 6,5 Гкал/м³.

Преобладание сосны в качестве топлива могло объясняться доступностью данной разновидности древесины. Вполне вероятно, что средневековые ремесленники умышленно

но использовали березу как наиболее теплоёмкий материал и могли применять смешанное топливо для повышения теплоотдачи, а также выравнивания температурных режимов производственных циклов.

Нами не зафиксированы иные разновидности древесины, которые, по всей видимости, были менее пригодны для высокотемпературной плавки металла. Следует отметить, что в других исследованиях обнаруживались другие породы дерева для производства предметов быта и в качестве строительных материалов. Для жилых и хозяйственных сооружений Рождественского городища использовались сосна, ель, пихта, лиственница, береза, липа и осина (Мокрушин и др., 2019, с. 38). Погребальные же конструкции средневековых некрополей Пермского Предуралья в большинстве своём выполнялись из кедра, который интерпретировался как т. н. «дерево мёртвых» (Смертин и др., 2023, с. 152). Следовательно, выбор имеющихся пород дерева (сосны и березы) мог быть сознательным и диктовался как их доступностью (например, произрастанием вокруг поселений), так и в целом

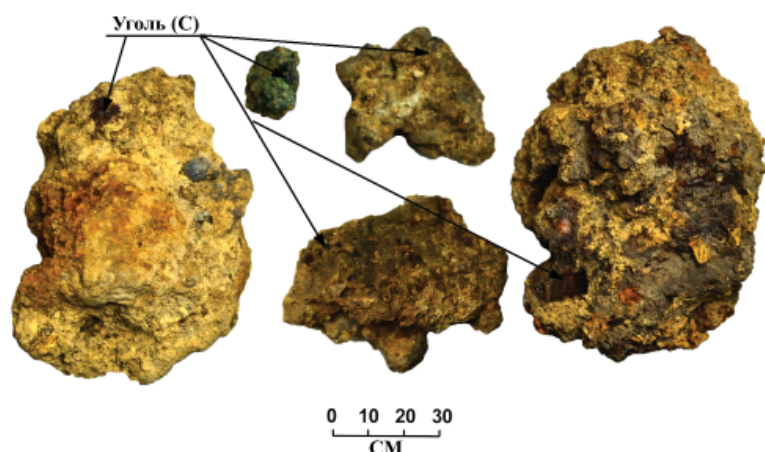


Рис. 3. Макрофотография шлака с включениями углей (Роданово (Полутово), городище).

Fig. 3. Macro photograph of slag with charcoal matter (Rodanovo (Polyutovo) hillfort).

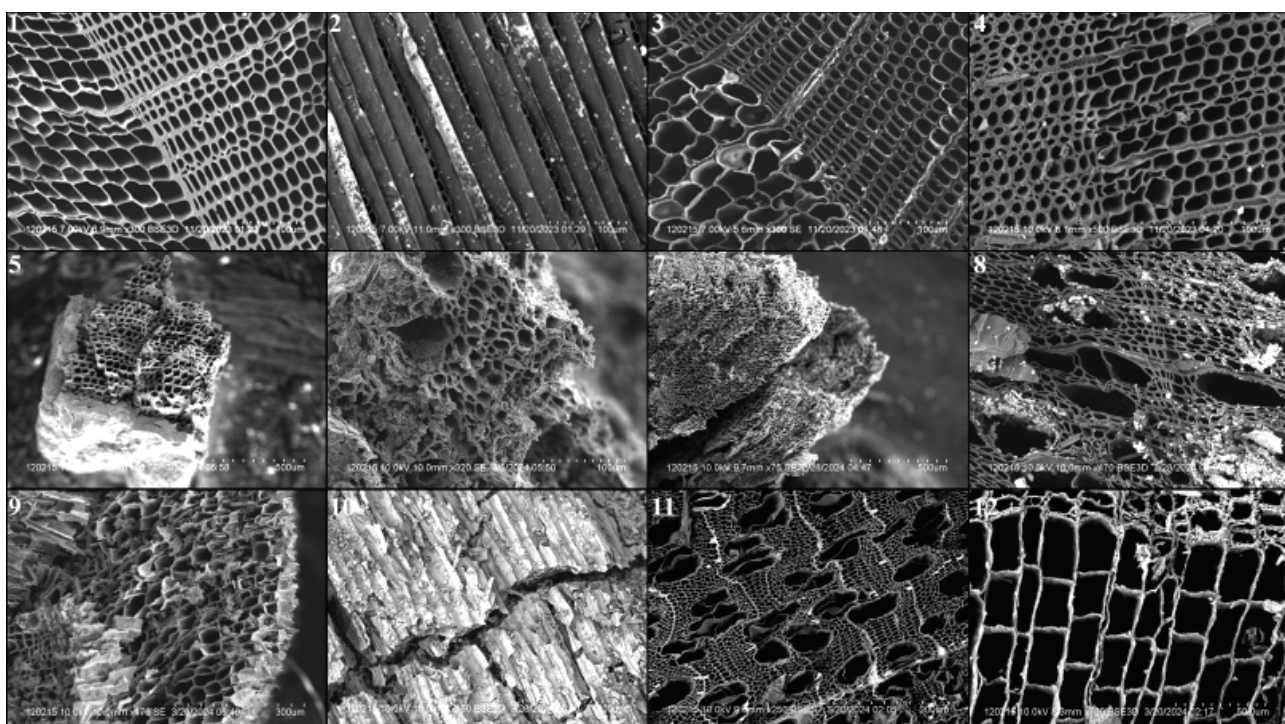


Рис. 4. Микрофотографии карбонизированных остатков древесины: 1-4 – Телячий Брод, селище; 5-6 – Саламатово I, городище; 7-8 – Рождественское городище; 9 – Рачево, городище; 10-12 – Роданово (Полутово), городище. 1-5, 7, 9-10, 12 – сосна; 6, 8, 11 – береза; 1, 3-9, 11-12 – поперечный разрез; 2, 10 – продольный разрез.

Fig. 4. Micrographs of carbonized wood residues: 1-4. Telyachy Brod settlement; 5-6 – Salamatovo I hillfort; 7-8 - Rozhdestvensk settlement; 9 – Rachevo hillfort; 10-12 – Rodanovo (Polyutovo) hillfort. 1, 5, 7, 9-10, 12 – pine; 6, 8, 11 – birch; 1, 3-9, 11-12 - cross section; 2, 10 - longitudinal section.

пригодностью для топлива при производстве и обработке металла.

Закключение

В имеющейся в Пермском Предуралье природно-географической ситуации средневековые металлурги весьма эффективно занимались ремеслом, производили и обрабатывали металл на высоком, общеевропейском уровне.

Использование в Пермском Предуралье древесного угля в качестве основного и един-

ственного топлива для металлургии соответствует уровню технологического развития эпохи Средневековья. Доступность данного вида сырья для анатомического изучения чрезвычайно мала вследствие редкости обнаружения углежогных ям (вследствие их удаленного расположения), негативных условий сохранности во время подземного залегания (минерализация, пропитка глиной), особенностей непосредственного примене-

ния в производственном цикле (как правило, полной деструкции и сгорания).

По всей видимости, использовалась древесина, которая может быть изъята из других сфер деятельности человека, а также может дать качественный уголь. Видовое разнообразие пород дерева, шедших на переугливание, судя по результатам исследования, небольшое. Угли на три четверти представлены сосной, на одну четверть – березой. Средневековые металлурги могли знать основные характеристики различной древесины и угля – влажность и теплотворную способность – и подбирать эффективные и в то же время доступные породы. Деревья вырубались вокруг поселений, их подготовка для метал-

лургических целей и пережог могли происходить как на местах, так и на самих производственных площадках. Загрузка поленьев для производства угля в углежогные ямы могла производиться в чистом или в смешанном виде (сосна/береза/сосна + береза) для повышения теплоотдачи во время пиролиза с ограниченной подачей воздуха, кроме того, смешанный готовый уголь мог применяться в металлургических печах и горнах для выравнивания температурных режимов производственного цикла.

К сожалению, исследование базировалось только на археологических и палеоэкологических источниках, в то время как письменный и этнографический материал отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

Абдулова С.И. Отчёт об археологических работах на территории объектов культурного наследия федерального значения «Телячий Брод I, селище», «Телячий Брод II, селище» в зоне строительства автомобильной дороги «Обход г. Чусового» в Чусовском районе Пермского края в 2017 году. Пермь, 2018 // Архив МАЭ ПГГПУ.

Вязов Л.А., Семькин Ю.А. О сырьевой базе черно-металлургического производства населения Ульяновского Поволжья в раннем железном веке и средневековье // Экспериментальная археология. Взгляд в XXI век. Материалы международной полевой научной конференции «Экспериментальная археология. Взгляд в XXI век» / Ред. С.А. Агапов. Ульяновск: Печатный двор, 2013. С. 203–229.

Гонак В.Д. Железообрабатывающее ремесло // Археология Украинской ССР. Т. 3. / Отв. ред. В.Д. Баран. Киев: Наукова думка, 1986. С. 417–427.

Зарецкая Н.Е., Лычагина Е.Л., Лаптева Е.Г., Трофимова С.С., Чернов А.В. Пойма Камы: реконструкция среды обитания древних и средневековых сообществ Среднего Предуралья // РА. 2020. № 1. С. 44–59.

Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси (Домонгольский период) / МИА. № 32. М.: Наука, 1953. 260 с.

Крыласова Н.Б. Отчёт о раскопках Рождественского городища в Карагайском районе Пермского края в 2012 году. Пермь, 2013 // Архив МАЭ ПГГПУ.

Крыласова Н.Б., Лычагина Е.Л., Белавин А.М., Скорнякова С.В. Археологические памятники Чашкинского озера / Археология Пермского края. Свод археологических источников. Вып. III. Пермь: ПГГПУ, 2014. 565 с.

Лаптева Е.Г., Саранулов А.Н. Реконструкция среды обитания и хозяйства средневекового населения Роданова городища (Пермский край) // Экология древних и традиционных обществ. Вып. 6. Материалы VI Международной научной конференции. (Тюмень, 2–6 ноября 2020 г.) / Отв. ред. Н.П. Матвеева, Н.Е. Рябогина. Тюмень: ТюмНЦ СО РАН, 2020. С. 106–108.

Лаптева Е.Г., Саранулов А.Н., Крыласова Н.Б. Рождественское городище: итоги палинологических исследований // Труды КАЭЭ. 2019. Вып. XV. С. 25–33.

Лычагина Е.Л., Лаптева Е.Г., Зарецкая Н.Е., Копытов С.В., Чернов А.В., Трофимова С.С., Демаков Д.А. Реконструкция природной среды Верхнего Прикамья в голоцене по данным мультидисциплинарного изучения разреза Леваты // Экология древних и традиционных обществ. Вып. 6. Материалы VI Международной научной конференции. (Тюмень, 2–6 ноября 2020 г.) / Отв. ред. Н.П. Матвеева, Н.Е. Рябогина. Тюмень: ТюмНЦ СО РАН, 2020. С. 77–78.

Меньшиков Б.Е., Курдышева Е.В. Ресурсы и основные направления использования древесного сырья для производства тепловой энергии на лесозаготовительных предприятиях. // Леса России и хозяйство в них. 2018. №1 (64). С. 59–66.

Мокрушин И.Г., Красновских М.П., Иванов П.А., Каменщиков О.Ю., Крыласова Н.Б., Сарпулов А.Н. Опыт определения пород древесины методом сканирующей электронной микроскопии (по материалам Рождественского городища в Пермском крае) // Труды КАЭЭ. 2019. Вып. XV. С. 34–43.

Мыглан В.С., Агатова А.Р., Непон Р.К., Тайник А.В., Баринов В.В., Филатова М.О. Антракологический анализ древесных углей из археологических памятников на примере металлургических печей Юго-Восточного Алтая // Геоархеология и археологическая минералогия. Т. 10 / 2023. С. 98–101.

Наумов А.Н. Черная металлургия и железообработка на сельских памятниках Куликова поля в конце XII- середине XIV в. Дисс.. канд. ист. наук. М., 2004. 295 с.

Оборин В.А. Отчёт об археологических раскопках и разведках на севере Пермской области. Пермь, 1963 // Кабинет археологии ПГНИУ.

Плетнева Л.М. Томское Приобье в позднем средневековье: (по археологическим источникам). Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 1990. 33 с.

Подосёнова Ю.А., Данич А.В., Крыласова Н.Б., Каменщиков О.Ю., Мокрушин И.Г., Красновских М.П., Иванов П.А. Деревянные ножны с металлическими обкладками из Баяновского могильника ломоватовской археологической культуры: результаты химико-технологического исследования // Археология Евразийских степей. 2022. № 5. С. 282–297.

Пожидает В.М., Ретивов В.М., Панарина Е.И., Сергеева Я.Э., Жданович О.А., Яцишина Е.Б. Разработка метода идентификации породы древесины в археологических материалах методом спектроскопии // Журнал аналитической химии. 2019. Т. 74. № 12. С. 911–921.

Пьянков С.В., Черепанова Е.С., Русаков В.С. Комплексная оценка состояния лесных ресурсов Пермского края. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. №2. С. 68–71.

Сарпулов А.Н. Средневековое земледелие пермского Предуралья по археологическим данным. Пермь: Перм. гос. гуманитар.-пед. ун-т, 2015. 170 с.

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.

Смертин А.Р. Кузнечное производство на группе средневековых памятников Телячий Брод в бассейне р. Чусовая в Пермском Предуралье // Геоархеология и археологическая минералогия. 2023. Т. 10. С. 254–259.

Смертин А.Р. Металлургия и металлообработка железа в верхнем и среднем Прикамье в конце XI - начале XV вв. ВКР маг. ...История. Пермь ПГНИУ. 2023. 328 с.

Смертин А.Р., Иванов П.А., Каменщиков О.Ю., Красновских М.П., Мокрушин И.Г., Сарпулов А.Н. Внутримогильные конструкции в погребальной обрядности средневекового населения Пермского Предуралья (опыт определения древесины методом сканирующей электронной микроскопии) // Археология Евразийских степей. 2023. № 1. С. 142–155.

Снопков С.В., Зарицкий О.П. Эксперимент по получению железа с помощью сыродутного горна // Известия Лаборатории древних технологий. 2016. № 3 (20). С. 22–35.

Сунчугашев Я.И. Древняя металлургия Хакасии. Эпоха железа. Новосибирск: Наука, 1979. 192 с.

Шумиловских Л.С., Санников П.Ю. История Кунгурской лесостепи в голоцене: проблематика, подходы и первые результаты // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 4. С. 487–496.

Crew P. Ironworking in Merioneth from prehistory to the 18th century. // Darlithiau Coffa Merfyn Williams Memorial Lectures. October 14th. Maentwrog 2009, 42 p.

Espelund A. Norway as a bloomery iron producer. // The archaeometallurgy of iron. The Institute of Archaeology of the ASCR. Prague. 2011, 87-98 pp.

Pleiner R. Iron In Archaeology. The European Bloomery Smelters. The Institute of Archaeology of the ASCR. Prague, 2000. 417 p.

Информация об авторах:

Смертин Андрей Романович, научный сотрудник, Институт гуманитарных исследований УрО РАН (г. Пермь, Россия); лаборант-исследователь, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет (г. Пермь, Россия), arsmartin@mail.ru

Курунова Екатерина Александровна, лаборант, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ) (г. Пермь, Россия); kurunovaekaterina7@gmail.com

Каменщиков Олег Юрьевич, техник, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), (г. Пермь, Россия); koy@chemanalysis.ru

Мокрушин Иван Геннадьевич, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), (г. Пермь, Россия); mig@psu.ru

REFERENCES

- Abdulova, S. I. 2018. *Otchet ob arkheologicheskikh rabotakh na territorii ob'ektov kul'turnogo naslediya federal'nogo znacheniya «Telyachiy Brod I, selishche», «Telyachiy Brod II, selishche» v zone stroitel'stva avtomobil'noy dorogi «Obkhod g. Chusovogo» v Chusovskom rayone Permskogo kraya v 2017 godu* (Report on archaeological work on the territory of cultural heritage sites of federal significance "Telyachy Brod I settlement", "Telyachy Brod II settlement" in the construction area of the highway "Bypass of Chusovoy" in the Chusovoy district of Perm Krai in 2017). Perm. Archive of the Museum of Archaeology and Ethnography of Perm State Humanitarian and Pedagogical University (in Russian).
- Vyazov, L. A., Semykin, Yu. A. 2013. In Agapov, S. A. (ed.). *Eksperimental'naya arkheologiya. Vzglad v XXI vek, Materialy mezhdunarodnoi polevoi nauchnoi konferentsii* (Experimental Archaeology. A Glance into the 12th Century, Materials of the International Field Scientific Conference). Ulyanovsk: "Pechatnyi dvor" Publ., 203–229 (in Russian).
- Gopak, V. D. 1986. In Baran, V. D. (ed.). *Arkheologiya Ukrainskoi SSR* (Archaeology of the Ukrainian SSR). Vol. 3. Kiev: "Naukova dumka" Publ., 417–427 (in Russian).
- Zaretskaya, N. E., Lychagina, E. L., Lapteva, E. G., Trofimova, S. S., Chernov, A. V. 2020. In *Rossiiskaia Arkheologiya* (Russian Archaeology) (1), 44–59 (in Russian).
- Kolchin, B. A. 1953. *Chernaia metallurgiya i metalloobrabotka v drevnei Rusi (Domongol'skii period)* (Iron and Steel Metallurgy and Metal Processing in Early Rus' (Pre-Mongol Period)). Series: Materialy i issledovaniia po arkheologii SSSR (Materials and Research in the USSR Archaeology) 32. Moscow: "Nauka" Publ. (in Russian).
- Krylasova, N. B. 2013. *Otchet o raskopkakh Rozhdestvenskogo gorodishcha v Karagayskom rayone Permskogo kraya v 2012 godu* (Report on the excavations at the Rozhdestvensk settlement in the Karagay district of the Perm Krai in 2012). Perm. Archive of the Museum of Archaeology and Ethnography of Perm State Humanitarian and Pedagogical University (in Russian).
- Krylasova, N. B., Lychagina, E. L., Belavin, A. M., Skornyakova, S. V. 2014. *Arkheologicheskie pamyatniki Chashkinskogo ozera* (Archaeological sites of the Chashkin Lake). Series: Arkheologiya Permskogo kraya. Svod arkheologicheskikh istochnikov (Archaeology of the Perm Krai. A code of archaeological sources) 3. Perm: Perm State Humanitarian Pedagogical University (in Russian).
- Lapteva, E. G., Sarapulov, A. N. 2020. In Matveeva, N. P., Ryabogina, N. E. (eds.). *Ekologiya drevnikh i traditsionnykh obshchestv* (Ecology of Ancient and Traditional Societies) 6. Tyumen: Tyumen Scientific Center SB RAS, 77–78 (in Russian).
- Lapteva, E. G., Sarapulov, A. N., Krylasova, N. B. 2019. In *Trudy Kamskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii* (Proceedings of the Kama Archaeological and Ethnographical Expedition) XV, 25–33 (in Russian).
- Lychagina, E. L., Lapteva, E. G., Zaretskaya, N. E., Kopytov, S. V., Chernov, A. V., Trofimova, S. S., Demakov, D. A. 2020. In Matveeva, N. P., Ryabogina, N. E. (eds.). *Ekologiya drevnikh i traditsionnykh obshchestv* (Ecology of Ancient and Traditional Societies) 6. Tyumen: Tyumen Scientific Center SB RAS, 77–78 (in Russian).
- Menshikov, B. E., Kurysheva, E. V. 2018. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* (Forests of Russia and management in them) 1 (64), 59–66 (in Russian).
- Mokrushin, I. G., Krasnovskikh, M. P., Ivanov, P. A., Kamenshchikov, O. Yu., Krylasova, N. B., Sarapulov, A. N. 2019. In *Trudy Kamskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii* (Proceedings of the Kama Archaeological and Ethnographical Expedition) XV, 34–43 (in Russian).
- Myglan, V. S., Agatova, A. R., Nepop, R. K., Tainik A. V., Barinov, V. V., Filatova, M. O. 2023. In *Geoarcheologiya i arheologicheskaya mineralogiya* (Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy) 10, 98–101 (in Russian).
- Naumov, A. N. 2004. *Chernaya metallurgiya i zhelezoobrabotka na sel'skikh pamyatnikakh Kulikova polya v kontse XII- seredine XIV v.* (Ferrous metallurgy and ironworking on rural sites of Kulikovo field in the late XII- mid XIV century). Diss. of Candidate of Historical Sciences. Moscow (in Russian).

Oborin, V. A. 1963. *Otchet ob arkheologicheskikh raskopkakh i razvedkakh na severe Permskoy oblasti* (Report on archaeological excavations and exploration in the north of the Perm region). Perm. Cabinet of Archaeology Perm State University (in Russian).

Pletneva, L. M. 1990. *Tomskoe Priob'e v pozdnem srednevekov'e: (po arkheologicheskim istochnikam)* (Tomsk Ob region in the Late Middle Ages: (according to archaeological sources)). Tomsk: National Research Tomsk State University (in Russian).

Podosenova, Yu. A., Danich, A. V., Krylasova, N. B., Kamenshchikov, O. Yu., Mokurshin, I. G., Krasnovskikh, M. P., Ivanov, P. A. 2022. In *Arkheologiya Evraziiskikh stepei* (Archaeology of Eurasian Steppes) 5, 282–297 (in Russian).

Pozhidaev, V. M., Retivov, V. M., Panarina, E. I., Sergeeva, Ya. E., Zhdanovich, O. A., Yatsishina, E. B. 2019. In *Zhurnal analiticheskoy khimii* (Journal of Analytical Chemistry) 74 (12), 911–921 (in Russian).

Pyankov, S. V., Cherepanova, E. S., Rusakov, V. S. 2009. In *Interespo Geo-Sibir'* (Interexpo Geo-Siberia) (2), 68–71 (in Russian).

Sarapulov, A. N. 2015. *Srednevekovoe zemledelie permskogo Predural'ia po arkheologicheskim dannym* (Medieval Agriculture of the Perm Cis-Urals Region by Archaeological Data). Perm: Perm State Pedagogical University (in Russian).

Semenyak, N. S., Goleva, A. A., Syrovatko, A. S., Troshina, A. A. 2018. In *Problemy regional'noy ekologii* (Problems of regional ecology) 4, 88–92 (in Russian).

Smertin, A. R. 2023. In *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya* (Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy) 10, 254–259 (in Russian).

Smertin, A. R. 2023. *Metallurgiya i metalloobrabotka zheleza v verkhnem i srednem Prikam'e v kontse XI - nachale XV vv.* (Metallurgy and metalworking of iron in the Upper and Middle Kama region at the end of the XI - beginning of the XV centuries). Diss. of Master of History. Perm: Perm State University (in Russian).

Smertin, A. R., Ivanov, P. A., Kamenshchikov, O. Yu., Krasnovskikh, M. P., Mokrushin, I. G., Sarapulov, A. N. 2023. In *Arkheologiya Evraziiskikh stepei* (Archaeology of Eurasian Steppes) 1, 142–155 (in Russian).

Snopkov, S. V., Zaritsky, O. P. 2016. In *Izvestiya laboratorii drevnikh tekhnologii* (Reports of the Laboratory of Ancient Technologies) 20 (3), 22–35 (in Russian).

Sunchugashev, Ya. I. 1979. *Drevniaia metallurgiya Khakasii. Epokha zheleza* (Ancient Metallurgy of Khakassia. Iron Age). Novosibirsk: "Nauka" Publ. (in Russian).

Shumilovskikh, L. S., Sannikov, P. Yu. 2018. In *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki* (Belgorod State University Scientific Bulletin Natural sciences) 42 (2), 487–496 (in Russian).

Crew, P. 2009. In *Darlithiau Coffa Merfyn Williams Memorial Lectures*. October 14th. Maentwrog, 42 p.

Espelund, A. 2011. In *The archaeometallurgy of iron*. The Institute of Archaeology of the ASCR. Prague., 87–98.

Pleiner, R. 2000. *Iron In Archaeology. The European Blooming Smelters. The Institute of Archaeology of the ASCR*. Prague.

About the Authors:

Smertin Andrey R., Research Associate of Institute of Humanitarian Studies Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Genkelya str. 4, Perm, 614990, Russian Federation; laboratory researcher of Institute of archaeology and anthropology of Perm State Humanitarian Pedagogical University. Sibirskaya str. 24, Perm, 614990, Russian Federation; arsmertin@mail.ru

Kurunova Ekaterina A., Perm State National Research University (PSNIU). Bukireva str. 15, Perm, 614990, Russian Federation; kurunovaekaterina7@gmail.com

Kamenshchikov Oleg Yu., Perm State National Research University (PSNIU). Bukireva str. 15, Perm, 614990, Russian Federation; koy@chemanalysis.ru

Mokrushin Ivan G., Associate Professor, PPerm State National Research University (PSNIU). Bukireva str. 15, Perm, 614990, Russian Federation; mig@psu.ru



Статья поступила в журнал 01.12.2024 г.
Статья принята к публикации 01.02.2025 г.
Авторы внесли равноценный вклад в работу