



Металлопроизводственные структуры коптяковско-сейминского и иткульского очагов Среднеуральского горно-металлургического центра

Виталий Васильевич Ткачев^{1, #}, Сергей Вячеславович Богданов¹,
Ольга Николаевна Корочкова², Иван Андреевич Спиридонов²

¹ Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН, Оренбург, Россия

² Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

E-mail: vit-tkachev@yandex.ru

Аннотация. Анализируются металлопроизводственные системы коптяковской культуры эпохи бронзы и иткульской раннего железного века, сформировавшихся в горно-лесном Зауралье в среде населения, преимущественно присваивающего образа жизни. Обе системы характеризуются высоким уровнем развития горно-металлургического производства по отношению к сопредельным регионам Северной Евразии. Интенсивным промышленным освоением горно-лесного Зауралья в Новое и Новейшее время уничтожено большинство древних рудников, поэтому поиски основных аргументов, связанных с вопросами сырьевой базы древнего металлопроизводства, лежат в области извлечения информации из имеющихся артефактов. Широкий ассортимент высокотехнологичных бронзовых орудий и отходов металлопроизводства коптяковской культуры резко диссонирует со скудными данными о производственных площадках. Поэтому мы вынуждены искать нетривиальные подходы к реконструкции металлопроизводственных структур. Археологической информации об организации металлопроизводства иткульской культуры на порядок больше, на поселениях и городищах исследованы комплексы плавильных печей разных типов, колоссальное количество шлаков и т.п. В данной работе авторы обращаются к сопоставлению металлических изделий коптяковской культуры II тыс. до н.э. с неопределенными источниками металлургического сырья и артефактов иткульской культуры I тыс. до н.э., определенно связанных с местными меднорудными источниками. В статье подводятся итоги многолетней работы авторов по организации и проведению прецизионных естественнонаучных анализов наиболее репрезентативных образцов руд Среднеуральского горно-металлургического центра, а также металла коптяковской и иткульской культур методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), включая определение изотопного состава свинца, электронно-зондового микроанализа (ЭЗМА) и др. Систематизация этих данных современными средствами статистической обработки информации позволяет констатировать близость сырьевых источников металлургического производства обеих культур. Парадоксально близки оказываются и иные аспекты металлопроизводственных структур коптяковско-сейминского и иткульского очагов. В горнодобывающей сфере и металлопроизводстве в том и другом очаге оказалась задействована основная часть полиэтнического населения, рыболовство и охота функционировали в качестве подсобных сезонных промыслов, производимая продукция, хотя и различалась по ассортименту, ориентировалась на широкий круг потребителей за пределами культурного ареала в таежной зоне, лесостепи и степных регионах Урала, а также сопредельных регионов, – металл обменивался на продукты животноводства. Оба очага уходят с исторической арены с утратой потребителей металла в периоды переселенческой активности на более южных лесостепных и степных территориях Северной Евразии.

Ключевые слова: бронзовый век, ранний железный век, коптяковская культура, иткульская культура, горно-металлургическое производство, Среднеуральский горно-металлургический центр, ИСП-МС, химический состав медных руд и металла, изотопный состав свинца

Цитирование. Ткачев В.В., Богданов С.В., Корочкова О.Н., Спиридонов И.А., 2026. Металлопроизводственные структуры коптяковско-сейминского и иткульского очагов Среднеуральского горно-металлургического центра, *Уфимский археологический вестник*, т. 26, № 2, с. 355–385. <https://doi.org/10.31833/uvav/2026.26.2.020>

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ «Технологии горно-металлургического производства бронзового века в эволюции культурно-исторического ландшафта Уральского региона», проект № 21-78-20015-П.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность В.И. Ермоленко, А.А. Устинову, И.Н. Тупикову, за помощь в отборе образцов рудных материалов из горнорудных объектов Среднего Урала, а также Д.В. Киселевой, В.А. Булатову, Т.Г. Окуновой и Н.Г. Солошенко (Центр коллективного пользования «Геоаналитик» при Институте геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург), Н.В. Федюниной, А.А. Курилович, Е.Г. Мельниковой, Е.М. Канатевой, А.Н. Маковенко (Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск) за деятельное участие в проведении аналитических работ.

Дополнительные материалы. Таблицы 1–4: Zenodo, June 24, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20825655>

Metal Production Structures of Koptyaki-Seima and Itkul Foci in the Middle Urals Metal Mining Center

Vitaly V. Tkachev^{1, #}, Sergey V. Bogdanov¹, Olga N. Korochkova², Ivan A. Spiridonov²

¹Institute of the Steppe, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of RAS, Orenburg, Russia

²Ural Federal University named after B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

[#]E-mail: vit-tkachev@yandex.ru

Abstract. The paper analyzes Alte Bronze Koptyaki and Early Iron Age Itkul metal production systems emerged in the mountainous forest Transurals. The people that formed these systems stucked to the appropriation lifestyle mainly. Both system feature advanced metal mining production in comparison with adjacent North Eurasia regions. The Modern Era and Contemporary Time brought intense industrial development za the mountainous forest Transurals. This resulted in destruction of the majority of ancient mines. Consequently, the raw materials of the ancient metal production can be determined only based on the available artifacts. The wide range of advanced bronze tools and metal production waste of Koptyaki culture are in drastic discord with scarce data on the production site. Therefore, we have to seek outside-the-box approaches to reconstructing the metal producing structures. There is a lot more archaeological information on arrangement of Itkul culture metal production. Settlements and hillforts have various furnace complexes and slag types researched. In this paper, the authors compare Koptyaki culture metal items dated II millennium BC from non-identified raw material sources with Itkul culture artifacts dated I millennium BC definitely associated with the local copper ore sources. The article displays findings of long-year work of the authors aimed to arrange and conduct precise natural science analysis of the most distinctive ore samples from the Middle Urals ore mining center and Koptyaki and Itkul metals. The research involves inductively coupled mass spectrometry (ICP MS), lead isotopic composition determination, electron probe microanalysis (EPMA) and other methods. The obtained data are processed using up-to-date statistical data processing methods. The findings are evident of the raw material sources for metal production in both cultures being related. It is a paradox how close other aspects of Koptyaki-Seima and Itkul metal production structures are. Both mining and metal production industries engaged the majority of the multi-ethnic population. Fishing and hunting were supporting seasonal activities with products varying in assortment and targeted at a wide range of consumers outside the cultural area in the taiga zone, Ural forest-steppe and steppe and adjacent territories. Locals used to exchange metal for live stock products. Both foci retreat from history due to losing metal consumers during the migration processes in the south of North Eurasia steppe and forest-steppe.

Keywords: Bronze Age, Early Iron Age, Koptyaki culture, Itkul culture, metal mining and production, Middle Ural metal mining center, EPMA, chemical composition of copper ore and metal, lead isotopic composition

Citation. Tkachev, V.V., Bogdanov, S.V., Korochkova, O.N., Spiridonov, I.A., 2026, "Metal Production Structures of Koptyaki-Seima and Itkul Foci in the Middle Urals Metal Mining Center", *Ufa Archaeological Herald*, vol. 26, no. 2, pp. 355–385. (In Russ.) <https://doi.org/10.31833/uav/2026.26.2.020>

Funding. The work is supported by the RSF grant Bronze Age Metal Mining Technologies in Evolution of the Ural Region Cultural and Historical Landscape, project No. 21-78-20015-П.

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to V.I. Ermolenko, A.A. Ustinov, I.N. Tupikov for sampling ore from Middle Ural mining sites; to D.V. Kiseleva, V.A. Bulatov, T.G. Okuneva and N.G. Soloshenko (Geoanalyst Common Use Center under the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg), N.V. Fedyunina, A.A. Kurilovich, E.G. Melnikova, E.M. Kanataeva, A.N. Makovenko (Plasma Chemical Analytical Center, Tomsk) for tangible engagement into the analysis.

Supplementary. Tables 1–4: Zenodo, June 24, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20825655>

Введение

В древности металлургия стала критической технологией, кардинально изменившей историко-культурный ландшафт Евразии. К настоящему времени, благодаря консолидированным усилиям ученых, сформировалась картина этого феномена: от первых опытов в Передней Азии до изобре-

ния авангардных технологий восстановления меди и получения легированных сплавов, от холодной и горячейковки примитивных прутковых заготовок к литью в сложные разъемные формы, от изготовления редких предметов престижного потребления до выпуска унифицированных массовых изделий.

Концепция металлургических провинций эпохи раннего металла V–II тыс. до н.э. передает динамику распространения металла в Евразии, становления и развития технологий добычи и переработки сырья, особенности моделей взаимодействия культур-производителей и культур-потребителей металла, описывает сферы разделения труда, определенные различиями в природных ресурсах территорий, интерпретирует формирование производящих центров [Черных, 2013. С. 298–303].

В центре нашего внимания процессы становления технологий металлопроизводства в горно-лесном Зауралье периода взрывного роста ареала металлоносных культур на рубеже III–II тыс. до н.э., связанные с формированием Западноазиатской металлургической провинции (ЗАМП) [Черных, 2013. С. 222–242] и Волго-Уральского очага культуригенеза [Бочкарев, 2017. С. 159–163] эпохи поздней бронзы. Исследуемый регион относится к северной периферии ЗАМП, не входит в ареал скотоводческих культур, но находится в непосредственной близости от ядра Волго-Уральского очага культуригенеза, представленного в степном Зауралье на ранней фазе памятниками синташтинской культуры. Важно подчеркнуть исключительное богатство сырьевых источников региона, включая многочисленные выходы пород, пригодных для изготовления качественных каменных изделий, литейных форм, а также крупные месторождения и рудопроявления меди с выходом к поверхности. Последнее обстоятельство обладает принципиальным значением, поскольку именно к этому периоду относится формирование Среднеуральского горно-металлургического центра (ГМЦ), игравшего заметную роль в развитии историко-металлургических систем эпохи поздней бронзы и раннего железного века. Эти и иные особенности самым непосредственным образом сказались на нетипичном для Евразии варианте становления высокотехнологичного металлопроизводства в среде населения преимущественно присваивающего образа жизни.

Ландшафтно-климатическая ситуация в горно-лесном Зауралье на заре бронзового века, особенности инфраструктуры и ресурсной базы

На рубеже III–II тыс. до н.э. горно-лесное Зауралье представляло собой весьма уязвимую в природном отношении территорию на фоне протекавших здесь в первой половине суббореала процессов заторфовывания озер [Чаиркина, 2022. С. 143, 198–200] – основных охотничьих и рыболовных угодий местного населения. К концу III тыс. до н.э. территории региона практически обезлюдели, свидетельством чему является заметная лакуна в шкале радиоуглеродной хронологии региона [Чаиркина, Кузьмин, 2018. С. 132]. Вряд ли этот hiatus между памятниками эпох энеолита и бронзы относится к разряду исследовательских аберраций,

т.к. основу выборки составили образцы древесины из торфяниковых памятников, демонстрирующих непрерывность обитания от мезолита до раннего железного века. Природно-климатические вызовы суббореала определили заметный отток населения в прилегающие районы Западной Сибири, о чем свидетельствует картирование энеолитических памятников и их хронология в Нижнем Притоболье [Чаиркина, 2005. С. 296] и Кондинской низменности [Кокшаров, 2009. С. 254–258]. Направление коммуникаций во многом обусловлено особенностями гидросистемы региона. Исеть, Пышма, Миасс, Тагил, Тура, Тавда впадают в Тобол, относясь к бассейну Оби. И только р. Чусовая пересекает Уральский хребет с востока на запад, выступая в роли естественной транспортной магистрали. На берегах Чусовой мало пригодных для обитания мест, преобладают кратковременные стоянки и пещерные культовые памятники. При этом, артефакты бронзового века в известных комплексах немногочисленны, что также указывает на низкую плотность населения в это время.

Заметим, что близкая демографическая ситуация во второй половине III тыс. до н.э. характерна и для соседних районов лесостепного и степного Зауралья. Однако, в начале II тыс. до н.э. эти земли активно осваиваются продвинувшимися сюда с запада группами скотоводов. В горно-лесном Зауралье условий для скотоводства не имелось, пищевые стратегии местного населения опирались на охоту и рыболовство. Между тем, исторический опыт Евразии показывает, что именно стабильное производство пищи является обязательным фактором для формирования и укоренения технологий металлопроизводства, требующих принципиально новых способов усвоения и передачи сложных специальных знаний, вовлеченности большого количества людей в отрасли, возникавшие в условиях разделения труда [Черных, 2011. С. 50–52].

Первые импульсы инновационных технологий, включая гончарство, металлургию, ткачество, колесный транспорт и т.п. были связаны с миром ранних земледельцев – скотоводов Балкан и Передней Азии. Именно отсюда достижения и изобретения стремительно распространялись в широтном направлении по степному поясу, представлявшему собой естественный коммуникационный коридор Евразии [Даймонд, 2018. С. 267–289; Черных, 2009. С. 13–21]. Сложение на Урале продуктивного скотоводства, основанного на сезонном распределении пастбищных и водных источников, дальних летних откочевках и придомном содержании скота в зимнее время, стимулировало развитие крупных поселений со сложной планировкой, помещениями различного функционального назначения, в том числе общественными, что свидетельствует об усложнении структуры древнего общества, рождении воинства и др. элитарных структур. На это же указывает наличие различных форм иден-

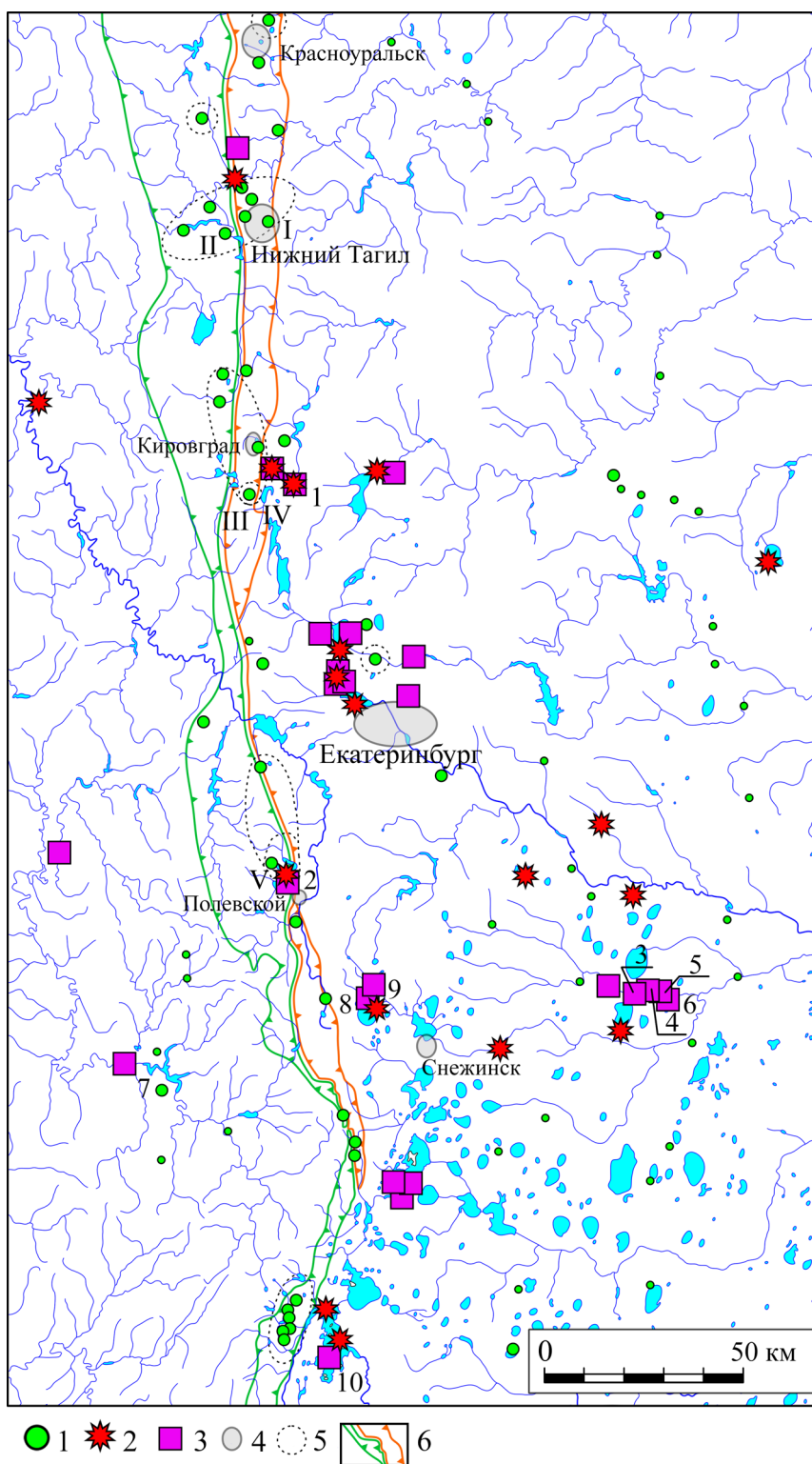


Рис. 1. Карта памятников коптыковской и иткульской культур на фоне меднорудных месторождений.

1 – медные месторождения и рудопроявления; 2 – памятники и случайные находки коптыковской культуры; 3 – памятники иткульской культуры; 4 – город; 5 – потенциальные горно-металлургические узлы; 6 – металлогенические зоны Среднего Урала. I – Высокогорское; II – Меднорудянское; III – Алексеевское; IV – Нейво-Рудянское, V – Гумешевское. 1 – Шайтанское Озеро II; 2 – Думная Гора; 3 – Зотинское I городище; 4 – Зотинское II городище; 5 – Зотинское III городище; 6 – Зотинское IV городище; 7 – пос. Серный Ключ; 8 – Иткульское I (Иткульское Большое, Даутовское I) городище; 9 – Иткульский могильник; 10 – остров Малый Вишневый

Fig. 1. Map of monuments of the Koptyaki and Itkul cultures subject to copper deposits.

1 – cooper deposits and ore occurrences; 2 – monuments and accidental finds of the Koptyaki culture; 3 – monuments of the Itkul culture; 4 – the town; 5 – potential mining and metallurgical sites; 6 – metallogenic zones of the Middle Urals region. I – Vysokogorskoe; II – Mednorudyanskoe; III – Alexeevskoe; IV – Neyvo-Rudyanskoe, V – Gumeshevskoe. 1 – Shaitanskoe Ozero II; 2 – Dumnaya Gora; 3 – Zotinskoe I hillfort; 4 – Zotinskoe II hillfort; 5 – Zotinskoe III hillfort; 6 – Zotinskoe IV hillfort; 7 – Serny Kluch; 8 – Itkul I (the Great Itkul, Dautovskoe I) hillfort; 9 – Itkul burial ground; 10 – Maly Vishnevyy island

тичности, выраженных в сложной погребальной обрядности, орнаментации, костюме, украшениях, символике. Высокая степень подвижности скотоводов, занимавшихся добычей и переработкой медных руд, определяет разнообразие форм культурного диалога, свидетельствующих о новом уровне когнитивных навыков древнего населения, увеличивается его мобильность, ориентированная на поиск мест, отвечавших жизнеобеспечивающим стратегиям эпохи. На этом фоне в степных областях Южного Урала мы наблюдаем различные формы реализации пастушеской модели металлопроизводства [Tkachev, 2021; Ткачев и др., 2023; 2025], основанной на сезонных циклах смены видов деятельности, многоступенчатых процессах поиска, добычи, сухого и пиротехнического обогащения сульфидных руд, восстановления черновой меди из подготовленного концентрата, ее дальнейшего рафинирования и легирования [Богданов, 2020].

Судя по археологическим данным, одним из условий поддержания стабильности культур производящего образа жизни, ориентированного на скотоводство, является фактор наличия обширной территории с биологическим и ландшафтным разнообразием. Достаточно посмотреть на динамику расширения ареала генетически связанных культур урало-казахстанских степей линии «синташта-петровка-алакуль-саргары». При этом, территориальные амбиции носителей скотоводческих культур не простирались севернее лесостепи, расширение ареалов происходило за счет широтного расселения. В момент своего апогея «андроновская общность» занимала обширную территорию 800×1200 км, от Уральских гор на западе до Енисея на востоке, от южной кромки лесов и лесостепи Западной Сибири до предгорий Алтая, Тянь-Шаня и Памира на юге [Корочкова, 2021]. Ареал культур горно-лесного Зауралья в бронзовом веке соответствовал территориальным рамкам культур, ориентированных на традиционные способы добычи пищи. Достаточно сравнить археологическую карту памятников синхронных культур: коптяковской и ташковской [Ковалева, Рыжкова, Шаманаев, 2000. Рис. 1], занимавших смежные территории. Коптяковская культура демонстрирует высокий уровень металлопроизводства, воплощенный в металле коптяковско-сейминского очага, а ташковская – многочисленными, но в большинстве своем, неудачными попытками воспроизведения сложных технологий металлообработки синхронных культурных образований [Дегтярева, Ковалева, Кузьминых, 2014. С. 23].

Таким образом, мы имеем целый ряд исключительных особенностей, свидетельствующих о нетипичной картине становления и развития металлопроизводства на северной окраине ЗАМП. Для того, чтобы приблизиться к моделированию протекавших здесь процессов, предстоит ответить на

следующие вопросы. В чем именно заключается специфика металлокомплекса эпохи бронзы горно-лесного Зауралья? Каковы характеристики химического состава и изотопных отношений свинца древнего металла и медных руд Среднеуральского ГМЦ, составлявших минерально-сырьевую базу древнего металлопроизводства в регионе? Существовало ли в субрегионе собственное металлопроизводство с полным горно-металлургическим циклом, включая горное дело, металлургию, металлообработку? Каковы исходные импульсы и динамика металлопроизводства на Среднем Урале в древности?

Коптяковско-сейминский очаг металлопроизводства

Представления о характеристиках металлокомплекса бронзового века Среднего Урала основаны преимущественно на материалах святилища Шайтанское Озеро II, в нем аккумулировано более 80% всего известного на сегодняшний день металла первой трети II тыс. до н.э. Специфика комплекса определяется слиянием двух основных традиций металлообработки – тонкостенного втульчатого литья орудий сейминско-турбинского типа (рис. 2, 2–6) и традиций степных производящих центров (рис. 2, 8, 9). Вместе с тем, древние металлурги выработали оригинальные типы орудий (рис. 2, 11–13). Металл характеризуется преобладанием оловянных сплавов, распространенных на ограниченной территории Среднего Зауралья. Металлокомплекс святилища отличает обилие производственных отходов, что свидетельствует об оригинальных особенностях осуществлявшихся здесь культовых практик горняков-металлургов. Керамический комплекс обладает коптяковским культурным контекстом, а морфология и декор выделенных в его составе групп, указывает на вовлеченность в ритуальную практику представителей населения сопредельных территорий [Корочкова, Стефанов, Спиридонов, 2020. С. 51–86; Корочкова, 2023. С. 78–79].

Таким образом, культурный комплекс опорного памятника, расположенного в эпицентре Калатинской группы меднорудных месторождений, как будто, прямо указывает на самостоятельность и оригинальность сложившегося здесь очага металлопроизводства, опиравшегося на местные меднорудные ресурсы. Однако, учитывая самые разнообразные альтернативные конфигурации становления металлургии в Евразии, подобные выводы нуждаются в верификации. В нашем случае, столь смелое заявление может быть подвергнуто сомнению, т.к. история Евразии не знает примеров формирования и укоренения сложных технологий полного горно-металлургического цикла в среде населения присваивающего образа жизни, помимо горно-лесного Зауралья. Но, подобный феномен на территории Среднего Урала возникает повторно

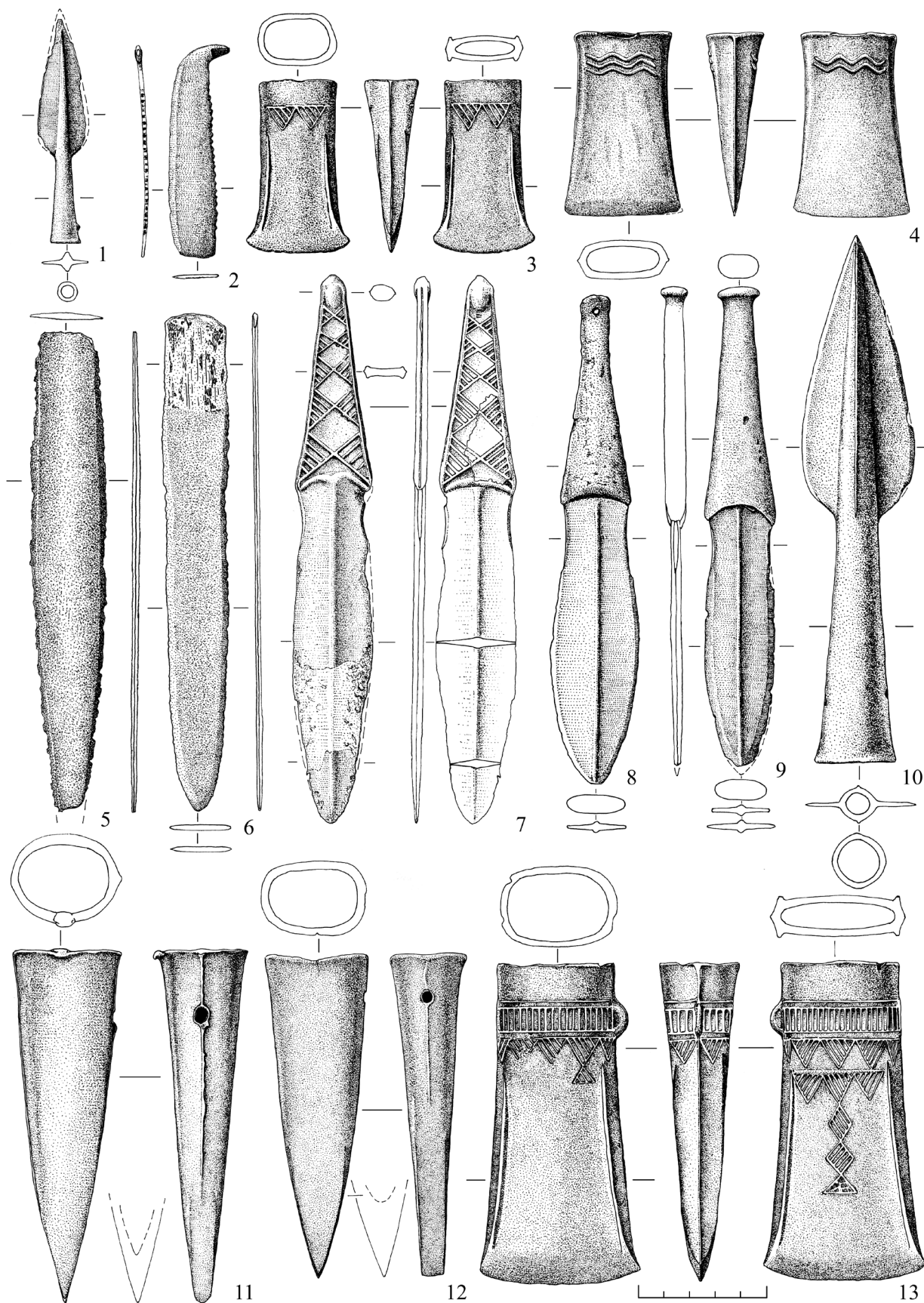


Рис. 2. Металлокомплекс коптыковско-сейминского очага металлопроизводства. Шайтанское Озеро II (по: [Корочкова, Стефанов, Спиридонов, 2020. Рис. 23–30])

Fig. 2. Metal complex of the Koptiyaki-Seiminsky metal production center. Shaitanskoe Ozero II (acc. to: [Korochkova, Stefanov, Spiridonov, 2020. Fig. 23–30])

в I тыс. до н.э., в ходе формирования иткульского горно-металлургического очага (ИГМО). И если генезис традиций последнего опирался на опыт местных мастеров бронзового века, то источники знаний, технологий и сложных навыков получения меди, легированных сплавов и литых носителей коптяковской культуры не столь очевидны.

Ранние эпизоды появления в горно-лесном Зауралье технологий металлопроизводства связаны с абашевским импульсом. На уровне сегодняшних знаний аргументированно ответить на вопрос о степени этого влияния довольно сложно. Подобных свидетельств мало, они исчерпываются материалами памятника «абашевской экспедиции» с остатками литейного производства Серный Ключ [Борзунов и др., 2020] и случайными находками абашевских предметов на Горбуновском и Шигирском торфяниках [Эдинг, 1941. Рис. 3]. К этому же времени относятся и самые ранние эпизоды появления здесь орудий сейминско-турбинских (СТ) типов, ассоциируемых с комплексами карасьеозерского типа. Речь идет о характерном пластичном ноже-кинжале разряда НК-6 [Черных, Кузьминых, 1989. С. 92–95] из VI Разреза Горбуновского торфяника [Чаиркина, 2022. Рис. 165. Табл. 2]. Отсутствие олова в его составе может служить признаком местного изготовления, приходящегося по результатам радиоуглеродного АМС-датирования на 2280–1990 гг. до н.э. [Chairkina, Kuzmin, Hodgins, 2017. P. 505–518].

Металлокомплекс коптяковской культуры отражает сейминско-турбинское влияние, но является синтетическим продуктом, сочетающим черты различных традиций при наличии оригинальных форм. Преобладают оловянные сплавы, но есть изделия, изготовленные без легирующих добавок. Характерно обилие скрапов, соответствующих различным циклам металлургического передела, включая черновую, рафинированную медь и легированную бронзу. Весьма показательна приуроченность немногочисленных памятников коптяковской культуры к наиболее крупным клочеданным и скарновым месторождениям Среднего Зауралья (рис. 1). Наличие ярко выраженного сейминско-турбинского и петровско-алакульского компонентов в металле и керамике вызывает вопрос о приоритетном импульсе в формировании всей металлопроизводственной системы, а наличие смешанных форм – о механизме подобного синтеза. Что это, результат привнесенной традиции или сугубо местный феномен?

Мы далеки от мысли считать реплики, близкие сейминско-турбинским, синташтинским или петровским, результатом самостоятельных опытов мастеров коптяковско-сейминского очага, т.к. это противоречит логике появления одинаковых типов

орудий на удаленных друг от друга территориях. Обращает внимание преобладание в уральском металлокомплексе орудий, сделанных по типичным СТ лекалам, но с местными вариациями – петельки на кельтах здесь заменяются ложными ушками (рис. 2, 13), многие предметы, прежде всего кельты и кинжалы, снабжены пышной орнаментацией (рис. 2, 3, 4, 7, 13), ее воспроизведение достигалось за счет использования литейных форм из талькхлоритовых пород, характерных для данной местности. Основные черты коптяковских орудий типичны для поздней фазы сейминско-турбинского транскультурного феномена и свидетельствуют о естественных трансформациях исходных канонов в условиях становления независимого производящего центра и появления династий собственных мастеров. Практически паритетное соотношение орудий, сделанных в СТ традициях и в стилистике степных производящих центров, актуализирует проблему определения механизмов и факторов их слияния.

Для проверки гипотезы о существовании в субрегионе полного цикла металлопроизводства при отсутствии данных о производственных площадках и материальных свидетельствах металлургии и металлообработки на немногочисленных раскопанных поселениях коптяковской культуры, особым значением обладает информация об использовании местных руд. С этой целью нами предпринят сбор образцов для проведения аналитического изучения изделий из металла и рудных образцов. Основу выборки составила серия орудий и скрапов святилища Шайтанское Озеро II. Кроме того, мы решили воспользоваться еще одной исключительной возможностью – сравнительным анализом элементного и изотопного (Pb-Pb) состава медных изделий, отходов производства и руды из культурных слоев памятников иткульского горно-металлургического очага (ИГМО)¹ VII–III вв. до н.э. [Бельтикова, 2005. С. 186]. Помимо уточнения с помощью современных аналитических платформ специфики иткульского металлопроизводства, это сопоставление открывает путь для идентификации источников сырья, т.к. факт использования местных мнорудных источников иткульскими мастерами представляется очевидным.

Иткульский горно-металлургический очаг

Значительный вклад в изучение иткульской культуры внесен специалистами Уральского университета Г.В. Бельтиковой и В.А. Борзуновым. Цикл работ Г.В. Бельтиковой посвящен изучению металлопроизводственных площадок и сооружений. На территории иткульской культуры, локали-

¹ Термин и аббревиатура предложены Г.В. Бельтиковой [Бельтикова, 2005. С. 186]. Авторы придерживаются несколько иной точки зрения на историко-металлургическую таксономию [Ткачев, 2024], но в данной статье в знак глубокого уважения намеренно оставили авторскую терминологию Г.В. Бельтиковой.

зованной узкой полосой вдоль восточного склона Уральского хребта от современного Нижнего Тагила до Кыштымского края (рис. 1), учтено более 100 памятников, на трети из них зафиксированы выразительные остатки металлопроизводства. Изучены различные типы горнов, выявлен ассортимент продукции, определены способы литья, установлены основные источники сырья.

К числу ключевых памятников относятся комплексы на оз. Иткуль, оз. Иртяш, Думная Гора, Палатки, позволяющие реконструировать буквально все стороны жизни населения раннего железного века. Сохраняя в силу природных особенностей края традиционные рыболовные и охотничьи промыслы, носители культуры создали целую сеть производственных площадок по восстановлению меди и литью серийных изделий. В ассортименте металлических орудий абсолютно преобладали втульчатые трехгранные наконечники стрел савромато-сарматских типов (рис. 3, 1–15, 17), кельты (рис. 3, 18, 19) и наконечники копий (рис. 3, 16, 22), отлитые по технологии втульчатого тонкостенного литья, плоские однолезвийные ножи, помимо них изготавливались плоские и втульчатые тесла, кайла, клевцы, шилья и многое другое [Бельтикова, 1982; 1993а. Табл. 1]. Использовались многообразные двустворчатые и трехстворчатые формы из талька (рис. 3, 17–19), резе глины, известны формы из металлических сплавов (рис. 3, 13). Широкий ассортимент орудий, предназначенных для дробления и растирания руды, фурмы, сопла, техническая керамика, тигли, льячки и т.п. Культурный слой производственных площадок насыщен большим количеством шлаков, обломками рудных материалов [Бельтикова, 2005. С. 178]. Повседневная жизнь протекала на территории городищ и сезонных неукрепленных поселений. Производственные площадки располагались в ряде случаев внутри фортификационных сооружений. Существенные изменения в образе жизни сопровождались новыми символическими практиками, включая единичные элитные погребения с обилием металлического инвентаря [Чаиркина, 2010. С. 132–138], скальные святилища [Викторова, 2004; Артемьев, Наумов, Рассомахин, 2025], оригинальную металлопластику, воспроизводящую антропоморфные и орнитоморфные изображения. Изделия этого типа выявлены не только на поселениях, многие из них найдены в составе votивных кладов в расщелинах скал.

В ходе детального анализа керамики и разнообразных археологических ситуаций В.А. Борзуновым предложена новая концепция ИГМО. В статусе, собственно, иткульской культуры он предлагает рассматривать памятники с керамикой так называемого «первого типа» и позиционирует ее в качестве культуры местных горняков-металлургов, локализованной узкой полосой вдоль восточных склонов Среднего Урала [Борзунов, 2014; 2019].

Памятники с так называемой керамикой «второго иткульского типа» он относит к гетерогенной исетской культуре пришельцев и абorigенов лесного Зауралья, приуроченной к горно-лесной зоне Зауралья между верховьями Тагила и Миасса, среднему и нижнему течению Исети, Пышмы и Туры [Борзунов, Кузьминых, 2025]. Именно эти две культурные линии, по мнению В.А. Борзунова, и составляли основу ИГМО. При этом производственный приоритет принадлежал иткульским общинам (VIII/VII–III вв. до н.э.).

Носители исетской культурной традиции (IX/VIII–III вв. до н.э.), обитавшие на более широкой территории, осуществляли в том числе торгово-посредническую деятельность. В.А. Борзунов справедливо обращает внимание на многочисленные находки керамики с обильной тальковой примесью гамаюно-иткульского или «второго иткульского типа» за пределами Зауралья – в Волго-Камье, Северной и Восточной Башкирии, Притоболье и Прииртышье, Барабе [Борзунов, Кузьминых, 2025. С. 227]. Носители исетской культуры, вероятно, и были поставщиками медных наконечников стрел кочевникам южно-уральских степей. Комплексы восточного варианта иткульской культуры [Зимина, Зах, 2009] В.А. Борзунов предлагает рассматривать в качестве самостоятельной юрторборской культуры IX/VIII–VI вв. до н.э., локализованной в низовьях Исети, Пышмы, Тавды и Туры.

В аргументированной В.А. Борзуновым модели заключен перспективный интерпретационный потенциал. Выделение культур-производителей, распространителей и потребителей металла отвечает логике разделения труда древнего населения Среднего и северного фланга Южного Урала, локализации рудопроявлений, специфике геоэкологической инфраструктуры региона. Подобная система организации, как упоминалось выше, сложилась на ранней фазе становления металлопроизводства еще в бронзовом веке и опиралась на взаимодействие с группами скотоводческого населения соседних территорий, прежде всего, Среднего и Нижнего Притоболья. Исследователи полагают, что в основе подобного диалога лежал реципрокный обмен по формуле «металл на скот» [Бельтикова, 2005. С. 168; Борзунов, 2014. С. 226]. Гипотеза логичная, но нуждается в проверке. Осуществить ее верификацию возможно посредством определения изотопных отношений стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в костных тканях, дентине и эмали зубов домашних животных, но до сих пор эта процедура не реализована.

Обратимся к другим значимым культурно-историческим ситуациям в ракурсе концепции В.А. Борзунова. Так сравнительный анализ археологических карт бронзового и раннего железного веков (рис. 1) прямо свидетельствует о совпадении ареалов коптяковской и иткульской культур, приуроченных к зоне крупных меднорудных месторо-

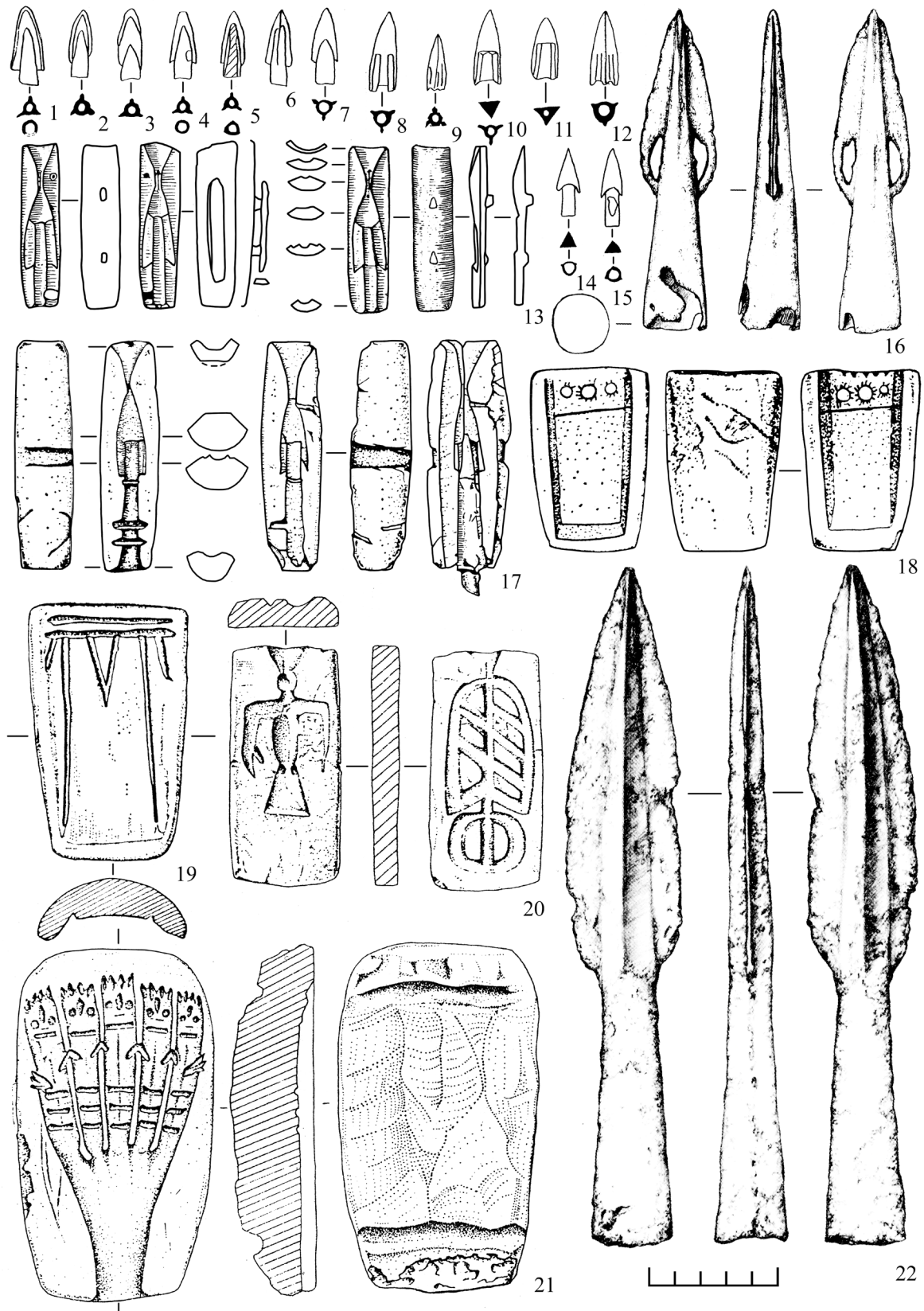


Рис. 3. Металлокомплекс и литейные формы иткульского очага металлопроизводства.

1–12 – Иткульское I городище; 14, 15 – пос. Малый Вишневый (по: [Бельтикова, 1982. Рис. 1]); 13 – оз. Исетское; 17 – гор. Иткульское I; 18 – пос. Палатки; 19 – пос. Малый Вишневый; 20 – Думная Гора; 21 – пос. Березки II (по: [Бельтикова, 1993. Рис. 3; 4; 6; 10]); 16, 22 – Скворцовская Гора (по: [Чайркина, 2011. Рис. 39, 40]). 1–12, 14–16, 22 – металл, 17–21 – тальк

Fig. 3. Metal complex and casting molds of the Itkul metal production center.

1–12 – Itkul I hillfort; 14, 15 – Maly Vishnevyy hillfort (acc. to: [Beltikova, 1982. Fig. 1]); 13 – Lake Isetskoe; 17 – Itkul I hillfort; 18 – Palatki settlement; 19 – Maly Vishnevyy settlement; 20 – Dumnaya Gora; 21 – Berezki II settlement (acc. to: [Beltikova, 1993. Fig. 3; 4; 6; 10]); 16, 22 – Skvortsovskaya Gora (acc. to: [Chairkina, 2011. Fig. 39, 40]). 1–12, 14–16, 22 – metal, 17–21 – talc

ждений вдоль восточного склона Уральского хребта на участке от современных Нижнего Тагила до Миасса. Во II и I тыс. до н.э. производящие центры локализовались на весьма ограниченной территории. При этом численность населения в период функционирования ИГМО была, несомненно, выше, чему способствовали более благоприятные условия гумидного периода и общая тенденция к увеличению плотности населения.

Материалы и методы археометрических исследований

Для верификации гипотезы об использовании в бронзовом веке меднорудных ресурсов Среднеуральского ГМЦ нами реализована масштабная программа аналитических исследований образцов медных руд и металла коптяковской и иткульской культур с использованием прецизионных методов определения их элементного и изотопного (Pb-Pb) состава.

Большинство археометрических измерений выполнено на приборной базе Центра коллективного пользования «Геоаналитик» при Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург). Количественный микроэлементный анализ медных руд по 50 элементам методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной плазме с предварительным микроволновым и автоклавным разложением (ИСП-МС) производился на масс-спектрометре NexION 300 (Perkin Elmer). Отметим, что, к сожалению, этим методом не удалось установить количественное содержание в рудах железа и золота, имеющих большое археометаллургическое значение. Отношения изотопов свинца ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb и ^{204}Pb в образцах медных руд и металлических изделиях измерялись на мультиколлекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Neptune Plus (Thermo Fisher Scientific). Химический состав образцов древнего металла определялся также на электронно-зондовом микроанализаторе (ЭЗМА) Cameca SX100. Важной частью работы в данном случае являлось определение примесного содержания серы. Определение состава образцов археологических изделий на медной основе производилось по 62 элементам посредством ИСП-МС в Химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск) на масс-спектрометре ELAN DRC-E (Perkin Elmer).

В результате аналитического изучения парных образцов удалось сформировать две базы данных (БД), содержащих, соответственно, результаты МК-ИСП-МС археометрических измерений отношений изотопов свинца и определения методами ИСП-МС и ЭЗМА элементного состава образцов медных руд и металлических изделий. Первая из них включает результаты изотопных (Pb) анализов (табл. 1; 2), а вторая содержит информацию об элементном составе (табл. 3; 4) 14 проб руд и 55

образцов древнего металла Среднего Урала². В последнем случае для металлических изделий приведены также данные о содержании серы, измерение ее концентрации в металлических изделиях производилось посредством ЭЗМА.

В БД по изотопному (Pb) и элементному составу вошли по 8 проб медных руд из Гумешевского, Алексеевского (в южной части Калатинской группы), Высокогорского, Меднорудянского, Нейворудянского месторождений, а также по 6 образцов рудных материалов из фондов археологического музея УрФУ, обнаруженных в ходе археологических исследований иткульских поселений раннего железного века (РЖВ) Иткульское I, Думная Гора, Зотинские I–IV, Остров Малый Вишневы, Серный Ключ; последнее содержало также культурный слой абашевской культуры среднего бронзового века (СБВ) (табл. 1; 3). Сведения о категориях и количественных показателях проанализированных образцов металлических изделий на медной основе, а также их культурно-хронологической позиции приведены в таблицах 2 и 4. Таким образом, удалось сформировать репрезентативные серии, позволяющие применить в ходе систематизации больших массивов формализованных данных современные средства статистической обработки информации, включая факторный анализ, метод главных компонент и др., что является существенным подспорьем для интерпретации результатов археометрических анализов, о чем и пойдет речь ниже.

Результаты археометрических измерений и интерпретация полученных данных

Для определения сырьевых источников древнего металлопроизводства наиболее информативным является сопоставление отношений трех радиогенных изотопов свинца ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb с нерадиогенным изотопом ^{204}Pb в образцах медных руд и металлических изделиях. Первоначально этот метод был разработан для определения геологического возраста горных пород, но впоследствии стал активно применяться в археометрии для изучения артефактов из меди и сплавов на ее основе. Преимущество изучения изотопного состава свинца заключается в том, что он не меняется на пути от руды к металлическому изделию. Независимо от процессов обработки руды или металла, будь то обжиг или плавка, рафинирование, легирование или коррозия, изотопный состав свинца остается постоянным, при этом неизменными остаются отношения изотопов свинца в различных сегрегированных фазах металла, что снимает проблему неоднородности микроэлементного состава образца, затрудняющей интерпретацию химических анализов. Между тем, необходимо помнить, что совпадение сигнатур изотопов свинца указывает лишь на потенциальную возмож-

² Таблицы 1–4 размещены: Zenodo, June 24, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.20825655>

ность использования конкретного меднорудного источника для производства анализируемого металлического изделия, в то время как различие изотопных отношений свинца достаточно надежно свидетельствует об отсутствии связи между образцами. Нужно учитывать также вероятность смешения металлов различного происхождения, наличие целенаправленного легирования меди, в том числе свинцом. Поэтому наилучшие результаты дает перекрестный анализ изотопных отношений свинца и концентрации элементов-примесей в образцах медных руд и металлических изделий на медной основе [Pernicka, 2014. P.248–250]. Именно такой методический подход реализован нами при изучении Среднеуральского ГМЦ.

На первом этапе аналитических исследований измерялись изотопные отношения свинца в рудах Среднеуральского ГМЦ и металлических артефактах, вошедших в нашу выборку. Для расширения сопоставительной базы потенциальных сырьевых источников имеющаяся в нашем распоряжении серия была дополнена доступными данными об изотопном составе свинца (21 проба) из медноколчеданных месторождений Сан-Дonato, Кабан и Сафьяновское, сравнительно недавно опубликованными геологами [Чернышев и др., 2008], а также сборной серией изотопных (Pb-Pb) измерений (12 проб) из медно-колчеданных месторождений

уральского, кипрского и баймакского типов Среднего Урала (Карпушинское, Левиха XI, Маукское, Им. III Интернационала, Галкинское, Кабан-III, Ворошиловское, Деггярское, Южно-Кузнецихинское, Калатинское, Кабан V, Красногвардейское), проводившихся с конца 1950-х до начала 1990-х гг. [Медноколчеданные..., 1992. С.211–220. Табл.36].

Полученные с использованием стандартных средств офисного приложения для работы с таблицами Microsoft Excel диаграммы изотопных отношений свинца наглядно демонстрируют частичное совпадение сигнатур рудных источников и металлических изделий (рис.4). Коптыковско-сейминская коллекция металла достаточно гомогенна и обнаруживает на графиках наиболее точные схождения с Pb-изотопными метками образцов медных руд Алексеевского и Гумешевского месторождений. Заметим, что рудные материалы с практически идентичными изотопными отношениями свинца обнаружены в культурных слоях иткульских поселений Думная Гора, Иткульское I, Даутовское I (рис.4). В этом же кластере оказались практически все измерения образцов Сафьяновского месторождения [Чернышев и др., 2008. Табл.2], а также Калатинского и большинства остальных медно-колчеданных месторождений из сводной серии с близкими изотопными сигнатурами Pb [Медноколчеданные..., 1992. Табл.36].

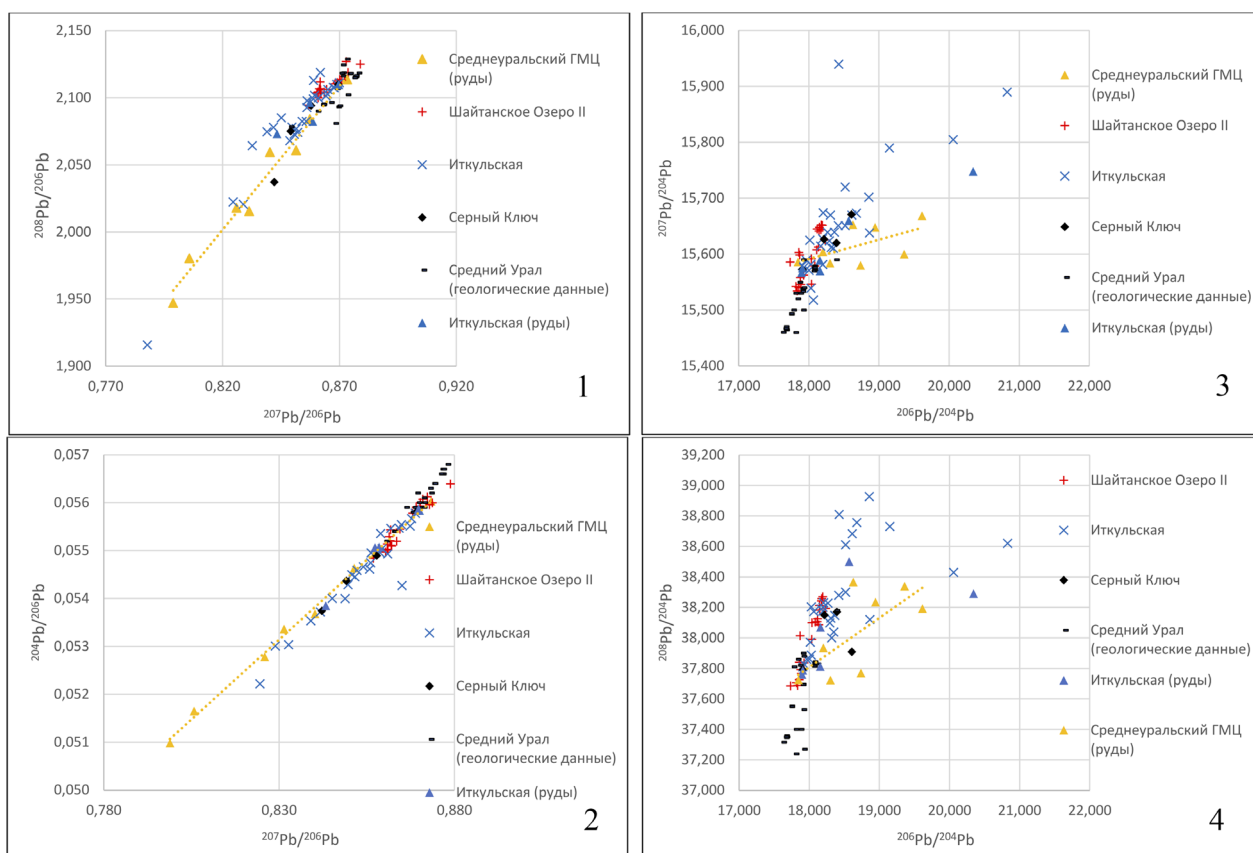


Рис. 4. Диаграммы изотопных отношений свинца в медных рудах Среднего Урала и металлических изделиях на медной основе абашевского, коптыковско-сейминского и иткульского очагов металлопроизводства
 Fig. 4. Diagrams of lead isotope ratios in copper ores of the Middle Urals and copper-based metal artifacts from the Abashevo, Koptiyaki-Seima and Itkul metal production centers

Это неудивительно, поскольку и скарновые месторождения Гумешевское и Алексеевское, и медно-колчеданные Сафьяновское и Калатинское месторождения уральского типа (медно-цинково-колчеданная рудная формация) относятся к девонскому времени [Грабежев, 2010. С. 153; Грабежев, Ронкин, 2011. С. 109. Табл. 1; Контарь, 2013. С. 75. Табл. 3]. Примечательно, что близкий геологический возраст имеют на Среднем Урале Маукское и Пышминско-Ключевское медно-колчеданные месторождения кипрского типа (кобальт-медно-колчеданная рудная формация) [Сафина и др., 2015; Мурзин, Варламов, Викентьев, 2011], что объясняет сопоставимость отношений изотопов свинца Маукского месторождения (рис. 4). Отметим также, что Pb-изотопные метки более древних месторождений силурийского времени Среднего Урала, например, Сан-Донато, оказались на диаграммах за пределами полей локализации изотопных (Pb) сигнатур древнего металла регионарной выборки (рис. 4).

Что касается небольшой серии анализов абашевского металла поселения Серный Ключ (4 образца), то они демонстрируют перекрытие с образцом руды из этого поселения и располагаются на графике изотопных отношений свинца строго на линии тренда проанализированных образцов медных руд Среднего Урала (рис. 4).

Результаты археометрических изотопных (Pb) измерений показали, что, в отличие от локальной коллекции коптяковско-сейминского святилища Шайтанское Озеро II, иткульская серия металла РЖВ демонстрирует полное перекрытие с образцами медных руд из вошедших в БД иткульских поселений и охватывает практически всю совокупность проанализированных меднорудных источников Среднего Урала, за исключением одной из трех проб Меднорудянского и единственного образца Высокогорского месторождений (рис. 4). Вероятно, расширение выборки коптяковско-сейминского металла за счет привлечения материалов других памятников, помимо Шайтанского Озера II, а также проведение массовых анализов медных руд Среднеуральского ГМЦ, приведет к полному совмещению полей их изотопных (Pb) сигнатур, учитывая совпадение ареалов коптяковской и иткульской культур.

Несмотря на столь показательную корреляцию изотопных отношений свинца в рудах и металлических изделиях анализируемой выборки ПБВ и РЖВ Среднеуральского ГМЦ, в силу особенностей метода, опирающегося на геохронологию рудоносных комплексов, для идентификации меднорудных источников этого недостаточно. Необходимо проведение дополнительных исследова-

ний микроэлементного состава образцов с целью их сопоставления. Здесь нужно сделать несколько оговорок.

Во-первых, до сих пор актуальной проблемой остается корректность отбора образцов рудных материалов. Дело в том, что основными сырьевыми ресурсами металлопроизводства эпохи бронзы служили вторичные сульфиды меди включая халькозин, ковеллин, борнит и др., а также блеклые руды, содержащие теннантит и тетраэдрит из зон цементации медных месторождений различного генезиса. В ПБВ в памятниках алакульской культуры появляются ранние свидетельства использования первичного сульфида меди – халькопирита³. К сожалению, во многих случаях в нашем распоряжении оказались лишь минералы зон окисления, представленные преимущественно пленками карбонатов меди (малахит, азурит) на рудовмещающей породе. Такие материалы в древности в качестве руды не воспринимались и отбраковывались, формируя техногенные отложения обогатительных площадок и отвалов рудников. Для проведения изотопных анализов наличие в подборке минералов зон окисления не является препятствием, поскольку отношения изотопов свинца сохраняют устойчивость при депонировании этого элемента даже в условиях гипергенного обогащения с последующим окислением минералов. Но комбинации микроэлементов при окислении руд претерпевают значительные изменения, что может приводить к искажению информации.

Второе важное обстоятельство связано с выбором группы элементов для статистической обработки. В этих процедурах целесообразным представляется отказ от учета количественного содержания железа, всегда присутствующего в составе древних орудий из меди и бронзы. Определение концентрации железа в образцах важно для установления характера используемых медных руд, но в процессе многократного передела, включая пожар с целью декрипитации и пиротехнического обогащения, восстановление меди из обогащенных рудных концентратов, плавок на штейн первичных либо вторичных сульфидов меди, рафинирование черновой меди и легирование металла, содержание Fe неизменно уменьшается, поэтому его вариации характеризуются большим разбросом значений и отражают технологические фазы металлопроизводства. Например, по концентрации Fe и S можно дифференцировать черновую и рафинированную медь. Кроме того, выше отмечено, что корректному сопоставлению содержания Fe и Au в рудах и металле в нашем случае препятствует тот факт, что методом ИСП-МС данные элементы в рудных материалах определить не удалось, а ис-

³ См. публикацию доклада С.В. Богданова, В.В. Ткачева, Д.В. Семина «Ранние свидетельства использования халькопирита в металлопроизводстве позднего бронзового века Уральской горно-металлургической области» на конференции «Связи и взаимодействия культур бронзового века Циркумпонтийского региона в среднем и позднем бронзовом веке» (Москва, ИА РАН, 2025).

пользование результатов микронзондового анализа (ЭЗМА) не может обеспечить методическую чистоту статистических процедур.

И, наконец, крайне нежелательным представляется учет основного элемента Cu и явно легирующего компонента бронз – Sn, поскольку на Урале отсутствуют источники олова, а включение его в статистическую обработку лишь внесет лишний информационный «шум» при кластеризации образцов. В таблицах 3 и 4 приведены результаты количественного ИСП-МС анализа рудных материалов по 12 элементам, и по 14 элементам для металла на медной основе, в последнем случае приведены также данные о содержании серы, полученные посредством ЭЗМА. Статистический анализ производился по 10 традиционно используемым в археометаллургических исследованиях элементам-примесям: Co, Ni, Zn, As, Se, Ag, Sb, Te, Pb, Bi.

С целью визуализации сравнительной информации об элементном составе анализируемых образцов на первом этапе статистического анализа составлена объемная диаграмма с областями (рис. 5, 1), позволяющая в форме графика сопоставлять коллекции по «рисунку микроэлементов», что нередко является достаточно действенным инструментом для интерпретации результатов [Pernicka, 2014. P. 256–257. Fig. 11.9].

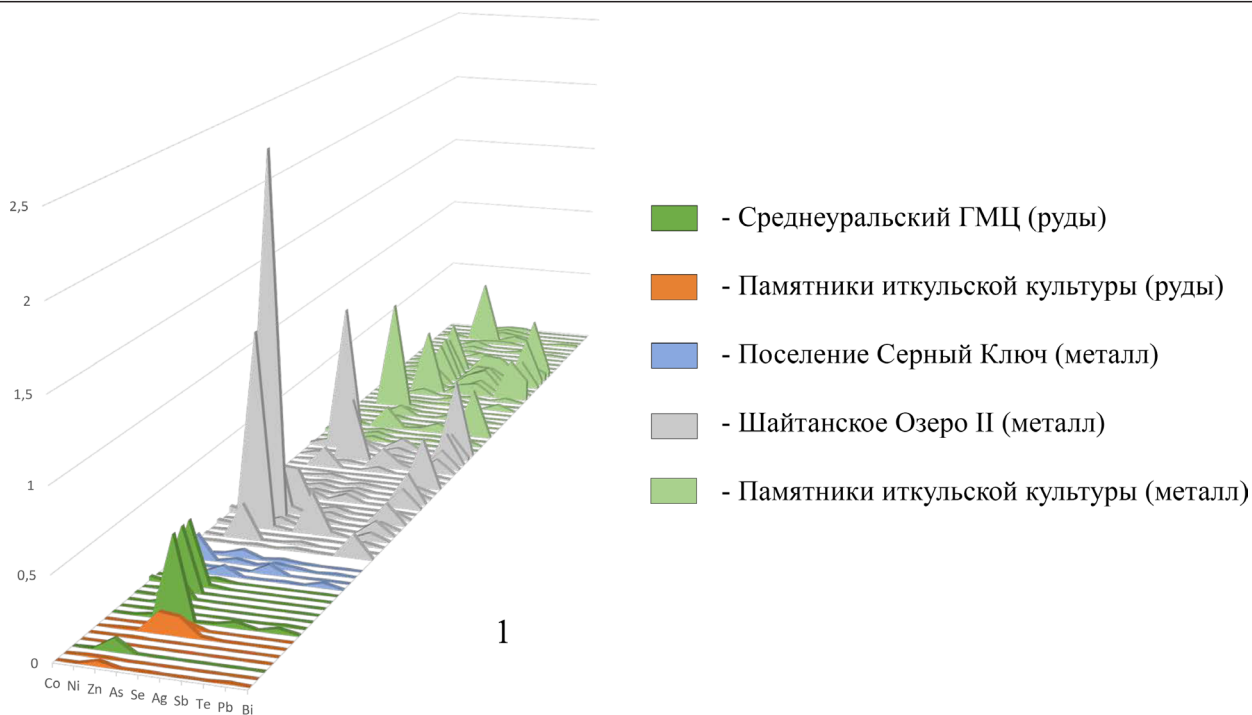
Уже на этом предварительном этапе сравнительного анализа можно констатировать сопоставимость «рисунков» микроэлементов значительной части коптяковско-сейминской и иткульской серий металла с рудными пробами, что наиболее наглядно демонстрируют высокие концентрации Zn в образцах Меднорудянского месторождения, являющиеся своего рода «визитной карточкой» металла Шайтанского Озера II и части иткульской коллекции металлических изделий. Очевидны и близкие показатели удельного веса аксессуарных элементов в образцах руд Гумешевского месторождения и иткульского поселения Думная Гора. Отдельные коптяковско-сейминские и значительная часть иткульских образцов с заметным присутствием As очень близка набору микроэлементов Алексеевского месторождения. Однако в последнем случае следует заметить, что в целом для коптяковско-сейминской серии соответствие с «рисунком» микроэлементов Алексеевского месторождения достаточно невыразительное, что входит в диссонанс с полным совпадением изотопных (Pb) сигнатур этого месторождения и металла Шайтанского Озера II (рис. 4). Данный факт наглядно иллюстрирует тезис о необходимости перекрестной верификации данных изотопных (Pb-Pb) и микроэлементных анализов, о чем говорилось выше.

Для получения объективной картины нам пришлось применить иные статистические методы анализа формализованных данных. Наиболее эффективными в данном случае являются фактор-

ный анализ (FA – Factor Analysis) и анализ главных компонент (PCA – Principal Component Analysis). Первоначально в программе STATISTICA 10 на основе кросс-теста было определено оптимальное число факторов для нашей выборки. Таковых оказалось два. Остальные статистические процедуры осуществлялись в программе SAS JMP Pro 17. Анализ показал, что интегрирующим элементом обоих статистически установленных факторов является Ag. Этот элемент практически в равной степени коррелируется с наборами элементов обоих факторов. Выявленные статистически значимые факторы для систематизации данных объединяют разное количество элементов. Фактор 1 выделен за счет высокой корреляции Te, As, Sb, Bi, Pb, Ag, фактор 2 определяется высокой степенью корреляции Zn, Co, Ag, при этом Ni и Se статистически нейтральны, несмотря на присутствие в значительных количествах в ряде образцов металла (табл. 4). Результаты факторного анализа представлены в табличной форме, в виде векторов и точечной диаграммы (рис. 5, 2). Данные факторного анализа перенесены в качестве дополнительных столбцов в таблицу анализа главных компонент, его результаты приведены в виде точечной двухмерной диаграммы с векторами факторов и элементов (рис. 6, 1).

Прежде всего, нужно отметить, что оба вида анализа дали нетипичные для большинства коллекций металлических изделий бронзового века Урала и Казахстана комбинации элементов-примесей. Так, например, для Южного Зауралья и Уральско-Мугоджарского субрегиона устойчивыми коррелятами являются As, Co и Ni, что связано с эксплуатацией кобальт-медно-колчеданных месторождений кипрского типа в зоне Главного Уральского разлома (ГУР), а для месторождений в медистых песчаниках и сланцах степного Приуралья характерны высокие концентрации Ag и Pb. В нашем случае такие факторы статистически не установлены, зато отчетливо выделяются другие, довольно неожиданные группировки аксессуарных элементов, в частности Zn и Co (фактор 2), что может являться косвенным аргументом в пользу обособления Среднеуральского ГМЦ со специфической меднорудной базой. Фактор 1 более пестрый и представительный по составу компонентов (Te, As, Sb, Bi, Pb, Ag) и их объединение в один статистический кластер требует дифференцированного подхода и более сложной интерпретационной модели.

Отметим, что почти все образцы медных руд из месторождений Среднего Урала (Гумешевское, Нейво-Рудянка, Меднорудянский, Высокогорское) и поселений иткульской культуры образуют достаточно компактную группу в центральной части графика, к ней же тяготеет большинство образцов абашевского (Серный Ключ), коптяковского (Шайтанское Озеро II) и иткульского металла (рис. 6, 1),

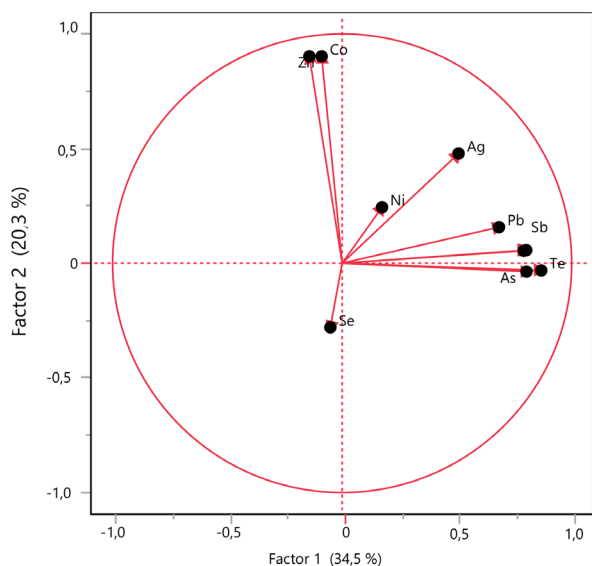


Factor Analysis

- ▲ - Среднеуральский ГМЦ (руды)
- ▲ - Памятники иткульской культуры (руды)
- ◆ - Поселение Серный Ключ (металл)
- + - Шайтанское Озеро II (металл)
- × - Памятники иткульской культуры (металл)

Rotated Factor Loading

	Factor 1	Factor 2
Te	0,867459	-0,031523
As	0,803023	-0,036510
Sb	0,801980	0,056989
Bi	0,791530	0,054308
Pb	0,683286	0,157084
Ag	0,507223	0,478668
Zn	-0,142804	0,902164
Co	-0,089293	0,902062
Se	-0,051358	-0,279521
Ni	0,173797	0,244199



Score Plot

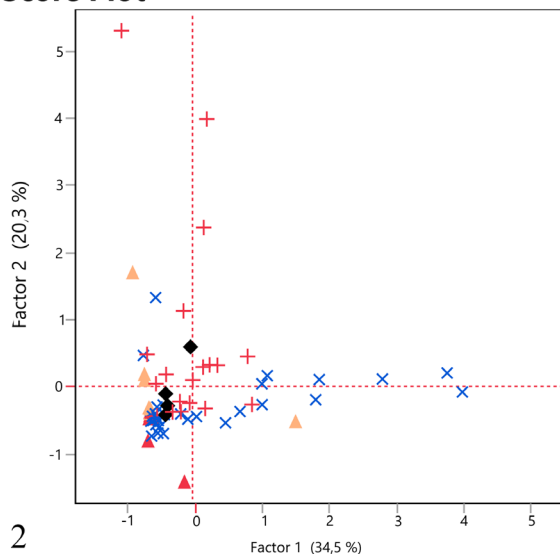
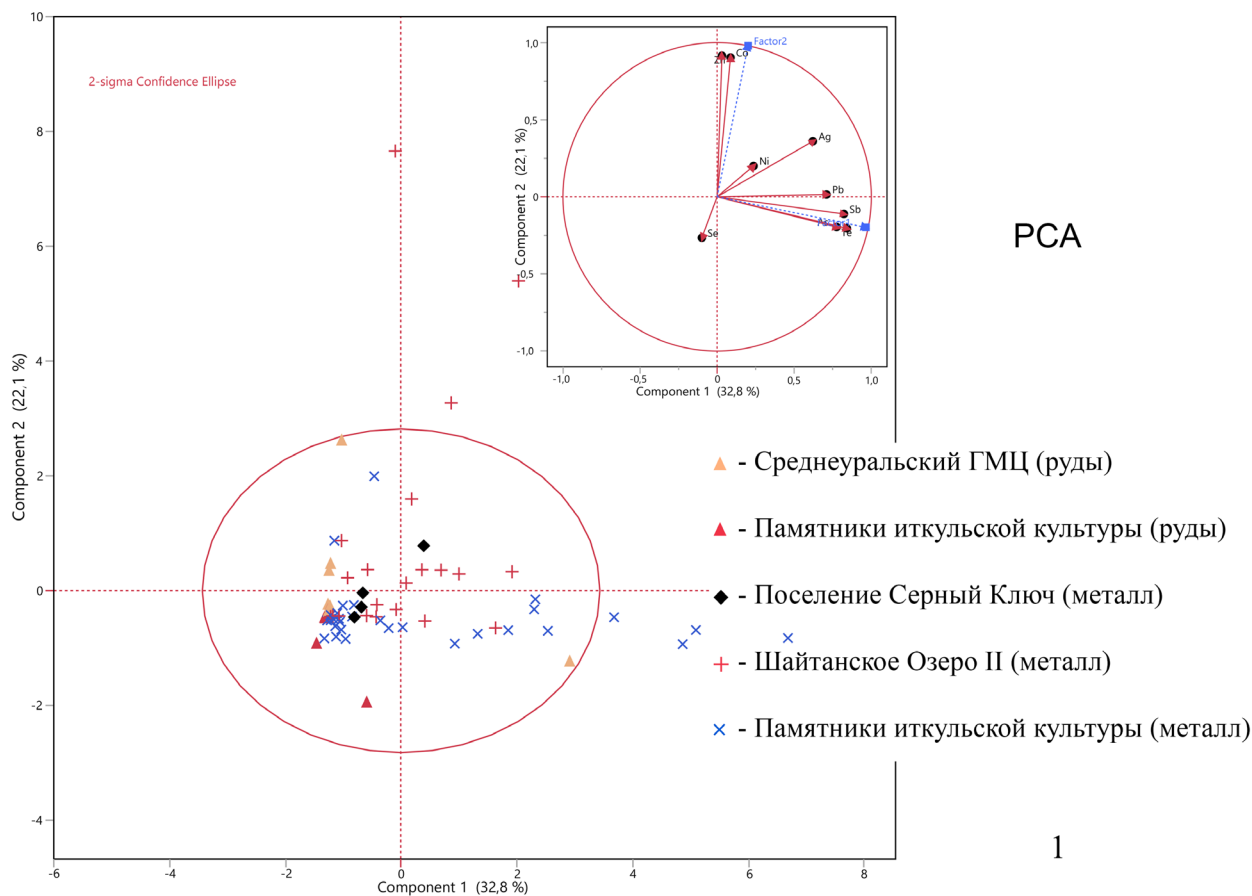


Рис. 5. Соотношение аксессуарных элементов в медных рудах Среднего Урала и металлических изделиях на медной основе абашевского, коптяковско-сейминского и иткульского очагов металлопроизводства. 1 – диаграмма с областями; 2 – результаты факторного анализа без учета олова

Fig. 5. Ratio of accessory elements in copper ores of the Middle Urals and copper-based metal artifacts from the Abashevo, Koptiyaki-Seima and Itkul metal production centers. 1 – a diagram with areas; 2 – findings of Factor Analysis without tin



FA
Rotated Factor Loading

	Factor 1	Factor 2
Te	0,863134	-0,046863
Bi	0,776750	0,032502
Sb	0,774097	0,026201
As	0,768884	-0,073334
Pb	0,723913	0,178572
Sn	0,694350	0,293441
Ag	0,523704	0,480229
Zn	-0,143876	0,894058
Co	-0,090121	0,892942
Se	-0,064375	-0,288491
Ni	0,160385	0,227454

2

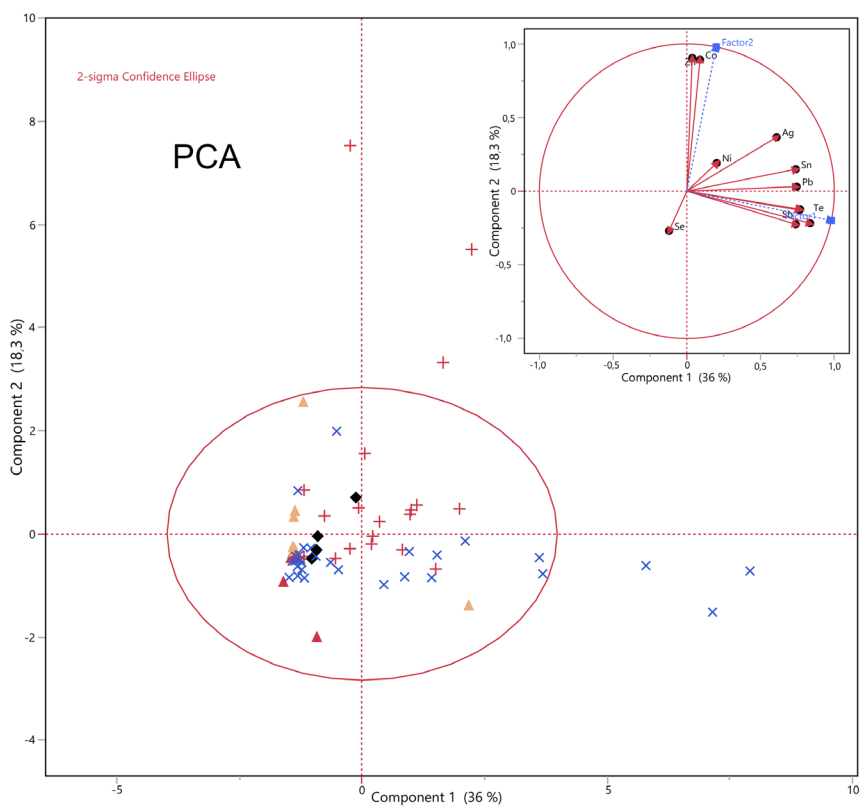


Рис. 6. Соотношение элементов-примесей и лигатур в медных рудах Среднего Урала и металлических изделиях на медной основе абашевского, коптыковско-сейминского и иткульского очагов металлопроизводства. 1 – результаты анализа методом главных компонент без учета олова; 2 – результаты факторного анализа и анализа методом главных компонент с учетом олова
 Fig. 6. Ratio of impurities and ligatures in copper ores of the Middle Urals and copper-based metal artifacts from the Abashevo, Koptyaki-Seima and Itkul metal production centers. 1 – findings of the Principal Component Analysis without tin; 2 – findings of Factor Analysis and by the Principal Component Analysis with tin

что указывает на близость микроэлементного состава основной части коллекции металлических изделий и фоновых образцов руд Среднеуральского ГМЦ. Примечательно, что вошедшие в эту группу один из образцов Меднорудянского месторождения и единственная проба из Высокогорского месторождения продемонстрировали отличия по изотопному составу свинца (рис. 4). Несколько обособленные позиции на графике заняли по одному образцу рудных материалов из Меднорудянского месторождения и Даутовского I поселения иткульской культуры. Еще более показательной является оторванность от основной группы образца руды из Алексеевского месторождения в южной части Калатинской группы, существенно смещенного в правый нижний квадрант (рис. 6, 1), хотя именно этот образец продемонстрировал полное совпадение изотопных (Pb) сигнатур с серией металлических изделий коптяковской и иткульской культур (рис. 4).

Следует также отметить, что три образца из коллекции Шайтанского озера II (с4187, с4170, с4172) сильно сместились от пересечения координатных осей в верхнюю часть графика в направлении вектора фактора 2 (рис. 6, 1), что обусловлено высокими концентрациями Zn, составляющими от 0,9 до 2,3%, то есть они фактически соответствуют показателям целенаправленного легирования (табл. 4). В то же время один образец из коптяковской коллекции Шайтанского Озера II (с4185) и несколько проб иткульской серии металла демонстрируют смещение в правую часть графика по вектору фактора 1, благодаря повышенным значениям As (до 0,4%) и незначительному превышению Sb, что объединяет эту группу с Алексеевским месторождением (рис. 6, 1; табл. 3; 4).

При интерпретации данных, полученных в результате анализа главных компонент, необходимо обратиться к геологической информации относительно меднорудных источников Среднего Урала. Пожалуй, самой выразительной особенностью обсуждаемой коллекции металла из памятников бронзового и раннего железного века Среднеуральского субрегиона является значительная примесь цинка, отмеченная в подавляющем большинстве изделий и скрапов, что в ходе статистических процедур проявилось в выделении программными средствами фактора 2 за счет устойчивой корреляции Zn, Co и, отчасти, Ag. Корреляция с последним из упомянутых элементов характерна также и для фактора 1 (рис. 5, 2).

Заметная примесь цинка в древнем металле Среднеуральского субрегиона обусловлена принадлежностью основной массы исходных руд местным медно-колчеданным месторождениям, относящимся к так называемому «уральскому типу» с медно-цинковой специализацией. На Среднем Урале к «уральскому типу» со средним содержанием Zn в руде до 1,45% относится

большая группа месторождений Тагило-Красноуральского колчеданосного района (Сан-Дonato, Кабан, Красногвардейское, Новолевинское, им. III Интернационала, Заводское и др., всего порядка 25 объектов), Левихинская группа и расположенные чуть южнее нее Шайтанская, Карпушихинская и Ломовская группы с близкими геологическими условиями размещения, Дегтярское, Сафьяновское месторождения, Калатинская группа и др. Главным рудным минералом меди в этой группе является халькопирит, к категории широко распространенных относится борнит, часто он выступает основным медным минералом для месторождений, относительно редки, по мнению исследователей, блеклые руды, халькозин, ковеллин, арсенипирит [Мурзин, Варламов, Викентьев, 2011. Рис. 1. Табл. 1; Контарь, 2013. С. 94–101. Табл. 3–5].

Повышенные концентрации Zn в обсуждаемых коллекциях металлических изделий на медной основе могли в ряде случаев стать следствием использования рудных материалов месторождений рудноалтайского (куроко) типа (медно-цинково-колчеданная свинецсодержащая рудная формация), встречающихся на Среднем Урале, в Красноборско-Горельской группе рудопроявлений (Северо-Таволжанское, Таволжанское, Южно-Таволжанское, Таволжанский бугор, Красный Бор Северный, Южный и Центральный), находящихся в Пышминско-Кунгурковской зоне. Учитывая присутствие в ряде образцов металла нашей БД значительного количества свинца и серебра с близкими векторами корреляции (табл. 4; рис. 6, 1), такое допущение представляется вполне приемлемым, хотя и требующим дополнительных исследований. Так в полиметаллических рудах указанных меднорудных объектов содержание данных компонентов нормировано следующим образом – цинк 11,7–31%, свинец 2,55–10%, серебро до 481,3 г/т, в свинцово-серебряных рудах Южно-Таволжанского рудопроявления содержание серебра достигает 1,5 кг/т [Контарь, 2013. С. 108–109].

Наконец, следует особо отметить, что значительное содержание цинка, нередко в ассоциации с кобальтом (фактор 2 PCA), вероятно, вообще можно расценивать в качестве устойчивого маркера Среднеуральского ГМЦ, поскольку его значительные концентрации зафиксированы нашими анализами в образцах руд Гумешевского скарно-медно-порфирикового месторождения и иткульского поселения на Думной Горе, составляющих звенья одной технологической металлопроизводственной системы, что надежно установлено археологическими и геохимическими методами.

Медно-скарновые месторождения Среднего Урала, приуроченные к рудоносным комплексам Тагильского палеовулканического пояса, представленные в нашей выборке Высокогорским и Меднорудянским месторождениями [Контарь, 2015. С. 85], продемонстрировали не менее пока-

зательную картину. По данным ИСП-МС элементных анализов установлены высокие концентрации Zn в исходных рудах и в целом соответствие рисунков концентраций микроэлементов в рудах указанных месторождений и значительной части коптяковско-сейминского и иткульского металла.

Вообще медно-скарновые месторождения Среднего Урала, видимо, являлись одним из важнейших источников меднорудного сырья для древнего металлопроизводства коптяковско-сейминского и иткульского очагов, поскольку именно в них содержатся наиболее характерные акцессорные элементы, зафиксированные в металлических артефактах, такие как Zn, Co, Ni, Bi. Помимо Гумешевского в пределах Западно-Магнитогорского палеовулканического пояса известны Шуралинское, Алексеевское и Ново-Алексеевское месторождения. Значительная концентрация медно-скарновых месторождений (Башмаковское, Богословское, Вадимо-Александровское, Никитинское, Фроловское, Васильевское, Александровское и др.) отмечена в Турьинском рудном районе [Контарь, 2013. С. 112–115].

Еще один элемент, требующий отдельного обсуждения в рамках фактора 1 анализа главных компонент, – мышьяк. Значительные концентрации As отмечены в коптяковской серии, но особенно характерны для целой группы образцов иткульского металла. Мышьяк, не достигающий в нашей выборке легирующих концентраций, следовательно, являющийся реликтом используемых руд, мог депонироваться в металл из сырья скарновых месторождений, о чем недвусмысленно свидетельствуют анализы Алексеевского месторождения, где доля As составляет более 0,5%, что выступает очень высоким значением, причем этот показатель коррелируется с превышением Sb (табл. 3). Указанная комбинация элементов может быть следствием того, что обсуждаемая группа скарновых месторождений (Гумешевское, Алексеевское, Ново-Алексеевское) генетически связана с регенерацией колчеданных руд кипрского и др. типов (Пышминско-Ключевское, Медногорское, Колыцинское) [Контарь, 2013. С. 163]. В ряде случаев существенная примесь мышьяка может объясняться также эксплуатацией среднеуральских месторождений рудноалтайского типа куроко, где широко представлены блеклые руды [Контарь, 2013. Табл. 5], в их составе присутствует сульфид меди и мышьяка – теннантит ($Cu_{12}As_4S_{13}$).

Но еще более вероятным источником мышьяка представляются месторождения кипрского типа (медно-колчеданная кобальтоносная рудная формация), наиболее характерные для рудоносных комплексов зоны ГУР (Ишкининское, Ивановское, Дергамышское) [Зайков и др., 2009]. На Среднем Урале к этому типу относятся Маукское, Пышминско-Ключевское, Арамилское месторождения, последние два локализируются в Медведковско-Свердловской зоне, образуя среднеураль-

скую ветвь Западно-Магнитогорского пояса При-Сакмарской металлогенической зоны [Мурзин, Варламов, Викентьев, 2011; Сафина и др., 2015; Контарь, 2013. С. 85–86, 89–91. Табл. 3–5]. Кипрский тип месторождений характеризуется высокими концентрациями Co, Ni и As, что отмечено для значительной части коллекции коптяковского и иткульского металла, вошедшей в анализируемую БД (табл. 4). Однако обращает на себя внимание отсутствие строгой корреляции указанных элементов в рамках факторного анализа, что может свидетельствовать об ограниченной вовлеченности данной категории меднорудных источников в металлопроизводственную деятельность, что наглядно иллюстрирует график корреляции указанных элементов (рис. 7, I).

В то же время, характерной особенностью месторождений кипрского типа Среднего Урала с кобальт-медно-колчеданной специализацией выступает беспрецедентно высокая концентрация Zn при традиционно больших значениях Co и Ni, что наглядно демонстрируют, например, анализы руд Пышминско-Ключевского месторождения [Мурзин, Варламов, Викентьев, 2011. С. 106. Табл. 1]. Подобная комбинация элементов может отражать региональную специфику медно-колчеданных месторождений кипрского типа Среднего Урала и позволяет рассматривать такие сочетания в древнем металле в качестве диагностирующих признаков Среднеуральского ГМЦ.

К числу достаточно редких, но оттого не менее выразительных и важных элементов-примесей в металле нашей БД, зафиксированных археометрическими ИСП-МС измерениями и нашедших отражение в рамках фактора 1 анализа главных компонент, относится сурьма. Концентрация данного элемента невелика, что исключает целенаправленное легирование и может отражать депонирование из исходных руд, но довольно устойчива, в отдельных случаях достигая значений в сотых и даже десятых долях процента (табл. 4). По всей видимости, сурьма попадала в металл вследствие использования в металлургическом переделе в составе минеральных смесей блеклых руд, содержащих тетраэдрит ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$). Блеклые руды в целом характерны для медно-колчеданных и медно-порфировых месторождений Среднего Урала [Масленников и др., 2015; Плотинская, Ковальчук, 2022; и др.]. Они вряд ли могли иметь в эпоху палеометалла самостоятельное значение для массового производства металла на медной основе, но нередко являлись составной частью используемого в древности меднорудного сырья [Шубин, 2019]. В нашем случае следует отметить, что блеклые руды характеризуются значительной долей Zn, помимо типичных для этого типа руд As и Sb, связанных, соответственно, с присутствием теннантита ($Cu_{12}As_4S_{13}$) и тетраэдрита ($Cu_{12}Sb_4S_{13}$) [Масленников и др., 2015. Табл. 2].

Еще одну устойчивую пару взаимосвязанных элементов фактора 1, характеризующуюся на графике анализа главных компонент практически полным совпадением векторов, образуют *Te* и *Bi* (рис. 6, 1). Они имеют незначительные показатели, редко достигая в металле сотых долей процента (табл. 4). Эти редкие рассеянные элементы присутствуют во всех образцах и депонируются в металл преимущественно из теллуридов и висмута и связаны с сульфидными рудами, что является весомым аргументом в пользу использования в древней металлургии именно этого вида сырья.

Последнее обстоятельство, требующее особого внимания, – вопрос о возможности депонирования отдельных элементов в состав твердых растворов (сплавов) в результате целенаправ-

ленного легирования. Прежде всего, необходимо подчеркнуть, что подавляющее большинство коптяковско-сейминского металла из Шайтанского Озера II и значительная часть иткульской серии легированы оловом, что установлено ранее в ходе проведения рентгено-флуоресцентного экспресс-анализа (РФА) 131 образца шайтанской коллекции в Лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН [Луньков, Кузьминых, Орловская, 2009; 2011; 2013] и полностью подтвердилось в ходе наших аналитических исследований методами ИСП-МС и ЭЗМА (табл. 4) [Богданов и др., 2023].

На Урале практически нет источников олова, поэтому следует предполагать существование в древности трафика этого ценного легирующего компонента из достаточно отдаленных регионов.

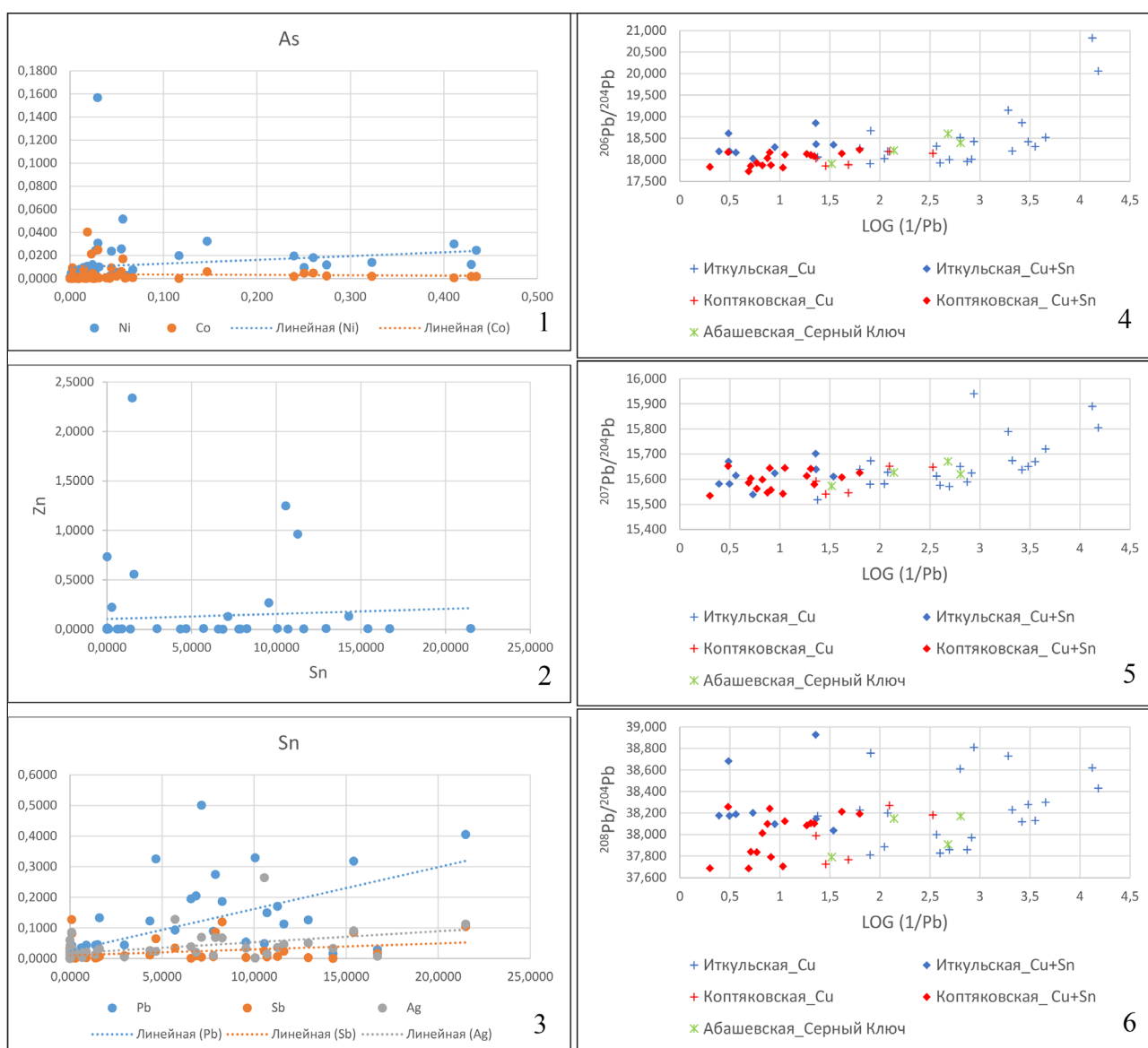


Рис. 7. Графическая визуализация результатов археометрических измерений элементного и изотопного (Pb-Pb) состава металлических изделий на медной основе абашевского, коптяковско-сейминского и иткульского очагов металлопроизводства. 1–3 – графики взаимной корреляции отдельных элементов; 4–6 – диаграммы, отображающие обратную зависимость концентрации свинца (1/Pb) от его изотопного состава

Fig. 7. Graphical visualization of archeometric measurements of the elemental and isotopic (Pb-Pb) composition of copper-based metal artifacts from the Abashevo, Koptiyaki-Seima and Itkul metal production centers. 1–3 – graphs of the mutual correlation of separate elements; 4–6 – diagrams showing the inverse dependence of the concentration of lead (1/Pb) on its isotopic composition

Сразу оговоримся, что пока отсутствуют объективные аналитические критерии для определения источников олова. В мировой археометаллургической практике сравнительно недавно появились первые, не всегда удачные, опыты аналитического изучения изотопного состава Sn (см. напр.: [Gale, 1997; Gillis et al., 2003; Berger et al., 2019; 2023; и др.], в том числе в рамках специальных проектов при поддержке Еврокомиссии, например, «Tin Isotopes and the Sources of Bronze Age Tin in the Old World»⁴. Но изотопные аналитические исследования олова требуют сложной пробоподготовки с использованием цианидов, наличия обширной сравнительно-аналитической базы по источникам касситерита и пр., что пока недоступно в аналитических центрах нашей страны.

Учитывая отличие механизмов формирования и функционирования очагов металлопроизводства Среднего Урала и разнообразие векторов трафика металла и легирующих компонентов в пределах глобальных историко-металлургических систем (металлургических провинций), нельзя исключать поступление олова на Урал из основных оловорудных районов горно-металлургических областей Центральной Евразии: Калба-Нарымской зоны Алтая, Северного и Центрального Казахстана, Средней Азии.

Наша задача в данном случае более скромная и заключается в попытке проследить на основе статистической обработки результатов анализов потенциальную возможность депонирования некоторых элементов в металл при его легировании оловом. Поскольку наиболее характерным для Среднеуральского ГМЦ элементом-примесью является Zn, важно проследить закономерности в его поведении при легировании металла оловом. Для этого составлен график корреляции этих компонентов (рис. 7, 2). Оказалось, что такая зависимость практически отсутствует, то есть цинк проявляет себя чрезвычайно стабильно, независимо от того, имеем ли мы дело с медью или оловянной бронзой. Это определенно свидетельствует, что высокие концентрации Zn обусловлены депонированием данного элемента из исходных медных руд, а не связаны с процессом легирования оловом.

С целью проверки предположения о влиянии оловянных лигатур на процесс насыщения металла аксессуарными элементами (прежде всего, свинцом) целесообразно вновь прибегнуть к более сложным статистическим процедурам. Для этого таблица, используемая для расчетов, дополнена столбцом с показателями Sn. После этого факторный анализ и анализ главных компонент проведены с учетом олова в соответствии с алгоритмом, описанным выше (рис. 6, 2).

Любопытно, что комбинации элементов в обоих факторах практически не изменились. По-прежнему устойчивыми коррелятами в одном из

факторов остались Zn и Co, дополняемые Ag, но и без того обширный перечень элементов другого фактора дополнился Sn. Анализ главных компонент, проведенный с учетом двух факторов, показал, что в целом график фактически не претерпел изменений с точки зрения взаимного расположения показателей медных руд и металлических артефактов, но появилась новая статистически достоверная информация о векторах взаимной корреляции отдельных элементов. Вектор введенного в статистическую обработку Sn расположился между Ag и Pb фактора 1 (рис. 6, 2).

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что указанные элементы имеют корреляционную связь и, возможно, взаимную обусловленность. Свинец и серебро даже без учета олова образовывали устойчивую пару коррелятов по векторам графика анализа главных компонент, что демонстрирует и тренд их взаимной корреляции в обычном графическом представлении (рис. 7, 3). Дополнительные данные показали, что взаимное возрастание концентраций Pb и Ag в металле характеризуется близкими трендами и, вероятно, обусловлено увеличением количества легирующего компонента Sn, что видно из приведенного графика.

Источником Pb и Ag в металле, конечно, могут быть и сами медные руды, содержащие в значительных количествах указанные элементы, в том числе происходящие из нескольких месторождений, вошедших в нашу БД, например, Алексеевского (табл. 3). Кроме того, значительная часть проанализированных медных изделий и скрапов также содержит значимые концентрации этих элементов, несмотря на отсутствие оловянной лигатуры. Более того, свинцовые слитки иногда присутствуют в культурных слоях алакульских и черкаскульских поселений. Тем не менее не исключено, что небольшая часть Pb могла депонироваться в металл с оловянными лигатурами, поступающими из отдаленных горно-металлургических областей.

Рафинирование черного олова, содержащего 94–98% Sn со значительными примесями Cu, Pb, Fe, As, Sb, Bi, и в настоящее время является непростой задачей [Дьяков, 2019. С. 4–85]. Очистить металл от нежелательных примесей в древности оказывалось еще сложнее из-за низких температур плавления, поэтому для получения оловянной бронзы, видимо, медь легировалась именно черным оловом. Но, возможно, примеси, депонируемые из оловянных лигатур, были незначительными, в том числе и Pb, поэтому обычно они игнорируются при проведении изотопных исследований, за исключением случаев намеренного добавления свинца [Pernicka, 2014. P. 255]. Наши анализы действительно показали отсутствие влияния лигатур олова на изотопные (Pb) характеристики местного среднеуральского металла, однако это может

⁴ <https://cordis.europa.eu/project/id/323861/reporting>

объясняться также и совпадением геологического возраста медных руд Среднеуральского ГМЦ и неустановленных источников привозного олова.

Для определения относительно достоверных, статистически обоснованных критериев возможного поступления дополнительного свинца с оловянными лигатурами перспективным представляется новаторский подход, предложенный недавно (правда, с другой целью) группой британских исследователей во главе с А.М. Поллардом в рамках реализации масштабного проекта «Поток древнего металла через Евразию» (FLAME)⁵. В русле парадигмы «Оксфордской системы» интерпретации химических и изотопных данных, полученных из археологических медных сплавов, авторы справедливо отмечают, что смешивание и переработка металла из разных источников неизбежно приводит к изменению изотопных отношений свинца, а при добавлении свинца к медной основе с низким содержанием этого элемента сплав будет отражать сигнатуру добавленного свинца, а не меди [Pollard et al., 2018. P. 150]. Такого же мнения придерживается известный специалист в области археометаллургии Э. Перница, отмечавший, что если свинец был добавлен в сплав намеренно, то соотношение изотопов свинца может использоваться только для обсуждения происхождения свинца, а не меди [Pernicka, 2014. P. 255].

Исходя из этих соображений, оксфордской группой, возглавляемой А.М. Поллардом, предложен новый метод интерпретации, заключающийся в комбинировании данных археометрических измерений изотопного состава и валового содержания свинца в металлических артефактах, происходящих из археологических объектов. По аналогии с геохимиками, работающими с изотопами стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), авторами был предложен набор из трех диаграмм, отображающих обратную зависимость концентрации свинца ($1/\text{Pb}$) в объекте от его изотопного состава, где горизонтальная ось представлена в виде логарифмической шкалы, а по оси ординат откладываются значения отношений изотопов свинца $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ [Pollard, Bray, 2015; Pollard et al., 2018. P. 150–154].

Указанную процедуру мы осуществили с нашими локальными БД, содержащими результаты археометрических измерений металла коптяковской и иткульской культур, а также небольшой серии абашевских образцов из поселения Серный Ключ (табл. 2; 4). Для большей наглядности на графиках использовалась различная маркировка медных изделий и предметов, изготовленных из оловянной бронзы с сохранением цветового решения для металла каждой культуры (рис. 7, 4–6). Диаграммы продемонстрировали хорошую согласованность и высокую степень информативности.

Определенные отличия можно отметить при обращении к графику, содержащему данные о соотношении изотопов $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, на нем отмечается значительный размах значений изотопных сигнатур медных и бронзовых изделий иткульской коллекции, существенно превышающий основной массив данных всего анализируемого металла в интервале от 38,430 до 38,971 (рис. 7, 6). Этот факт свидетельствует об использовании носителями иткульской культуры более разнообразных меднорудных источников с высокими показателями ториегенного изотопа ^{208}Pb , менее распространенного в земной коре, поскольку торий плохо растворим, а обсуждаемый изотоп ^{208}Pb частично является производным от радиоактивного распада ^{232}Th . Примечательно, что лишь некоторые из этих образцов демонстрируют значительные показатели ураногенных изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb (рис. 7, 4, 5), полученных, соответственно, из ^{286}U и ^{236}U [Pollard et al., 2018. P. 153].

Не исключено, что относительно высокорадиегенные образцы меди в иткульских памятниках со значениями отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в интервале от 19,15 до 20,83, представленные, например, металлическим ломом из могильника Малый Вишневый (обр. № 23–63), и медными сплесками из пос. Думная Гора (обр. № 23–1339, 23–1340), выглядящие «статистическими выбросами», имеют приуральское происхождение, учитывая коммуникационные возможности долины р. Чусовая, соединяющей Среднее Зауралье с Пермским Приуральем. Примечательно, что среди бронзовых изделий таких образцов не отмечено, что может указывать на смешение с металлом и оловянными лигатурами, обладающими меньшей радиогенностью, то есть имеющими более древний геологический возраст.

Но все эти наблюдения носят факультативный характер, поскольку значительно большая вариативность рудных источников иткульского очага металлопроизводства в сравнении с коптяковско-сейминским стала очевидна еще на стадии интерпретации традиционных графиков изотопных отношений Pb (рис. 4). Для нашего исследования гораздо более важным является то обстоятельство, что диаграммы, отображающие обратную зависимость концентрации свинца ($1/\text{Pb}$) и изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, наглядно демонстрируют четкую зависимость между количественными показателями концентраций свинца от наличия оловянных лигатур.

Так как горизонтальная ось представляет собой обратную логарифмическую зависимость (функция $\text{LOG}(1/\text{Pb})$), точки в левой части графиков соответствуют высоким концентрациям свинца, а точки в правой – низким [Pollard et al., 2018. P. 152]. Весьма показательным, что во всех

⁵ <https://flame.arch.ox.ac.uk>

трех случаях в правой стороне графиков сконцентрированы медные артефакты, включая лом, сплоски, слитки, скрапы абашевской, коптяковской и иткульской культур, а в левой – изделия из оловянной бронзы. То есть мы наблюдаем появление вместе с оловянными лигатурами привнесенного свинца (рис. 7, 4–6), что не могло не отразиться на изотопных сигнатурах.

Отметим также, что в ряде случаев мы имеем дело со смешением местной меди с импортной оловянной бронзой, что особенно отчетливо прослеживается в образцах, содержащих незначительную примесь олова, не достигающую лигатурных концентраций (менее 1%). Любопытно, что при этом мы практически не наблюдаем изменения изотопных отношений свинца, что может указывать на совпадение изотопных сигнатур инородного источника свинца.

Указанные наблюдения трудно переоценить, поскольку в таком случае реализация предложенного подхода выводит нас через изотопный состав свинца на обсуждение сложнейшей археометаллургической проблемы установления источников олова. Вероятно, в ряде случаев мы можем констатировать смешение изотопных сигнатур с привозной бронзой, в других измеряем изотопные отношения свинца, привнесенного вместе с легирующими компонентами, в частности, с оловом. В таком случае значительно сужается круг вероятных источников легирующего сырья. Близкий геологический возраст в пределах наиболее активного с точки зрения рудогенеза девонского периода имеют, в частности, касситеритовые месторождения Северного Казахстана и Улытау [Мазуров, 2003. С. 18, 35; Жуков, Антоненко, Гойколова, 2013. С. 9]. При этом, видимо, следует исключить, например, источники касситерита Зирабулак-Каратюбинской зоны Средней Азии, относящиеся к более позднему пермскому времени [Материков, 1974. С. 49–50]. Перспективной для установления источников легирующего сырья является Калба-Нарымская зона Алтая, где касситеритовые месторождения приурочены к гранитоидным комплексам широкого геохронологического диапазона от девона до перми [Дьячков, Ойцева, 2021].

Завершая этот раздел, следует отметить, что обсуждение проблемы установления гипотетической минерально-сырьевой базы коптяковско-сейминского и иткульского очагов металлопроизводства уже осуществлялось [Корочкова, Устинов, 2020; Артемьев, Степанов, Анкушева, 2022]. Однако оно носило общий характер, было ориентировано исключительно на геологическую информацию и не было подкреплено результатами археометрических исследований рудных материалов и древнего металла Среднеуральского ГМЦ. Полученные в рамках настоящего исследования данные позволяют с высокой долей вероятности констатировать, что уже на стадии формирования коптя-

ковско-сейминского очага металлопроизводства, базирующегося на сырьевых ресурсах Среднеуральского ГМЦ, осваиваются все типы месторождений субрегиона, включая колчеданные уральского, кипрского и др. типов, а также порфиоровые и скарновые. При этом, первые разработки, вероятно, связаны с абашевским импульсом и относятся к рубежу СБВ – ПБВ. Коптяковско-сейминский очаг металлопроизводства целиком оказался вовлечен в систему Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции позднего бронзового века Северной Евразии и, по всей видимости, обеспечивался легирующим сырьем из оловянных районов Алтая и Казахстана. Аналогичные векторы трафика олова можно предполагать и для иткульской культуры РЖВ.

Заключение

Освоение меднорудных ресурсов Среднего Урала и формирование системы металлопроизводства Среднеуральского ГМЦ происходило в первой половине II тыс. до н.э. Указанные процессы связаны с распространением в субрегионе носителей нескольких металлургических и культурно-исторических традиций. Группы горняков-металлургов, обладавшие значительным опытом металлопроизводства, ориентировались на поиск и разработку новых сырьевых источников. Начало освоению металлургических ресурсов Среднего Урала в конце III тыс. до н.э. положили носители уральской абашевской культуры, наследующей технологические и др. традиции культур воронковидных кубков Центральной Европы. Вероятно, к рубежу III–II тыс. до н.э. относятся ранние эпизоды проникновения на Средний Урал сейминско-турбинских традиций с востока Северной Евразии.

Вторая волна распространения металлургических традиций, относящаяся к первой трети II тыс. до н.э., обусловлена включением субрегиона в систему культурных образований восточного фланга Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции, трансляцией моделей и алгоритмов добычи, переработки и подготовки сырья, характерных для поздней фазы сейминско-турбинской традиции и скотоводов алакульской культуры. В результате синтеза технологических достижений сейминско-турбинской и алакульской культурных групп, включая раннюю – петровскую фазу, в субрегионе сложился высокоразвитый самобытный металлургический очаг, производивший металл не только для собственного потребления и нужд окрестного населения лесного Зауралья, прилегающих районов Западной Сибири, но и более южных территорий лесостепного и степного Зауралья. На существование полного цикла металлопроизводства при отсутствии сохранившихся древних рудников и производственных площадок указывает химический состав металлических предметов, близкий изделиям иткульской культуры раннего железного века.

Сравнительный анализ продукции коптяковско-сейминского и иткульского очагов позволяют с высокой долей уверенности предполагать, что коптяковские горняки-металлурги использовали местные богатые рудные ассоциации вторичных сульфидов ковеллинового ряда и халькозин-дигенитовой группы, менее очевидна переработка сульфидов меди и железа (борнит и др.). Пока не ясно, использовались ли коптяковскими горняками-металлургами залежи первичных сульфидов. Маркеры принадлежности металла коптяковско-сейминского очага месторождениям Среднего Урала проанализированы в предыдущем разделе статьи. Масштабы коптяковского наследия в местном металлопроизводстве черкаскульско-межовской и бархатовской культурных групп середины – второй половины II тыс. до н.э. до конца не ясны.

Хронологический диапазон черкаскульско-межовской и бархатовской культур в горно-лесном Зауралье по весьма скудным радиоуглеродным датам падает на вторую половину II тыс. до н.э. Металла финальных фаз бронзового века немного, и он изучен слабо. Исключения составляют артефакты пос. Чебаркуль III [Алаева, 2019. Рис. 1], представленные в том числе серпами сосновомазинского типа. Целая серия литейных форм у д. Макарьево [Дмитриев, 1930. Рис. 1; 2], пос. Кокшарово I [Старков, 1970], Липовая Курья [Хлобыстин, 1976. Рис. 15], Шигирский Исток III [Корочкова, Спиридонов, 2024. Рис. 2], Чебаркуль III [Алаева, 2019. Рис. 1, б], остров Сосновый [Спиридонов, 2020. Рис. 1] свидетельствует о сохранении в субрегионе традиций металлопроизводства после «угасания» коптяковско-сейминского очага в период, предшествующий формированию ИГМО раннего железного века. Metallурги субрегиона, вероятно, приняли активное участие в выработке технологических и типологических стандартов дербеденевско-лобойковского (постсейминского) горизонта, включая кельты, серпы, долота и др. Однако на этот раз определяющее влияние на металлопроизводство оказали федоровские традиции. Необходимы дальнейшие исследования в этом направлении, но уже сейчас мы можем засвидетельствовать наличие морфологической преемственности ведущих типологических разрядов коптяковско-сейминских и постсейминских – дербеденевско-лобойковских орудий.

Таким образом, можно констатировать, что при условии наличия крупных доступных месторождений меди, развитых технологий горно-металлургического производства, тесных культурных интеграций, широкого разделения труда не только на производственном уровне, но и в области обмена, сформированного рынка готовой продукции, – высокоразвитый региональный центр способен успешно функционировать длительное время на территории с ограниченными природными ресурсами в таежной зоне (горно-лесной),

исключающими развитие скотоводства и земледелия. В архаичных системах горно-металлургического производства стратегии поиска, добычи, обогащения сырья, восстановления, рафинирования и легирования меди обычно обладали высокой степенью консервативности, обусловленной особенностями технологических процессов получения металла из сульфидных руд, но пастушеская модель металлопроизводства, воспринятая горняками-металлургами коптяковско-сейминского очага от носителей алакульской культуры, отличалась высокой транспарентностью, эффективностью, пластичностью, способностью синтезировать лучшие достижения эпохи и могла развиваться вне исходного хозяйственно-культурного контекста [Богданов и др., 2023]. Экспрессивные символические практики коптяковских, а позднее и иткульских мастеров, воплощенные в первом случае в отчуждении в сакральную сферу заметного количества металлоемких высокотехнологичных, зачастую пышно украшенных орудий, а во втором – в депонировании специально отлитых «медных идолов» [Наумов, 2025; и др.], позволяет рассматривать указанные ритуалы в качестве близких символических адаптаций кланов горняков-металлургов, интегрированных в более широкие сообщества посредников и потребителей продукции.

Проблемы изучения технологий иткульской металлургии и металлообработки регулярно обсуждаются в археологической литературе [Борзунов, 2014; 2019; Анкушев, Бельтикова, 2015; Кузьминых, Дегтярева, Тигеева, 2017; Кузьминых, Дегтярева, 2017; Анкушев и др., 2023; Борзунов, Кузьминых, 2025; Артемьев, Наумов, Рассомахин, 2025; Stepanov et al., 2023]. И в наши дни все еще бытуют априорные представления об иткульской системе металлопроизводства как о некоем примитивном реликте эпохи бронзы, сохранявшем на протяжении раннего железного века архаичные традиции, о базировании на «окисленных» карбонатных рудах и т.п. Коллекции Археологического музея УрФУ и других собраний Урала и Зауралья содержат колоссальное количество артефактов, позволяющих достоверно реконструировать основные звенья технологических алгоритмов иткульского металлопроизводства. Мы также располагаем репрезентативной серией 2017–2025 гг. из полутора тысяч экспериментальных образцов различных продуктов пирометаллургического передела основных типов руд Зауралья и Приуралья, сопоставимых по химизму с артефактами коптяковской и иткульской культур.

В раннем железном веке в иткульском очаге по-прежнему добывались и перерабатывались вторичные сульфиды тех же минеральных ассоциаций, что и в коптяковско-сейминском, но наблюдается резкое возрастание доли сульфидов меди и железа, включая борнит, возможно, – халькопиритовую «сыпучку» и др. Соответственно, оливино-



Рис. 8. Слитки черновой и рафинированной меди иткульского поселения Думная Гора. 1 – слиток черновой меди (вес 1254,7 гр.); 2, 3 – слитки рафинированной меди (вес 73,4 и 125,2 гр.). Фонды Археологического музея УрФУ
 Fig. 8. Ingots of rough and refined copper from the Itkul settlement Dumnya Gora. 1 – an ingot of rough cooper (weight 1254.7 g.); 2, 3 – ingots of refined cooper (weight 73.4 and 125.2 g.). Collection of the Archeological museum of the Ural Federal University

вые шлаки иткульских памятников сильно ожелезнены (20–40% FeO), в них встречаются крупные стяжения магнетита. Содержание меди в матрице шлаков в 2–3 раза ниже, чем в любых вариантах шлаков культур бронзового века Северной Евразии, что свидетельствует об исключительно высоком уровне металлопроизводства. Основная часть дошедших до нас иткульских шлаков сформирована в ходе сократительных плавов на штейн, наиболее вязкая часть шлаков с высоким содержанием железа осаждалась на стенках металлургических печей, текучая фракция свободно изливалась из выпускных отверстий по сторонам от фурм штейновых печей вслед за штейном. Аморфная поверхность шлаков, остававшихся в печах закалена, изливавшихся – лишена коры плавления, очень часто они образуют пластины с волнистой поверхностью и натеками на сформированный ранее шлак. Значительная часть штейновых шлаков обладает магнитными свойствами, очень редкие медные минералы представлены новообразованными стяжениями куприта, делафоссита, пластинами борнита и каплями высокомедистых сульфидов. По отношению к сульфидам меди и железа применялось не менее 2–3 сократительных плавов на штейн, высокомедистые сульфиды переплавлялись на штейн один раз.

Восстановительная плавка на медь осуществлялась из прокаленного штейна в объеме 3–4 кг шихты в небольших печах отражательного типа, как и в позднем бронзовом веке. Конечные продукты пирометаллургического передела – лепешкообразные слитки черновой меди весом от 1 до 1,5 кг (рис. 8, 1) с содержанием серы от 1 до 2,5% [Кузьминых, Дегтярева, 2017. С. 31–32 и др.] по форме и объему напоминают слитки черновой меди эпохи бронзы [Пазухин, 1969], они сходным образом формировались в изложнице на дне печи в результате сегрегации выплавляемых материалов, извлекались одним блоком со шлаковым коробом. Позднее медь рафинировалась переплавлением 1–2 раза и переливалась в глиняные чаши в виде небольших округлых или овальных слиточков весом от 70 до 120 гр. (рис. 8, 2, 3). Содержание серы в рафинированной меди коптяковской и иткульской культур варьирует от тысячных до сотых процента, редко – до первых десятых. По микропримесям и изотопному составу свинца коптяковские и иткульские металлические изделия существенно не отличаются, сырьевые источники и тех, и других связаны с наиболее крупными и доступными медными рудопроявлениями Среднего Урала.

Иткульские мастера в случае необходимости легировали медь оловом, объемы лигатур всегда соразмерны назначению предметов, как и коптяковские металлурги они компенсировали лигатурами недостаточную чистоту меди, экономя на повторных рафинирующих переплавлениях. Иткульские литейщики свободно копировали и изготавливали на заказ массовые стереотипные артефакты лесных культур Урала и скифо-сарматского мира степей Волго-Уралья и Казахстана. Иткульские металлурги, по всей видимости, и были основными поставщиками медных и бронзовых высокотехнологичных изделий, депонированных в курганных некрополях скифо-сарматского времени степных территорий Центральной Евразии (котлы, наконечники стрел, бляшки и т.п.) [Бельтикова, 1982; 1993б. С. 104–105; Дегтярева, Кузьминых, 2018. С. 56]. Помимо металла в степь поставлялась керамика и мн. др. изделия в обмен на скот. В целом есть основания рассматривать металлопроизводственную систему иткульской культуры в ряду наиболее крупных и высокотехнологичных за пределами ареалов древних цивилизаций. Даже отходы первичной переработки медных руд – лимонит и гетит, сопутствующие прожилково-вкрапленным вторичным сульфидам, служили сырьем для железодельного производства кричным способом, как и в Новое время в Приуралье. Применительно к иткульскому очагу, начиная с V в. до н.э., данное обстоятельство нашло отражение в становлении биметаллического производства, когда помимо медной происходит становление метал-

лургии железа [Бельтикова, 1993б. С. 104]. Основная часть занятого населения, также как в коптяковской культуре, специализировалась на добыче медных руд, их переработке в металл, литейном и кузнечно-слесарном товарном производстве. В финале эпохи бронзы – начале раннего железного века большинство металлоносных регионов Северной Евразии переживает длительный период деструкции традиционных производственных систем, но на Среднем Урале все происходит иначе. Благодаря колоссальным запасам доступных сульфидных руд, сохранению наследия культур бронзового века, Среднеуральский ГМЦ продолжил свое развитие и полностью реализовал металлопроизводственный потенциал в продукции иткульского очага раннего железного века.

Современные аналитические платформы доказали свою эффективность в изучении древнего металла, они позволяют извлекать актуальную информацию нетривиальными способами и расширять интерпретационные ресурсы археологических источников. Сравнительный анализ комплекса артефактов коптяковской культуры бронзового века и иткульской раннего железного веков показывают высокую степень близости на уровне систем металлопроизводства, они обе полиэтничны, высокоорганизованы и продуктивны, обеспечивали металлургической продукцией обширные территории Урала и сопредельных регионов на протяжении длительных периодов эпохи бронзы и раннего железного века.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алаева И.П., 2019. Металлические орудия и изделия финала бронзового века Южного Зауралья, *Древности Восточной Европы, Центральной Азии и Южной Сибири в контексте связей и взаимодействий в евразийском культурном пространстве (новые данные и концепции). Материалы Международ. конф. к 100-летию отечественной академической археологии*. Том II. СПб.: ИИМК, с. 270–272.
- Анкушев М.Н., Алаева И.П., Анкушева П.С., Артемьев Д.А., Блинов И.А., Варфоломеев В.В., Пантелева С.Е., Петров Ф.Н., 2023. Природа некоторых железосодержащих артефактов Урало-Казахстанского региона в позднем бронзовом веке, *Вестник археологии, антропологии и этнографии*, № 3, с. 72–87. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2023-62-3-7>
- Анкушев М.Н., Бельтикова Г.В., 2015. Древние металлургические шлаки поселения Иткульское I (Средний Урал), *Геоархеология и археологическая минералогия – 2015. Материалы Всеросс. молодежной науч. школы*. Миасс: ИМ УрО РАН, с. 108–109.
- Артемьев Д.А., Наумов А.М., Рассомахин М.А., 2025. Химический состав медных и бронзовых изделий из кладов раннего железного века скальных святилищ острова Шатанов на озере Иртяш в Южном Зауралье, *Уфимский археологический вестник*, т. 25, № 2, с. 211–226. <https://doi.org/10.31833/uav/2025.25.2.017>
- Бельтикова Г.В., 1982. Металлические наконечники стрел с иткульских памятников, *Археологические исследования севера Евразии*. Свердловск: УрГУ, с. 65–77. (Вопросы археологии Урала. Вып. 16)
- Бельтикова Г.В., 1993а. Литейные формы иткульского очага металлургии (VII–III вв. до н.э.), *Знания и навыки уральского населения в древности средневековья*. Екатеринбург: Наука, с. 38–75.
- Бельтикова Г.В., 1993б. Развитие иткульского очага металлургии, *Вопросы археологии Урала*. Вып. 21. Екатеринбург: УрГУ, с. 93–106.
- Бельтикова Г.В., 2005. Среда формирования и памятники зауральского (иткульского) очага металлургии, *Археология Урала и Западной Сибири (к 80-летию со дня рождения Владимира Федоровича Генинга)*. Екатеринбург: УрГУ, с. 162–186.
- Богданов С.В., 2020. Технологические алгоритмы пастушеской модели металлопроизводства бронзового века степных регионов Северной Евразии, *Уральский исторический вестник*, № 4, с. 6–14. [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4\(69\)-6-14](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4(69)-6-14)

- Богданов С.В., Булатов В.А., Корочкова О.Н., Спиридонов И.А., Ткачев В.В., 2023. Депонирование элементов исходных руд и лигатур в металле бронзового века Зауралья, *Вестник Санкт-Петербургского университета. История*, т. 68, вып. 4, с. 1104–1140. <https://doi.org/10.21638/spbu02.2023.415>
- Борзунов В.А., 2014. Гамаюнские, иткульские и «гамаюно-иткульские» древности: история изучения и проблема интерпретации, *Проблемы сохранения и использования культурного наследия: история, методы и проблемы охранных археологических исследований. Материалы VII науч.-практ. конф. «Сохранение и изучение недвижимого культурного наследия Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», посвящ. 90-летию со дня рождения В.Ф. Генинга*. Екатеринбург: Магеллан, с. 212–245.
- Борзунов В.А., 2019. О культурной принадлежности иткульских и гамаюно-иткульских древностей Зауралья, *Российская археология*, № 3, с. 131–146. <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>
- Борзунов В.А., Кузьминых С.В., 2025. Четыре культуры первой половины раннего железного века лесного Зауралья и Притоболья, *Stratum Plus*, № 3, с. 97–148. <https://doi.org/10.55086/sp25397148>
- Борзунов В.А., Стефанов В.И., Бельтикова Г.В., Кузьминых С.В., 2020. Серный Ключ – памятник абашевской «экспедиции» в горно-лесную зону Среднего Урала, *Российская археология*, № 1, с. 117–131. <https://doi.org/10.55086/sp2539714810.31857/S086960630003392-0>
- Бочкарев В.С., 2017. Этапы развития металлопроизводства эпохи поздней бронзы на юге Восточной Европы, *Stratum Plus*, № 2, с. 159–204.
- Викторова В.Д., 2004. Клады на вершинах гор, *Культовые памятники горно-лесного Урала*. Екатеринбург: УрО РАН, с. 158–173.
- Грабежев А.И., 2010. Гумешевское скарново-медно-порфировое месторождение (Средний Урал, Россия): анализ эволюции рудно-магматической системы (с использованием изотопной геохимии Sr, Nd, С, О, Н), *Геология рудных месторождений*, т. 52, № 2, с. 153–170.
- Грабежев А.И., Ронкин Ю.Л., 2011. U-Pb возраст цирконов из рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений Южного Урала, *Литосфера*, № 3, с. 104–116.
- Грабежев А.И., Шардакова Г.Ю., 2006. Рудоносные гранитоиды медно-скарновых месторождений Урала: петрогеохимия в связи с особенностями рудно-метасоматической зональности, *Литосфера*, № 4, с. 68–78.
- Даймонд Д., 2018. *Ружья, микробы и сталь: история человеческих сообществ*. М.: АСТ, 720 с.
- Дегтярева А.Д., Ковалева В.Т., Кузьминых С.В., 2014. Особенности цветной металлообработки племен ташковской культуры Нижнего Притоболья, *Вестник археологии, антропологии и этнографии*, № 3, с. 14–24.
- Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., 2018. Модели цветного металлопроизводства на Урале в раннем железном веке, *Вестник археологии, антропологии и этнографии*, № 2, с. 41–60. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2018-41-2-041-060>
- Дмитриев П.А., 1930. Литейная форма Шадринского музея, *Труды РАНИОН*. Вып. 5, с. 53–60.
- Дьяков В.Е., 2019. *Центробежная фильтрация расплавленного олова и свинца*. М.: Академия Естественных наук, 140 с.
- Дьячков Б.А., Ойцева Т.А., 2021. *Редкометальное оруденение Калбы*. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 208 с.
- Жуков Н.М., Антоненко А.А., Гойколова Т.В., 2013. Строение и металлогения краевых вулканоплутонических поясов Казахстана, *Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук*, № 5 (401), с. 3–12.
- Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Артемьев Д.А., Симонов В.А., Юминов А.М., Дунаев А.Ю., 2009. *Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома*. Миасс: ИМ УрО РАН, 376 с.
- Зиминова О.Ю., Зах В.А. 2009. *Нижнее Притоболье на рубеже бронзового и железного веков*. Новосибирск: Наука, 232 с.
- Ковалева В.Т., Рыжкова О.В., Шаманаев А.В., 2000. *Ташковская культура: поселение Андреевское Озеро XIII*. Екатеринбург: УрГУ, 160 с.
- Кокшаров С.Ф., 2009. *Памятники энеолита севера Западной Сибири*. Екатеринбург: Волот, 272 с.
- Контарь Е.С., 2013. *Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы)*. Екатеринбург: УГГУ, 199 с.
- Контарь Е.С., 2015. Месторождения меди в геологической истории Земли, *Региональная геология и металлогения*, № 61, с. 77–91.
- Корочкова О.Н., 2021. Андроновская общность: модель сложения, *Древние культуры Монголии, Южной Сибири и Северного Китая. Материалы XI Междунар. научн. конф.* СПб.: ИИМК, с. 69–73.
- Корочкова О.Н., 2023. Среднее Зауралье и Западная Сибирь: от эпохи камня к эпохе металла, *Поволжская археология*, № 3, с. 70–83. <https://doi.org/10.24852/pa2023.3.45.70.83>
- Корочкова О.Н., Стефанов В.И., Спиридонов И.А., 2020. *Святилище первых металлургов Среднего Урала*. Екатеринбург: УрГУ, 214 с.
- Корочкова О.Н., Спиридонов И.А., 2024. Находки литейных форм бронзового века в горно-лесном Зауралье, *КСИА*, № 275, с. 132–145. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.275.132-145>
- Кузьминых С.В., Дегтярева А.Д., 2017. Металлопроизводство иткульской культуры Среднего Урала (по аналитическим данным), *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. Вып. 4. М.: ИА РАН, с. 18–35.

Кузьминых С.В., Дегтярева А.Д., Тигеева Е.В., 2017. Металлопроизводство красноозерской и иткульских культур Тоболо-Ишимья, *Вестник археологии, антропологии и этнографии*, №4, с.37–50. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2017-39-4-037-050>

Луньков В.Ю., Орловская Л.Б., Кузьминых С.В., 2009. Рентгено-флуоресцентный анализ: начало исследований химического состава древнего металла, *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. Вып. 1. М.: ИА РАН, с. 84–110.

Луньков В.Ю., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б., 2011. Рентгено-флуоресцентный анализ меди и бронз: серия 2009–2010 гг., *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. Вып. 2. М.: ИА РАН, с. 116–136

Луньков В.Ю., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б., 2013. Результаты рентгено-флуоресцентного анализа: Серия 2011–2013 гг., *Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов*. Вып. 3. М.: ИА РАН, с. 56–88.

Мазуров А.К. 2003. *Геодинамические обстановки формирования металлогенических комплексов Казахстана*. Автореф. дисс. ... докт. геолого-минералог. наук. Томск, 43 с.

Масленников В.В., Масленникова С.П., Третьяков Г.А., Целуйко А.С., Котляров В.А., Крайнев Ю.Д., Чуринов Е.И., Херрингтон Р.Е., 2015. Блеклые руды в палеозойских «курильщиках» из колчеданных месторождений Урала и Рудного Алтая, *Минералогия*, №4, с. 53–78.

Материков М.П., 1974. *Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР*. М.: Недра, 144 с.

Прокин В.А., Серавкин И.Б., Буслаев Ф.П. и др., 1992. *Медноколчеданные месторождения Урала: Условия формирования*. Екатеринбург: УрО РАН, 308 с.

Мурзин В.В., Варламов Д.А., Викентьев И.В., 2011. Медно-кобальтовое оруденение Пышминско-Ключевского месторождения на Среднем Урале: минеральный состав руд и метасоматитов, стадийность, Р-Т условия минералообразования, *Литосфера*, №6, с. 103–122.

Наумов А.М., 2025. Иткульское скальное святилище Шатанов-6 на озере Иртяш в Южном Зауралье, *Уфимский археологический вестник*, т. 25, №3, с. 480–492. <https://doi.org/10.31833/uav/2025.25.3.033>

Пазухин В.А., 1969. Медные слитки из Оренбургского музея, *Советская археология*, №.4, с. 239–245.

Плотинская О.Ю., Ковальчук Е.В., 2022. Блеклые руды Cu-(Mo)-порфирировых месторождений Урала, *Минералогия*, т. 8, №3, с. 5–22. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-1>

Сафина Н.П., Масленников В.В., Масленникова С.П., Котляров В.А., Данюшевский Л.В., Ларж Р.Р., Блинов И.А., 2015. Полосчатые сульфидно-магнетитовые руды Маукского медноколчеданного месторождения (Средний Урал): состав и генезис, *Геология рудных месторождений*, т. 57, №3. с. 221–238.

Спиридонов И.А. 2020. Роль инокультурного компонента в формировании морфологических особенностей черкаскульско-межевского металлокомплекса, *Геоархеология и археологическая минералогия – 2020. Материалы VII Всероссий. науч. конф. с междунар. участием им. В.В. Зайкова*. Т.7. Миасс; Челябинск: ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, с. 161–164.

Старков В.Ф. 1970. Кокшарово I – многослойный памятник неолита и бронзы в Среднем Зауралье, *Советская археология*, №1, с. 97–107.

Ткачев В.В., 2024. Историко-металлургическая таксономия: геоархеологический и археометаллургический аспекты, *Российская археология*, №3, с. 89–100. <https://doi.org/10.31857/S0869606324030068>

Ткачев В.В., Косинцев П.А., Бачура О.П., Байтлеу Д.А., 2023. Модель скотоводческого хозяйства населения позднего бронзового века с горно-металлургической производственной специализацией в Южных Мугоджарах (Западный Казахстан), *Уфимский археологический вестник*, т. 23, №2, с. 377–395. <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.014>

Ткачев В.В., Косинцев П.А., Кисагулов А.В., Бачура О.П., 2025. Археозоологические исследования на поселении горняков и металлургов позднего бронзового века вблизи древнего Ишкининского медного рудника (Южный Урал), *Stratum Plus*. №2, с. 105–120. <https://doi.org/10.55086/sp252105120>

Хлобыстин Л.П., 1976. *Поселение Липовая Курья*. Л.: Наука, 65 с.

Чаиркина Н.М., 2005. *Энеолит Среднего Зауралья*. Екатеринбург: УрГУ, 312 с.

Чаиркина Н.М., 2011. *Погребальные комплексы эпохи энеолита и раннего железного века Зауралья. (По материалам погребально-культурной площадки Скворцовская гора V)*. Екатеринбург: УрО РАН, 224 с.

Чаиркина Н.М., 2022. *Торфяниковые памятники Урала, Восточной и Западной Европы*. СПб.: Нестор-История, 368 с.

Чаиркина Н.М., Кузьмин Я.В., 2018. Новые радиоуглеродные даты эпохи мезолита – раннего железного века Зауралья, *Уральский исторический вестник*, №2, с. 124–134. [http://doi.org/10.30759/1728-9718-2018-2\(59\)-124-134](http://doi.org/10.30759/1728-9718-2018-2(59)-124-134)

Черных Е.Н., 2009. *Степной пояс Евразии: феномен кочевых культур*. М.: Рукописные памятники Древней Руси, 624 с.

Черных Е.Н. 2013. *Культуры номадов в мегаструктуре евразийского мира*. Т.1. М.: Языки славянской культуры, 368 с.

Черных Е.Н., Кузьминых С.В., 1989. *Древняя металлургия Северной Евразии (сейминско-турбинский феномен)*. М.: Наука, 320 с.

Чернышев И.В., Викентьев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н., Молошаг В.П., 2008. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов, *Доклады Академии наук*, т. 418, №4, с. 530–535.

Шубин Ю.П., 2019. К вопросу об использовании блеклых руд для выплавки металла в эпоху бронзы, *Геоархеология и археологическая минералогия–2019. Материалы VI Всеросс. молодежной науч. школы с междунар. участием им. В.В. Зайкова*. Миасс; Екатеринбург: ФортДиалог-Исеть, с. 106–109.

Эдинг Д.Н., 1941. Новые находки на Горбуновском торфянике, *Археологические памятники Урала и Прикамья*. М.; Л., с. 41–57 (МИА. № 1)

Berger D., Soles J.S., Giumlia-Mair A.R., Brüggmann G., Galili E., Lockhoff N., Pernicka E., 2019. Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance?, *PLoS ONE*, 14(6), e0218326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>

Berger D., Kaniuth K., Boroffka N., Brüggmann G., Kraus S., Lutz J., Teufer M., Wittke A., Pernicka E., 2023. The rise of bronze in Central Asia: new evidence for the origin of Bronze Age tin and copper from multi-analytical research, *Frontiers in Earth Science*, vol. 11, 1224873. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1224873>

Chairkina N.M., Kuzmin Y.V., Hodgins G.W.L., 2017. Radiocarbon chronology of the mesolithic, neolithic, aeneolithic, and bronze age sites in the Trans-Urals (Russia): A General Framework, *Radiocarbon*, т. 59, №2, с. 505–518. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.49>

Gale Np., 1997. The isotopic composition of tin in some ancient metals and the recycling problem in metal provenancing, *Archaeometry*, № 39(1), pp. 71–82.

Gillis C., Clayton R.E., Pernicka E., Gale N.H., 2003. Tin in the Aegean Bronze Age, *Metron: measuring the Aegean Bronze Age, Proceedings of the 9th international Aegean conference New Haven, Yale University, 18–21 April 2002. Aegaeum 24*. Liège: Université de Liège, pp. 103–110.

Pernicka E.A., 2014. Short History of Provenance Analysis of Archaeological Metal Objects, *Archaeometallurgy in Global Perspective*. New York: Springer Science+Business Media, pp. 239–268.

Pollard A.M., Bray P.J., 2015. A new method for combining lead isotope and lead abundance data to characterise archaeological copper alloys, *Archaeometry*, № 57, pp. 996–1008.

Pollard A.M., Bray P., Cuenod P., Hsu Y., Liu R., Perucchetti L., Pouncetti L., Saunders M., 2018. *Beyond Provenance. New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys*. Leuven: Leuven University Press, 232 p.

Stepanov I.S., Artemyev D.A., Blinov I.A., Naumov A.M., Ankushev M.N., 2023. Copper technology at the Early Iron Age fortified settlements near Lakes Itkul and Irtyash, middle Trans-Urals, *Journal of Archaeological Science*, vol. 49, p. 103964. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103964>

Tkachev V., 2021. Local versions realizing the pastoral model of metal production in conditions of the steppe ecosystems in the Urals-Mygodzhary Region in the Late Bronze Age, *Ninth International Symposium “Steppes of Northern Eurasia” 7–11 June 2021, Orenburg, Russian Federation*. IOP Publishing, pp. 012107. (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012107>

REFERENCES

Alayeva, I.P., 2019, “Metal tools and artifacts of the final Bronze Age of the Southern Trans-Ural region”, *Antiquities of Eastern Europe, Central Asia and Southern Siberia in the context of relations and interactions in the Eurasian cultural space (new data and concepts)*, *Materials of the International Conference Dedicated to the 100th anniversary of Russian academic archeology*, vol. II, IIMK RAN, St. Petersburg, pp. 270–272. (In Russ.)

Ankushev, M.N., Alayeva, I.P., Ankusheva, P.S., Artemyev, D.A., Blinov, I.A., Varfolomeev, V.V., Panteleva, S.E., Petrov, F.N., 2023, “The nature of some Late Bronze Age iron-bearing artefacts of the Ural-Kazakhstan region”, *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*, no. 3, pp. 72–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2023-62-3-7>

Ankushev, M.N., Beltikova, G.V., 2015, “Ancient metallurgical slags of the settlement of Itkulskeye I (Middle Urals)”, *Geoarchaeology and archaeological Mineralogy – 2015. Materials of the All-Russian Youth Scientific School*, IM UrO RAN, Miass, pp. 108–109. (In Russ.)

Artemyev, D.A., Naumov, A.M., Rassomakhin, M.A., 2025, “Chemical Composition of Copper and Bronze Artifacts from Early Iron Age Hoards of the Rock Outcrop Shrines on Shatanov Island, Lake Irtyash, Southern Trans-Urals”, *Ufa Archaeological Herald*, no. 2. pp. 211–226. (In Russ.) <https://doi.org/10.31833/uav/2025.25.2.017>

Beltikova, G.V., 1982, “Metal arrowheads from the Itkul sites”, *Archaeological research of the North of Eurasia*, UrGU, Sverdlovsk, pp. 65–77. (Questions of Ural archeology, iss. 16) (In Russ.)

Beltikova, G.V., 1993a., “Foundry molds of the Itkul hearth of metallurgy (VII–III centuries BC)”, *Knowledge and skills of the Ural population in ancient times and the Middle Ages*, Nauka, Ekaterinburg, pp. 38–75. (In Russ.)

Beltikova, G.V., 1993b., “Development of the Itkul metallurgy center”, *Ural Archaeology Issues*, iss. 21, UrGU, Ekaterinburg, pp. 93–106. (In Russ.)

Beltikova, G.V., 2005, "The environment of formation and monuments of the Trans-Ural (Itkul) hearth of metallurgy", *Archeology of the Urals and Western Siberia (to the 80th anniversary of the birth of Vladimir Fedorovich Gening)*, UrGU, Ekaterinburg, pp. 162–186. (In Russ.)

Bogdanov, S.V., 2020, "Technological algorithms of the pastoral model of metal production in the steppe regions of North Eurasia in the Bronze Age", *Ural Historical Journal*, no. 4, pp. 6–14. (In Russ.) [https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4\(69\)-6-14](https://doi.org/10.30759/1728-9718-2020-4(69)-6-14)

Bogdanov, S.V., Bulatov, V.A., Korochkova, O.N., Spiridonov, I.A., Tkachev, V.V., 2023, "Deposition of Base Ore and Alloy Elements in the Bronze Age Metal in the Trans-Urals", *Vestnik of Saint Petersburg University. History*, vol. 68, iss. 4, pp. 1104–1140. (In Russ.) <https://doi.org/10.21638/spbu02.2023.415>

Borzunov, V.A., 2014, "Gamayun, Itkul and "Gamayun-Itkul" antiquities: the history of study and the problem of interpretation", *Problems of preservation and use of cultural heritage: history, methods and problems of conservation archaeological research. Materials of the VII scientific and practical conference "Preservation and study of the immovable cultural heritage of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra", dedicated to the 90th anniversary of the birth of V.F. Gening*, Magellan, Ekaterinburg, pp. 212–245. (In Russ.)

Borzunov, V.A., 2019, "On the cultural attribution of the Itkul and Gamayun-Itkul antiquities of the Trans-Urals", *Russian archeology*, no. 3, pp. 131–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S086960630004107-6>

Borzunov, V.A., Kuzminykh, S.V., 2025, "Four Cultures of the first half of the Early Iron Age from the Forest Trans-Urals and Tobol River Region", *Stratum Plus*, no. 3, pp. 97–148. (In Russ.) <https://doi.org/10.55086/sp25397148>

Borzunov, V.A., Stefanov, V.I., Beltikova, G.V., Kuzminykh, S.V., 2020, "Serny klyuch as a site of Abashevo "expedition" to the mountain forest zone of the Middle Urals", *Russian archeology*, no. 1, pp. 117–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.55086/sp2539714810.31857/S086960630003392-0>

Bochkarev, V.S., 2017, "Stages in the Development of Metal Production in the Late Bronze Age in the South of Eastern Europe", *Stratum Plus*, no. 2, pp. 159–204. (In Russ.)

Viktorova, V.D., 2004, "Treasures on the tops of mountains", *Cult monuments of the mountain-forest Trans-Urals*, UrO RAN, Ekaterinburg, pp. 158–173. (In Russ.)

Grabezhev A.I., 2010, "The Gumeshevo Skarn-Porphry Copper Deposits in the Central Urals, Russia: Evolution of the Ore-Magmatic System as Deduced From Isotope Geochemistry (Sr, Nd, C, O, H)", *Geology of Ore Deposits*, vol. 52, no. 2, pp. 153–170. (In Russ.)

Grabezhev, A.I., Ronkin, Yu.L., 2011, "U-Pb age of zircons from ore-bearing granitoids of the South Urals porphyry-copper deposits", *Lithosphere*, no. 3, pp. 104–116. (In Russ.)

Grabezhev, A.I., Shardakova, G.Yu., 2006, "Ore-bearing granitoids of Uralian copper-skarn deposits: petrogeochemistry in connection with ore-metasomatic zonation features", *Lithosphere*, no. 4, pp. 68–78. (In Russ.)

Diamond, D. 2018, *Guns, germs, and steel: the fates of human societies*. AST, Moscow, 720 p. (In Russ.)

Degtyareva, A.D., Kovaleva, V.T., Kuzminykh, S.V., 2014, "Features of Non-Ferrous Metal Working of Tashkovo Culture Tribes of the Low Tobol Basin" *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*, no. 3, pp. 14–24. (In Russ.)

Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., 2018. "Models of color metal production in the Urals in the Early Iron Age", *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*, no. 2, pp. 41–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2018-41-2-041-060>

Dmitriev, P.A., 1930, "Foundry mold of the Shadrinsky Museum", *Proceedings of RANION*, iss. 5, pp. 53–60. (In Russ.)

Dyakov, V.E., 2019, *Centrifugal Filtration of Molten Tin and Lead*, Akademiya Estestvoznaniya, Moscow, 140 p. (In Russ.)

Dyachkov, B.A., Oitseva, T.A., 2021. *Kalba rare metal mineralization*. VKGTU, Ust-Kamenogorsk, 208 p. (In Russ.)

Zhukov, N.M., Antonenko, A.A., Goikolova, T.V., 2013, "The structure and metallogeny boundary volcanoplutonic belts of the Kazakhstan", *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, no. 5 (401), pp. 3–12. (In Russ.)

Zaikov, V.V., Melekesseva, I.Yu., Artemyev, D.A., Simonov, V.A., Yuminov, A.M., Dunaev, A.Yu., 2009, *Geology and massive sulfide ores on the southern flank of the Main Uralian Fault*. IM UrO RAN, Miass, 376 p. (In Russ.)

Zimina, O.Yu., Zakh, V.A., 2009, *Lower Tobol basin at the turn of the Bronze and Iron Ages*. Nauka, Novosibirsk, 232 p. (In Russ.)

Kovaleva, V.T., Ryzhkova, O.V., Shamanaev, A.V., 2000, *The Tashkovo culture: Andreevskoye Ozero XIII settlement*. UrGU, Ekaterinburg, 160 p. (In Russ.)

Koksharov, S.F., 2009, *Sites of the Eneolithic of the north of Western Siberia*. Volot, Ekaterinburg, 272 p. (In Russ.)

Kontar, E.S., 2013, *The geological-industrial types of the Cu, Zn, Pb deposits in the Urals (geological conditions of setting, history of the formation, the prospects)*. UGGU, Ekaterinburg, 199 p. (In Russ.)

Kontar, E.S., 2015, "Copper deposits in the geological history of the Earth", *Regional Geology and Metallogeny*, no. 61, pp. 77–91. (In Russ.)

Korochkova, O.N., 2021, "The Andronovo Community: Formation Model", *Ancient cultures of Mongolia, Southern Siberia and Northern China. Materials of the XI International Scientific Conference*, IIMK RAN, St. Petersburg, pp. 69–73. (In Russ.)

- Korochkova, O.N., 2023, “Middle Trans-Urals and Western Siberia: from the Stone Age of to the Metal Age”, *The Volga River Region Archaeology*, no. 3, pp. 70–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.24852/pa2023.3.45.70.83>
- Korochkova, O.N., Stefanov, V.I., Spiridonov, I.A., 2020, *Sacred place of the first metallurgists in the Middle Ural*, UrGU, Ekaterinburg, 214 p. (In Russ.)
- Korochkova, O.N., Spiridonov, I.A., 2024, “Finds of Bronze Age Casting Molds in the Mountainous-Forest Belt of the Trans-Urals”, *KSIa*, no. 275, pp. 132–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.25681/IAR-AS.0130-2620.275.132-145>
- Kuzminykh, S.V., Degtyareva, A.D., 2017, “Metal Production of the Itkul Culture of the Middle Urals (Acc. to Analytical Data)”, *Analytical studies of the Laboratory of Natural Science Methods*, iss. 4, TAUS, Moscow, pp. 18–35. (In Russ.)
- Kuzminykh, S.V., Degtyareva, A.D., Tigeeva, E.V., 2017, “Metal production of Krasnoozërka and Itkul cultures of the Tobol-Ishim interfluvium”, *Vestnik Arheologii, Antropologii i Etnografii*, no. 4, pp. 37–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2017-39-4-037-050>
- Lunkov, V.Yu., Orlovskaya, L.B., Kuzminykh, S.V., 2009, “X-ray Fluorescence analysis: the Beginning of studies of chemical composition of an ancient metal”, *Analytical studies of the Laboratory of natural science methods*, iss. 1, IA RAN, Moscow, pp. 84–110. (In Russ.)
- Lunkov, V.Yu., Kuzminykh, S.V., Orlovskaya, L.B., 2011, “X-ray fluorescent analysis of copper and bronzes: 2009–2010 series”, *Analytical studies of the Laboratory of natural science methods*, iss. 2, IA RAN, Moscow, pp. 116–136. (In Russ.)
- Lunkov, V.Yu., Kuzminykh, S.V., Orlovskaya, L.B., 2013, “Results of X-ray fluorescent analysis: 2011–2013 series”, *Analytical studies of the Laboratory of natural science methods*, iss. 3, IA RAN, Moscow, pp. 56–88. (In Russ.)
- Mazurov, A.K., 2003, *Geodynamic conditions of formation of metallogenic complexes of Kazakhstan*. Dissertation abstract ... Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. Tomsk, 43 p. (In Russ.)
- Maslennikov, V.V., Maslennikova, S.P., Tretyakov, G.A., Tseluiko, A.S., Kotlyarov, V.A., Krainev, Yu.D., Churin, E.I., Herrington, R.E. 2015, “Fahlöres in paleozoic vent chimneys from the Urals and Rudny Altai volcanogenic massive sulfide deposits”, *Mineralogy*, no. 4, pp. 53–78. (In Russ.)
- Materikov, M.P., 1974, *Patterns of location and geological and genetic groups of tin deposits of the USSR*. Nedra, Moscow, 144 p. (In Russ.)
- Prokin, V.A., Seravkin, I.B., Buslaev, F.P. et al., 1992, *Copper-bearing deposits of the Urals: Conditions of formation*. UrO RAN, Ekaterinburg, 308 p. (In Russ.)
- Murzin, V.V., Varlamov, D.A., Vikentiev, I.V., 2011, “Copper-cobalt mineralization of the Pyshminsk-Klyuchevsk deposit in the Middle Urals: Mineral composition of ore and metasomatites, stages, P-T conditions of mineral formation”, *Lithosphere*, no. 6, pp. 103–122. (In Russ.)
- Naumov, A.M., 2025, “Shatanov-6 Itkul Rock Sanctuary by the Irtyash Lake in the Southern Transurals”, *Ufa Archaeological Herald*, vol. 25, no. 3, pp. 480–492. (In Russ.) <https://doi.org/10.31833/uav/2025.25.3.033>
- Pazukhin, V.A., 1969, “Copper ingots from the Orenburg Museum”, *Sovetskaya arheologiya*, no. 4, pp. 239–245. (In Russ.)
- Plotinskaya, O.Yu., Kovalchuk, E.V. 2022. “Fahlöres from porphyry Cu-(Mo) deposits of the Urals”, *Mineralogy*, vol. 8, no. 3, pp. 5–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-1>
- Safina, N.P., Maslennikov, V.V., Maslennikova, S.P., Kotlyarov, V.A., Blinov, I.A., Danyushevsky, L.V., Large, R.R., 2015, “Banded Sulfide-Magnetite Ores of Mauk Copper Massive Sulfide Deposit, Central Urals: Composition and Genesis”, *Geology of Ore Deposits*, vol. 57, no. 3, pp. 197–212. (In Russ.)
- Spiridonov, I.A., 2020, “The role of the foreign cultural component in the formation of morphological features of the Cherkassy-Mezhovskiy metal complex”, *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy – 2020. Proceedings of the VII All-Russian Scientific Conference with international participation named after V.V. Zai-kov*, vol. 7. YuU FNC MiG UrO RAN, Miass, Chelyabinsk, pp. 161–164. (In Russ.)
- Starkov, V.F., 1970, “Koksharovo I – a multilayered site of the Neolithic and Bronze Age in the Middle Urals”, *Sovetskaya arheologiya*, no. 1, pp. 97–107. (In Russ.)
- Tkachev, V.V., 2024, “Historical Metallurgical Taxonomy: Geoarchaeological and Archaeometallurgical Aspects”, *Russian Archeology*, no. 3, pp. 89–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869606324030068>
- Tkachev, V.V., Kosintsev, P.A., Bachura, O.P., Baitleu, D.A., 2023, “A model of the cattle breeding economy of the population of the Late Bronze Age with mining and metallurgical production specialization in Southern Mugodzhary (Western Kazakhstan)”, *Ufa Archaeological Herald*, vol. 23, no. 2, pp. 377–395. (In Russ.) <https://doi.org/10.31833/uav/2023.23.2.014>
- Tkachev, V.V., Kosintsev, P.A., Kisagulov, A.V., Bachura, O.P., 2025, “Archaeozoological Studies on the Settlement of Miners and Metallurgists of the Late Bronze Age Near the Ancient Ishkininsky Copper Mine (Southern Urals)”, *Stratum Plus*, no. 2, pp. 105–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.55086/sp252105120>
- Khlobystin, L.P., 1976, *The Settlement of Lipovaya Kurya*. Nauka, Leningrad, 65 p. (In Russ.)
- Chairkina, N.M., 2005, *Eneolithic of the Middle Ural*. UrGU, Ekaterinburg, 312 p. (In Russ.)
- Chairkina, N.M., 2011, *Burial complexes of the Chalcolithic and Early Iron Age of the Trans-Urals (based on the materials of the burial and cult site Skvortsovskaya Gora V)*. UrO RAN, Ekaterinburg, 224 p. (In Russ.)
- Chairkina, N.M., 2022, *Peat sites of the Urals, Eastern and Western Europe*. Nestor-Istoriya, St. Petersburg, 368 p. (In Russ.)

Chairkina, N.M., Kuzmin, Ya.V., 2018, “New radiocarbon dates of the Mesolithic – Early Iron Age of the Trans-Urals”, *Ural Historical Journal*, no. 2, pp. 124–134. (In Russ.) [http://doi.org/10.30759/1728-9718-2018-2\(59\)-124-134](http://doi.org/10.30759/1728-9718-2018-2(59)-124-134)

Chernykh, E.N., 2009, *The Steppe Zone of Eurasia: the Phenomenon of Nomadic Cultures*. Rukopisnye pamyatniki Drevnej Rusi, Moscow, 624 p. (In Russ.)

Chernykh, E.N., 2013, *Nomadic cultures in the megastructure of the Eurasian world*. Vol. 1. Yazyki slavyanskoj kultury, Moscow, 368 p. (In Russ.)

Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V., 1989, *Ancient metallurgy of Northern Eurasia (the Seimin-Turbinsky phenomenon)*. Nauka, Moscow, 320 p. (In Russ.)

Chernyshev, I.V., Vikentiev, I.V., Chugaev, A.V., Shatagin, K.N., Moloshag, V.P., 2008, “Sources of material for massive sulfide deposits in the Urals: Evidence from the high-precision MC-ICP-MS isotope analysis of Pb in galena”, *Doklady Akademii nauk*, vol. 418, no. 4, pp. 530–535. (In Russ.)

Shubin, Y.P., 2019, “On the use of pale ores for metal smelting in the Bronze Age”, *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy–2019. Materials of the VI All-Russian Youth Scientific Conference named after V.V. Zaikov*, FortDialog-Iset, Miass, Ekaterinburg, pp. 106–109. (In Russ.)

Eding, D.N., 1941, “New finds on the Gorbunovsky peat bog”, *Archaeological sites of the Urals and Kama region*, Moscow, Leningrad, pp. 41–57 (MIA, no. 1) (In Russ.)

Berger, D., Soles, J.S., Giumlia-Mair, A.R., Brüggmann, G., Galili, E., Lockhoff, N., Pernicka, E., 2019, “Isotope systematics and chemical composition of tin ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the eastern Mediterranean Sea: An ultimate key to tin provenance?”, *PLoS ONE*, 14(6), e0218326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218326>

Berger, D., Kaniuth, K., Boroffka, N., Brüggmann, G., Kraus, S., Lutz, J., Teufer, M., Wittke, A., Pernicka, E., 2023, “The rise of bronze in Central Asia: new evidence for the origin of Bronze Age tin and copper from multi-analytical research”, *Frontiers in Earth Science*, vol. 11, 1224873. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1224873>

Chairkina, N.M., Kuzmin, Y.V., Hodgins, G.W.L., 2017, “Radiocarbon chronology of the mesolithic, neolithic, aeneolithic, and bronze age sites in the Trans-Urals (Russia): a General Framework”, *Radiocarbon*, vol. 59, no. 2, pp. 505–518. <https://doi.org/10.1017/RDC.2016.49>

Gale, N.P., 1997. “The isotopic composition of tin in some ancient metals and the recycling problem in metal provenancing”, *Archaeometry*, no. 39(1), pp. 71–82. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1997.tb00791.x>

Gillis, C., Clayton, R.E., Pernicka, E., Gale, N.H., 2003, “Tin in the Aegean Bronze Age”, *Metron: measuring the Aegean Bronze Age, Proceedings of the 9th international Aegean conference New Haven, Yale University, 18–21 April 2002. Aegaeum 24*, Liège: Université de Liège, pp. 103–110.

Pernicka, E.A., 2014. “Short History of Provenance Analysis of Archaeological Metal Objects”, *Archaeometallurgy in Global Perspective*, Springer Science+Business Media, New York, pp. 239–268. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9017-3_11

Pollard, A.M., Bray, P.J., 2015, “A new method for combining lead isotope and lead abundance data to characterize archaeological copper alloys”, *Archaeometry*, no. 57, pp. 996–1008. <https://doi.org/10.1111/arcn.12145>

Pollard, A.M., Bray, P., Cuenod, P., Hsu, Y., Liu, R., Perucchetti, L., Pouncetti, L., Saunders, M., 2018, *Beyond Provenance. New Approaches to Interpreting the Chemistry of Archaeological Copper Alloys*. Leuven University Press, Leuven, 232 p. <https://doi.org/10.2307/j.ctv7xbs5r>

Stepanov, I.S., Artemyev, D.A., Blinov, I.A., Naumov, A.M., Ankushev, M.N., 2023, “Copper technology at the Early Iron Age fortified settlements near Lakes Itkul and Irtyash, middle Trans-Urals”, *Journal of Archaeological Science*, vol. 49, pp. 103964. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.103964>

Tkachev, V., 2021. “Local versions realizing the pastoral model of metal production in conditions of the steppe ecosystems in the Urals-Mygodzhary Region in the Late Bronze Age”, *Ninth International Symposium “Steppes of Northern Eurasia” 7–11 June 2021, Orenburg, Russian Federation*, IOP Publishing, pp. 012107. (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012107>

Сведения об авторах

Виталий Васильевич Ткачев, кандидат исторических наук, доцент, Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН, Российская Федерация, г. Оренбург. E-mail: vit-tkachev@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6355-1745, Scopus ID: 55249902200

Сергей Вячеславович Богданов, кандидат исторических наук, доцент, Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН, Российская Федерация, г. Оренбург. E-mail: bogdanov-step@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7175-1088, Scopus ID: 57194182706

Ольга Николаевна Корочкова, доктор исторических наук, профессор, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Российская Федерация, г. Екатеринбург. E-mail: Olga.Korochkova@urfu.ru, ORCID: 0000-0003-4597-9219, Scopus ID: 34768408200

Иван Андреевич Спиридонов, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Российская Федерация, г. Екатеринбург. E-mail: z-is5@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9121-0585, Scopus ID: 57192107581

Information About the Authors

Vitaly V. Tkachev, Cand. Sc. (History), associate professor, Institute of the Steppe, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of RAN, Russian Federation, Orenburg. E-mail: vit-tkachev@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6355-1745, Scopus ID: 55249902200

Sergey V. Bogdanov, Cand. Sc. (History), associate Professor, Institute of the Steppe, Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of RAN, Russian Federation, Orenburg. E-mail: bogdanov-step@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7175-1088, Scopus ID: 57194182706

Olga N. Korochkova, Doctor of Sciences (History), professor, Ural Federal University named after B.N. Yeltsin, Russian Federation, Ekaterinburg. E-mail: Olga.Korochkova@urfu.ru, ORCID: 0000-0003-4597-9219, Scopus ID: 34768408200

Ivan A. Spiridonov, Ural Federal University named after B.N. Yeltsin, Russian Federation, Ekaterinburg. E-mail: z-is5@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9121-058, Scopus ID: 57192107581

Авторский вклад:

Авторы внесли равный вклад в исследование и написание статьи, ознакомились с окончательным текстом и несут равную ответственность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' contributions:

All authors contributed equally to the research and writing of the article, reviewed the final text and bear equal responsibility

Conflict of interests: the authors declare the absence of conflict of interests