

## Депонирование элементов исходных руд и лигатур в металле бронзового века Зауралья

С. В. Богданов, В. А. Булатов, О. Н. Корочкова, И. А. Спиридонов, В. В. Ткачев

**Для цитирования:** Богданов С. В., Булатов В. А., Корочкова О. Н., Спиридонов И. А., Ткачев В. В. Депонирование элементов исходных руд и лигатур в металле бронзового века Зауралья // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2023. Т. 68. Вып. 4. С. 1104–1140. <https://doi.org/10.21638/spbu02.2023.415>

---

*Сергей Вячеславович Богданов* — канд. ист. наук, доц., вед. науч. сотр., Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11; bogdanov-step@yandex.ru

*Sergey V. Bogdanov* — PhD (History), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of the Steppe of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11, Pionerskaya ul., Orenburg, 460000, Russian Federation; bogdanov-step@yandex.ru

*Владислав Александрович Булатов* — мл. науч. сотр., Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 620110, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15; vladislavtalica@gmail.com

*Vladislav A. Bulatov* — Junior Researcher, Institute of Geology and Geochemistry of Academician A. N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 15, ul. Akademika Vonsovskogo, Yekaterinburg, 620110, Russian Federation; vladislavtalica@gmail.com

*Ольга Николаевна Корочкова* — д-р ист. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Российская Федерация, 622002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; Olga.Korochkova@urfu.ru

*Olga N. Korochkova* — Dr. Sci. (History), Ural Federal University, 19, ul. Mira, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation; Olga.Korochkova@urfu.ru

*Иван Андреевич Спиридонов* — лаборант-исследователь, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Российская Федерация, 622002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; Z-is5@mail.ru

*Ivan A. Spiridonov* — Laboratory Researcher, Ural Federal University, 19, ul. Mira, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation; Z-is5@mail.ru

*Виталий Васильевич Ткачев* — канд. ист. наук, доц., ст. науч. сотр., Институт степи Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, Российская Федерация, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11; vit-tkachev@yandex.ru

*Vitaly V. Tkachev* — PhD (History), Associate Professor, Senior Researcher, Institute of the Steppe of the Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11, Pionerskaya ul., Orenburg, 460000, Russian Federation; vit-tkachev@yandex.ru

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ «Технологии горно-металлургического производства бронзового века в эволюции культурно-исторического ландшафта Уральского региона», проект № 21-78-20015 (руководитель В. В. Ткачев), а также Госзаданий № АААА-А21-1210111900016-1, № FEUZ-2023-0018, № АААА-А19-119071090011-6.

The work was supported by the grant of the Russian Science Foundation “Technologies of mining and metallurgical production of the Bronze Age in the evolution of the cultural-historical landscape of the Ural region”, project no. 21-78-20015 (headed by V. V. Tkachev), as well as State Tasks no. АААА-А21-1210111900016-1, no. FEUZ-2023-0018, no. АААА-А19-119071090011-6.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2023

В статье рассматриваются проблемы геохимической специализации металлических предметов эпохи бронзы восточного фланга Уральской горно-металлургической области, произведенных в конце III тыс. до н.э. — середине II тыс. до н.э. в абашевском, синташтинском, коптыковско-сейминском и алакульском очагах. Для определения геохимических маркеров металла проведен локальный количественный анализ химического состава 101 твердой пробы методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа. Подборка включала репрезентативную серию медных и бронзовых предметов, отражающих различные стадии металлургического передела, из классических памятников Зауралья. Систематизация аналитических данных по химизму продукции каждого очага металлопроизводства позволила определить устойчивые композиции микропримесей, связанных с исходными рудами и лигатурами. В металле абашевской и синташтинской культур наблюдается отчетливая корреляция превышений мышьяка и никеля, что отчасти обусловлено использованием рудных источников Зауралья с высоким содержанием этих элементов, однако наиболее значительная концентрация мышьяка (от 2 до 5 %) наблюдается не в слитках рафинированной меди или полуфабрикатах, а в готовых изделиях, что может быть связано с целенаправленным легированием. Оловянные лигатуры в синташтинской культуре редки, обладают тем же химизмом, что и у носителей сейминско-турбинских металлургических традиций. Масштабное использование олова при легировании рафинированной меди наблюдается лишь в коптыковско-сейминской и алакульской сериях. В алакульской подборке зафиксированы высокооловянные лигатуры, близкие к идеальным оловянным бронзам (18 % Sn). Не исключено, что источником олова являлись месторождения Казахстана и Средней Азии. Единственной примесью, интегрирующей весь древний металл, по данным микрозондового анализа, является сера, обусловленная исходным сульфидным сырьем. Сера депонировалась в черновой меди из высокомедистых (выше 20 % Cu) сульфидно-кремнекарбонатных минеральных смесей, отвечавших критериям металлопроизводства бронзового века. Источники сырья связаны с вторичными сульфидами зон гипергенеза офиолитовых месторождений Зауралья.

*Ключевые слова:* медные руды, вторичные сульфиды меди, легирование, микрозондовый анализ, металлургические очаги, абашевская, синташтинская, коптыковская, алакульская культуры.

## Deposition of Base Ore and Alloy Elements in the Bronze Age Metal in the Trans-Urals

*S. V. Bogdanov, V. A. Bulatov, O. N. Korochkova, I. A. Spiridonov, V. V. Tkachev*

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

The paper studies the problems of the geochemical specialization of the Bronze Age metal items from the eastern flank of the Ural mining and metallurgical province produced at the end of the third millennium BC — the middle of the second millennium BC in the Abashevo, Sintashta, Koptyakov-Seimino and the Alakul centers. The metal geochemical markers determination was performed by means of a local quantitative chemical composition analysis of 101 solid samples with an electron X-ray microanalyzer. The selection consisted of a representative series of copper and bronze items corresponding to various stages of metallurgical conversion process from the classic archaeological sites of the Trans-Urals. Systematization of the analytical data on the chemistry of items from each metal production center made it possible to identify stable compositions of micro-impurities associated with the base ores and

alloys. The Abashevo and the Sintashta culture metal demonstrated a stable correlation of excess arsenic and nickel concentrations, which was partly due to the use of the Trans-Urals ores with a high content of these elements, however, the most significant concentration of arsenic (from 2 to 5%) was observed in the finished items rather than in refined copper ingots or semi-finished products, which may indicate intentional alloying. Tin alloys in the Sintashta culture were quite rare; they demonstrated the same chemistry as the Seimin-Turbino metallurgical traditions. Large-scale use of tin for refined copper alloying was observed only in the Koptyakov-Seimino and the Alakul series. The Alakul series contained some high-tin alloying compositions close to the ideal tin bronzes (18% Sn). It is possible that the sources of tin for them were the Kazakhstan and the Central Asia deposits. The only impurity integrating the entire ancient metal series, according to microprobe analysis, was sulfur, due to the sulfide feed stock. Sulfur was deposited in blister from the high-copper (above 20% Cu) sulfide-silica-carbonate mineral blends that met the Bronze Age metal production criteria. The sources of raw materials were associated with the secondary sulfides of the ophiolite deposits hypergenesis zones in the Trans-Urals.

*Keywords:* copper ores, secondary copper sulphides, alloying, microprobe analysis, metallurgical centers, Abashevo, Sintashta, Koptyakovo, Alakul cultures.

## Введение

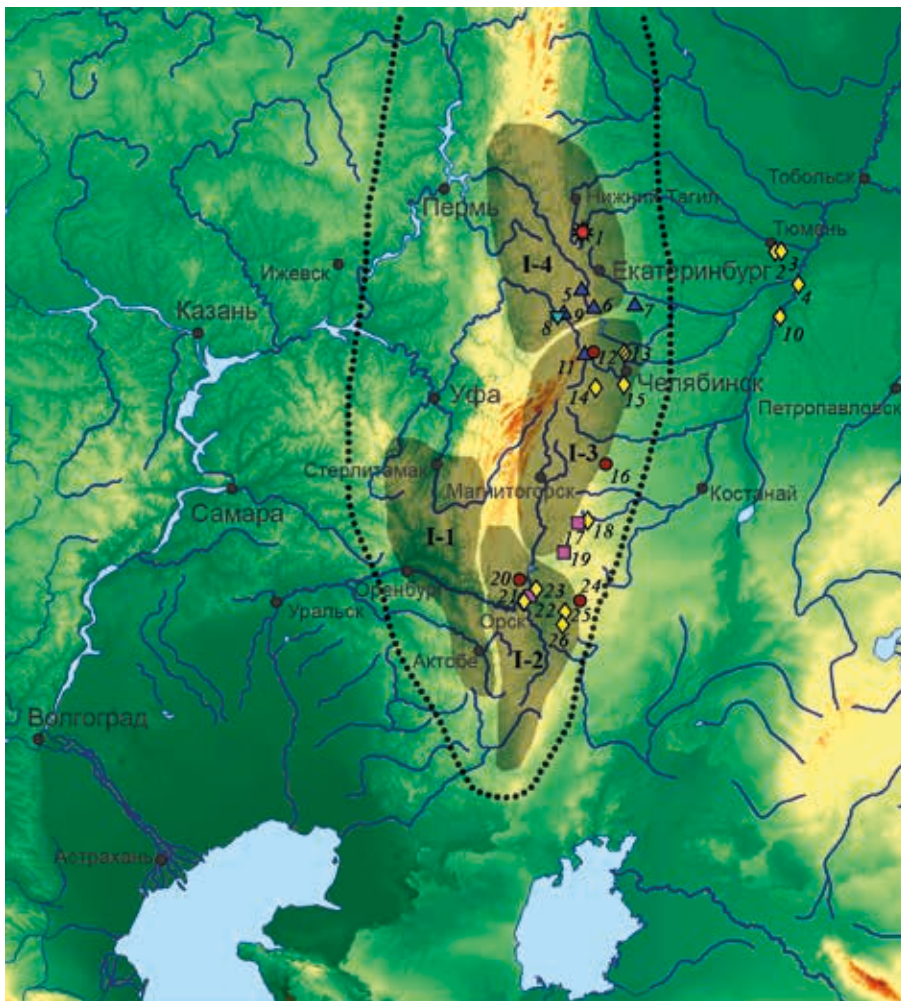
Металлургическому буму позднего бронзового века (ПБВ) в первой половине — середине II тыс. до н.э., связанному с деятельностью горняков-металлургов алакульской и срубной культур, в Уральской горно-металлургической области (ГМО) предшествовали масштабные переселенческие процессы конца среднего бронзового века — начала позднего бронзового века, сопровождавшиеся смешением абашевских, посткатакомбных и сейминско-турбинских металлургических традиций, резким ростом объемов добычи и переработки медных руд, производства меди и бронзы. На развитом этапе ПБВ, в срубно-алакульское время, окончательно оформилась система связей, был налажен трафик металла, в том числе легирующего сырья, в пределах Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции, являвшейся самой крупной историко-металлургической системой эпохи палеометалла<sup>1</sup>.

По восточному и южному флангам Уральской ГМО на протяжении бронзового века функционировало не менее четырех горно-металлургических центров (ГМЦ) — Приуральский, Уральско-Мугоджарский, Зауральский, Среднеуральский (рис. 1), обеспечивавших сырьевыми ресурсами абашевский, синташтинский, коптяковско-сейминский, алакульский и другие очаги металлопроизводства. Первые три очага в территориальном аспекте относительно локальны и связаны с культурными образованиями отдельных частей Урала, а также сопредельными регионами Заволжья и Северо-Западного Казахстана. Алакульская ойкумена намного шире, она охватывает весь центр и восток лесостепной и степной зон Северной Евразии.

В районах, обеспеченных сырьевыми ресурсами, территориальные центры можно рассматривать в качестве металлургических, обладавших полным циклом горно-металлургического производства, включая поиск, добычу медных руд, сортировку, «сухое» и пиротехническое обогащение с выбраковкой рудных материалов

---

<sup>1</sup> Черных Е. Н.: 1) Каргалы: в 5 т. Т. V. М., 2007. С. 71–86; 2) Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира: в 2 т. Т. I. М., 2013. С. 218–241.



Условные обозначения:  
 Комплексы: ▽ — абашевского, ■ — синташтинского, \* — коптяковского, ◆ — алакульского,  
 ◆ — федоровского, ▲ — иткульского типа, ● — неопределенные.  
 - - - - - Граница Уральской горно-металлургической области  
 / / / / / - Ареал горно-металлургического центра



Рис. 1. Карта горно-металлургических центров и археологических памятников Урала: горно-металлургические центры: I-1 — Приуральский, I-2 — Уральско-Мугоджарский, I-3 — Зауральский, I-4 — Среднеуральский; 1 — святилище Шайтанское Озеро II; 2 — поселение Дуванское V; 3 — поселение ЮАО VI; 4 — поселение Ук III; 5 — гора Думная; 6 — Иткульское городище и Иткульские курганы; 7 — поселение Зотинское I-IV; 8-9 — поселение Серный Ключ; 10 — поселение Камышное; 11 — поселение Малый Вишневы; 12 — поселение Березки V; 13 — могильник Урефты I; 14 — поселение Камбулат; 15 — поселение Коркино I; 16 — поселение Дружный I; 17 — Синташтинское поселение и могильник; 18 — поселение Мирный; 19 — случайная находка, Кваркено; 20 — случайная находка, Гай; 21 — могильник Нагорный; 22 — могильник Новокумакский; 23 — могильник Четыре Мара; 24 — случайная находка, Адамовка; 25 — поселение Байту (селище 15); 26 — поселение Ушкатта (селище 56)



с низким содержанием полезного компонента, пиротехническое восстановление меди из обогащенных рудных концентратов, рафинирование черновой меди, легирование, литье и кузнечно-слесарную обработку изделий. Центры полного цикла уверенно выделяются в пределах Уральской и Казахстанской ГМО. В безрудных районах складывались территориальные центры металлопроизводства (ТЦМ), носившие характер металлообрабатывающих, функционировавших на привозном сырье, но тяготеющих к тому или иному ГМЦ, обычно близлежащему, связанному с ним разветвленной гидросетью. Ярким примером территориального центра металлообработки служит Среднетобольский ТЦМ, сопряженный с Зауральским ГМЦ.

Металл каждого очага металлопроизводства восточного фланга Уральской ГМО отличается своеобразием, обусловленным особенностями культурных традиций, металлургической базы, способов легирования, экономических связей и др. Полноценная характеристика металлопроизводства каждого из очагов с учетом морфологии стереотипных изделий, их элементного и изотопного состава, установленных различными аналитическими методами, будет представлена в планируемом авторами цикле последующих работ. Данная статья посвящена обсуждению лишь одного из аспектов древнего металлопроизводства, связанного с депонированием элементов исходных руд и лигатур в металле разных циклов пирометаллургического передела — слитках рафинированной меди, полуфабрикатах и готовых изделиях.

## Методические подходы

Археометаллургические подходы авторов статьи сочетают гуманитарные, естественно-научные аналитические методики, а также данные большой (свыше 300) серии успешных экспериментов 2017–2023 гг. по восстановлению меди из различных вариантов минеральных смесей первичных и вторичных сульфидов, оксидов, силикатов и карбонатов меди, рафинированию чернового металла, легированию меди соединениями мышьяка, литью и кузнечно-слесарной обработке орудий<sup>2</sup>. В ходе указанных экспериментов сформирована обширная коллекция эталонов (свыше 960 образцов) различных продуктов пирометаллургического передела (обогащенные руды, шлаки разных типов, штейны, черновая и рафинированная медь, бронза), как соответствующих по химизму и морфологии артефактам бронзового века, так и отличающихся от них. В представленной работе авторы опираются на обширный корпус источников по металлургии и металлообработке в абашевском, синташтинском, коптяковско-сейминском и алакульском очагах металлопроизводства восточного фланга Уральской ГМО, накопленных во второй половине XX — первых десятилетиях XXI в.

В ходе реализации масштабной программы аналитических исследований по археометаллургии Уральской ГМО проводилось определение минерального состава образцов медных руд и продуктов их пиротехнического обогащения посредством рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии. Химизм медных руд, обогащенных рудных концентратов, металлургических шлаков, слитков черновой и рафинированной меди, металлических изделий также изучал-

<sup>2</sup> Богданов С.В. Пилотные археометаллургические эксперименты по восстановлению меди из рудных концентратов Каргалов // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 5. М., 2021. С. 78–103.

ся рентгенофлуоресцентным, микрозондовым и высокопрецизионными методами масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно-связанной плазме (ИСП-МС). Последние включали микроэлементный анализ содержания редких и рассеянных элементов, а также изучение изотопного состава Pb с предварительным мультиколлекторным (МК) микроволновым и автоклавным разложением на приборных базах Центра коллективного пользования УрО РАН «Геоаналитик» (г. Екатеринбург) и Химико-аналитического центра «Плазма» (г. Томск).

В результате аналитических исследований получен широкий спектр информации о древнем металлопроизводстве, но каждый из естественно-научных методов обладает различными возможностями и избирательностью действия, что не позволяет простым суммированием данных решить большинство исследовательских задач. В определении геохимических маркеров исходных руд и лигатур наиболее эффективным оказался локальный количественный анализ химического состава твердых образцов методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа.

Определение химического состава образцов выполнено в 2022 г. на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100 в ЦКП «Геоаналитик» (аналитик В. А. Булатов). Измерения проводились при ускоряющем напряжении 15 кВ с использованием кристалл-анализаторов TAP, LPET, PET, LLIF, LIF. При проведении микрозондового анализа в качестве стандартов использовались: пирит (для анализа содержания S), Cu, Sn, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe), InAs (As), GaSb (Sb), ZnS (Zn), PbS (Pb), Ag, Ni, SiO<sub>2</sub> (Si). Определение матричного состава осуществлялось при токе зонда 40 нА, время накопления импульсов в максимуме пика составило 10 с. Пределы обнаружения определяемых элементов Cu, Sn, Fe, As, Sb, Zn, Pb, Ag, Ni, Si — 1400, 1200, 440, 900, 1200, 2700, 1300, 1700, 670, 240 ppm, соответственно.

Установлено соотношение в образцах десяти значимых элементов. Важной частью работы являлось определение примесного содержания S. Для снижения пределов обнаружения, при определении ее содержания, ток зонда увеличили до 200 нА, а время экспозиции в максимуме пика составило 60 с. Таким образом удалось снизить предел достоверного обнаружения (критерий 3σ) до 85 ppm. В перечень десяти актуальных элементов включен Si, прямо не несущий информации об исходном сырье и лигатурах, но достоверно указывающий на степень загрязненности проб патинами, что необходимо учитывать при интерпретации результатов. С целью уточнения состава анализируемых предметов и верификации данных дубликаты образцов дополнительно изучены по 62 элементам в Химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск) высокоточным методом МК-ИСП-МС, не выявившим существенного расхождения по ключевым элементам. Из-за ограниченности объема статьи результаты МК-ИСП-МС, рентгено-флуоресцентного анализа и других анализов мы не приводим.

Одним из первых микрозондовый метод для изучения химического состава медных и бронзовых изделий Уральской ГМО использовал А. Ф. Бушмакин. Автор изучил металл синташтинской культуры из кургана 25 Большекараганского могильника с пределом обнаружения значимых элементов до сотых долей процента, а также подробно описал аналитические возможности и особенности этого метода<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Бушмакин А. Ф. Металлические предметы из кургана 25 Большекараганского могильника // Аркаим: некрополь (по материалам кургана 25 Большекараганского могильника). Кн. 1. Челя-

## Характеристика источников

Археометрическим измерениям методом микророндового анализа подверглась репрезентативная подборка артефактов (101 образец) абашевской, синташтинской, коптяковской, алакульской культур бронзового века, отражающая не только спектр производившейся продукции, но и различные циклы металлопроизводства. В коллекции присутствуют также четыре бронзовых изделия, отнесенных к категории неопределенных, не имеющих надежно установленного культурного контекста, но в целом отражающих заключительные стадии ПБВ в Зауралье. Серия включает медные и бронзовые предметы из музейных собраний Орского краеведческого музея (шифры Ик и Вр/хр) и Уральского федерального университета (остальные шифры или без номера): 18 предметов из первого и 82 предмета из второго. В большинстве случаев каждый образец анализировался в двух точках, в одном случае — в трех (см. табл.).

*Абашевский очаг металлопроизводства* представлен в нашей выборке лишь пятью образцами. Большой удачей можно считать то, что большинство предметов происходит из абашевского комплекса в многослойном поселении Серный Ключ, расположенном в горнолесной зоне верховий р. Уфы на севере Челябинской области, в южной части Среднеуральского ГМЦ (рис. 1: 8; 2). Данный объект является на сегодняшний день самым северным памятником абашевской культуры и рассматривается в качестве опорного пункта производственной «экспедиции» небольшой абашевской группы горняков-металлургов и литейщиков, проводивших поиски месторождений медных руд в глубине уральской тайги<sup>4</sup>. В нашем распоряжении оказалось четыре образца из абашевского комплекса поселения Серный Ключ, представленных шилом, обломком изделия неопределенного назначения, сплеском и небольшим слитком рафинированной меди (рис. 2: 7). Предметы располагались компактной группой в литологически обособленном горизонте вместе с характерной посудой, обломками литейных форм и плавильных тиглей, соответствующих метрическим параметрам проанализированного слитка (рис. 2: 2–4, 7).

Еще один образец отобран из типичного абашевского проушного узковислобушного топора, соответствующего морфологическим характеристикам изделий, отливавшихся в литейных формах, обнаруженных на поселении Серный Ключ (рис. 2: 1, 5, 6). Топор, возможно, происходит из коллекции К. В. Сальникова и относится к категории случайных находок из Уральского региона.

*Синташтинский очаг металлопроизводства* в значительно большей степени обеспечен источниками. В данной работе представлены результаты археометрических измерений выразительной серии 26 синташтинских металлических изделий, происходящих из классических памятников культуры — Синташтинского большого грунтового могильника (СМ), Синташтинского III могильника (С III) и Синташтинского поселения (СП)<sup>5</sup>. В коллекции представлены топор, ножи, крюки, шилья, а также разнообразные слитки и скрапы (сплески, обломки предметов) (рис. 3:

бинск, 2002. С. 132–144.

<sup>4</sup> Борзунов В. А., Стефанов В. И., Бельтикова Г. В., Кузьминых С. В. Серный Ключ — памятник абашевской «экспедиции» в горно-лесную зону Среднего Урала // Российская археология. 2020. № 1. С. 117–131.

<sup>5</sup> Генинг В. Ф., Зданович Г. Б., Генинг В. В. Синташта. Челябинск, 1992.

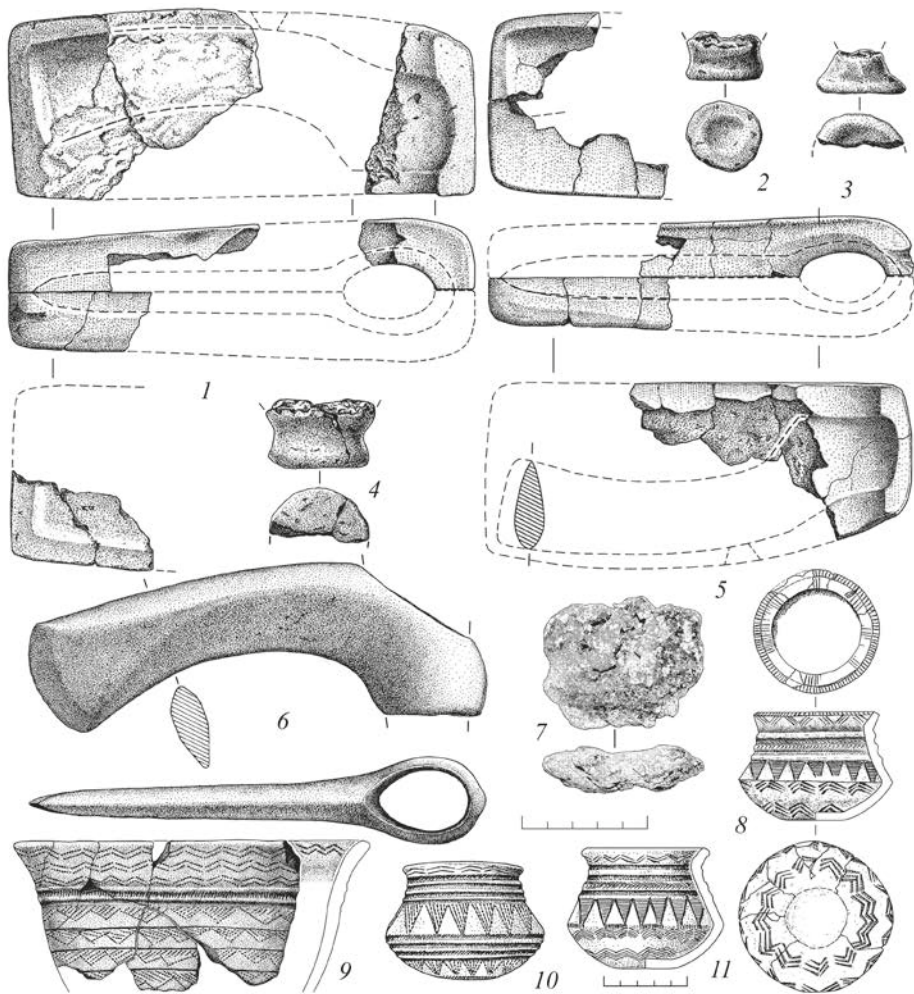


Рис. 2. Абашевский очаг металлопроизводства: 1–5, 7–12 — поселение Серный Ключ (по: Борзунов В. А., Стефанов В. И., Бельтикова Г. В., Кузьминых С. В. Серный Ключ... С. 123–124); 6 — случайная находка из сборов К. В. Сальникова (Южный Урал) (рисунок В. И. Стефанова). 5–6 — металл, остальное — керамика

1–8, 10; табл.). Проанализированы также металлическая скоба для ремонта сосуда из погребения 8 кургана 25 Новокумакского могильника<sup>6</sup> (рис. 3: 18; табл.) и нож, соответствующий морфологическим характеристикам синташтинского металлопроизводства, обнаруженный в Кваркенском районе Оренбургской области (рис. 3: 9; табл.).

Принцип отбора синташтинских предметов не случаен. Мы проанализировали образцы артефактов, происходящих из эпонимных памятников, отражающих различные циклы металлопроизводства, соответствующих культуuroобразующим

<sup>6</sup> Смирнов К. Ф., Кузьмина Е. Е. Происхождение индоиранцев в свете новейших археологических открытий. М., 1977. Рис. 3: 1; 5: 7.



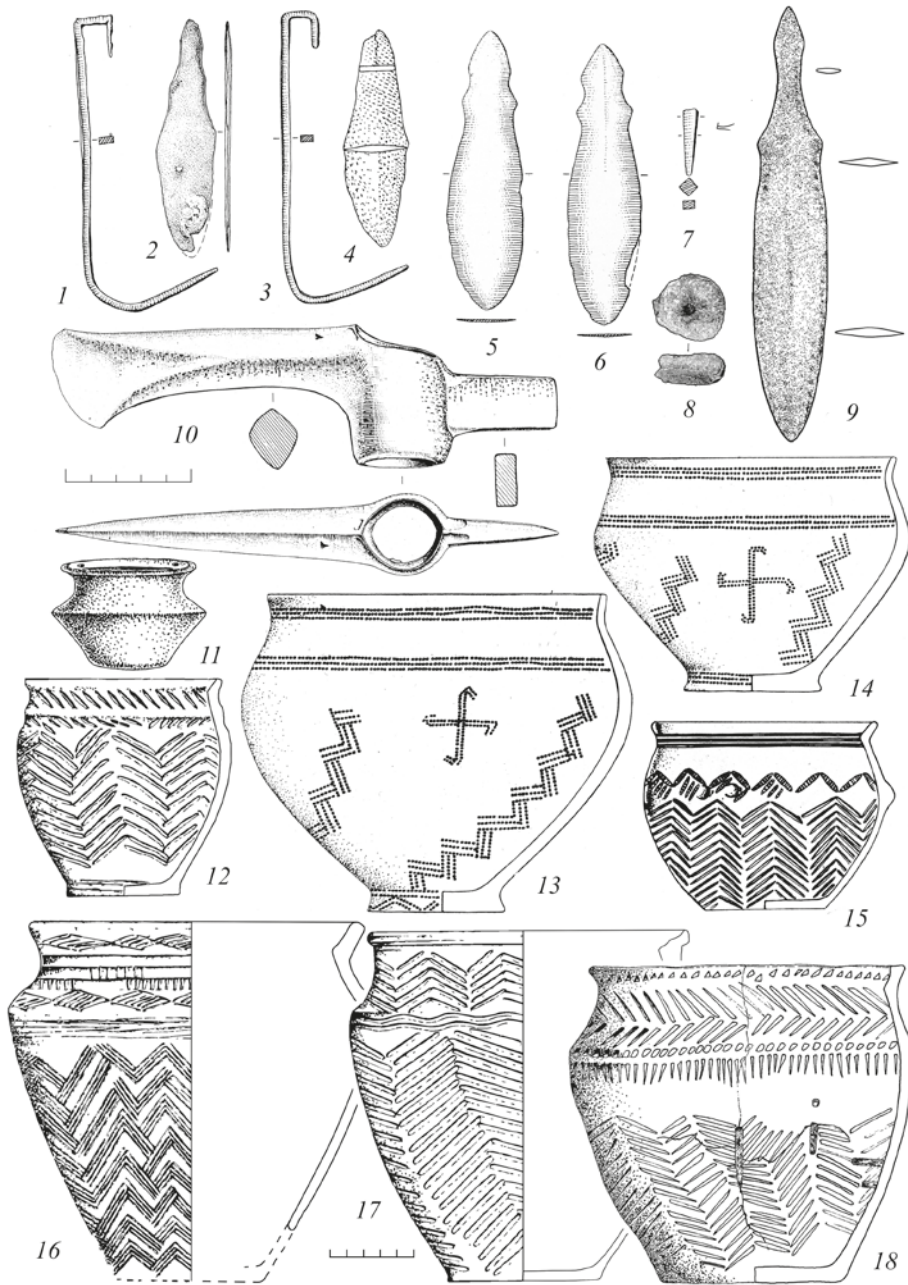


Рис. 3. Синташтинский очаг металлопроизводства: 1, 3, 5, 6, 11, 13-14 — Синташтинский могильник (СМ), погребение 2; 4 — Синташтинский могильник (СМ), погребение 18; 7 — Синташтинский могильник (СМ), погребение 24; 10, 12, 16-17 — Синташтинский могильник (СМ), погребение 39; 2, 15 — Синташтинский III могильник (С III); 8 — Синташтинское поселение (СП); 9 — случайная находка (Оренбургской область, Кваркенский район), 18 — Новокумакский могильник, курган 25, погребение 8. 1-10 — металл, 11-18 — керамика (по: Генинг В. Ф., Зданович Г. Б., Генинг В. В. Синташта. С. 117-118, 176, 196, 232-233, 336, 338; Смирнов К. Ф., Кузьмина Е. Е. Происхождение индоиранцев... С. 12, 16)

морфологическим стандартам, послуживших реперами синташтинско-новокумакского культурно-хронологического горизонта<sup>7</sup>, ставшего впоследствии отправной точкой выделения синташтинской культуры и соответствующего ей очага металлопроизводства. Синташтинский комплекс памятников в Брединском районе Челябинской области в территориальном отношении тяготеет к южному флангу Зауральского ГМЦ, Новокумакский могильник в черте г. Орска локализуется в северной части Уральско-Мугоджарского ГМЦ (рис. 1: 17, 22).

*Коптяковско-сейминский очаг металлопроизводства* расположен в горнолесном Зауралье, приурочен к обширной зоне медного оруденения скарнового типа, включавшей Гумешевское, Калатинское, Меднорудянское и прочие крупные месторождения, являвшиеся основными меднорудными объектами Среднеуральского ГМЦ (рис. 1: I-4). Очаг сложился и функционировал в первой трети II тыс. до н.э. под влиянием двух основных технологических и культурных импульсов — сейминско-турбинского и степного алакульского. Опорный памятник — святилище Шайтанское Озеро II в Кировградском районе Свердловской области<sup>8</sup> (рис. 1: 1). На его территории депонировано около 80 % известных на сегодняшний день металлических предметов данного очага.

В настоящей работе представлены результаты анализов 21 предмета из коллекции святилища Шайтанское Озеро II (рис. 4: 1–20; табл.). Металлокомплекс характеризуется ярко выраженной миксацией признаков сейминско-турбинской и степной алакульской традиций. Группа предметов сейминско-турбинского типа отлита по технологии тонкостенного втульчатого литья (кельты безушковые и ложноушковые, наконечники копий, стрел, прорезные рукояти, чеканы), включает также характерные пластинчатые ножи, ножи-скобели, ножи-пилки. Степной компонент представлен двулезвийными ножами с выделенным черенком или прилитой рукоятью, теслами-долотами с несомкнутой свернутой втулкой, желобчатыми браслетами, в том числе со спиралевидными и коническими розетками, обломком серпа. В качестве специфических изделий очага можно рассматривать ножи с орнаментированными рукоятями и пластинчатыми или двулезвийными клинками. Особенностью собрания является обилие разнообразных scrapовых отходов металлопроизводства.

Своеобразие центра определяется тем, что он формировался и развивался на территории, не имевшей условий для скотоводства, а на фоне происходивших здесь ландшафтно-климатических перемен суббореального периода утратившей также к началу II тыс. до н.э. возможности для продуктивной охоты и рыболовства. Не исключено, что ограниченность пищевых ресурсов способствовала формированию среды, благоприятной для взаимовыгодных контактов со скотоводами сопредельных территорий.

*Алакульский очаг* представлял собой грандиозное по географическому охвату и сложно структурированное с точки зрения территориальной сегментации металлопроизводственных подразделений историко-металлургическое образование. С Уральской ГМО связано функционирование нескольких алакульских ТЦМ. В данной работе использовались результаты анализов металла трех ТЦМ: Ураль-

<sup>7</sup> Там же. С. 34–50.

<sup>8</sup> Корочкова О. Н., Стефанов В. И., Спиридонов И. А. Святилище первых металлургов Среднего Урала. Екатеринбург, 2020.

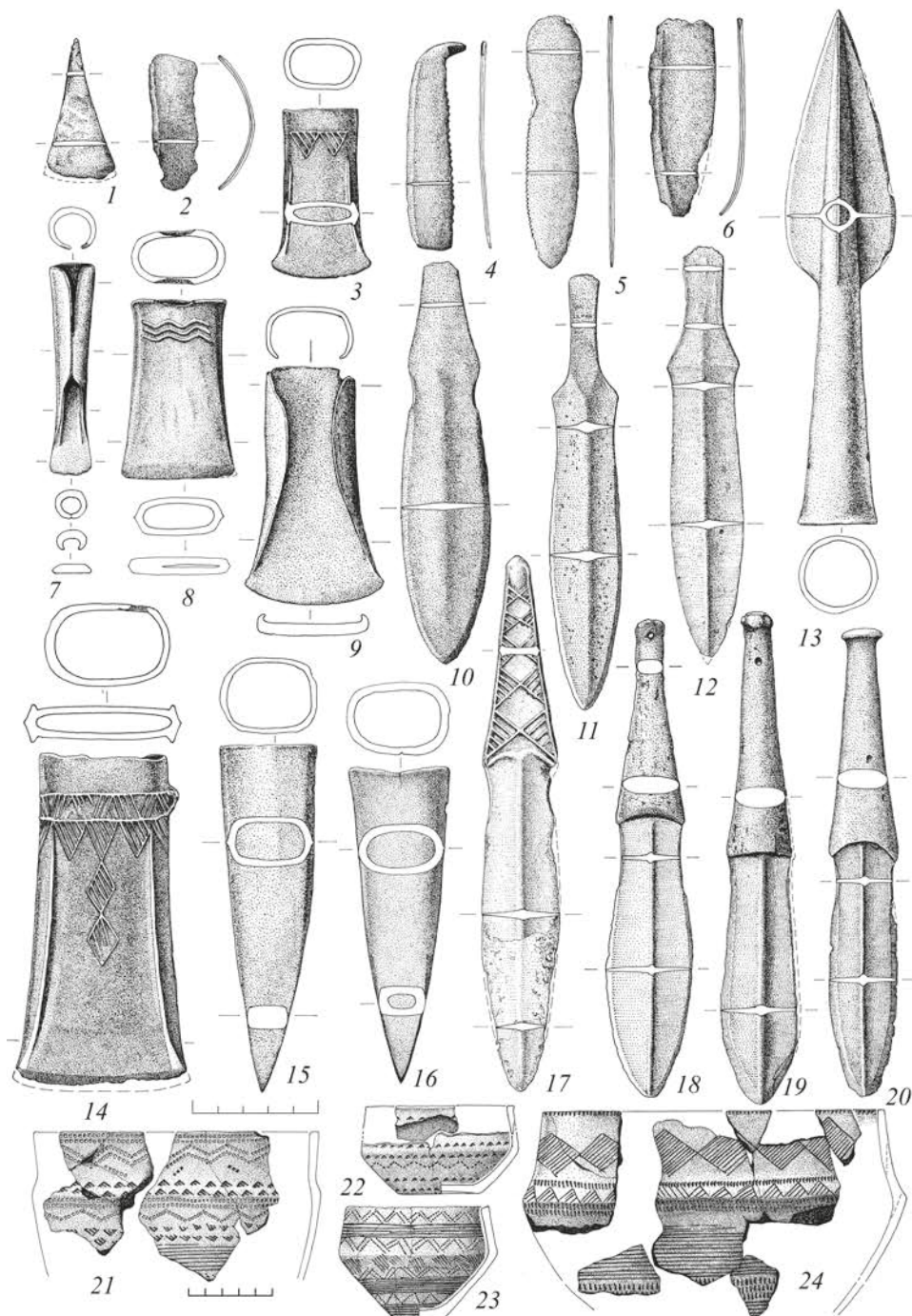


Рис. 4. Коптяковско-сейминский очаг металлопроизводства (материалы святилища Шайтанское Озеро II): 1-20 — металл, 21-24 — керамика (по: Корочкова О.Н., Стефанов В.И., Спиридонов И.А. Святилище первых металлургов Среднего Урала. С. 53-54, 57, 61, 65, 67, 71, 106-108)



ско-Мугоджарского, Причелябинского и Среднетобольского. Первые два являлись металлургическими, а в лесостепном Притоболье, лишенном собственной минерально-сырьевой базы, может быть выделен Среднетобольский территориальный центр металлообработки.

*Уральско-Мугоджарский ТЦМ* связан с металлопроизводственной деятельностью кожумбердынской культурной группы алакульской линии развития. Проанализированы образцы 14 репрезентативных предметов (табл.) из памятников, локализующихся в северной части Уральско-Мугоджарского ГМЦ (рис. 1: 21, 23, 25–26): кельт-тесло с кованой сквозной втулкой, два ножа, крючок, шило, обойма и накладка на венчик деревянного сосуда из могильника Нагорный на правом берегу р. Орь (левый приток Урала) в черте г. Орска (рис. 5: 1–5, 7, 10); три ножа (рис. 5: 6, 11–12), найденные в подкурганных захоронениях могильника Четыре Мара, расположенного на краю возвышенности левого берега р. Кумак<sup>9</sup>; три предмета, обнаруженные в бассейне р. Камсак в Еленовско-Ушкатинском археологическом микрорайоне, приуроченном к рудникам Еленовский, Ушкатинский, Летнее, Осеннее: массивный однолезвийный нож (рис. 5: 9), происходящий из сборов на поселении Ушката (селище 56) на правом берегу одноименной реки, а также однолезвийный нож и крючок (рис. 5: 8, 13) из культурного слоя поселения Байту (селище 15) на правом берегу р. Киимбай<sup>10</sup>.

*Причелябинский ТЦМ* охватывает лесостепные районы и южную кромку зоны лиственных лесов в бассейне р. Миасс (рис. 1: 13–15). Алакульские памятники этой территории демонстрируют контакты с носителями федоровской культурной традиции, в некоторых случаях образуют синкретические комплексы, подобно могильнику Урефты I около г. Челябинска<sup>11</sup>. Проанализированы два образца ножей (рис. 6: 5–6) из федоровских комплексов указанного памятника.

Проанализировано также 13 образцов предметов поселения Коркино I<sup>12</sup> возле г. Коркино Челябинской области. Серию составили топоры, штырь, наконечники копий и стрел, ножи, кельт с пещеркой (рис. 6: 1–14, 7–9). Установлено два основных периода функционирования поселения — алакульско-федоровский и черкаскульский. На поселении, уничтоженном пожаром, раскопаны котлованы шести жилищ, зольники, колодцы, теплотехнические сооружения, связанные с металлопроизводством. В слое обнаружены останки примерно 10 человек, в том числе обезглавленные и с пробитыми черепами. Перечисленные объекты и сильно корродированные металлические изделия, включающие наконечники копий, кельт-тесло, широковислообушные топоры, наконечники стрел, шилья, стержни и многочисленные обломки иных предметов, связаны с алакульским периодом.

<sup>9</sup> Заседателева С. Н., Ткачев В. В. Новые материалы бронзового века из Восточного Оренбуржья // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала. Орск, 2000. С. 127–129, рис. 3–4.

<sup>10</sup> Ткачев В. В. Формирование культурного ландшафта Уральско-Мугоджарского региона в позднем бронзовом веке: освоение меднорудных ресурсов и стратегия адаптации к условиям горно-степной экосистемы // Stratum Plus. Археология и культурная антропология. 2017. № 2. С. 210, рис. 2, 60, 71–72.

<sup>11</sup> Стефанов В. И., Корочкова О. Н. Урефты I: зауральский памятник в андроновском контексте. Екатеринбург, 2006.

<sup>12</sup> Чемякин Ю. П. Коркино I // Уральская историческая энциклопедия. Екатеринбург, 2000. С. 281–282.





Рис. 5. Алакульский очаг металлопроизводства. Уральско-Мугоджарский территориальный центр: 2, 5, 10, 15, 17, 19 — могильник Нагорный, погребение 1; 1, 4, 7 — могильник Нагорный, погребение 2; 3 — могильник Нагорный, погребение 4; 6, 11, 18 — могильник Четыре Мара, курган 11, погребение 1; 12, 14, 16 — могильник Четыре Мара, курган 11, погребение 2 (по: Заседателева С. Н., Ткачев В. В. Новые материалы бронзового века из Восточного Оренбуржья. С. 136–137); 8, 13 — поселение Байту (селище 15); 9 — поселение Ушкатта (селище 56) (по: Ткачев В. В. Формирование культурного ландшафта... С. 210). 1–13 — металл, 14–19 — керамика

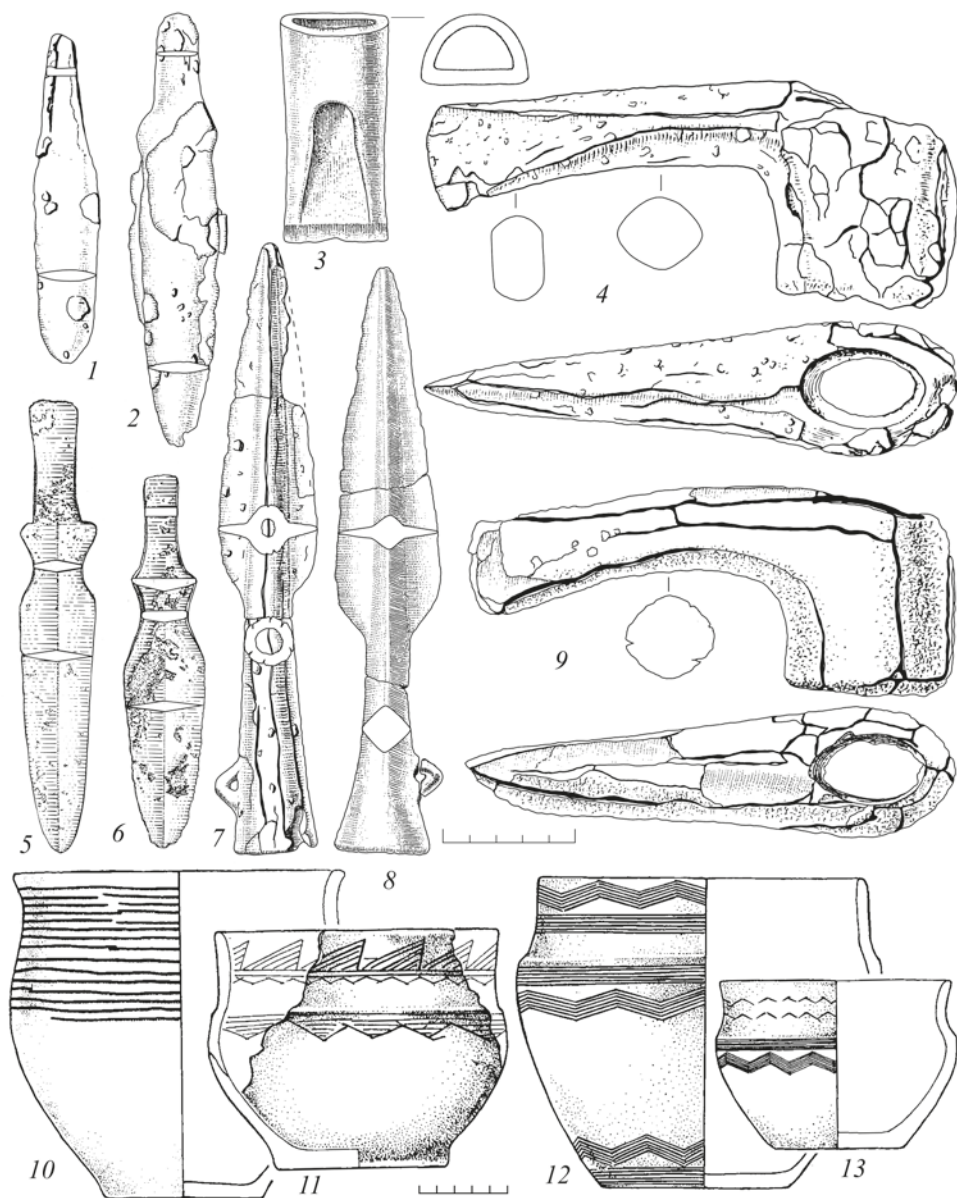


Рис. 6. Алакульский очаг металлопроизводства. Причелябинский территориальный центр: 1–4, 7–9 — поселение Коркино (по: *Челякин Ю. П.* Коркино I. С. 30), 5–6, 10–13 — могильник Урефты I (по: *Стефанов В. И., Корочкова О. Н.* Урефты I. С. 7, 9–14, 21, 37, 54). 1–9 — металл, 10–13 — керамика

*Среднетобольский ТЦМ* локализуется в лесостепном Притоболье. В этом районе отсутствуют собственные меднорудные источники, поэтому Среднетобольский центр относится к категории металлообрабатывающих. Между тем на поселениях Ук III, Дуванское V, ЮАО VI, Камышное II (рис. 1: 1–3, 10) получена представительная серия металлических предметов. Проанализировано 10 изделий из поселения

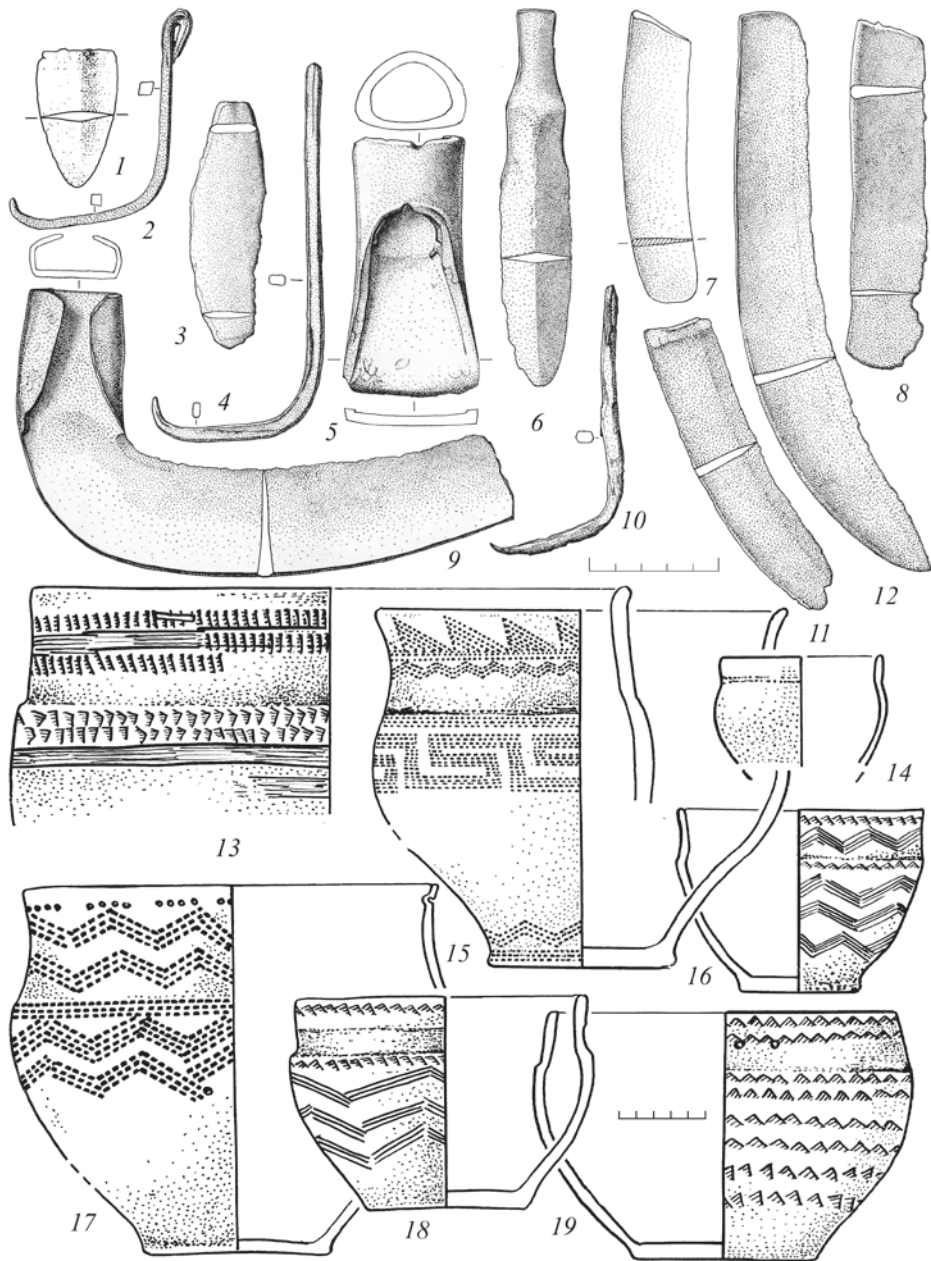


Рис. 7. Алакульский очаг металлопроизводства. Среднетобольский территориальный центр: 1 — поселение Дуванское V; 2-6, 8-12 — поселение Ук III; 7 — поселение ЮАО VI. 1-12 — металл, 13-19 — керамика (по: Стефанов В. И., Корочкова О. Н. Андроновские древности Тюменского Приоболья. С. 16, 31, 38)



Ук III<sup>13</sup> и по одному из остальных памятников. Ук III в окрестностях г. Заводоуковска — один из самых северных памятников алакульской культуры поздней фазы развития. Металлические предметы обнаружены в надежном культурно-хронологическом контексте — жилищах 3, 4, 5в. Среди них — кельт с «пещеркой», серпы, в том числе один серп с несомкнутой втулкой, двулезвийный нож с намечающимся перекрестием и выделенным черенком, ножи, сделанные из обломков серпов, крупные крюки, игла и обломок желобчатого браслета (рис. 7: 2–6, 8–12). Во всех постройках найдены металлообрабатывающие каменные орудия: молотки для разгонки иковки горячего металла, инструмент для раскатки листового металла. В жилище 5в обнаружены глиняные обломки форм для отливки брусков или стержней и крышка с плоской стороной.

Еще два предмета, поступившие на анализ, происходят из памятников эпохи бронзы на Андреевском озере близ г. Тюмень. Обломок ножа (серпа?) (рис. 7: 7) связан с комплексом ЮАО VI. Керамика сочетает признаки коптяковской и алакульской культур. Фрагмент двулезвийного ножа из слоя поселения Дуванское V (рис. 7: 1) литологически связан с алакульской керамикой<sup>14</sup>.

Завершая обзор источников, отметим, что с целью верификации нашего предположения об универсальности использовавшихся в бронзовом веке меднорудных материалов и технологических алгоритмов многоступенчатого пирометаллургического передела проведены анализы кельта и трех ножей, условно отнесенных к категории неопределенных. Все они характеризуют заключительную стадию бронзового века в Южном Зауралье и Уральско-Мугоджарском регионе (рис. 1: 12, 16, 20, 24; табл.). Отдельно нужно указать, что нами дополнительно проанализированы 30 фоновых образцов металлических предметов иткульской культуры раннего железного века, ориентированной на те же сырьевые источники, что носители коптяковско-сейминских традиций. Результаты этих археометрических измерений мы планируем представить в отдельной статье.

## Обсуждение

Корреляция культурно-исторических, морфологических и геохимических характеристик анализируемого металла позволяет перейти к обсуждению общих и особенных признаков отдельных очагов металлопроизводства бронзового века восточного фланга Уральской ГМО. В целом характер многоступенчатого пирометаллургического передела сульфидно-кремнекарбонатных руд на интересующей нас территории соответствует технологическим алгоритмам пастушеской модели металлопроизводства, реализуемой в эпоху бронзы на обширных пространствах Северной Евразии<sup>15</sup>. Геохимические параметры проанализированного металла абашевской культуры демонстрируют близость стандартному распределению элементов в изделиях абашевского очага (см. табл.). Древние металлурги Серного

<sup>13</sup> Стефанов В. И., Корочкова О. Н. Андроновские древности Тюменского Притоболья. Екатеринбург, 2000. С. 26–44.

<sup>14</sup> Там же. С. 11–23.

<sup>15</sup> Богданов С. В. Технологические алгоритмы пастушеской модели металлопроизводства бронзового века степных регионов Северной Евразии // Уральский исторический вестник. 2020. № 4 (69). С. 6–14.



**Химический состав, %, металла бронзового века Уральской ГМО по данным микрозондового анализа**

№ п/п	№ р-сун-ка	Шифр лаборатории	Наименование предмета	Место находки	Шифр музея или полевой описи	S	Cu	Fe	As	Pb	Sn	Sb	Ag	Ni	Si	Total	
																	Абашевская культура
1	2: 7	22-3555	Слиток	Поселение Серный Ключ	2436/3979	0,016	98,78	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	98,86
2	-	22-3556	Шило	Поселение Серный Ключ	б/н	0,037	96,35	н.о.	0,14	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	96,38
3	-	22-3557	Изделие неопределенного назначения	Поселение Серный Ключ	2436/7959	0,031	96,48	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	96,55
4	-	22-3558	Сплеск	Поселение Серный Ключ	2436/846	0,063	98,88	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,18	97,12
5	2: 6	22-3607	Топор	Случайная находка, Южный Урал	б/н	0,054	98,29	н.о.	0,34	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	97,05
						0,052	98,67	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,21	98,69
						0,009	99,01	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,02
						0,033	98,91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	98,97
<b>Синташтинская культура</b>																	
1	3: 9	22-3523	Нож	Случайная находка, Кваркенский район Оренбургской области	Ик 16002/4	0,049	94,49	0,25	4,36	0,58	н.о.	н.о.	н.о.	0,23	н.о.	99,96	
2	3: 18	22-3524	Скоба для ремонта сосуда	Мотильник Новокумакский, к. 25, п. 8	Ик 7893/12	0,015	94,48	0,25	2,9	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,22	0,03	97,90	
3	3: 10	22-3606	Топор	Мотильник Синташтинский (СМ), п. 39	б/н	0,015	98,26	0,49	0,38	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,15	0,03	99,33	
4	3: 5	22-3608	Нож	Мотильник Синташтинский (СМ), п. 2	793/31	1,810	96,88	0,79	0,46	н.о.	н.о.	н.о.	0,18	0,07	0,03	100,22	
						0,018	97,11	0,09	2,08	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,21	н.о.	99,51	
						0,013	95,7	0,05	2,73	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,23	н.о.	98,72	
						н.о.	93	н.о.	0,54	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,07	0,03	98,66	
						н.о.	94,5	н.о.	0,51	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,16	

5	3: 6	22-3609	Нож	Могильник Синташтинский (СМ), п. 2	793/48	0,010	93,8	н.о.	0,54	н.о.	4,49	н.о.	0,21	н.о.	0,03	99,08
6	3: 1	22-3610	Крюк	Могильник Синташтинский (СМ), п. 2	793/30	н.о.	94,69	н.о.	0,47	н.о.	5,03	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	100,22
7	3: 3	22-3611	Крюк	Могильник Синташтинский (СМ), п. 2	793/33	0,009	99	н.о.	0,41	н.о.	н.о.	н.о.	0,17	н.о.	н.о.	99,59
8	3: 7	22-3612	Штырь	Могильник Синташтинский (СМ), п. 24	938/1964	0,023	96,6	н.о.	2,11	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,06
9	-	22-3613	Крюк	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,052	98,66	н.о.	0,37	н.о.	н.о.	н.о.	0,22	н.о.	0,03	99,59
10	3: 4	22-3614	Нож	Могильник Синташтинский (СМ), п. 18	938/1998	0,019	97,86	н.о.	0,24	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	98,44
11	-	22-3615	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	794/1014	н.о.	100,14	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,14
12	-	22-3616	Фрагмент ножа	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	н.о.	99,54	н.о.	0,04	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,83
13	-	22-3617	Шило	Поселение Синташтинское (СП)	794/1028	0,080	99,73	н.о.	0,22	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,12
14	-	22-3618	Фрагмент штыря	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,009	99,1	н.о.	0,06	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	100,86
15	-	22-3619	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,310	99,36	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,37
16	-	22-3620	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,869	99,38	н.о.	0,45	н.о.	н.о.	н.о.	0,19	н.о.	0,03	101,25
						0,033	100,53	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,44
								н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,56

№ п/п	№ р-сун-ка	Шифр лаборатории	Наименование предмета	Место находки	Шифр музея или полевой описи	S	Cu	Fe	As	Pb	Sn	Sb	Ag	Ni	Si	Total	
17	-	22-3621	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,051 0,056	98,43 96,75	1,43 1,37	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	99,91 98,18	
18	-	22-3622	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,030 0,025	99,47 100,09	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,03	99,50 100,15	
19	-	22-3623	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,016 0,031	99,6 100,36	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	99,62 100,39
20	-	22-3624	Фрагмент ножа	Поселение Синташтинское (СП)	945/1174	0,041 н.о.	84,67 84,87	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	84,71 84,87
21	-	22-3625	Фрагмент шила	Поселение Синташтинское (СП)	945/1180	0,062 0,052	53,95 53,98	н.о. 0,06	0,85 0,31	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,04	54,89 54,44	
22	-	22-3626	Сплеск	Поселение Синташтинское (СП)	б/н	0,790 0,011	86,85 84,59	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	87,67 84,60	
23	3: 8	22-3627	Слиток	Поселение Синташтинское (СП)	945/1173	н.о. 0,042	98,34 98,1	0,28 0,34	0,25 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	98,90 98,48	
24	-	22-3628	Шило	Поселение Синташтинское (СП)	945/1181	0,051 0,320	95,41 94,84	0,11 0,1	4,19 4,66	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,18 0,16	н.о. 0,03	99,94 100,11	
25	-	22-3629	Шило	Поселение Синташтинское (СП)	945/1169	0,280 0,167	95,71 95,33	0,13 0,18	2,9 3,97	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,2 0,21	0,03 н.о.	99,25 99,86	
26	-	22-3630	Тесло	Поселение Синташтинское (СП)	945/1170	0,051 н.о.	97,66 97,9	1,8 1,44	0,52 0,79	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,12 н.о.	0 0,03	100,15 100,16	

27	-	22-3631	Шило	Поселение Синташтинское (С I)	945/1171	0,592	94,43	0,43	2,49	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,1	0,03	98,07
28	3: 2	22-3632	Нож	Могильник Синташтинский III (С III)	19/791	0,013	99,39	0,05	0,35	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,08	н.о.	99,88
						н.о.	98,48	0,09	0,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	н.о.	99,10
<b>Коптяковская культура</b>																			
1	4: 17	22-3585	Кинжал	Шайтанское Озеро II	б/н	0,048	88,11	н.о.	н.о.	0,19	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,98
						0,063	86,66	н.о.	н.о.	0,18	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,99
2	4: 18	22-3586	Кинжал	Шайтанское Озеро II	б/н	0,062	98,84	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,34
						0,019	99,47	н.о.	0,11	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,96
3	4: 20	22-3587	Кинжал	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о.	98,72	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,04	99,30
						0,041	96,3	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	97,35
4	4: 10	22-3588	Нож	Шайтанское Озеро II	б/н	0,174	92,49	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,65
						н.о.	93,22	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,11
5	4: 11	22-3589	Нож	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о.	91	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,93
						н.о.	91,34	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,50
6	4: 4	22-3590	Нож-пилка	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о.	97,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,49
						н.о.	98,18	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	100,32
7	4: 6	22-3591	Нож-скобель	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о.	97,46	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,04	99,37
						0,092	95,42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	99,03
8	4: 5	22-3592	Нож-пилка	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о.	89,95	н.о.	0,25	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,94
						0,034	87,79	н.о.	0,34	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	100,56
9	-	22-3593	Крюк	Шайтанское Озеро II	б/н	0,018	99,56	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,68
						0,042	100,16	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100,27
10	4: 13	22-3594	Наконечник копья	Шайтанское Озеро II	б/н	0,074	82,44	0,09	0,16	0,12	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	101,20
						0,160	85,41	0,09	н.о.	0,3	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,08	н.о.	100,67



№ п/п	№ р-сун-ка	Шифр лаборатории	Наименование предмета	Место находки	Шифр музея или полевой описи	S	Cu	Fe	As	Pb	Sn	Sb	Ag	Ni	Si	Total
11	4: 14	22-3595	Кельг	Шайтанское Озеро II	б/н	0,250 0,300	93,22 92,59	0,07 0,04	н.о. н.о.	0,2 0,25	6,87 6,5	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	100,65 99,82
12	4: 15	22-3596	Чекан	Шайтанское Озеро II	б/н	0,010 0,033	97,56 98,3	0,1 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,71 0,3	н.о. н.о.	0,2 н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	98,66 98,93
13	4: 16	22-3597	Чекан	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. 0,012	98,09 98,61	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,84 0,11	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,04 0,04	99,09 99,01
14	4: 7	22-3598	Долото	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. н.о.	89,46 89,34	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,17 0,22	10,53 10,38	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,03	100,24 100,03
15	4: 19	22-3599	Кинжал	Шайтанское Озеро II	б/н	0,035 0,022	97,95 98,25	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,03	98,08 98,41
16	4: 12	22-3600	Кинжал	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. н.о.	85,56 84,8	0,05 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	14,63 15,57	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,05	100,41 100,48
17	4: 1	22-3601	Тесло	Шайтанское Озеро II	б/н	0,009 0,031	93,95 93,84	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	4,6 4,69	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,04	98,78 98,78
18	4: 9	22-3602	Кельг-гесло	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. 0,043	92,75 95,18	0,28 0,33	0,43 0,14	н.о. н.о.	5,84 2,54	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	99,43 98,27
19	4: 8	22-3603	Кельг	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. 0,016	91,24 96,29	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	9,61 3,16	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,03	101,07 99,67
20	4: 3	22-3604	Кельг	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. н.о.	91,18 85,98	н.о. н.о.	0,13 н.о.	н.о. н.о.	8,24 13,72	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,07	99,74 100,00
21	4: 2	22-3605	Нож-скобель	Шайтанское Озеро II	б/н	н.о. н.о.	91,69 91,76	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,16 0,13	7,47 6,83	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,04	99,49 98,81

Алакульская культура																	
1	5: 7	22-3507	Нож	Могильник Нагорный, п. 1	Ик 16131/23	0,018	99,58	0,05	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,65
2	5: 7	22-3508	Крючок	Могильник Нагорный, п. 4	Ик 16131/42	0,082	98,14	0,36	0,43	н.о.	н.о.	0,14	н.о.	н.о.	0,18	н.о.	99,33
3	-	22-3509	Трубка	Могильник Нагорный, п. 2	Ик 16131/26	0,094	99,25	0,08	0,1	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,55
4	-	22-3510	Трубка	Могильник Нагорный, п. 2	Ик 16131/25	н.о.	99,11	0,05	0,11	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,30
5	5: 1	22-3511	Кельг-гесло	Могильник Нагорный, п.2	Ик 16131/27	н.о.	97,74	0,2	0,4	н.о.	н.о.	0,12	н.о.	н.о.	0,84	н.о.	99,30
6	5: 10	22-3512	Нож	Могильник Нагорный, п. 2	Ик 16131/28	н.о.	96,15	0,13	1,82	н.о.	н.о.	0,25	н.о.	н.о.	0,57	н.о.	99,35
7	5: 4	22-3513	Шило	Могильник Нагорный, п. 2	Ик 16131/29	0,162	96,29	0,45	2,36	н.о.	н.о.	0,11	н.о.	н.о.	0,19	н.о.	99,56
8	5: 5	22-3514	Накладка на деревянный сосуд	Могильник Нагорный, п. 1	Ик 16131/13	0,220	95,9	0,74	2,29	н.о.	н.о.	0,16	н.о.	н.о.	0,17	0,03	99,51
9	5: 2	22-3515	Скоба	Могильник Нагорный, п. 1	Ик 16131/2	0,082	98,68	0,07	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	98,83
10	5: 9	22-3516	Нож	Поселение Ушкатта (селище 56)	Ик 5219/114	н.о.	99,09	0,08	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,17
11	5: 13	22-3517	Нож	Поселение Байту (селище 15)	Ик 5219/88	0,009	97,83	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	97,84
12	5: 6	22-3520	Нож	Могильник Четыре Мара, группа 2, к. 11, п. 1	Вр/хр 890/5	н.о.	99,72	0,05	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,80
					Ик 16131/2	0,112	98,59	0,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,17
					Ик 5219/114	0,018	98,69	0,47	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,18
					Ик 5219/88	н.о.	99,81	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,84
					Ик 5219/88	0,010	99,43	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,44
					Ик 5219/88	0,036	99,73	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,84
					Ик 5219/88	0,023	98,79	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	98,88
					Ик 5219/88	0,112	95,72	0,13	1,77	н.о.	н.о.	0,16	н.о.	н.о.	0,21	н.о.	98,10
					Ик 5219/88	0,090	97,29	0,1	1,69	н.о.	н.о.	0,23	н.о.	н.о.	0,23	н.о.	99,63

№ п/п	№ рисунка	Шифр лаборатории	Наименование предмета	Место находки	Шифр музея или полевой описи	S	Cu	Fe	As	Pb	Sn	Sb	Ag	Ni	Si	Total
13	5: 11	22-3521	Нож	Могильник Четыре Мара, группа 2, к. 11, п. 1	Вр/хр 890/10	0,081 0,010	97,3 97,94	0,16 0,18	0,31 0,37	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,89 0,86	0,2 0,16	0,11 0,11	н.о. 0,03	99,05 99,66
14	5: 12	22-3522	Нож	Могильник Четыре Мара, группа 2, к. 11, п. 2	Вр/хр 890/6	н.о. 0,012	91,25 88,5	0,08 0,08	1,76 2,33	н.о. н.о.	6,83 9,15	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,41 0,5	н.о. н.о.	100,33 100,57
15	-	22-3559	Наконечник стрелы	Поселение Коркино I	б/н	0,100 0,042	54,89 79,92	н.о. 0,04	н.о. н.о.	0,2 0,15	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,08 0,09	55,56 80,24
16	-	22-3560	Нож	Поселение Коркино I	1508/5910	н.о. н.о.	98,22 83,4	н.о. н.о.	0,12 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,19 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	98,53 83,40
17	-	22-3561	Наконечник стрелы	Поселение Коркино I	б/н	0,073 0,080	77,81 69,27	н.о. н.о.	н.о. 0,25	н.о. 0,21	1,7 9,15	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,04 0,28	79,62 79,24
18	6: 1	22-3562	Нож	Поселение Коркино I	б/н	н.о. н.о.	90,19 89,63	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	9,71 10,36	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	99,93 99,99
19	6: 2	22-3563	Нож	Поселение Коркино I	б/н	0,041 н.о.	87,81 87,88	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	12,77 12,82	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	100,65 100,70
20	-	22-3564	Штырь	Поселение Коркино I	б/н	0,052 0,110	80,75 67,32	0,06 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	3,55 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,09 0,03	84,50 67,46
21	6: 7	22-3565	Наконечник копья	Поселение Коркино I	б/н	н.о. н.о.	91,48 89,89	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	8,57 9,99	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,06 н.о.	100,11 99,88
22	6: 8	22-3566	Наконечник копья	Поселение Коркино I	б/н	н.о. н.о.	88,21 89,91	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	12,53 10,29	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,04 н.о.	100,78 100,20

23	6: 3	22-3567	Кельт с пещеркой	Поселение Коркино I	б/н	0,013	90,65	н.о.	н.о.	0,13	9,75	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	100,57
24	6: 9	22-3568	Топор	Поселение Коркино I	б/н	0,040	89,14	н.о.	н.о.	0,17	10,61	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,99
25	6: 4	22-3569	Топор	Поселение Коркино I	б/н	0,160	90,24	н.о.	н.о.	н.о.	8,56	н.о.	н.о.	н.о.	0,05	99,01
26	-	22-3570	Серп	Поселение Камбулаг I	965/957	н.о.	98,22	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,04	100,04
27	-	22-3571	Серп	Поселение Камбулаг I	965/956	н.о.	98,29	н.о.	н.о.	0,77	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,05	100,24
28	-	22-3575	Нож	Могильник Урефты I	б/н	н.о.	93,68	н.о.	н.о.	н.о.	5,41	н.о.	0,22	н.о.	0,05	99,36
29	-	22-3576	Нож	Могильник Урефты I	б/н	0,043	94,16	н.о.	н.о.	н.о.	4,67	н.о.	н.о.	н.о.	0,04	98,91
30	-	22-3574	Нож	Поселение Мирный	б/н	н.о.	86,18	н.о.	н.о.	н.о.	13,91	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	98,97
31	7: 10	22-3544	Слиток	Поселение Ук III	1260/1092	н.о.	89,42	н.о.	н.о.	н.о.	10,49	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,94
32	7: 2	22-3545	Крюк	Поселение Ук III	1260/1731	н.о.	96,42	н.о.	1,95	н.о.	н.о.	0,48	0,19	н.о.	0,04	99,08
33	7: 11	22-3546	Серп	Поселение Ук III	1260/1090	н.о.	98,49	н.о.	0,26	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,26
34	7: 8	22-3547	Нож	Поселение Ук III	1260/1093	н.о.	96,95	н.о.	0,14	н.о.	1,41	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	98,50
						н.о.	97,54	н.о.	0,2	н.о.	1,33	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,10
						0,170	97,84	0,33	0,3	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	98,67
						0,122	98,63	0,39	0,32	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,49
						н.о.	99,6	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99,60
						н.о.	99,52	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03	99,55



№ п/п	№ р-сун-ка	Шифр лаборатории	Наименование предмета	Место находки	Шифр музея или полевой описи	S	Cu	Fe	As	Pb	Sn	Sb	Ag	Ni	Si	Total
35	7: 3	22-3548	Нож	Поселение Ук III	1260а/2	н.о. н.о.	98,17 98,74	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,04	98,20 98,78
36	7: 6	22-3549	Нож	Поселение Ук III	1260/1685	н.о. н.о.	90,19 91,74	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	10,4 7,99	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 0,04	100,62 99,77
37	7: 12	22-3550	Серп	Поселение Ук III	1260/1091	н.о. 0,041	98,06 98,45	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,99 1,16	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	99,05 99,65
38	7: 9	22-3551	Серп со втулкой	Поселение Ук III	1260/1687	н.о. н.о.	95,53 93,89	н.о. н.о.	0,59 0,88	н.о. 0,15	3,04 4,76	0,12 0,18	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,03 н.о.	99,31 99,86
39	7: 5	22-3552	Кельт	Поселение Ук III	1260а/1	н.о. н.о.	93,54 94,37	н.о. н.о.	0,1 0,09	н.о. н.о.	6,51 4,42	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	100,15 98,88
40	7: 4	22-3553	Крюк	Поселение Ук III	б/н	н.о. н.о.	97,86 98,22	н.о. н.о.	0,34 0,29	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,13 н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,03	98,33 98,54
41	-	22-3573	Долото	Поселение Камышное II	1156/426	н.о. н.о.	90,9 87,72	н.о. н.о.	0,1 0,13	н.о. н.о.	7,87 12,04	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,04 0,05	98,91 99,94
42	7: 1	22-3577	Фрагмент ножа	Поселение Дуванское V	755/2052	н.о. н.о.	85,34 85,58	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	16,29 12,57	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	0,05 0,05	101,68 98,20
43	7: 7	22-3578	Серп	Поселение ЮАО VI	808/1961	0,189 0,080	98,34 97,99	0,24 0,35	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. н.о.	н.о. 0,03	98,77 98,45
<b>Неопределенные</b>																
1	-	22-3572	Нож	Поселение Березки V	1926/208	0,009 н.о.	96,68 89,23	н.о. 0,04	н.о. 0,21	н.о. 0,82	3,25 9,79	н.о. н.о.	н.о. 0,2	н.о. н.о.	0,04 н.о.	99,98 100,29
						0,032	95,28	н.о.	н.о.	н.о.	0,6	н.о.	н.о.	н.о.	0,06	95,97



Ключа в отличие от западных филиаций абашевской культуры использовали, по всей видимости, сульфидно-кремнекарбонатные смеси местных рудопоявлений, обогащенные в разной степени мышьяком и железом. Сера на уровне сотых процента присутствует во всех образцах, что характерно для меди, рафинированной (очищенной переплавлением) не менее трех или четырех раз.

Серия из 28 образцов синташтинской коллекции включает слитки рафинированной меди, сплески, заготовки орудий и законченные предметы. По составу примесей она близка металлу других синташтинских памятников. Металлурги использовали оловянные лигатуры того же химизма, что и носители сейминско-турбинских металлургических традиций<sup>16</sup>, но предметы, легированные оловом, очень редки. Не исключено, что к металлургам синташтинской культуры периодически поступали готовые сейминские орудия или их скрапы. В составе металла синташтинской культуры наблюдается отчетливая корреляция между никелем и мышьяком, тогда как в сейминско-турбинских изделиях существует более определенная взаимозависимость распределения железа и мышьяка. Исходные руды различного состава в ходе пирометаллургического передела давали три варианта черновой меди: мышьяковистую железистую (от 0,1 до 1,5 % As; от 0,1 до 0,7 % Fe), железистую (от 0,1 до 0,5–0,7 % Fe) и серебристую (около 0,1–0,2 % Ag). В Зауралье имеется большая группа месторождений меди с довольно высокими естественными примесями мышьяка и никеля: Ишкинино, Дергамыш, Ивановка, Таш-Казган и др. Эти примеси поступали в медь не столько с никелином, сколько с пентландитом, кобальтином и другими минералами. При этом в проанализированной серии, как и в других материалах синташтинской культуры, наиболее высокие значения концентрации мышьяка (от 2 до 5 %) наблюдаются не в слитках рафинированной меди или полуфабрикатах, а в готовых изделиях. Указанное обстоятельство может быть связано с целенаправленным легированием мышьяковистой, железистой и серебристой меди никелином (NiAs), широко использовавшимся на Северном Кавказе с раннего бронзового века<sup>17</sup>, либо с накоплением соответствующих примесей при многократном переплавлении в тиглях, поскольку часть меди в купритной фазе может теряться, а концентрация неметаллических и полуметаллических примесей, включая мышьяк, может нарастать. По всей видимости, объективных критериев определения пороговых значений естественного или искусственного (лигатурного) происхождения мышьяка в металле не существует. Решение проблемы осложняется не только наличием колоссального количества месторождений медно-мышьяковых и медно-мышьяково-никелевых минеральных ассоциаций, но и вариативностью действий древних металлургов, обладавших возможностью по необходимости повышать (лигатурами) или понижать (добавлением меди) концентрацию мышьяка в растворах для изготовления определенных категорий изделий.

В металле большинства предметов установлено наличие серы в заметных концентрациях — до 1,8 %. Первым присутствие серы в химическом составе синташтинского металла в проанализированных предметах (21 образец) отметил

<sup>16</sup> Черных Е. Н., Кузьминых С. В. Древняя металлургия Северной Азии. М., 1989. С. 279–305.

<sup>17</sup> Рындина Н. В., Равич. И. Г. Металл майкопской культуры Северного Кавказа в свете аналитических исследований. М., 2019. С. 12–51.

А. Ф. Бушмакин<sup>18</sup>. Не вызывает сомнения, что горняки-металлурги синташтинской культуры, как и других культурных образований эпохи бронзы Северной Евразии, использовали сульфидно-кремнекарбонатные руды в качестве исходного сырья.

Металл коптяковской культуры (21 образец) демонстрирует высокую степень близости с изделиями из памятников иткульской культуры раннего железного века, распространенных в том же ареале (рис. 1), но отличается намного более высоким удельным весом оловянных лигатур. Оловом легировалось несколько вариантов черновой меди: относительно чистая, слабжелезистая серебристая, реже железисто-мышьяковистая. По содержанию олова в предметах металл ближе к сейминскому, а по примесям, поступавшим с лигатурами, сочетает в себе признаки сейминских и алакульских изделий. В целом ряде предметов помимо естественных примесей зафиксированы следы скрапов оловянистого металла. Сера в первых десятых или сотых долях процента присутствует в большинстве образцов, так же как и в изделиях иткульской культуры.

Серия образцов алакульской культуры наиболее значительна (43 образца) и репрезентативна. Алакульские мастера успешно работали с разными вариантами черновой меди: мышьяковисто-железистой, железистой, «чистой», свинцовистой и серебристой. Часть металла представляет собой скраповую смесь указанных вариантов со следовыми примесями оловянных лигатур. Оловом легировались все указанные варианты меди после рафинирования. В имеющейся подборке около половины предметов легировано оловом, обогащенным микропримесями свинца и других элементов. Только в алакульской выборке имеются высокооловянные лигатуры, близкие к идеальным оловянным бронзам (18% Sn). Не исключено, что источником олова являлись месторождения Казахстана и Средней Азии.

Судя по объемам производства, вариативности состава металла, избирательности легирования предметов оловом, высокому уровню металлургических знаний и умений, в алакульское время от ранней (петровской) фазы до финала культуры происходит взрывной рост производства меди и бронзы, продолжают разрабатываться те же месторождения, что и в синташтинское время, но и осваивается множество новых за пределами Уральской ГМО. Свинцовистая медь в небольших объемах поступала на Урал, вероятно, из Казахстанской ГМО. Еще одной новацией стало формирование устойчивого оловянного трафика в Уральскую ГМО, лишенную собственных источников этого ценного легирующего компонента бронзолитейного производства, из оловорудных районов Казахстанской и Среднеазиатской ГМО.

Интеграция родственных алакульского и срубного очагов, имевших общие корни, привела к формированию единой срубно-алакульской зоны металлопроизводства<sup>19</sup>, соответствующей в историко-культурном отношении блоку культур. При этом в срубном очаге большинство территориальных центров сформировалось в районах, лишенных собственной меднорудной базы. Только в Донецком и Приуральском ГМЦ известны срубные ТЦМ полного цикла, но в обоих отсутствуют собственные источники оловянного сырья. Этот факт недвусмысленно ука-

<sup>18</sup> Бушмакин А. Ф. Металлические предметы из кургана 25 Большекараганского могильника. С. 141, табл. 4.

<sup>19</sup> Бочкарев В. С. Срубно-алакульская зона металлопроизводства эпохи поздней бронзы // Археология Восточно-Европейской степи. Вып. 10. Саратов, 2013. С. 75–83.



зывает на то, что легирующие компоненты срубные металлурги и литейщики получали от алакульских.

В большинстве образцов алакульской культуры восточного фланга Уральской ГМО присутствует сера в десятых и сотых долях процента. Ее наличие не коррелируется с какими-то отдельными видами черновой меди. Источниками сырья, вероятно, служили различные варианты естественных минеральных смесей на основе вторичных сульфидов меди, сульфидов меди и мышьяка при подчиненном значении сульфидов меди, мышьяка и железа, а также силикатов, оксидов и карбонатов меди.

Для обсуждения тематики нашего исследования важно определиться с пониманием различия двух понятий, обладающих близким звучанием: содержание меди в минералах и среднее (валовое) содержание меди в рудах. Даже исследователи, глубоко погруженные в археометаллургическую проблематику, часто отождествляют их, предполагая, что в древности металлурги использовали некие исключительно богатые «окисленные» и прочие руды с содержанием меди, «близким» к стехиометрическим значениям в минералах<sup>20</sup>, и успешно выплавляли медь по «бесшлаковым технологиям». Широкое внедрение в археологическую практику аналитических методов еще более запутало эту ситуацию.

Добываемые горняками руды всегда представляют собой очень широкую ассоциацию самых разных минералов. Стехиометрическому составу первичного сульфида меди и железа халькопирита ( $\text{CuFeS}_2$ ) соответствуют 34,5% Cu, 30,5% Fe и 34,9% S, но реальное содержание элементов в большинстве медноколчеданных руд Урала и других регионов на порядок ниже. Например, в халькопиритовой руде из кварцевых жил медноколчеданного месторождения «Осеннее» в Восточном Оренбуржье среднее содержание основных элементов следующее: 3–6% Cu, 29% Fe и 25% S. Ничего необычного в столь низких значениях содержания Cu — нет, поскольку в руде халькопирит чаще всего встречается в смесях с пиритом, арсенопиритом, кварцем и десятками других минералов. В наиболее распространенном вторичном сульфиде меди халькозине ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) минеральный состав определяется обычно как 79% Cu, 20% S, 0,4% Fe. Но в халькозиновых рудах содержание меди редко превышает 18–20% за счет природных смесей с хризоколлой, гетитом и лимонитом, а содержание железа составляет до 5–7%. В минеральном составе малахита и азурита Cu определяется на уровне примерно 55–57%, но в рудах зон окисления офиолитовых месторождений содержание Cu варьирует от первых десятых долей процента до 1%, и лишь очень редко за счет прямого окисления сульфидов показатель может достигать 5–6% в наиболее богатых ассоциациях с реликтами борнита и халькозина. Образцы руд с химическим составом, близким минеральному, можно синтезировать из меди, серы, углерода и кислорода только в лабораторных условиях и в лабораторных же количествах.

Если понимать под рудами минеральные ассоциации, обладающие концентрацией полезного компонента, соответствующей технологическим критериям металлопроизводства на конкретном этапе его развития, то термин «руда» обладает отчетливыми геолого-минералогическими, производственно-технологически-

<sup>20</sup> Ермолаева А. С., Русанов И. А. Экспериментальное моделирование металлургических печей поселения Талдысай // Труды Института археологии им А. Х. Маргулана. Т. IV. Алматы, 2022. С. 51, табл. 1.

ми и культурно-историческими аспектами. Не все варианты руд были доступны древним горнякам в равной степени. Достоверных свидетельств разработки относительно глубоких горизонтов медных месторождений, лежащих ниже 25–30 м, не имеется. В бронзовом веке в ряде регионов разрабатывались руды осадочного генезиса с выходами на дневную поверхность по склонам балок, оврагов, террас и т. д., подобно месторождениям Вади Араба, южного борта Бахмутской котловины или Каргалинских рудников в Приуралье, дополненными неглубокими карьерами, шурфами и штреками в рудный горизонт на глубины до 8–10 м.

В Зауралье древние горняки ориентировались в качестве поисковых признаков на следы карбонатов меди в верхних горизонтах зон окисления офиолитовых месторождений, прорубая проходки вплоть до горизонтов массивных халькопиритовых руд. На Ишкининском руднике при проведении геологоразведочных работ в 1940–1942 гг. К. Д. Субботиным на глубинах 20–22 м в шурфах, вскрывающих древние карьеры, были обнаружены обломки сульфидных руд, фрагменты керамических изделий с примитивным «веревочным» орнаментом. В середине 1950-х гг. А. Д. Полуэктовым в Западной рудной зоне этого месторождения разведочным шурфом на глубине 20 м была вскрыта древняя выработка в сульфидизированных породах нижней части зоны вторичного сульфидного обогащения<sup>21</sup>.

Фрагменты блоковых сульфидных построек массивных халькозиновых руд, залегающих в ассоциации с хризоколлой, обнаружены в отвалах древних разработок, на производственной обогатительной площадке между карьерами, а также на близлежащем алакульском поселении Ишкиновка. В шлаках из культурного слоя этого поселения зафиксированы вторичные новообразования штейнового борнита (64 % Cu, 12 % Fe, 23 % S), а также каймы высокомедистых сульфидов халькозиндигенитовой группы (80 % Cu, 1,5 % Fe, 18,4 % S) вокруг капель и королек меди<sup>22</sup>, образующиеся при восстановлении металла из минеральных смесей на основе халькозина и других сульфидов меди.

Технологическим критериям металлопроизводства эпохи бронзы отвечали относительно высокомедистые сульфидно-кремнекарбонатные руды зон вторичного обогащения офиолитовых месторождений восточного фланга Уральской ГМО со средним содержанием Cu от 14 до 30 %. Основу этих смесей, вероятно, составляли сульфиды меди халькозин-дигенитовой группы и ковеллин-джиритового ряда, а также сульфиды меди и мышьяка (теннантит, энаргит и др.) при подчиненном значении сульфидов меди и железа (борнит, халькопирит и др.), силикатов, карбонатов и оксидов меди. В ряде случаев богатые ассоциации вторичных сульфидов меди встречались существенно выше зон вторичного обогащения (цементации) на небольших глубинах в зонах окисления, подобно сажистому ковеллину со средним содержанием Cu выше 20 % в Блявинском месторождении на востоке Оренбуржья<sup>23</sup>. Взгляды авторов данной статьи на металлургическую базу очагов эпохи бронзы в общих чертах совпадают с мнением В. В. Зайкова, последовательно

<sup>21</sup> Зайков В. В., Мелекесцева И. Ю., Артемьев Д. А. и др. Геология и колчеданное оруденение южного фланга Главного Уральского разлома. Миасс, 2009. С. 35.

<sup>22</sup> Зайков В. В., Юминов А. М., Зайкова Е. В., Таиров А. Д. Основы геоархеологии. Челябинск, 2011. С. 153.

<sup>23</sup> Шадлун Т. Н. Минералогия зоны окисления колчеданного месторождения Блява на Южном Урале. М., 1948. (Труды ИГН. Вып. 96. Серия: Рудные месторождения, № 11.)

отстаивавшего идею об активном использовании сульфидов меди в металлургии бронзового века Уральской ГМО<sup>24</sup>.

В бронзовом веке азурит и малахит из зон окисления офиолитовых месторождений и осадочных рудопроявлений медистых песчаников и сланцев с относительно низким содержанием полезного компонента (менее 14 % Cu), по всей видимости, не воспринимались в качестве металлургического сырья, и поэтому после сортировки выбрасывались в отвалы. Вероятно, мы ошибались в оценке назначения так называемых «рудных складов» из отвалов древних карьеров Ишкининского рудника<sup>25</sup> и других памятников горной археологии, содержащих малахит-гетит-лимонитовые смеси (Cu около 6 %), где тонны этих пород выброшены в отвалы и оставлены на обогатительных площадках в качестве выбракованных материалов. Ярко окрашенные азуритом и малахитом сине-зеленые отвалы древних разработок и в наши дни позволяют отличить их от горнотехнических объектов Нового времени. Для последних критериям «руд» отвечали минеральные смеси с содержанием Cu выше 1,5 %. В настоящее время рудой считаются любые минеральные ассоциации с содержанием полезного компонента выше 0,2 %. Таким образом, критерии «медных руд» менялись на протяжении истории металлургии.

Ручная переборка, сортировка добытой руды и обогатительно-декрипитационный пожог кусковых рудных материалов с использованием ям-печей и сложных теплотехнических агрегатов шахтного типа с каналами-дымоходами<sup>26</sup> в древности позволяли обогатить сульфидно-кремнекарбонатные руды с содержанием Cu на уровне 14–20 % до 20–25 % — пограничного уровня концентрации полезного компонента, необходимого для успешного восстановления меди в печах отражательного типа с сегрегацией выплавляемых материалов на шлаковый короб и лепешкообразный слиток черного металла на протяжении одной плавки. При более низком содержании Cu в шихте происходит лишь ее частичное восстановление в виде небольших слитков и корольков, значительная часть остается в шлаках в виде сульфидных, оксидных и прочих новообразований. При концентрации Cu в шихте ниже 8 % она полностью растворяется в шлаках. Следует подчеркнуть, что уровень в 20 % полезного компонента является барьерным значением для успешного восстановления не только меди, но и большинства металлов. Эффективным способом извлечения и восстановления полезного компонента из низкомедистых железистых сульфидных смесей является штейновый передел, но достоверными свидетельствами этого технологического процесса в бронзовом веке Зауралья мы пока не располагаем.

Химизм черновой меди, восстановленной из сульфидно-кремнекарбонатных смесей, полученных из рудных ассоциаций зон вторичного обогащения офиолитовых месторождений разных типов (медно-пирротиновых, порфириновых, скарновых и т. д.), отражает особенности состава исходных руд и помимо S от 0,5 до

---

<sup>24</sup> Зайков В. В., Котляров В. А., Зайкова Е. В. Состав металлических включений в древних шлаках Южного Урала // Труды II Всероссийского археологического съезда в Суздале. Т. 1. М., 2008. С. 400–402.

<sup>25</sup> Зайков В. В., Юминов А. М., Ткачев В. В. Медные рудники, хромитсодержащие медные руды и шлаки Ишкининского археологического микрорайона (Южный Урал) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2012. № 2 (50). С. 41, рис. 5.

<sup>26</sup> Ткачев В. В., Богданов С. В. Назначение печей шахтного типа Западноазиатской металлургической провинции // Уральский исторический вестник. 2022. № 4 (77). С. 41–54.

1,5 % и выше в ней могут содержаться естественные высокие концентрации железа, мышьяка, никеля, кобальта, серебра, свинца, кремния и других элементов. Черновая медь, восстановленная из сульфидно-кремнекарбонатных минеральных смесей осадочных рудопроявлений медистых песчаников и сланцев Приуралья с преобладающим халькозином<sup>27</sup>, отличается более высокой чистотой. Ее состав и физико-химическая природа впервые достоверно описаны В. А. Пазухиным<sup>28</sup>.

В ходе восстановления меди из сульфидно-кремнекарбонатных смесей пиротехническим путем на протяжении одной плавки баланс физико-химических условий достигается не только обеспечением необходимых металлургических температур (1120–1460 °С), восстановительно-окислительных условий в огневой камере, но и наличием восстановителей меди (S, C, O) в самой шихте и печи. При содержании Cu в шихте на уровне 25–30 % оптимальная доля Fe составляет 1–3 %, S — от 3 до 5 % («сульфатная» концентрация), другие необходимые элементы (O, Si, Al, Ca и т. п.) в достаточном объеме присутствуют в составе большинства сульфидно-кремнекарбонатных руд из зон вторичного обогащения офиолитовых месторождений и в осадочных рудопроявлениях.

В печах отражательного типа на протяжении плавки по мере выгорания древесного угля условия последовательно меняются с восстановительных на восстановительно-окислительные и окислительные. Соответственно, при восстановлении меди реализуются три группы физико-химических реакций, позволяющих восстановить медь на уровне около 98 %. На первом этапе в восстановительных условиях медь образуется за счет реакций между оксидами и сульфатами с монооксидом углерода (CO). Одновременно с этим высокомедистые сульфиды (Cu<sub>2</sub>S) вступают в реакции с оксидом железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), формируя штейновый борнит (Cu<sub>4</sub>FeS<sub>3</sub>). На втором этапе в восстановительно-окислительных условиях продолжают указанные процессы, но помимо них медь активно восстанавливается за счет реакции между сульфидами и оксидами меди (Cu<sub>2</sub>S + 2Cu<sub>2</sub>O → 6Cu + SO<sub>2</sub>)<sup>29</sup>, а также по мере распада штейнового борнита на высокомедистый сульфид дигенитового типа, вюстит и диоксид серы. На финальной стадии основная часть меди восстанавливается за счет реакций между сульфидами и оксидами меди, а также путем разложения штейнового борнита при конвертации кислородом. Сульфидные реакции обладают ключевым значением при сегрегационных плавках в печах отражательного типа, поскольку реализуются на протяжении большей части металлургического процесса и позволяют восстановить максимальное количество меди.

Серия экспериментов 2017–2023 гг. с восстановлением меди из сульфидно-кремнекарбонатных смесей позволила авторам статьи выплавить черновую медь в виде лепешкообразных слитков весом от 0,3 до 1,4 кг под шлаковыми коробами с морфологическими и физико-химическими признаками древнего металла. Основные разновидности шлаков — пироксеновые, оливиновые и стекловатые, также соответствуют древним артефактам. Пироксеновые (из низкожелезистого сырья,

<sup>27</sup> Богданов С. В. Специфика рудного протолита в металлургии бронзового века степного Приуралья // Археология Евразийских степей. Казань, 2022. С. 206–217.

<sup>28</sup> Пазухин В. А. Медные слитки из Оренбургского музея // Советская археология. 1969. № 4. С. 239–245.

<sup>29</sup> Killick D. From Ores to Metals // Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses. New York, 2014. P. 38.



менее 3 % Fe) и оливковые шлаки (из высокожелезистого сырья, свыше 3 % Fe) формируются при сегрегационной плавке в нижнем диапазоне восстановительных температур (1120–1260 °С), стекловатые — в верхнем диапазоне (1260–1460 °С). При этом восстановленный металл обогащен серой неравномерно, корольки и капли меди, расположенные непосредственно перед фурмами или в воздухопроводных каналах в шлаках, затекающих силикатной массой в конце плавки, купритизованы, лишены сульфидных фазовых ореолов — капсул ( $\text{Cu}_2\text{S}$  или  $\text{Cu}_4\text{FeS}_3$ ) вокруг медного ядра, тогда как по периферии шлакового короба зафиксированы двух-, трех- и четырехфазовые медно-сульфидные соединения, образованные распадом штейнового борнита. В металле экспериментальных слитков сера также распределена неравномерно.

При дефиците серы или ее отсутствии в шихте восстановление меди активно происходит на начальной стадии плавления шихты, но в дальнейшем оксиды меди интенсивно растворяются в силикатной матрице шлаков, и восстановление меди прекращается на второй стадии. Восстановить медь из десульфурлизованного сырья одним слитком даже при очень высокой концентрации полезного компонента (20–30 % Cu) невозможно, она формируется только в виде купритизованных корольков. За одну плавку можно извлечь до 20–40 % Cu, а в дальнейшем необходимы повторные переплавления шлаков. Из десульфурлизованного сырья образуются губчатые купритные шлаки, не имеющие аналогов в материалах бронзового века. Переизбыток серы тоже опасен. При избыточной концентрации выше одной четвертой по отношению к меди — происходит активная вспышка температуры за счет ее горения, что приводит к спеканию шихты и формированию козловых шлаков, состоящих из делафоссита, куприта, борнита, магнетита и оливина. Вот почему обогатительный пожог сульфидов целесообразен не только для обогащения рудных материалов, но и для достижения оптимальных пропорций элементов и соединений.

Примеси серы, железа, кремния снижают текучесть меди, ее ковкость, способствуют образованию свищей и других дефектов литья. Кроме того, примесь серы в высоких концентрациях (0,3–0,5 % и больше) придает меди хрупкость. В архаичных системах металлопроизводства единственным доступным способом очистить медь от нежелательных примесей являлось ее рафинирующее переплавление. В Новое время медь уральских месторождений рафинировали шесть или семь раз, чтобы получить товарную «штыковую» (в брусках) медь. Древние металлурги, вероятно, рафинировали черновую медь не менее двух или трех раз. Эмпирические данные показывают, что при трехкратном рафинирующем переплавлении содержание железа понижается в три раза, серы — в четыре или пять раз.

Установлено, что оловом легировались различные варианты меди: «чистая», железистая, мышьяковистая, мышьяковисто-железистая, серебристая, свинцовистая. Источники олова в синташтинской и частично коптяковской культурах отличались по химизму от оловянных лигатур алакульской культуры. Обогащение меди оловом и мышьяково-никелевыми соединениями не осуществлялось путем совместной плавки минералов на стадии восстановления меди из рудных материалов, а производилось после рафинирования меди, поскольку максимальные значения As и Sn наблюдаются не в слитках или полуфабрикатах, а в готовых изделиях. Источником мышьяковых лигатур могли быть никелин либо иные соединения мы-

шьяка и никеля. Не исключено, что в абашевском, а затем и синташтинском очагах устойчивое использование медно-мышьяковых соединений обусловлено влиянием металлургических традиций посткатакомбных культурных образований.

Присутствие серы в абсолютном большинстве образцов (90 из 100) в различных концентрациях (от 0,009 до 1,810 %) носит естественный характер, не связано с легированием, обусловлено сульфидным источником рудного протолита. Следовые значения S в готовых изделиях превышают содержание этого элемента в оксидах и карбонатах меди, формировавшихся осаждением слабых сульфатных растворов или конечным окислением сульфидов, поэтому гипотетические особо чистые «окисленные» руды не могли быть источником металлургического сырья в бронзовом веке Уральской ГМО.

Прямым источником серы в черновой меди являлся штейновый борнит ( $\text{Cu}_4\text{FeS}_3$ ) и продукты его распада. Штейновый борнит представляет собой универсальное сульфидное новообразование, формирующееся при переделе сульфидно-кремнекарбонатных смесей пиротехническим путем. В черновой меди, слитках и корольках рафинированной меди, а также в литых заготовках изделий сера в ходе ликвации распределяется крайне неравномерно, ее основная часть формирует микроскопические глобулярные сульфидные новообразования ( $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{CuS}$ ) в интерстициях кристаллов Cu. При этом в составе самих кристаллов Cu сера присутствует в очень малых концентрациях — первых сотых долях процента и ниже. До тех пор, пока в меди будет оставаться железо, при каждом новом переплавлении в интерстициях станут образовываться изометрические стяжения другого сульфида — нестехиометрического (штейнового) борнита. На картах распределения элементов в проанализированных образцах зафиксированы оба типа сульфидных новообразований. Вероятно, если использовать менее локальные настройки микрозондового анализатора и увеличить охват луча до 10–20 мкм, сера будет зафиксирована во всех образцах без исключения.

## Заключение

Использование метода микрозондового анализа для изучения депонирования примесных элементов исходных руд и лигатур показало его эффективность для решения целого ряда актуальных археологических задач. Массовое применение спектральных анализов при изучении древнего металла, осуществленное Лабораторией естественно-научных методов Института археологии РАН под руководством Е. Н. Черных во второй половине XX в., совершило переворот, сопоставимый с тем, что произошел в начале XX столетия в связи с широким использованием метода стратиграфии В. А. Городцовым и другими исследователями. Вместе с тем спектральные анализы не давали точного определения концентрации основных элементов в металле выше 1 %, а также не определяли содержания серы и целого ряда других элементов. До начала 1990-х гг. присутствие серы можно было установить только химическими методами, располагая значительной навеской анализируемого вещества — от нескольких десятков до нескольких сотен грамм, что не позволяло использовать эти методы для изучения древних орудий и украшений.

Расширение доступности современных высокопрецизионных методов позволяет выйти на новый уровень изучения древней металлургии, включая продукты

пирометаллургического передела — руды, шлаки, металл. Для изучения руд максимально эффективно сочетание рентгенофазового, рентгенофлуоресцентного методов с ИСП–МС, для древнего металла — микрозондовый, рентгенофлуоресцентный анализы в сочетании с ИСП–МС.

Анализ серии из 101 образца медных и бронзовых предметов из абашевских, синташтинских, коптяковско-сейминских и алакульских памятников с территории восточного фланга Уральской ГМО позволил установить ряд микропримесей, депонированных из первичного рудного протолита и поступивших в металл с лигатурами, а также определить геохимические параметры рафинированного и легированного металла бронзового века. Универсальным элементом, объединяющим всю серию воедино, помимо меди является сера, поступавшая в медь в результате передела исходных высокомедистых сульфидно-кремнекарбонатных рудных материалов с преобладанием вторичных сульфидов ( $\text{Cu}_2\text{S}$  и др.).

Территории восточного фланга Уральской ГМО не были каким-то исключительным регионом массового применения вторичных сульфидов в металлопроизводственной деятельности. По данным исследователей Приуральского и Донецкого ГМЦ, верифицированным большими сериями успешных археометаллургических экспериментов, высокомедистые сульфиды халькозин-дигенитовой группы служили основным сырьем на территории этих центров в эпоху бронзы<sup>30</sup>. Там, где специалисты применяли аналитические методы, позволяющие зафиксировать серу, этот элемент обнаружен в сопоставимых пропорциях в металле различных культурных образований эпохи бронзы Северной Евразии от ее ранней фазы<sup>31</sup> до финальной<sup>32</sup>. Особенно показательна выборка древнего металла с территории Казахстана, сопоставимая с нашей в культурно-хронологическом и количественном отношении, проанализированная немецкими исследователями из Музея горного дела г. Бохума высокопрецизионным методом ИСП–МС, показавшим присутствие серы во всех образцах<sup>33</sup>. Таким образом, использование вторичных сульфидов меди в металлопроизводственной практике древнего населения Северной Евразии, по всей видимости, носило универсальный характер.

---

<sup>30</sup> Богданов С. В. Специфика рудного протолита... С. 206–217; Татаринцов С. И. Древний металл Восточной Украины. Очерки реконструкции горного дела, металлургии и металлообработки в эпоху бронзы (учебное пособие). Артемовск, 1993. С. 23, 56–57; Шубин Ю. П. Прогнозно-поисковое значение геологических данных при проведении археологических исследований в Бахмутской котловине Донбасса (результаты предварительных исследований) // Археология восточноевропейской лесостепи. Вып. 17. Воронеж, 2003. С. 118; Бровендер Ю. М., Шубин Ю. П. Эксперименты по выплавке меди из руд Картамышского рудопроявления Донбасса // Археология восточноевропейской лесостепи. Воронеж, 2009. С. 114–123.

<sup>31</sup> Рындина Н. В., Равич. И. Г. Металл майкопской культуры... С. 224–234; Корневский С. Н., Юдин А. И. Чекон — поселение раннего бронзового века Западного Предкавказья (по раскопкам 2018 г.). Москва, Саратов, 2023. С. 89–91 и др.

<sup>32</sup> Shishlina N. I., Loboda A. Yu., Bogdanov S. V., Vaschenkova E. S., Tereschenko E. Yu. Sickles from the Sosnovaya Maza hoard of the Late Bronze Age from the Lower Volga region: Technological analyses, experiments and chronology // Journal of Archaeological Science: Reports. 2022. Vol. 44. 103539. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103539>

<sup>33</sup> Stöllner T., Gontscharov A. Social Practice and the Exchange of Metals and Metallurgical Knowledge in 2<sup>nd</sup> Millennium Central Asia // Metalla. 2020. Vol. 25, no. 2. P. 45–76.

## References

- Bogdanov S. V. Tekhnologicheskie algoritmy pastusheskoj modeli metalloprodukcii bronzovogo veka stepnykh regionov Severnoj Evrazii. *Ural'skii istoricheskii vestnik*, 2020, no. 4 (69), pp. 6–14. (In Russian)
- Bogdanov S. V. Pilotnye arheometallurgicheskie eksperimenty po vosstanovleniiu medi iz rudnykh koncentratov Kargalov. *Analiticheskie issledovaniia laboratorii estestvennonauchnykh metodov*, vol. 5. Moscow, TAUS Publ., 2021, pp. 78–103. (In Russian)
- Bogdanov C. V. Spetsifika rudnogo protolita v metallurgii bronzovogo veka stepnogo Priural'ia. *Arkhologia Evraziiskikh stepei*, 2022, no. 2, pp. 206–217. (In Russian)
- Bochkarev V. S. Srubno-alakul'skaia zona metalloprodukcii epohi pozdnei bronzy. *Arheologiya Vostochno-Evropeskoj stepei*, 2013, issue 10, Saratov, Saratov University Press, pp. 75–83. (In Russian)
- Borzunov V. A., Stefanov V. I., Bel'tikova G. V., Kuz'minykh S. V. Sernyi Klyuch — pamiatnik abashevskoi "ekspeditsii" v gorno-lesnuiu zonu Srednego Urala. *Rossiiskaia arkheologiya*, 2020, no. 1, pp. 117–131. (In Russian)
- Brovender Y. M., Shubin Y. P. Eksperimenty po vyplavke medi iz rud Kartamyshskogo rudopriavleniia Donbassa. *Arkhologia vostochnoevropeskoj lesostepi*. Voronezh, Voronezh University Press, 2009, pp. 114–123. (In Russian)
- Bushmakina A. F. Metallicheskie predmety iz kurgana 25 Bol'shekaraganskogo mogil'nika. *Arkaim: nekropol' (po materialam kurgana 25 Bol'shekaraganskogo mogil'nika)*, vol. 1. Cheliabinsk, Iuzhno-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 2002, pp. 132–144. (In Russian)
- Chemiakin Iu. P. Korkino I. *Ural'skaia istoricheskaia entsiklopediia*. Ekaterinburg, Akademkniga Publ., 2000, pp. 30, 281–282. (In Russian)
- Chernyh E. N., Kuz'minykh S. V. *Drevniia metallurgii Severnoi Azii*. Moscow, Nauka Publ., 1989, 320 p. (In Russian)
- Chernyh E. N. *Kargaly*, vol. V. Moscow, Iazyki slavianskoi kul'tury Publ., 2007, 200 p. (In Russian)
- Chernyh E. N. *Kul'tury nomadov v megastrukture Evraziiskogo mira*, vol. 1. Moscow, Iazyki slavianskoi kul'tury Publ., 2013, 368 p. (In Russian)
- Gening V. F., Zdanovich G. B., Gening V. V. *Sintashta*. Cheliabinsk, Iuzhno-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1992, 408 p. (In Russian)
- Hadlun T. N. Mineralogiia zony okisleniia kolchedannogo mestorozhdeniia Blyava na Iuzhnom Urale. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Serii: Rudnye mestorozhdeniia*, 1948, no. 11, 102 p. (In Russian)
- Korenevskii S. N., Yudin A. I. *Chekon — poselenie rannego bronzovogo veka Zapadnogo Predkavkaz'ia (po raskopkam 2018 g.)*. Moscow, Saratov, Institut arkheologii RAN Publ., 2023, 222 p. (In Russian)
- Ermolaeva A. S., Rusanov I. A. Eksperimental'noe modelirovanie metallurgicheskikh pechei poseleniia Taldysai. *Trudy Instituta arkheologii im. A. H. Margulana*, vol. IV. Almaty, Institut arkheologii im. A. H. Margulana Press, 2022, 160 p. (In Russian)
- Killick D. From Ores to Metall. *Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses*. New York, Springer, 2014, pp. 11–46.
- Korochkova O. N., Stefanov V. I., Spiridonov I. A. *Sviatilishche pervykh metallurgov Srednego Urala*. Ekaterinburg, Ural University Press, 2020, 214 p. (In Russian)
- Pazuhin V. A. Mednye slitki iz Orenburgskogo muzeia. *Sovetskaia arkheologiya*, 1969, no. 4, pp. 239–245. (In Russian)
- Ryndina N. V., Ravich I. G. *Metall maikopskoi kul'tury Severnogo Kavkaza v svete analiticheskikh issledovanii*. Moscow, KDU Publ.; Universitetskaia kniga Publ., 2019, 236 p. (In Russian)
- Smirnov K. F., Kuz'mina E. E. *Proiskhozhdenie indoirantsev v svete noveishikh arkheologicheskikh otkrytii*. Moscow, Nauka Publ., 1977, 82 p. (In Russian)
- Stefanov V. I., Korochkova O. N. *Andronovskie drevnosti Tiimenskogo Pritobol'ia*. Ekaterinburg, Poligrafist Publ., 2000, 108 p. (In Russian)
- Stefanov V. I., Korochkova O. N. *Urefty I: zaural'skii pamiatnik v andronovskom kontekste*. Ekaterinburg, Ural University Press, 2006, 160 p. (In Russian)
- Tatarinov S. I. *Drevnii metall Vostochnoi Ukrainy. Ocherki rekonstruktsii gornogo dela, metallurgii i metalloobrabotki v epokhu bronzy (uchebnoe posobie)*. Artyomovsk, [s. n.], 1993, 153 p. (In Russian)



- Tkachev V. V. Formirovanie kul'turnogo landshafta Ural'sko-Mugodzharskogo regiona v pozdnem bronzovom veke: osvoenie mednorodnykh resursov i strategiiia adaptatsii k usloviyam gorno-stepnoi ekosistemy. *Stratum Plus*, 2017, no. 2, pp. 205–230. (In Russian)
- Tkachev V. V., Bogdanov S. V. Naznachenie pechei shahtnogo tipa Zapadnoaziatskoi metallurgicheskoi provintsii. *Ural'skii istoricheskii vestnik*, 2022, no. 4 (77), pp. 41–54. (In Russian)
- Shishlina N. I., Loboda A. Yu., Bogdanov S. V., Vaschenkova E. S., Tereschenko E. Yu. Sickles from the Sosnovaya Maza hoard of the Late Bronze Age from the Lower Volga region: Technological analyses, experiments and chronology. *Journal of Archaeological Science*, 2022, vol. 44, p. 103539. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103539>
- Shubin Y. P. Prognozno-poiskovoe znachenie geologicheskikh dannykh pri provedenii arkhelogicheskikh issledovaniy v Bakhmutskoi kotlovine Donbassa (rezul'taty predvaritel'nykh issledovaniy). *Arkheologiya vostochnoevropeiskoi lesostepi*, 2003, issue 17. Voronezh, Voronezh State University Press, pp. 118. (In Russian)
- Stöllner T., Gontsharov A. Social Practice and the Exchange of Metals and Metallurgical Knowledge in 2<sup>nd</sup> Millennium Central Asia. *Metalla*, 2020, vol. 25, no. 2, pp. 45–76.
- Zaykov V. V., Kotlyarov V. A., Zaikova E. V. Sostav metallicheskih vkluchenii v drevnikh shlakakh Iuzhnogo Urala. *Trudy II Vserossiiskogo arheologicheskogo s'ezda v Suzdale*. Vol. 1. Moscow, Institut arheologii RAN Press, 2008, pp. 400–402. (In Russian)
- Zaykov V. V., Melekestseva I. Iu., Artemiev D. A., Simonov V. A., Iuminov A. M., Dunaev A. Yu. *Geologiya i kolchedannoe orudenenie iuzhnogo flanga Glavnogo Ural'skogo razloma*. Miass, Institut mineralogii Ural'skogo otdeleniia RAN Press, 2009, 376 p. (In Russian)
- Zaykov V. V., Iuminov A. M., Zaikova E. V., Tairov A. D. *Osnovy geoarkheologii*. Chelyabinsk, Izdatel'skii tsentr Iuzhno-Ural'skogo universiteta Press, 2011, 263 p. (In Russian)
- Zaykov V. V., Iuminov A. M., Tkachev V. V. Mednye rudniki, hromitsoderzhashchie mednye rudy i shlaki Ishkininskogo arkhelogicheskogo mikroraiona (Iuzhnyi Ural). *Arkheologiya, etnografiia i antropologiya Evrazii*. 2012, no. 2 (50), pp. 37–46. (In Russian)
- Zasedateleva S. N., Tkachev V. V. Noveye materialy bronzovogo veka iz Vostochnogo Orenburzh'ia. *Problemy izucheniia eneolita i bronzovogo veka Iuzhnogo Urala*. Orsk, Institut Evraziiskikh issledovaniy Press, 2000, pp. 126–140. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 31 марта 2023 г.

Рекомендована к печати 17 июля 2023 г.

Received: March 31, 2023

Accepted: July 17, 2023