

Кутцова Л.В., Евгенийев А.А. Новые погребальные комплексы абашевской культуры в Оренбургском Предуралье // Древности Восточной Европы, Центральной Азии и Южной Сибири в контексте связей и взаимодействий в евразийском культурном пространстве (новые данные и концепции): мат. Междунар. конф. Т. II. Связи, контакты и взаимодействия древних культур Северной Евразии и цивилизаций Востока в эпоху палеометалла (IV–I тыс. до н. э.). К 80-летию со дня рождения В.С. Бочкарёва. СПб.: ИИМК РАН, Невская типография, 2019. С. 219–222.

Луньков В.Ю., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа: серия 2010–2013 гг. // Аналитические исследования Лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 3 / Отв. ред. и сост. Е.Н. Черных, В.И. Завьялов. М.: ИА РАН, 2013. С. 56–88.

Мимоход Р.А. Радиоуглеродная хронология блока посткатакомбных культурных образований // Краткие сообщения Института археологии. 2011. Вып. 225. С. 28–53.

Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В. Радиоуглеродная хронология культур эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2014. Т. 13. Вып. 3: Археология и этнография. С. 136–167.

Сальников К.В. Очерки древней истории Южного Урала. М., 1967. М.: Наука, 1967. 408 с.

Соловьев Б.С. Юринский (Усть-Ветлужский) могильник (итоги раскопок 2001–2004) // Российская археология. 2005. № 4. С. 103–111.

Черных Е.Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья // Материалы и исследования по археологии. № 172. М.: Наука, 1970. 180 с.

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

Черных Е.Н., Орловская Л.Б. О базе данных календарной радиоуглеродной хронологии «дописьменной» эпохи культур Западной Евразии // Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. Вып. 3 / Отв. ред. и сост. Е.Н. Черных, В.И. Завьялов. М.: ИА РАН, 2013. С. 8–15.

Шевнина И. В., Логвин А.В. Материалы и исследования по археологии Казахстана. Т. VII: Могильник эпохи бронзы Халвай III в Северном Казахстане. Астана: Фил. Ин-та археологии им. А.Х. Маргулана в г. Астана. Астана, 2015. 248 с.

Эгватова А.В., Луньков В.Ю., Лунькова Ю.В., Медникова М.Б. Новые данные естественнонаучных исследований материалов Старшего Никитинского могильника и его место в хронологии средневожской абашевской культуры // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 3. С. 148–152.

*А.Д. Дегтярева<sup>1</sup>, С.В. Кузьминых<sup>2</sup>*

*A.D. Degtyareva, S.V. Kuzminykh*

<sup>1</sup>Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень, [adegtyareva126@gmail.com](mailto:adegtyareva126@gmail.com)

<sup>2</sup>Институт археологии РАН, г. Москва

## **Орудийный комплекс из цветного металла петровской культуры Южного Зауралья: технологические аспекты**

### **Non-ferrous metal tool complex of the Petrovka culture of the Southern Trans-Urals: technological aspects**

В статье охарактеризован химический состав орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья с выяснением основных рецептур сплавов на базе использования нескольких аналитических методов (спектральный, рентгенофлуоресцентный, атомно-эмиссионный спектрометрический анализы). Выявлены 4 металлургические группы – чистой меди, оловянной, оловянно-мышьяковой и мышьяковой бронзы. Первая группа подразделялась на ок-

сидные и сульфидные образцы. Для изготовления орудийного комплекса и слитков использовались различные сырьевые ресурсы меди Южного Зауралья, предположительно 2–3 источника. Олово в виде слитков и готовых изделий поступало из Центрального Казахстана через Тургайский прогиб и р. Убаган в Среднее Притоболье.

The paper describes the chemical composition of the tools of labor of the Petrovka culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region with the clarification of the main recipes of alloys based on the use of several analytical methods (spectral, X-ray fluorescence, atomic emission spectrometric analyses). Four metallurgical groups have been identified: pure copper, tin, tin-arsenic and arsenic bronze. The first group was subdivided into oxide and sulfide samples. For the manufacture of the tool complex and ingots, various raw materials of copper were used, presumably 2–3 sources of the Southern Trans-Urals. Tin in the form of ingots and finished products came from Central Kazakhstan through the Turgai trough and the river Ubagan in the Middle Tobol region.

Целью работы явилось выявление основных рецептов меди и сплавов орудий труда петровской культуры Южного Зауралья на базе использования нескольких аналитических методов (спектральный, рентгенофлуоресцентный, атомно-эмиссионный спектрометрический анализы). По тематике опубликовано несколько статей, наиболее ранняя из которых посвящена геохимической характеристике металла Среднего Притоболья эпохи бронзы [Кузьминых, Черных, 1985]. Впоследствии в 2000-е гг. появились публикации с результатами аналитического изучения металла петровской культуры отдельных памятников — пос. Кулевчи 3, Устье 1, мог. Кривое Озеро, Степное 7, Кулевчи 6 и др. [Дегтярева и др., 2001; Виноградов и др., 2013; Дегтярева, 2015; Doonan, 2015; Виноградов и др., 2017; 2020]. Однако до сих пор отсутствует целостная геохимическая характеристика металла петровской культуры, в т.ч. и по отдельным категориям изделий, что могло бы в определенной мере определить направления историко-металлургических связей.

Комплексы петровской культуры Южного Зауралья датированы серией AMS-дат XIX–XVIII вв. до н.э., занимая несколько более позднюю позицию относительно синташтинских памятников [Молодин и др., 2014]. Недавно введенные в научный оборот 27 AMS-дат эпохи бронзы из материалов поселения Степное, могильников Степное 1, 7, 25 зафиксировали более ранний диапазон петровской серии – 2133–1631 до н.э. [Епимахов и др., 2021]. По мнению исследователей, новые данные указывают на синхронность культур на северной периферии синташтинского ареала в данном локальном микрорайоне, хотя в целом прослежен приоритет синташтинской хронологии [Епимахов и др., 2021, с. 23].

В работе приведены результаты аналитического исследования 106 металлических изделий петровской культуры Южного Зауралья, происходящих из поселений Кулевчи 3, Устье 1, Старокумляское, Убаган 1, 2, 3, Камышное 2, Нижнеингальское 3, Высокая Грива, Шибаво 1, могильников Кривое Озеро, Верхняя Алабуга, Озерное 1, 3, случайные находки Курганской области. Полученные данные сопоставлены с опубликованными ранее анализами слитков петровских памятников (70 ан.) и с уточненным элементным составом фазовых составляющих 11 предметов с использованием сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments Analytical Ltd. (далее СЭМ, ЭДА) [Дегтярева, 2015, табл.; Дегтярева и др., 2022].

Спектральные и рентгенофлуоресцентные анализы получены в лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН (спектрограф ИСП-28; ЭДА X-MET 3000TX, Oxford Instruments Analytical, Великобритания), атомно-эмиссионный спектрометрический – в лаборатории Института неорганической химии СО РАН (атомно-эмиссионный спек-

тросметр PGS-2, Carl Zeiss, Jena, Германия). Пробы для анализа получены либо металлической стружкой с помощью бормашины или дремели с борами маленького диаметра, либо использовались фрагменты изделий, предварительно очищенных от продуктов коррозии (вес от 10 мг и более).

Перечисленные методы анализов имели различную чувствительность при регистрации элементного состава. Полуколичественный эмиссионный спектральный анализ 60–80-х гг. XX в. фиксировал микропримеси элементов (обычно 12) с нижним порогом чувствительности в тысячных-десяти тысячных долях % [Черных, 1966, с. 27–34]. Относительная погрешность определения концентраций находилась в пределах 10–20 %. Эта величина практически не сказывалась при замерах элементов в десятых-десяти тысячных долях %, однако при определении целых чисел – >1 % относительная ошибка была значительно выше; свыше 10 % концентраций зачастую определяли приблизительно [Черных, 1966, с. 31–32].

При проведении РФА использовались предустановленные эталоны с фиксированными концентрациями 12 элементов – Cu, Sn, Pb, Zn, Bi, Ag, Sb, As, Fe, Ni, Co, Au [Черных, Луньков, 2009]. Взятая стружка металла, помещенная в контейнер, перекрывает каптоновое окно прибора, через которое на анализируемую пробу направлен поток рентгеновского излучения (16×12 мм). Подобное окно обеспечивает получение анализа усредненного состава изделия. Этот метод имеет довольно высокий порог чувствительности — десятки, иногда сотые доли %, микропримеси не регистрируются. Вместе с тем легирующие компоненты более 1 % довольно точно фиксируются анализатором. Исследователи также провели замеры на участках металла с патиной и коррозией, сравнив данные с результатами в зоне с чистым металлом. По ряду элементов результаты анализов образцов с патиной достигали 4-кратного увеличения, особенно легирующих компонентов, например, As.

Методика проведения атомно-эмиссионного спектрометрического анализа подробно описана в работе [Дегтярева, Шуваева, 2004]. Результаты анализа с небольшими погрешностями фиксируют как микропримеси в сотых-десяти тысячных долях %, так и легирующие компоненты в целых %. Последнее подтверждено данными металлографического анализа по совпадению состава и наблюдаемых фазовых составляющих.

Статистическая обработка аналитических результатов орудийного комплекса петровской культуры Южного Зауралья с построением корреляционных графиков Sn-As, Sn-Pb, As-Ag и частотной гистограммы распределения концентраций Sn позволила распределить металл на 4 металлургические группы (табл.; рис. 1). При построении графиков учитывали результаты РФА, в которых по ряду элементов отсутствовали данные в связи с высоким порогом чувствительности. Поскольку эти элементы в реальности действительно присутствовали, для подсчета содержания применяли принятую погрешность в сторону уменьшения показателей в 2 раза от минимально зарегистрированной для данного элемента концентрации.

Численно преобладающей в коллекции орудий труда, как и среди слитков, является *группа чистой меди* – 65 предметов (61.3 %; слитки – 67.1 %; табл.). В поселенческом инвентаре эта группа доминировала, достигая 68 % от выборки, в то время как в погребальном – ее доля не превышала трети изделий – 34.8 %. В группе чистой меди выявлены предметы, отлитые как из окисленной меди, так и сульфидной. Первые характеризуются наличием включений эвтектики Cu-Cu<sub>2</sub>O, фиксируемой при проведении металлографического анализа, а также относительной чистотой металла. Содержания Sn, As, Zn, Bi, Ni, Co, Au находятся в тысячных-десяти тысячных долях %, в то время как примеси Pb, Fe, Ag – в сотых-десятых долях. Эта группа изделий отчетливо прос-

Распределение орудий труда и слитков петровской культуры Южного Зауралья на металлургические группы

Категория	Металлургические группы (кол-во / %)				Всего
	Cu	Cu + Sn	Cu + Sn + As	Cu + As	
Орудия труда	65/61.3 %	34/32.1 %	5/4.7 %	2/1.9 %	106/100 %
Слитки	47/67.1 %	20/28.6 %	2/2.9 %	1/1.4 5	70/100 %
Итого	112/63.6 %	54/30.7 %	7/4 %	3/1.7 %	176/100 %
Поселения	104/68 %	43/28.1 %	6/3.9 %	—	153/100 %
Могильники	8/34.8 %	11/47.8 %	1/4,3 %	3/13.1 %	23/100 %

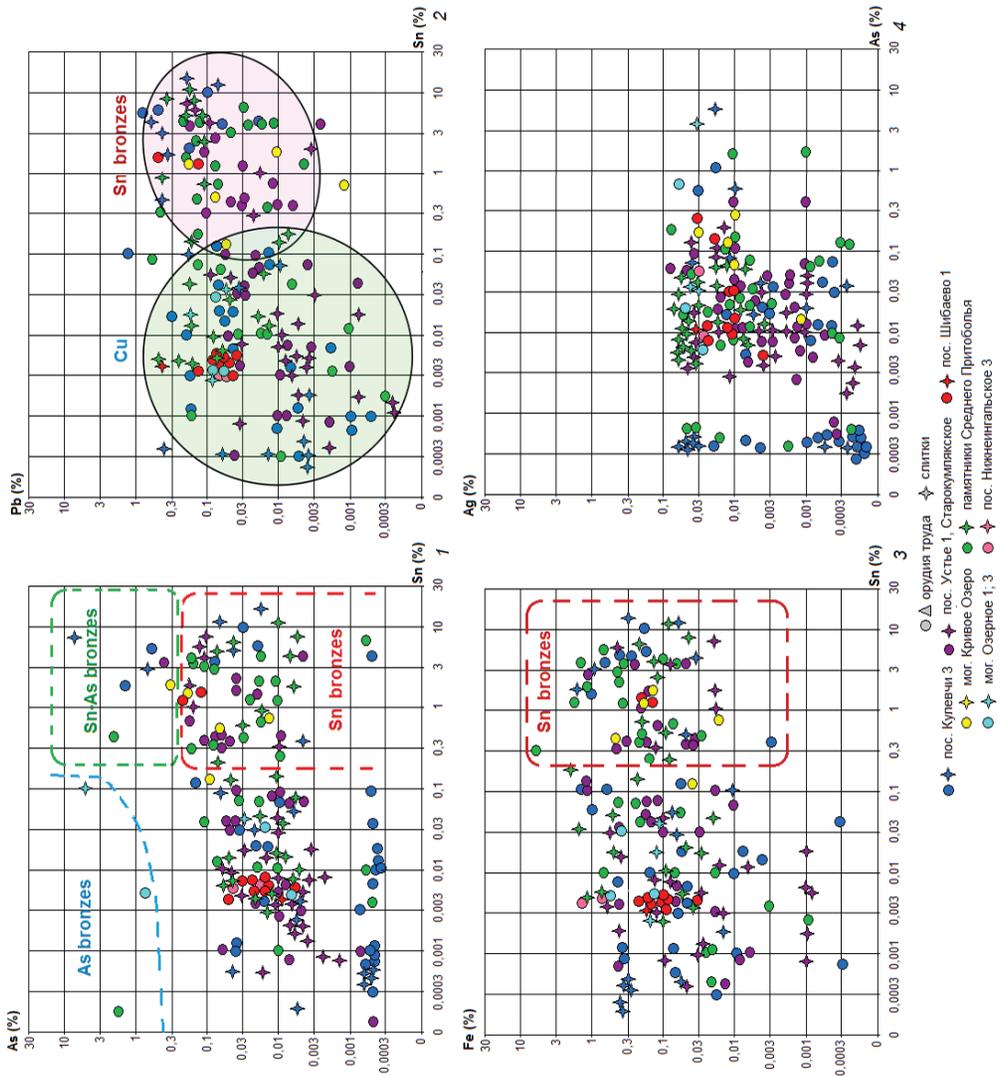


Рис. 1. Корреляция концентраций примесей Sn-As, Sn-Pb, Fe-Sn, As-Ag к меди металла петровской культуры Южного Зауралья.

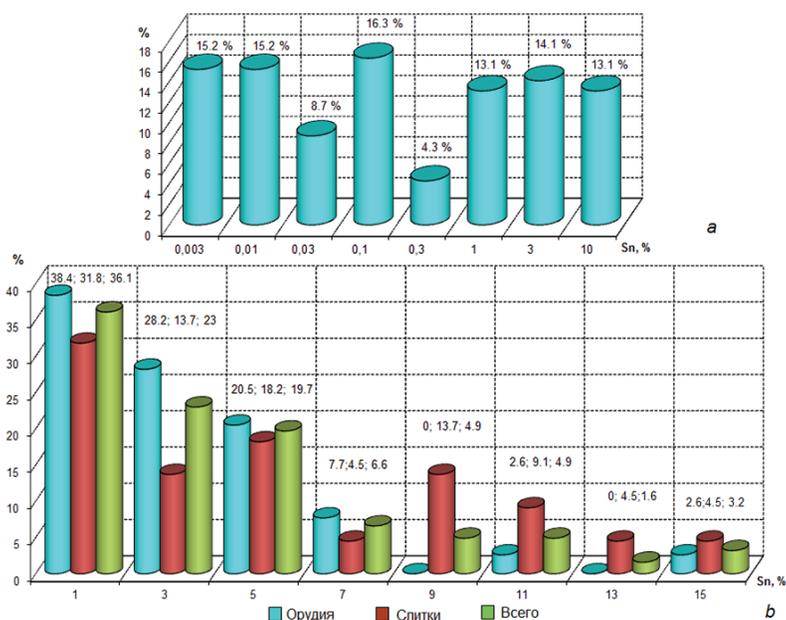


Рис. 2. Частотная гистограмма концентраций примесей Sn к меди: а – орудий труда; б – орудий труда, слитков петровской культуры Южного Зауралья.

лежена на графиках As-Sn (в левом, нижнем углу), Fe-Sn, Ag-As (в левой вертикальной части, до значения As, Sn 0.006 %; рис. 1). Как показали данные СЭМ-ЭДА, для орудий и слитков с включениями эвтектики Cu-Cu<sub>2</sub>O характерно отсутствие S, в то время как в металле из сульфидной меди ее содержание находится в пределах 0.1–2.5 %, включения эвтектики минимальны или полностью отсутствуют [Дегтярева и др., 2022, табл. 2]. В составе группы чистой меди доля изделий из окисленной меди небольшая (13.8 % – орудия труда; 34 % – слитки).

Второй по численности является *группа оловянной бронзы*, в составе которой 34 предмета (32.1 %; слитки – 20 изделий; 28.6 %). Нижний порог легирования нами принят в 0.3 % (рис. 2а). Все орудия труда петровской культуры Зауралья относятся к категории низколегированных, концентрация Sn не превышает в их составе 10 %. Незначительное количество среднелегированных бронз обнаружено в составе слитков с содержанием Sn 11–14 %, происходящих из пос. Кулевчи 3 (2 экз.) и Убаган 2 (1 экз.; рис. 2б). Металл оловянных бронз характеризуется содержаниями As 0.003–0.2 %, Pb 0.003–0.6 %, Fe 0.01–1.6 %; Ag 0.0005–0.03 %. В сопоставлении с металлом из чистой меди содержания перечисленных элементов в бронзе на порядок выше, чем группе меди.

*Группа оловянной-мышьяковой бронзы* незначительна – 5 предметов среди орудий и 2 слитка. Концентрации Sn находятся в пределах 2–6 %, As – 0.3–1.5 %. Предметы содержат повышенные концентрации Pb, Ag, Sb (десятые-сотые доли %), Fe – до 6.2 %.

*Группа мышьяковой бронзы* также малочисленна – 2 орудия, 1 слиток с содержанием As 0.68–2 %.

Результаты спектроаналитического изучения металла петровской культуры впервые опубликованы в середине 80-х гг. XX в. по данным могильников и поселений Среднего Притоболья – Убаган 1, 2, Верхняя Алабуга, Камышное 1, 2 [Кузьминых, Черных, 1985]. В статье опубликованы результаты спектрального анализа лабораторий

естественнонаучных методов ИА и археологической технологии ЛОИА (104 и 81 ан., соответственно) по материалам памятников петровской, алакульской, алексеевско-саргаринской культур Среднего Притоболья, изученных экспедициями ИА РАН под руководством Т.М. Потемкиной [1985]. Статистическая обработка данных позволила исследователям дать суммарную химико-металлургическую характеристику металла эпохи бронзы Притоболья. Металл петровской культуры представлен изделиями из погребений 3, 4, 6, 7, 10 мог. Верхняя Алабуга (30 ан.), большей частью украшениями. Именно этим объясняется преобладание в петровских изделиях высоколегированных бронз до 76,6 % по сравнению с алакульскими, где их доля доходит до 54,5 %. Вместе с тем, исследователями прослежена определенная преемственность в использовании рудного сырья петровскими и алакульскими металлургами [Потемкина, 1985, с. 366].

В 2000-х гг. опубликованы результаты спектрального, атомно-эмиссионного спектрометрического, рентгенофлуоресцентного анализов металла отдельных памятников петровской культуры Южного Зауралья – Кулевчи 3, Устье 1, Кривое Озеро, Степное 7, Кулевчи 6 и др. [Дегтярева и др. 2001; Виноградов и др., 2013; Дегтярева, 2015; Doonan, 2015; Виноградов и др., 2017; 2020]. Исследователи выделили металлургические группы меди и бронз металла поселений Кулевчи 3, Устье 1, мог. Кривое Озеро – чистой меди, оловянной и мышьяковой бронзы с превалированием первой группы. На основании химического состава, данных структурного анализа, типологических особенностей орудий труда инвентарь пос. Устье 1 распределен на изделия, связанные с синташтинской и петровской культурами.

Определен также элементный состав изделий петровской культуры могильника Степное 7, в числе которых 10 орудий и 19 украшений [Doonan, 2015]. Рентгенфлуоресцентный анализ выполнен с использованием портативного РФА-анализатора NITON XL3T, замеры производились по описанию исследователя на поверхности изделий без предварительной очистки от патины и продуктов коррозии. Это, видимо, сказалось на определенном искажении результатов анализа с фиксацией высоких концентраций олова в большинстве украшений, достигающих до 58,95 % [Doonan, 2015, р. 193–194]. Хотя не исключено, что замеры состава производились с точечным попаданием в зоны ликвации с включениями эвтектоида  $\alpha\text{-Cu}_{31}\text{Sn}_8$ , который может быть обогащен оловом до 60 %. По данным R. Doonan, петровские металлурги использовали различные рудные источники, поскольку среди изделий, хотя и преобладали оловянные бронзы (концентрация Sn в орудиях доходила до 15 %), но вместе с тем отмечены мышьяковые, оловянно-мышьяковые сплавы. Примерно 15 % предметов (орудий и украшений) изготовлены из чистой меди.

Исследованный поселенческий и погребальный металл петровской культуры Южного Зауралья в совокупности дает несколько иные результаты по превалированию чисто медных изделий, обнаруженных на поселениях. В то же время металл, происходящий из могильников, сопряженный с особыми культовыми обрядами по отношению к погребенным, изготовлен преимущественно из легированных бронз (см. рис. 1). Зависимости функции и состава металла (ударных инструментов, орудий с режущей функцией) не просматривается. Они в равной степени изготавливались как из меди, так и бронзы. Из оловянной бронзы получены частично ножи, шилья, долота, серпы, тесло, стрела, копье. Большинство орудий (94,8 %) отлито из низколегированной оловом (до 7 %) бронзы.

В процессе исследования изделий петровской культуры Южного Зауралья методом СЭМ-ЭДА, совмещенным с данными металлографического анализа, выяснилось, что предметы из чистой меди распределены на две группы по характеру используемого сырья для металлургического передела. В качестве индикаторов предполагаемых сырье-

вых источников рассмотрено наличие или отсутствие сульфидных соединений в меди [Дегтярева и др., 2022]. Металл с оксидами по результатам картирования и точечным замерам отличался значительной чистотой и присутствием Pb в сотых, Fe – в сотых и десятых долях мас. %. При фиксации серы в составе металла содержание кислорода в меди падает до 0.03 мас. %, эвтектика обнаружена лишь в виде тонкой оторочки вокруг литых зерен. Эти факты свидетельствуют об использовании в качестве сырья оксидно-карбонатных руд — тенорита, куприта, азурита, малахита и хризоколлы. Вместе с тем, стремясь избежать излишнего окисления меди, металлурги петровской культуры добавляли в расплав в качестве флюса сульфидные халькозин-ковеллиновые, иногда халькопирит-пиритовые руды, что на практике приводило к снижению количества кислорода до минимума (0.02–0.03 мас. %), уменьшению вязкости расплава, снижению пористости, повышению жидкотекучести. Добавление сульфидов производилось в порядке эксперимента и не носило целенаправленного характера.

При этом выделяется группа орудий и слитков из слоя поселения Кулевчи 3, металл которых имеет более низкие концентрации As, более высокие – Fe, Ag в сравнении с Си пос. Устье 1. Достаточно компактно расположены на графиках корреляции примесей изделия из слоя пос. Шибаво 1, Нижнеингальское 3, мог. Озерное 1, 3, что также позволяет предположить использование сырьевого источника, находящегося вблизи Шибаво 1.

Легированные бронзы фиксируются большей частью в материалах поселений и могильников Среднего Притоболя, где их доля в группе бронз составляет до 65.2 %. Компактный по своим геохимическим характеристикам металл из оловянной и оловянно-мышьяковой бронзы, скорее всего, имеет исходное сырье из Центрального Казахстана

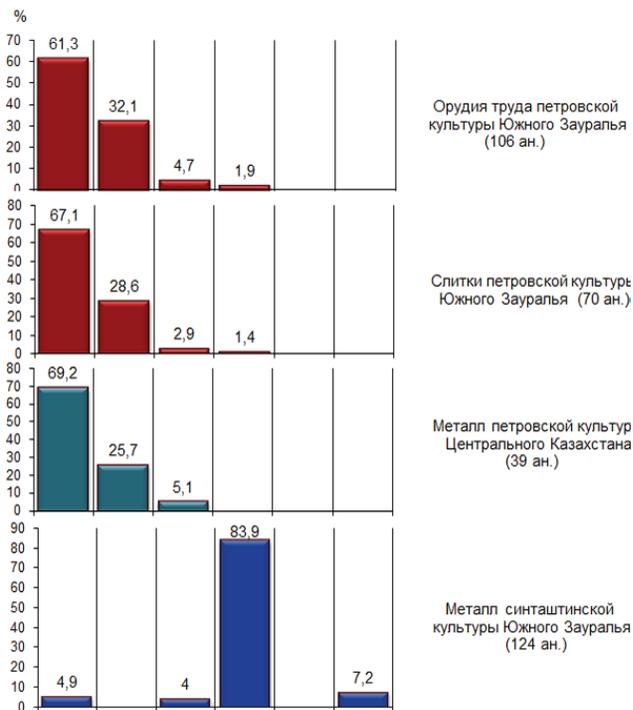


Рис. 3. Распределение цветного металла петровской и синташтинской культур по металлургическим группам (в %).

на, откуда транспортировались слитки с введенной лигатурой или готовые изделия (например, наконечник копья) [Artemyev, Ankushev, 2019; Анкушев и др., 2020]. Транспортный коридор по доставке слитков и изделий пролегал через территорию Тургайского прогиба, активно освоенную синташтинским и петровским населением, по р. Убаган до Тобола, далее вдоль притоков Тобола. Таким образом, в проанализированной выборке могут быть выделены 2–3 группы, связанные с различными источниками меди на Урале, группа металла, явно импортного из Центрального Казахстана. Изделия из мышьяковой бронзы, скорее всего, попали к петровским популяциям в рамках обменных процессов из анклавов синташтинской культуры.

Распределение цветного металла Южного Зауралья по сплавам соответствует статистическим данным по памятникам петровской культуры Центрального Казахстана: здесь также доминируют изделия из чистой меди, в том числе из окисленной, примерно такова же доля оловянных бронз и единичны находки из сплавов  $Cu + Sn + As$  (рис. 3) [Дегтярева и др., 2020]. Несколько более высокое количество легированных бронз на Урале объяснимо особым предпочтением ценного металла в ритуальном характере погребального обряда. По химическому составу металл петровской культуры явно диссонирует с выборкой синташтинской культуры, в которой резко преобладают сплавы  $Cu+As$  (около 83.9 %) при очень низкой доле изделий из чистой меди.

*Исследование выполнено по госзаданию № 121041600045-8 (А.Д. Дегтярева), № НИОКТР 122011200264-9 (С.В. Кузьминых).*

## Литература

*Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Блинов И.А.* Металлургия бронзового века на поселении Талдысай: Руды, шлаки, легирование // Курманкулов Ж. (отв. ред.). Талдысай — поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи. Алматы: Ин-т археологии им. А.Х. Маргулана, 2020. С. 72–93.

*Виноградов Н.Б., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Металлургия и металлообработка в жизни обитателей укрепленного поселения Устье 1 // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013. № 3. С. 4–30.

*Виноградов Н.Б., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Медведева П.С.* Образы эпохи. Могильник бронзового века Кривое Озеро в Южном Зауралье. Челябинск: Абрис, 2017. 400 с.

*Виноградов Н.Б., Берсенева Н.А., Алаева И.П., Алентьев Ю.М., Блинов И.А., Галибин В.А., Елимахов А.В., Илюшина В.В., Китов Е.П., Косинцев П.А., Рассомахин М.А.* Кулевчи VI — могильник позднего бронзового века в Южном Зауралье [электронный ресурс]. Челябинск: ЮрГТТУ, 2020. 556 с.

*Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б.* Металлопроизводство петровских племен (по материалам поселения Кулевчи 3) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2001. № 3. С. 23–54.

*Дегтярева А.Д.* Слитки цветного металла петровской культуры (состав и технология получения) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2015. № 2 (29). С. 14–24.

*Дегтярева А.Д., Шуваева О.В.* Химико-металлургическая характеристика медного инвентаря ямной культуры Южного Приуралья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2004. № 4. С. 71–76.

*Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Ломан В.Г., Кукушкин И.А., Кукушкин А.И., Дмитриев Е.А.* Цветной металл раннеалакульской (петровской) культуры эпохи бронзы Центрального Казахстана // Поволжская археология. 2020. № 1. С. 98–116.

*Дегтярева А.Д., Губин А.А., Артемьев Д.А.* Возможности использования сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализатором в изучении металла эпохи бронзы: к постановке проблемы // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 1 (56). С. 31–48.

*Епимахов А.В., Куприянова Е.В., Хоммель П., Хэнкс Б.К.* От представлений о линейной эволюции к мозаике культурных традиций (бронзовый век Урала в свете больших серий радиоуглеродных дат) // Куприянова Е.В. (отв. ред.). Древние и традиционные культуры во взаимодействии со средой обитания: проблемы исторической реконструкции. Мат. I Междунар. междисциплинар. конф. Челябинск: ЧелГУ, 2021. С. 7–29.

*Кузьминых С. В., Черных Е.Н.* Спектроаналитическое исследование металла бронзового века лесостепного Притоболья // Потемкина Т.М. Бронзовый век лесостепного Притоболья. М.: Наука, 1985. С. 346–367.

*Молодин В.И., Епимахов А.В., Марченко Ж.В.* Радиоуглеродная хронология эпохи бронзы Урала и юга Западной Сибири: принципы и подходы, достижения и проблемы // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2014. Т. 13. Вып. 3: Археология и этнография. С. 136–167.

*Потемкина Т.М.* Бронзовый век лесостепного Притоболья. М.: Наука, 1985. 376 с.

*Черных Е.Н.* История древнейшей металлургии Восточной Европы / Материалы и исследования по археологии № 132. М.: Наука, 1966. 144 с.

*Черных Е.Н., Луньков В.Ю.* Методика рентгено-флуоресцентного анализа меди и бронз в лаборатории Института археологии // Черных Е.Н. (отв. ред.). Аналитические исследования лабораторией естественнонаучных методов. Вып. 1. М.: Ин-т археологии РАН, 2009. С. 78–83.

*Artemyev D.N., Ankushev M.N.* Trace Elements of Cu-(Fe)-Sulfide Inclusions in Bronze Age Copper Slags from South Urals and Kazakhstan: Ore Sources and Alloying Additions // Minerals. 2019. 9 (12). 746.

*Doonan R.* Compositional analyses of metalwork from Stepnoye VII cemetery and kurgan 4 Stepnoye I cemetery // Куприянова Е.В., Зданович Д.Г. Древности лесостепного Зауралья: могильник Степное VII. Челябинск: Энциклопедия, 2015. С. 188–194.

**И.А. Русанов<sup>1</sup>, Н.Б. Виноградов<sup>2</sup>**  
**I.A. Rusanov, N.B. Vinogradov**

<sup>1</sup>Челябинский государственный университет, г. Челябинск

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,  
г. Челябинск, vinogradov\_n@mail.ru

## **Реконструкция технологического процесса выплавки меди из руды на укрепленном поселении Устье I (по образцам металлургического шлака)**

### **Reconstruction of the copper smelting technological process at the Ustye I fortified settlement (based on metallurgical slag samples)**

Работа, по сути, является частью обширной авторской программы по реконструкции металлургического процесса в рамках сообщества укрепленных поселений бронзового века Зауралья (укрепленные поселения Синташта I, Аркаим) и содержит базу данных по реконструкции металлургического процесса в горнах укрепленного поселения бронзового века Устье I через изучение особенностей металлургических шлаков из раскопок этого памятника (измерение параметров отпечатков слитков на шлаках укрепленного поселения Устье I, вычисление параметров слитков: диаметр, толщина, объем, масса слитка металла, получаемого за одну плавку; массы загрузки шихты на одну усредненную и на максимальную плавку, массы применявшихся в плавку флюсов). По формам венчиков и закраин фрагментов шлаковых «лепешек» создана классификация вариантов профилей их венчиков. Описаны образцы шлака по степени их магнитности, цвету,