

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

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ  
И ЭТНОГРАФИИ**

*Сетевое издание*

**№ 4 (59)  
2022**

ISSN 2071-0437 (online)

Выходит 4 раза в год

**Главный редактор:**

Багашев А.Н., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

**Редакционный совет:**

Молодин В.И. (председатель), акад. РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;  
Бужилова А.П., акад. РАН, д.и.н., НИИ и музей антропологии МГУ им М.В. Ломоносова;  
Головнев А.В., чл.-кор. РАН, д.и.н., Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН (Кунсткамера);  
Бороффка Н., PhD, Германский археологический ин-т, Берлин (Германия);  
Васильев С.В., д.и.н., Ин-т этнологии и антропологии РАН; Лахельма А., PhD, ун-т Хельсинки (Финляндия);  
Рындина О.М., д.и.н., Томский госуниверситет; Томилов Н.А., д.и.н., Омский госуниверситет;  
Хлахула И., Dr. hab., университет им. Адама Мицкевича в Познани (Польша);  
Хэнкс Б., PhD, ун-т Питтсбурга (США); Чиндина Л.А., д.и.н., Томский госуниверситет;  
Чистов Ю.К., д.и.н., Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН (Кунсткамера)

**Редакционная коллегия:**

Агапов М.Г., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Адаев В.Н., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Аношко О.М., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Валь Й., PhD, Общ-во охраны памятников Штутгарта (Германия);  
Дегтярева А.Д., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Зах В.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Зими́на О.Ю. (зам. главного редактора), к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Ключева В.П., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Крийска А., PhD, ун-т Тарту (Эстония); Крубези Э., PhD, ун-т Тулузы, проф. (Франция);  
Кузьминых С.В., к.и.н., Ин-т археологии РАН; Лискевич Н.А. (ответ. секретарь), к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Печенкина К., PhD, ун-т Нью-Йорка (США); Пинхаси Р., PhD, ун-т Дублина (Ирландия);  
Пошехонова О.Е., ТюмНЦ СО РАН; Рябогина Н.Е., к.г.-м.н., ТюмНЦ СО РАН;  
Ткачев А.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

Утвержден к печати Ученым советом ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН

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

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

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

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2022

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

**VESTNIK ARHEOLOGII, ANTROPOLOGII I ETNOGRAFII**

ONLINE MEDIA

**№ 4 (59)  
2022**

ISSN 2071-0437 (online)

There are 4 numbers a year

**Editor-in-Chief**

Bagashev A.N., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS

**Editorial board members:**

Molodin V.I. (chairman), member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of History,  
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS  
Buzhilova A.P., member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of History,  
Institute and Museum Anthropology University of Moscow  
Golovnev A.V., corresponding member of the RAS, Doctor of History,  
Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera  
Boroffka N., PhD, Professor, Deutsches Archäologisches Institut, Germany  
Chindina L.A., Doctor of History, Professor, University of Tomsk  
Chistov Yu.K., Doctor of History, Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera  
Chlachula J., Doctor hab., Professor, Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland)  
Hanks B., PhD, Professor, University of Pittsburgh, USA  
Lahelma A., PhD, Professor, University of Helsinki, Finland  
Ryndina O.M., Doctor of History, Professor, University of Tomsk  
Tomilov N.A., Doctor of History, Professor, University of Omsk  
Vasilyev S.V., Doctor of History, Institute of Ethnology and Anthropology RAS

**Editorial staff:**

Agapov M.G., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Adaev V.N., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Anoshko O.M., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Crubezy E., PhD, Professor, University of Toulouse, France  
Degtyareva A.D., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Kluyeva V.P., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Kriiska A., PhD, Professor, University of Tartu, Estonia  
Kuzminykh S.V., Candidate of History, Institute of Archaeology RAS  
Liskevich N.A. (senior secretary), Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Pechenkina K., PhD, Professor, City University of New York, USA  
Pinhasi R., PhD, Professor, University College Dublin, Ireland  
Poshekhonova O.E., Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Ryabogina N.Ye., Candidate of Geology, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Tkachev A.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Wahl J., PhD, Regierungspräsidium Stuttgart Landesamt für Denkmalpflege, Germany  
Zakh V.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS  
Zimina O.Yu. (sub-editor-in-chief), Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: [vestnik.ipos@inbox.ru](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)  
URL: <http://www.ipdn.ru>

Дегтярева А.Д.<sup>а, \*</sup>, Кузьминых С.В.<sup>б</sup>

ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, Червишевский тракт, 13, Тюмень, 625008

Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117036

E-mail: adegtyareva126@gmail.com (Дегтярева А.Д.); kuzminykhsv@yandex.ru (Кузьминых С.В.)

## МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОРУДИЯ ТРУДА ПЕТРОВСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ И СРЕДНЕГО ПРИТОБОЛЬЯ: ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

*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 оксидные 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.*

**Ключевые слова:** Южное Зауралье, петровская культура, металлургия, геохимический состав, рудные источники, металлургические контакты.

Статья посвящена изучению химического состава орудий труда и слитков, а также нескольких предметов вооружения петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья. В ходе исследования, которое опиралось на несколько аналитических методов (спектральный, рентгенофлуоресцентный, атомно-эмиссионный спектрометрический анализы), определены основные рецепты сплавов. Тематика исследования металлургии петровской культуры стала актуальной в 80-е гг. XX в. после открытия поселенческих и погребальных памятников в Южном Зауралье и Тоболо-Ишимском междуречье [Виноградов, 1982; Потемкина, 1985; Зданович, 1988]. В одной из первых работ дана геохимическая характеристика металла Среднего Притоболья эпохи бронзы [Кузьминых, Черных, 1985]. В 2000-е гг. появились публикации с результатами аналитического изучения металла отдельных памятников — пос. Кулевчи 3, Устье 1, мог. Кривое Озеро, Степное 7 и др. [Дегтярева и др., 2001; Виноградов и др., 2013; 2017; Дегтярева, 2015; Доопан, 2015]. Однако до сих пор отсутствует целостная геохимическая характеристика металла петровской культуры, в том числе по отдельным категориям изделий. Решение данной задачи позволит определить основные направления историко-металлургических связей носителей этой культуры.

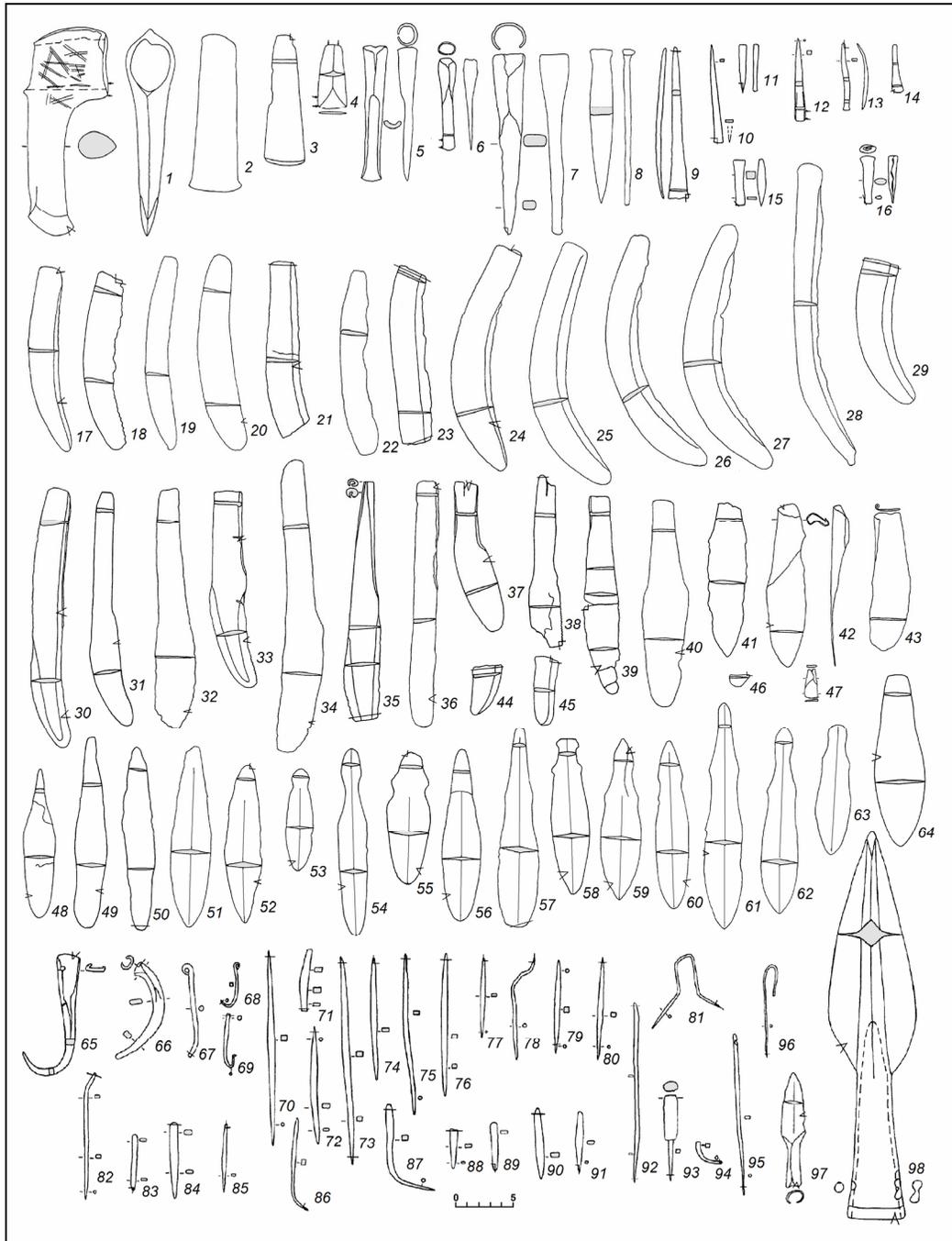
Комплексы петровской культуры Южного Зауралья датированы серией AMS-дат XIX–XVIII вв. до н.э. и занимают несколько более позднюю позицию относительно синташтинских памятников [Молодин и др., 2014; Краузе и др., 2019]. Недавно введенные в научный оборот 27 AMS-дат (пос. Степное, мог. Степное 1, 7, 25) 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 Южного Зауралья. Хотя в целом признается, что при сравнении синташтинской и петровской серий дат прослеживается приоритет синташтинской хронологии [Там же, 2021, с. 23].

### Материалы, методы исследования

Приведены результаты аналитического исследования 106 металлических изделий петровской культуры Южного Зауралья и юга Западной Сибири (пос. Кулевчи 3, Устье 1, Старокумляжское, Убаган 1, 2, 3, Камышное 2, Нижнеингалское 3, Высокая Грива, Шибяево 1, мог. Кривое Озеро, Верхняя Алабуга, Озерное 1, 3, случайные находки Курганской обл.) (рис. 1). 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, табл. 1]. Карта памятников петровской культу-

\* Corresponding author.

ры, а также сведения о хранении и публикации изделий из цветного металла приведены в предшествующих статьях [Дегтярева, Рындина, 2020, с. 19, табл. 1; Дегтярева, 2021, рис. 1, табл., с. 18–21].



**Рис. 1.** Орудия труда и предметы вооружения петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья:

1 — топор; 2–4 — тесла; 5–7 — втульчатые долота; 8 — пробойник; 9–16 — долота стержневидные; 17–29 — серпы; 30–64 — ножи; 65, 66 — втульчатые крюки; 67–69 — крючки; 70–94, 96 — шилья; 95 — игла; 97 — наконечник стрелы; 98 — наконечник копья (1, 4, 6, 9, 12, 13, 17, 21, 29, 30, 33, 36, 38, 45, 46, 52, 55, 66, 69, 77, 78, 81–85, 88 — пос. Кулевчи 3; 2, 61–63, 93, 94 — мог. Верхняя Алабуга; 3, 59, 60, 80, 98 — мог. Кривое Озеро; 5, 43 — пос. Высокая Грива; 7, 10, 18, 23, 24, 31, 35, 37, 44, 49, 50, 54, 58, 64, 65, 70, 72–76, 86, 87, 89, 90, 92 — пос. Устье 1; 8, 22, 25–28, 41 — пос. Шибаво 1; 11, 14–16, 40, 47, 53, 68, 91, 96 — пос. Убаган 2; 19, 32 — пос. Камышное 2; 20, 42 — пос. Нижнеингальское 3; 34, 57 — Курганская обл.; 39 — пос. Старокумляжское; 48, 56 — мог. Озерное 1; 51 — пос. Камышное 1, разрушенное погр.; 67, 95 — пос. Убаган 3; 71, 97 — мог. Убаган 1; 79 — мог. Озерное 3).

## Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья...

**Fig. 1.** Tools and weapons of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region: 1 — axe; 2–4 — adzes; 5–7 — chisels; 8 — punch; 9–16 — rod-shaped chisels; 17–29 — sickles; 30–64 — knives; 65, 66 — socket hooks; 67–69 — hooks; 70–94, 96 — awls; 95 — needle; 97 — arrowhead; 98 — spear (1, 4, 6, 9, 12, 13, 17, 21, 29, 30, 33, 36, 38, 45, 46, 52, 55, 66, 69, 77, 78, 81–85, 88 — Kulevchi 3; 2, 61–63, 93, 94 — Verkhnyaya Alabuga; 3, 59, 60, 80, 98 — Krivoe Ozero; 5, 43 — Vysokaya Griva; 7, 10, 18, 23, 24, 31, 35, 37, 44, 49, 50, 54, 58, 64, 65, 70, 72–76, 86, 87, 89, 90, 92 — Ustye 1; 8, 22, 25–28, 41 — Shibaev 1; 11, 14–16, 40, 47, 53, 68, 91, 96 — Ubagan 2; 19, 32 — Kamyshnoye 2; 20, 42 — Nizhneingalskoe 3; 34, 57 — Kurgan region; 39 — Starokumlyakskoe; 48, 56 — Ozernoe 1; 51 — Kamyshnoe 1, destroyed burial; 67, 95 — Ubagan 3; 71, 97 — Ubagan 1; 79 — Ozernoe 3).

Спектральные и рентгенофлуоресцентные анализы выполнены в лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН (спектрограф ИСП-28; ЭДА X-MET 3000TX фирмы OXFORD Instruments Analytical, Великобритания), атомно-эмиссионный спектрометрический — в лаборатории Института неорганической химии СО РАН (атомно-эмиссионный спектрометр PGS-2, Carl Zeiss, Jena, Германия). Пробы для анализа получали металлической стружкой с помощью бор-машины или дремели с борами маленького диаметра либо использовали фрагменты изделий, предварительно очищенные 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 процента [Черных, 1966, с. 27–34]. Относительная погрешность определения концентраций находилась в пределах 10–20 %. Эта величина практически не сказывалась при замерах концентраций элементов в десятых-десяти тысячных долях процента, однако при определении целых чисел — >1 % относительная ошибка была значительно выше, примеси свыше 10 % зачастую определяли приблизительно [Там же, 1966, с. 31, 32].

При проведении РФА использовались предустановленные эталоны с зафиксированными концентрациями 12 элементов — Cu, Sn, Pb, Zn, Bi, Ag, Sb, As, Fe, Ni, Co, Au [Черных, Луньков, 2009]. Взятая стружка металла, помещенная в контейнер, перекрывала каптоновое окно прибора, через которое на анализируемую пробу направлялся поток рентгеновского излучения (16×12 мм). Окно подобного размера обеспечивает получение данных об усредненном химическом составе металла изделия. Этот метод имеет довольно высокий порог чувствительности — десятые, иногда сотые доли процента, 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 и сравнили их 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 [Дегтярева, Шуваева, 2004]. Результаты анализа с небольшими погрешностями фиксируют как микропримеси в сотых-десяти тысячных долях процента, так и легирующие компоненты в целых процентах. Последнее подтверждено данными металлографического анализа по совпадению состава и наблюдаемых фазовых составляющих.

В смешанных комплексах не всегда уверенно можно произвести культурную идентификацию изделий. Так, металл поселения Устье 1 представлен изделиями синташтинской и петровской культур, которые сложно было культурно атрибутировать с использованием лишь морфолого-типологического исследования. Морфология орудий труда в данной ситуации не являлась определяющей, поскольку типы орудий поселения представлены общеевразийскими формами, присущими культурам начальной фазы Западноазиатской (Евразийской) металлургической провинции (ЗАМП) [Черных, Кузьминых, 1989, с. 219–224; Черных, 2007, с. 71–110; Кузьминых, Дегтярева, 2012, с. 222–250]. Вместе с тем использование аналитических методик с последующей статистической обработкой результатов позволило произвести разграничение комплекса на синташтинскую и петровскую группы. В основе критериев находились соотношение с определенной металлургической группой и особенности микроструктурных и технологических показателей, в том числе установленные режимы обработки металла. Отчасти это вычленение, конечно, носило условный характер, равно как и разделение предметов из оловянно-мышьяковой бронзы на петровские и синташтинские изделия [Виноградов и др., 2013].

### Результаты

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 разделить металл на 4 металлургические группы (табл. 1; рис. 2, 1, 2, 4; 3). 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 мы применяли принятую погрешность в сторону уменьшения показателей в два раза от минимально зарегистрированной для данного элемента концентрации.

Таблица 1

**Результаты спектральных, рентгенофлуоресцентных, атомно-эмиссионных спектрометрических анализов орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья, мас. %**

Table 1

The results of spectral, X-ray fluorescence, atomic emission spectrometric analyzes of the tools of labor of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region, wt %

№	Предмет	Номер рисунка	№ спектр. анализ.	№ структур. анализ.	Cu	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
<b>Поселение Кулевчи 3</b>																
1	Крючок	1, 69	29378	378	Осн.	0,1	1,3	~0,004	—	>0,0001	—	—	1,5	0,005	<0,001	—
2	Долото	1, 9	29380	359	Осн.	6,0	0,9	~0,004	0,06	0,03	0,2	0,6	0,45	0,008	~0,001	<0,001
3	Шило	1, 82	29381	398	Осн.	2,5	0,2	0,007	0,008	0,02	0,02	1,3	1,0	0,03	~0,002	<0,001
4	Шило	1, 78	29382	397	Осн.	0,015	0,07	—	0,0006	0,02	0,001	—	0,01	0,0025	?	—
5	Нож, обломок	1, 46	29383	361	Осн.	0,01	0,25	—	—	<0,0001	—	—	0,17	0,0015	?	—
6	Серп	1, 29	29384	351	Осн.	0,0007	0,001	—	—	?	—	—	0,8	0,018	<0,001	—
7	Шило	1, 77	29386	388	Осн.	3,5	0,06	~0,004	0,015	0,0005	0,0015	0,09	0,8	0,02	>0,002	—
8	Шило	1, 85	29387	403	Осн.	7,0	0,5	0,007	0,008	0,004	0,003	0,02	0,2	0,005	<0,001	<0,001
9	Шило	1, 84	29389	394	Осн.	0,003	~0,2	~0,004	0,0008	0,008	0,002	0,007	0,07	0,002	?	—
10	Тесло	1, 4	29390	358	Осн.	0,04	0,08	0,01	0,001	0,001	0,002	—	~0,003	0,0015	<0,001	—
11	Шило	1, 88	29391	406	Осн.	0,07	0,015	0,015	0,004	0,001	0,0015	0,01	1,0	0,006	>0,001	—
12	Шило	1, 83	29393	393	Осн.	~0,0003	0,005	~0,003	—	<0,0001	?	?	0,025	0,0015	<0,001	—
13	Нож обломок	1, 45	29394	355	Осн.	~0,0008	0,01	?	~0,0002	>0,0001	—	—	~0,003	0,0015	<0,001	—
14	Шило	1, 81	29395	391	Осн.	0,0015	0,2	~0,004	0,001	0,003	0,005	0,035	0,35	0,003	<0,001	—
15	Долото	1, 73	29398	385	Осн.	0,025	0,3	?	>0,0001	0,0007	0,002	0,015	0,008	0,004	>0,001	—
16	Нож	1, 33	29418	348	Осн.	0,001	0,001	—	?	>0,0001	—	—	0,3	0,0015	<0,001	—
17	Серп	1, 77	29419	350	Осн.	>0,001	~0,0005	—	—	?	—	—	0,01	0,015	<0,001	—
18	Топор	1, 1	29421	345	Осн.	0,0015	0,006	0,01	?	0,0007	?	0,035	0,08	0,01	~0,001	—
19	Нож	1, 52	29422	349	Осн.	10,0	0,1	—	0,001	0,0005	0,15	0,03	0,017	0,0015	<0,001	—
20	Серп	1, 21	29424	352	Осн.	0,025	0,05	?	0,005	0,005	0,001	—	~0,004	0,003	<0,001	—
21	Нож	1, 56	29425	353	Осн.	0,008	0,002	—	—	0,007	—	—	0,35	0,02	>0,001	<0,001
22	Нож	1, 38	29426	354	Осн.	0,1	0,012	0,007	~0,0003	<0,0003	0,001	—	0,7	0,005	~0,001	—
23	Нож	1, 36	29427	347	Осн.	0,12	0,08	—	0,0007	0,0005	?	0,015	0,05	0,0015	?	—
24	Нож	1, 30	30973	346	Осн.	0,025	0,07	?	~0,0007	0,003	0,0015	0,02	0,06	0,004	?	—
25	Долото	1, 6	32144	362	Осн.	5,0	0,025	0,008	0,007	~0,0007	0,012	?	0,1~0,3	0,008	?	—
26	Долото	1, 72	32145	360	Осн.	0,007	0,04	0,015	0,004	~0,0008	?	—	0,05	0,005	—	—
27	Крюк	1, 66	001	413	Осн.	0,004	0,008	0,001	0,001	0,01	<0,001	0,015	0,05	0,001	0,0005	0,0003
<b>Поселение Устье (петровский металл)</b>																
28	Нож	1, 64	008	452	Осн.	0,4	0,03	0,006	0,001	0,01	0,02	0,05	0,3	<0,0002	<0,001	<0,001
29	Серп	1, 24	010	454	Осн.	0,1	0,02	0,02	0,002	0,001	<0,01	0,04	1,4	0,001	<0,001	<0,001
30	Серп	1, 78	013	457	Осн.	0,5	0,04	0,025	0,05	0,04	0,01	0,08	0,03	0,003	<0,0004	0,001
31	Нож	1, 31	017	460	Осн.	0,07	0,02	0,05	0,0002	0,001	<0,01	0,01	0,2	0,005	<0,001	<0,001
32	Нож	1, 37	018	461	Осн.	0,1	0,07	0,06	0,001	0,001	<0,01	<0,01	0,02	0,002	<0,001	<0,001
33	Нож	1, 58	020	463	Осн.	0,4	0,006	0,08	0,003	0,003	<0,005	0,01	0,05	0,002	<0,0004	0,0002
34	Шило	1, 70	023	466	Осн.	0,03	0,04	0,06	0,0002	0,004	<0,001	0,04	0,4	0,003	<0,004	<0,001
35	Нож	1, 54	025	468	Осн.	0,4	0,01	0,1	0,005	0,01	0,02	0,1	0,2	0,001	0,0004	0,001
36	Нож	1, 49	026	479	Осн.	0,03	0,03	0,06	0,0002	0,002	<0,001	0,03	0,1	0,002	<0,004	<0,001
37	Нож	1, 35	027	480	Осн.	0,003	0,01	0,15	0,0002	0,002	<0,01	<0,01	0,02	0,002	0,0004	<0,001
38	Серп	1, 23	029	482	Осн.	0,004	0,001	0,07	0,0003	0,001	<0,001	0,02	0,4	0,01	0,004	<0,001
39	Крюк	1, 65	031	484	Осн.	0,3	0,1	0,07	0,06	0,1	0,02	0,05	0,4	0,007	0,0004	<0,001
40	Нож	1, 50	032	486	Осн.	0,45	0,03	0,008	0,008	0,05	0,01	0,06	0,04	0,005	<0,001	<0,001
41	Долото	1, 70	035	489	Осн.	0,007	0,004	0,014	0,003	0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,003	<0,001	<0,001
42	Долото	1, 7	206	571	Осн.	0,75	0,012	0,03	0,003	0,009	<0,01	0,18	0,15	0,006	0,003	0,001
43	Шило	1, 86	223	589	Осн.	<0,005	0,03	0,02	0,001	0,0005	<0,01	0,01	0,07	0,002	<0,001	0,001
44	Шило	1, 92	224	590	Осн.	<0,001	0,008	0,05	0,002	0,0004	<0,01	0,0007	0,07	0,002	<0,001	0,001
45	Шило	1, 73	225	591	Осн.	<0,001	0,009	<0,002	0,001	0,001	0,14	0,06	0,01	0,010	<0,001	0,001
46	Шило	1, 72	236	602	Осн.	4,0	0,23	0,04	0,007	0,010	<0,01	0,40	0,05	0,008	0,003	<0,001
47	Шило	1, 90	238	604	Осн.	2,22	0,10	0,04	0,002	0,002	<0,01	0,04	0,18	0,009	0,003	<0,001
48	Нож, обломок	1, 44	239	605	Осн.	0,07	0,02	0,01	0,004	0,003	<0,01	0,01	0,01	0,001	<0,001	0,006
49	Шило	1, 89	242	608	Осн.	0,0416	0,0082	0,082	0,00061	0,002	<0,05	0,046	0,1355	0,00423	0,0018	<0,001
50	Нож	—	38520	—	Осн.	1,1	0,031	0,001	0,0006	0,016	0,023	0,025	0,23	0,0096	0,0017	—
51	Шило	—	38522	—	Осн.	0,013	0,047	0,0012	0,0003	0,0042	—	0,028	1,3	0,015	0,0024	0,0002
52	Шило	1, 76	38523	593	Осн.	2,7	0,096	0,0009	0,0009	0,0094	0,0091	0,035	1,2	0,052	0,0039	0,0002
53	Шило	1, 74	38525	581	Осн.	3,6	0,0025	0,0009	0,0016	0,0082	0,0016	0,0046	0,27	0,0073	0,0017	—
54	Шило	1, 87	38527	603	Осн.	0,075	0,0037	—	—	0,0009	—	0,0046	0,13	0,0025	0,0011	—
55	Шило	—	38528	—	Осн.	0,0066	0,006	0,0008	—	0,0014	—	0,0029	0,18	0,0027	0,0011	—
56	Шило	—	38533	—	Осн.	0,0007	0,0018	0,0012	0,0003	0,0014	—	0,0061	0,4	0,0013	0,0012	—
57	Шило	1, 75	38534	488	Осн.	—	0,037	—	—	0,0037	0,0046	—	0,017	0,0007	0,001	—
<b>Старокумляжское селце</b>																
58	Нож	1, 39	29428	356	Осн.	0,03	0,03	?	0,005	0,015	—	0,03	0,035	0,003	<0,001	—
<b>Поселение Убаган 2</b>																
59	Долото	1, 76	301	947	Осн.	0,071	0,061	<0,01	0,000	0,003	<0,05	0,023	0,070	0,002	<0,001	<0,001
60	Нож	1, 53	359	905	Осн.	1,215	0,089	0,034	0,001	0,011	<0,05	0,028	1,65	0,004	<0,001	0,002
61	Долото	1, 71	369	944	Осн.	2,525	0,219	0,001	0,002	0,013	<0,05	0,021	1,06	0,00002	0,001	0,002

Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья...

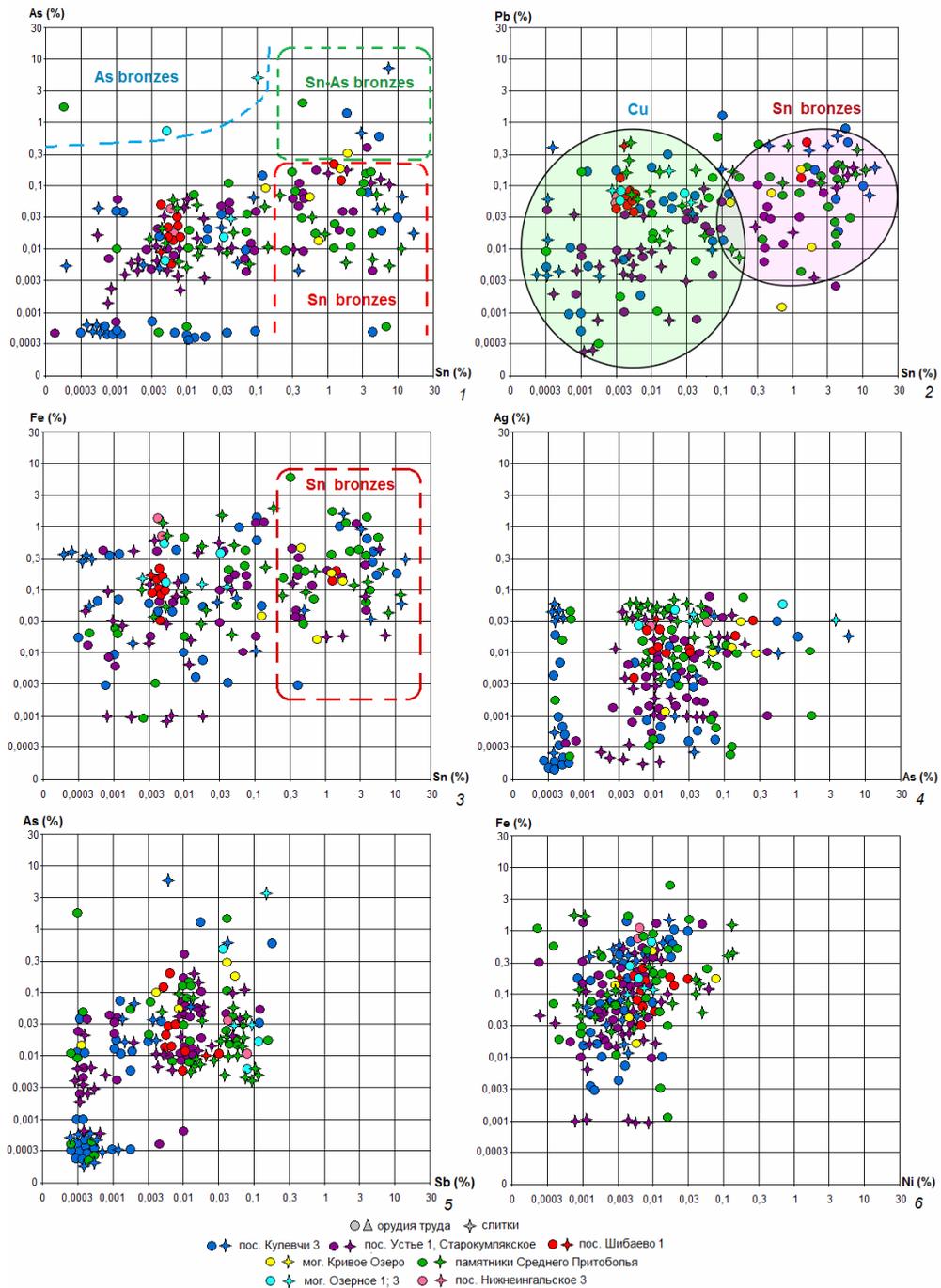
Окончание табл. 1

№	Предмет	Номер рисунка	№ спектр. анал.	№ структур. анал.	Cu	Sn	Pb	Zn	Bi	Ag	Sb	As	Fe	Ni	Co	Au
62	Долото	1, 75	370	964	Осн.	0,036	0,006	0,024	0,002	0,018	<0,05	0,106	0,18	0,011	0,002	0,002
63	Долото	1, 74	402	948	Осн.	<0,01	0,019	0,090	0,001	0,025	<0,05	<0,02	0,021	<0,001	<0,001	<0,001
64	Шило	1, 91	403	955	Осн.	0,740	0,072	0,049	0,008	0,041	0,170	<0,02	0,067	0,01	<0,001	<0,001
65	Нож	1, 40	503	1064	Осн.	0,001	0,2	0,02	0,008	0,01	<0,01	0,010	0,028	0,001	<0,001	<0,001
66	Крючок	1, 68	27901	946	Осн.	0,0025	0,0003	—	—	0,02	—	—	0,001	0,025	—	—
67	Проколка	1, 96	49774	1065	Осн.	0,07	0,14	—	0,04	0,04	0,05	—	0,28	0,07	—	—
68	Нож, обломок	1, 47	49785	1076	Осн.	0,09	0,64	0,45	0,04	0,03	0,05	0,04	0,47	0,02	—	—
<b>Поселение Убаган 3</b>																
69	Игла	1, 95	398	929	Осн.	0,303	0,363	0,291	0,001	0,081	<0,01	0,200	6,2	0,02	<0,001	<0,001
70	Крючок	1, 67	501	1056	Осн.	0,004	0,002	—	—	0,04	—	—	0,003	0,015	—	—
<b>Поселение Камышное 1, разрушенное погребение</b>																
71	Нож	1, 51	293	—	Осн.	?	0,01	—	—	0,001	—	2,0	0,02	+	—	—
<b>Поселение Камышное 2</b>																
72	Нож	1, 32	17905	902	Осн.	0,01	0,015	—	—	0,0001	—	—	0,07	0,0005	—	—
73	Серп	1, 19	17904	—	Осн.	0,01	0,04	—	—	0,0005	—	0,01	0,07	0,003	—	—
<b>Поселение Нижнеингальское</b>																
74	Серп	1, 20	49759	1139	Осн.	—	0,07	0,06	0,03	0,03	0,05	0,04	0,97	—	0,05	—
75	Нож	1, 42	49760	1140	Осн.	—	0,07	0,09	0,03	0,04	0,09	0,01	1,42	—	—	—
<b>Поселение Высокая Грива</b>																
76	Долото	1, 5	323	—	Осн.	7	0,03	—	0,02	0,002	—	—	0,7	+	—	—
77	Нож	1, 43	326	—	Осн.	0,5	0,15	—	0,05	0,01	0,04	1,7	0,03	0,02	—	—
<b>Поселение Шибаво 1</b>																
78	Нож	—	49006	—	Осн.	1,55	0,47	—	0,03	0,02	—	0,13	0,25	0,03	—	—
79	Серп	1, 27	49008	—	Осн.	—	0,06	—	0,03	0,03	0,03	0,01	0,28	—	—	—
80	Серп	1, 26	49010	—	Осн.	—	0,07	—	0,03	0,01	—	0,01	<0,03	—	—	—
81	Нож	1, 41	49012	—	Осн.	—	<0,05	0,21	?	0,01	—	0,01	0,12	—	—	—
82	Серп	1, 22	49014	—	Осн.	—	<0,05	0,11	?	0,01	—	0,03	0,09	—	—	—
83	Серп	1, 25	49016	—	Осн.	—	<0,04	0,13	?	0,01	—	0,02	0,29	0,02	—	—
84	Серп	1, 28	49020	—	Осн.	—	<0,05	—	?	0,01	0,01	—	0,17	—	—	—
85	Нож	—	49022	—	Осн.	1,43	0,14	—	0,04	0,03	—	0,26	0,25	0,02	—	—
86	Серп	—	49024	—	Осн.	—	0,16	—	0,08	0,03	0,01	0,01	0,08	—	—	—
87	Пробойник	1, 8	49030	—	Осн.	—	<0,05	0,19	?	0,01	—	0,03	0,07	0,01	—	—
<b>Могилище Убаган 1</b>																
88	Шило	1, 71	299	942	Осн.	0,370	0,028	<0,01	0,001	0,005	<0,01	0,030	0,245	0,010	<0,001	<0,001
89	Стрела	1, 97	306	960	Осн.	0,420	0,015	0,258	0,002	0,008	<0,01	0,071	0,250	0,003	0,002	<0,001
<b>Могилище Кривое Озеро</b>																
90	Нож	1, 59	002	414	Осн.	0,15	0,06	0,002	0,008	0,015	0,004	0,1	0,04	0,005	0,0005	0,0003
91	Нож	1, 60	006	418	Осн.	0,5	0,08	0,006	0,004	0,01	<0,01	0,06	0,45	0,01	0,001	0,0003
92	Тесло	1, 13	284	439	Осн.	1,4	0,18	0,18	0,004	0,03	0,07	0,2	0,17	0,08	<0,002	0,02
93	Шило	1, 80	285	440	Осн.	2,2	0,01	0,1	0,01	0,01	<0,05	0,3	0,12	0,003	<0,002	0,008
94	Наконечник копья	1, 98	38502	451	Осн.	0,77	0,0011	0,0012	0,0005	0,0017	—	0,014	0,017	0,0073	0,0014	—
<b>Могилище Верхняя Алабуа</b>																
95	Нож	1, 62	27869	—	Осн.	1,2	0,0035	?	0,0003	0,0004	—	0,01	0,35	0,002	—	—
96	Нож	1, 61	27871	892	Осн.	3,5	0,025	?	0,0002	0,0003	0,002	0,15	0,35	0,02	—	0,001
97	Тесло	1, 2	27872	—	Осн.	3,5	0,015	—	0,006	0,0025	0,015	0,15	1,5	0,03	0,001	0,001
98	Шило	—	27873	—	Осн.	0,015	0,001	—	0,0002	0,0015	0,002	0,06	0,7	0,007	?	0,001
99	Шило	1, 93	27874	897	Осн.	3,0	0,05	0,007	0,007	0,0006	0,003	0,09	0,45	0,009	?	0,001
100	Нож	1, 63	27889	—	Осн.	4,5	0,12	0,007	0,01	0,005	0,003	0,02	0,1	0,003	—	0,001
101	Шило	1, 94	396	910	Осн.	2,820	0,164	0,047	0,001	0,019	<0,01	<0,01	0,455	0,01	<0,005	<0,001
<b>Могилище Озерное 1</b>																
102	Нож	1, 56	49871	1193	Осн.	0,03	0,09	—	0,07	0,06	0,14	0,02	0,32	—	—	—
103	Нож	1, 48	49872	1194	Осн.	—	0,08	—	0,05	0,04	0,08	—	0,24	—	—	—
<b>Могилище Озерное 3</b>																
104	Шило	1, 79	49875	1197	Осн.	—	0,07	—	0,03	0,06	0,04	0,68	0,54	0,01	—	—
<b>Случайные находки</b>																
105	Нож	1, 57	360	906	Осн.	4,380	0,203	0,102	0,001	0,010	<0,01	0,113	0,07	0,009	<0,001	<0,001
106	Нож	1, 34	394	903	Осн.	0,228	0,116	0,285	0,001	0,006	<0,01	<0,01	0,158	0,01	<0,005	<0,001

**Примечание.** Спектральные, рентгенофлуоресцентные анализы с пятизначными номерами, а также с №№ 293, 323, 326 произведены в лаборатории естественнонаучных методов ИА РАН; АЭСА с прочими трехзначными номерами — в ИНХ СО РАН.

Аналитические данные, полученные разными приборами и методами, тем не менее, вполне корректны в сопоставлении, поскольку спектральный и атомно-эмиссионный анализы определяют микропримеси достаточно точно с низким порогом чувствительности в тысячных-десяти тысячных долях процента (мас. %, относительная погрешность определения примесей в пределах 10–20 % особой роли не играет).

Оценка легирующих компонентов осуществляется с учетом поправки в сопоставлении с данными микроструктурного анализа, замерами микротвердости (при наличии). Погрешности при замерах концентраций примесей с использованием РФА несколько выше, в связи с более высоким порогом обнаружения элементов в десятых-сотых долях процента. Наиболее точные результаты с получением данных по большому охвату элементов возможны при использовании масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ppm; мас. %), а также зондового электронного анализа (мас. %; ат. %) [Artemyev, Ankushev, 2019].



**Рис. 2.** Корреляция концентраций примесей к меди Sn–As, Sn–Pb, Sn–Fe, As–Ag, As–Sb, Fe–Ni металла петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья.

**Fig. 2.** Correlation of the concentrations of impurities to copper Sn–As, Sn–Pb, Sn–Fe, As–Ag, As–Sb, Fe–Ni of the metal of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region.

Численно преобладающей в коллекции орудий труда и слитков является **группа чистой меди** — 112 предметов (63,6 %; орудия — 65 экз., 61,3 %; слитки — 47 экз., 67,1 %; табл. 2). Она доминирует в поселенческом инвентаре (68,9 % всей выборки), в то время как в погребальном ее доля не превышает трети изделий (32 %). В этой группе выявлены предметы, отлитые как из окисленной меди, так и из сульфидной. Первые характеризуются наличием включений эвтектики Cu–Cu<sub>2</sub>O (фиксируемой при металлографическом анализе) и относительной чистотой металла. Содержание Sn, As, Zn, Bi, Ni, Co, Au находится в тысячных и десятитысячных,

## Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья...

в то время как примеси Pb, Fe, Ag — в сотых и десятых долях процента. Группа чистой меди отчетливо прослежена на корреляционных графиках As–Sn (в левом нижнем углу), Fe–Sn, Ag–As (в левой вертикальной части, до значения As, Sn 0,006 %; рис. 2). Как показали данные СЭМ–ЭДА, для орудий и слитков с включениями эвтектики Cu–Cu<sub>2</sub>O характерно отсутствие примесей серы, 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).

Таблица 2

### Распределение орудий труда и слитков петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Приоболья по металлургическим группам

Table 2

Distribution of tools and ingots of the Petrovsky culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region by metallurgical groups

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	70/100
Итого	112/63,6	54/30,7	7/4	3/1,7	176/100
Поселения	104/68,9	43/27,1	6/4	—	151/100
Могильники	8/32	11/52	1/4	3/12	25/100

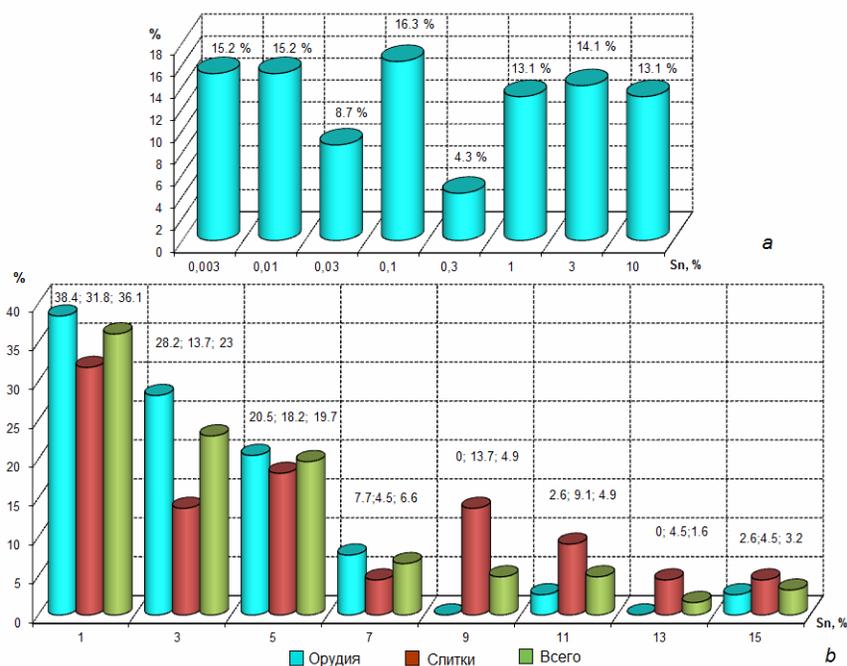


Рис. 3. Частотная гистограмма концентраций примесей Sn к меди:

а — орудия труда; б — орудия труда и слитки петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Приоболья.

Fig. 3. Frequency histogram of the concentrations of Sn impurities in copper:

а — tools; б — tools and ingots of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region.

Второй по численности является **группа оловянной бронзы** — 54 предмета (30,7 %; орудия — 34 экз., 32,1 %; слитки — 20 экз., 28,6 %). Нижний порог легирования для Sn и As нами определяется статистически в пределах 0,3 % (рис. 2, 3). Все орудия труда петровской культуры Зауралья и юга Западной Сибири относятся к категории низколегированных, концентрация Sn не превышает в их составе 10 %. Незначительное количество среднелегированных бронз представлено слитками с содержанием олова 11–14 % из пос. Кулевчи 3 (2 экз.) и Убаган 2 (1 экз.; рис. 2, 1). Металл оловянных бронз характеризуется содержанием As 0,003–0,2 %, Pb 0,003–0,6 %, Fe 0,01–1,6 %, Ag 0,0005–0,03 %. При сопоставлении с чистой медью содержа-

ние перечисленных элементов в сплаве Cu+Sn на порядок выше, чем в медных изделиях. На корреляционном графике Sn–Pb в группе чистой меди не фиксируется прямая положительная зависимость содержаний Pb и Sn, в то время как для бронз группы Cu+Sn очевидна геохимическая зависимость этих элементов: увеличение концентраций свинца наблюдается по мере возрастания примеси олова (рис. 2, 2).

**Группа оловянно-мышьяковой бронзы** незначительна — 5 орудий и 2 слитка. Концентрации олова находятся в пределах 2–6 %, As — 0,3–1,5 %. Предметы содержат повышенные концентрации Pb, Ag, Sb (десятые и сотые доли %), Fe — до 6,2 %. **Группа мышьяковой бронзы** также малочисленна — 2 орудия и слиток с содержанием As 0,68–2 %.

Изделия из легированной бронзы — Cu+Sn, Cu+Sn+As, Cu+As в основном обнаружены в поселенческих материалах (76,5 % выборки), в то время как в погребальных комплексах найдено 23,5 %.

### Обсуждение

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 приведены результаты спектрального анализа лабораторий естественнонаучных методов ИА и археологической технологии ЛОИА (104 и 81 ан. соответственно) по материалам памятников петровской, алакульской, алексеевско-саргаринской культур, изученных экспедициями ИА РАН под руководством Т.М. Потемкиной [1985]. Статистическая обработка данных позволила тогда исследователям дать суммарную химико-металлургическую характеристику металла эпохи бронзы Притоболья. Металл петровской культуры представлен в основном украшениями из погребений 3, 4, 6, 7, 10 мог. Верхняя Алабуга (30 ан.). Именно этим объясняется преобладание в петровских изделиях высоколегированных бронз (до 76,6 %) по сравнению с алакульскими (до 54,5 %). Вместе с тем исследователями прослежена определенная преемственность в использовании рудного сырья петровскими и алакульскими металлургами [Кузьминых, Черных, 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, Шибаво 1 и др. [Дегтярева и др. 2001; Луньков и др., 2009; Виноградов и др., 2013; 2017; 2020; Дегтярева, 2015; Doonan, 2015]. Исследователи выделили три основные металлургические группы или рецепта сплавов металла пос. Кулевчи 3 и Устье 1, мог. Кривое Озеро — чистая медь, оловянная и мышьяковая бронза с доминированием изделий первой группы.

Определен также элементный состав металла могильника Степное 7, включая 10 орудий и 19 украшений [Doonan, 2015]. Рентгенфлуоресцентный анализ выполнен с использованием портативного РФА-анализатора NITON XL3T. Замеры производились, судя по описанию, на поверхности изделий без предварительной очистки от патины и продуктов коррозии. Это явно сказалось в искажении результатов анализа с фиксацией высоких концентраций олова в большинстве украшений, достигающих до 58,95 % [Там же, р. 193, 194]. Хотя не исключено, что замеры 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 кузнецы и литейщики использовали металл из различных рудных источников, поскольку среди изделий наряду с основной серией из оловянных бронз (концентрация Sn в орудиях доходила до 15 %) отмечены медно-мышьяковые и медно-оловянно-мышьяковые сплавы. Примерно 15 % орудий и украшений изготовлены из чистой меди.

Выборка металла петровской культуры Южного Зауралья и юга Западной Сибири в совокупности дает несколько иные результаты, демонстрируя доминирование чисто медных изделий в поселенческих комплексах. В то же время металл из могильников, сопряженный с особыми культовыми обрядами по отношению к погребенным, изготовлен преимущественно из легированных бронз (рис. 2). Четко просматриваемой зависимости функции и состава металла (ударных инструментов, орудий с режущей функцией) не просматривается. Они в равной мере формовались как из меди, так и бронзы. Из сплава Cu+Sn получены частично ножи, шилья, долота, серпы, тесло, наконечники стрелы и копья. Большинство орудий (94,8 %) отлито из низколегированной оловом (до 7 %) бронзы.

В процессе исследования металла петровской культуры Южного Зауралья методом СЭМ–ЭДА, совмещенным с данными металлографического анализа, выяснилось, что предметы из

## Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья...

чистой меди образуют две совокупности по характеру используемого сырья для металлургического передела. В качестве индикаторов предполагаемых сырьевых 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 руды, иногда халькопирит-пиритовые, 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 пос. Кулевчи 3, металл которых имеет более низкие концентрации мышьяка, сурьмы и серебра, более высокие — железа и никеля в сравнении с медью пос. Устье 1 (рис. 2, 1, 4–6). График Fe–Ni демонстрирует положительную геохимическую взаимосвязь между содержанием этих элементов в металле петровской культуры. Достаточно компактно расположены на корреляционных графиках концентрации примесей изделий из пос. Шибаето 1, Нижнеингалское 3, мог. Озерное 1, 3, что также позволяет предположить использование сырьевого источника, находящегося вблизи Шибаето 1.

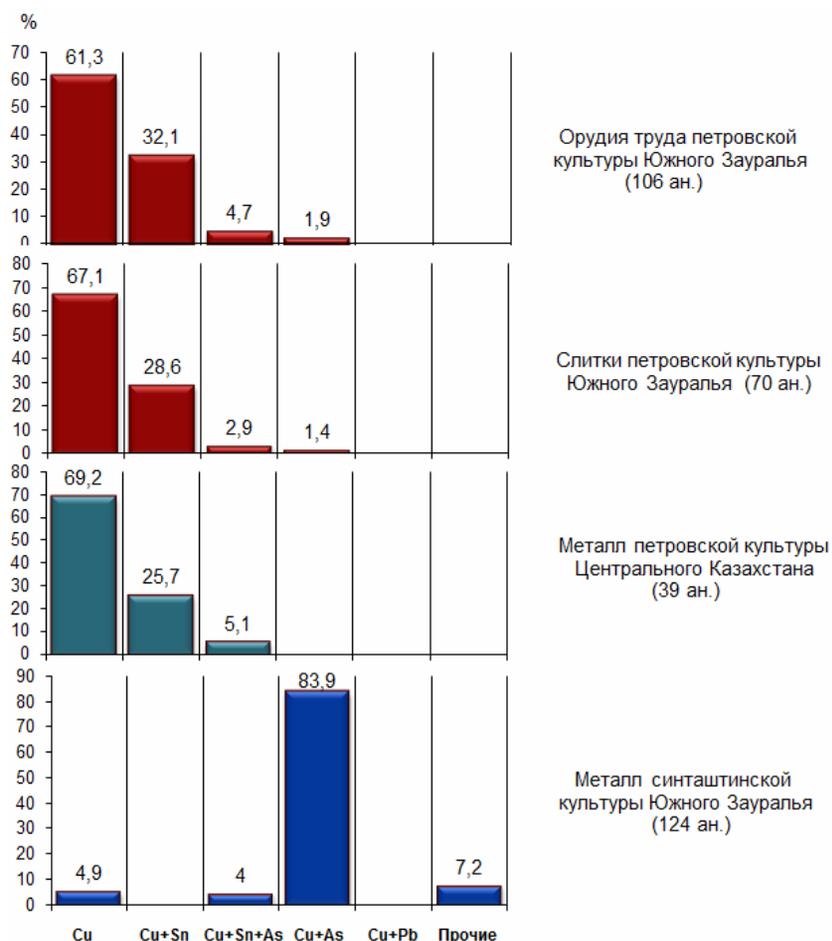


Рис. 4. Распределение цветного металла петровской и синташтинской культур по металлургическим группам (значения в %).

Fig. 4. Distribution of non-ferrous metal of the Petrovka and Sintashta cultures by metallurgical groups (values in %).

Легированные бронзы зафиксированы большей частью в материалах поселений и могильников Среднего Притоболья, 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, 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, довольно активно освоенную населением синташтинской и петровской культур, по р. Убаган до Тобола и далее вдоль его притоков. Таким образом, в проанализированной выборке могут быть выделены 2–3 группы, связанные с различными источниками меди на Урале, и группа металла, явно импортного из Центрального Казахстана. Изделия из мышьяковой бронзы, скорее всего, попали в петровскую среду в рамках обменных процессов из анклавов синташтинской культуры.

Распределение цветного металла Южного Зауралья и юга Западной Сибири по сплавам соответствует статистическим данным по памятникам петровской культуры Центрального Казахстана, где также преобладают изделия из чистой меди, в том числе окисленной; примерно такова же доля оловянных бронз, и единичны предметы из сплавов Cu+Sn+As (рис. 4) [Дегтярева и др., 2020]. Несколько большее количество легированных бронз на Южном Урале объяснимо особым предпочтением ценного металла в погребальных ритуалах. По химическому составу металл петровской культуры явно диссоциирует с выборкой синташтинской культуры, в которой доминируют сплавы Cu+As (около 83,9 %) при очень низкой доле изделий из чистой меди и небольшом количестве украшений из бронзы Cu+Sn.

Сырьевая база Южного Зауралья по данным геологии представлена многочисленными месторождениями окисленных и сульфидных руд. В составе окисленных преобладают карбонаты меди — малахит и азурит. Исследователями выделено несколько основных типов рудных объектов: зоны окисления вкрапленных сульфидных руд (Воровская Яма, Новотемирский); медно-колчеданных руд вулканогенно-осадочного происхождения (бурые железняки с гнездами карбонатов меди и залежами вторичных сульфидных руд, сложенных халькозином и ковеллином (Бакр-Узяк); прожилково-вкрапленных руд (Новониколаевский); а также зоны окисления сульфидно-кварцевых и сульфидно-карбонатно-кварцевых жил (халькозин, борнит, ковеллин, малахит, азурит, арсенат меди; рудники Никольского рудного поля) [Зайков и др., 2005; 2013; Анкушев и др., 2016; 2018; Анкушева и др., 2020; 2022]. Результаты обследования древних рудников, часть из которых содержала керамику эпохи бронзы, и аналитическое изучение образцов руд, шлаков из слоя поселений позволили геологам прийти к заключению, что в Зауральском горно-металлургическом центре добывались медные руды, связанные с месторождениями в гипербазитах, базальтовых и риолитбазальтовых вулканогенных комплексах [Зайков и др., 2013, с. 174–190]. Преобладающим методом добычи был карьерный, что определялось прожилково-вкрапленным характером первичных руд. Результаты исследования металлических включений шлаков Южного Урала свидетельствуют, что часто использовалось сырье из мышьяк- и никельсодержащих залежей, в том числе теннантит в сочетании с халькопиритом, пиритом, арсенатом меди (Таш-Казган), а также малахит-азуритовые, реже магнетит-малахитовые и сульфидные руды из нижних горизонтов зон окисления. По мнению специалистов, ведущим типом использовавшихся руд являлись малахитовые и азурит-малахитовые залежи. В карьере рудника Воровская Яма была обнаружена синташтинско-петровская и срубно-алакульская керамика, фрагменты керамики эпохи бронзы найдены на территории Новониколаевского, Стародубцева Яма, Новотемирского, Бакр-Узяк, Никольского рудников [Анкушев и др., 2018; Анкушева и др., 2020]. Основные известные в настоящее время крупные производственные комплексы базировались на поселениях Устье 1 и Кулевчи 3, находившихся в непосредственной близости от этих рудников.

Крупные месторождения олова на Урале отсутствуют, хотя имеются сведения об обнаружении вкраплений касситерита в рудах Гайского, Учалинского, Карабашского, Александринского, Валенторского и Вишневого колчеданных месторождений [Сафина, Аюпова, 2016]. Последние связаны с борнитсодержащими рудами колчеданных залежей, в которых в цементующей магнетит-халькопирит-сфалеритовой матрице обнаружены изометрические зерна касситерита размером 5–10 мкм. Наиболее вероятным представляется импорт слитков и готовых изделий с введенной лигатурой Cu+Sn, Cu+Sn+As из металлопроизводящих центров петровской и елунинской культур Центрального и Восточного Казахстана.

### Выводы

Выявлены четыре металлургические группы или рецепта сплавов орудий и слитков петровской культуры Южного Зауралья и юга Западной Сибири — чистая медь, оловянная, оловянно-мышьяковая и мышьяковая бронзы. Первая группа подразделялась на оксидные и сульфидные образцы. Судя по геохимическому своеобразию металла из металлопроизводящих центров Устье 1, Кулевчи 3, Шибаетово 1, для плавки меди использовалось несколько источников оксидно-карбонатных руд — малахитовые и азурит-малахитовые залежи, при этом в качестве флюса добавляли в расплав сульфидные халькозин-ковеллиновые руды, иногда халькопирит-пиритовые залежи. Добавление сульфидов производилось в порядке эксперимента и не носило целенаправленного характера. Петровские металлурги поставляли медь в мастерские Среднего Притоболья — пос. Убаган 1, 2, 3, Камышное 1, 2. В центрах петровской культуры Южного Зауралья доминировало производство чисто медных изделий, в том числе из металла, выплавленного из окисленной руды. В меньшей степени использовалась низколегированная бронза (Sn в основном до 7 %, As — до 2 %) — Cu+Sn, Cu+Sn+As, Cu+As, сырье для которых поступало от родственных племен Центрального и Восточного Казахстана в виде слитков и готовых изделий по восточной части трансевразийского транспортного коридора торговли металлом — через Тургайский прогиб и далее по развитой речной системе Тобола и его притоков. Наибольшая концентрация орудий из легированных бронз зафиксирована в могильниках Среднего Притоболья, что объяснимо с точки зрения престижности такого рода изделий и соблюдения особых культовых практик.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- Анкушев М.Н., Юминов А.М., Зайков В.В., Котляров В.А., Блинов И.А.* Старинные медные рудники Никольского рудного поля (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2016. № 1. С. 96–101.
- Анкушев М.Н., Юминов А.М., Зайков В.В., Носкевич В.В.* Медные рудники бронзового века в Южном Зауралье // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2018. Т. 23. С. 87–110. <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>
- Анкушева П.С., Алаева И.П., Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Баженов Е.А., Юминов А.М.* Стародубцева Яма — древний рудник степной зоны Челябинской области // Геоархеология и археологическая минералогия. 2020. Т. 7. С. 136–139.
- Анкушева П.С., Алаева И.П., Анкушев М.Н., Батанина Н.С., Блинов И.А., Рассомахин М.А., Чикунова И.Ю., Юминов А.М.* Доисторические технологии горного дела: рудник Новотемирский в Южном Зауралье // Вестник Томского государственного университета. История. 2022. № 76. С. 166–179. <https://doi.org/10.17223/19988613/76/20>
- Виноградов Н.Б.* Кулевчи III — памятник петровского типа в Южном Зауралье // КСИА. 1982. Вып. 169. С. 94–100.
- Виноградов Н.Б., Берсенева Н.А., Алаева И.П., Алентьев Ю.М., Блинов И.А., Галибин В.А., Епимихов 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: Изд-во ЮУрГГПУ, 2020. 556 с.
- 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.
- 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.* Орудийный комплекс из цветного металла петровской культуры Южного Зауралья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 4 (55). С. 17–35. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-55-4-2>
- 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. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-56-1-3>
- 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. <https://doi.org/10.24852/pa2020.1.31.98.116>
- 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., Рындина Н.В. Ножи петровской культуры Южного Зауралья: Морфолого-типологическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2020. № 3 (50). С. 17–34. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-50-3-2>

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.

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: Материалы I Междунар. междисциплинар. конф. Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2021. С. 7–29.

Зайков В.В., Юминов А.М., Анкушев М.Н., Ткачев В.В., Носкевич В.В., Епимахов А.В. Горно-металлургические центры бронзового века в Зауралье и Мугоджарах // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология. 2013. № 1 (2). С. 174–195.

Зайков В.В., Юминов А.М., Дунаев А.Ю., Зданович Г.Б., Григорьев С.А. Геолого-минералогические исследования древних медных рудников на Южном Урале // Археология, этнография и антропология Евразии. 2005. № 4. С. 101–114.

Зданович Г.Б. Бронзовый век урало-казахстанских степей. Свердловск: УрГУ, 1988. 184 с.

Луньков В.Ю., Орловская Л.Б., Кузьминых С.В. Рентгено-флуоресцентный анализ: Начало исследований химического состава древнего металла // Черных Е.Н. (отв. ред.). Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. М.: ИА РАН, 2009. Вып. 1. С. 84–110.

Краузе Р., Епимахов А.В., Куприянова Е.В., Новиков И.К., Столярчик Э. Петровские памятники бронзового века: Проблемы таксономии и хронологии // Археология, этнография и антропология Евразии. 2019. Т. 47. № 1. С. 54–63. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2019.47.1.054-063>

Кузьминых С.В., Дегтярева А.Д. Поздний бронзовый век // Янин В.Л. (ред.). Археология: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГУ, 2012. С. 219–270.

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. Сер. 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.

Сафина Н.П., Аюпова Н.Р. Касситерит в рудах медно-цинково-колчеданных месторождений Ивдельского рудного района (Северный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2016. № 1. С. 90–92.

Черных Е.Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы / МИА. № 132. М.: Наука, 1966. 144 с.

Черных Е.Н. Каргалы: Феномен и парадоксы развития: (Каргалы в системе металлургических провинций. Потаенная жизнь (сакральная) жизнь архаичных горняков и металлургов) / Каргалы. Т. V. М.: Языки славянской культуры, 2007. 200 с.

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

Черных Е.Н., Луньков В.Ю. Методика рентгено-флуоресцентного анализа меди и бронзы в лаборатории Института археологии // Черных Е.Н. (отв. ред.). Аналитические исследования лаборатории естественнонаучных методов. М.: ИА РАН, 2009. Вып. 1. 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. Vol. 9 (12). P. 746. <https://doi.org/10.3390/min9120746>

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.

**Degtyareva A.D.<sup>a,\*</sup>, Kuzminykh S.V.<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS  
Cherishhevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation

<sup>b</sup> Institute of Archeology RAS, Dm. Ulyanova st., 19, Moscow, 117036, Russian Federation  
E-mail: adegtyareva126@gmail.com (Degtyareva A.D.); kuzminykhsv@yandex.ru (Kuzminykh S.V.)

### **Metal tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol: chemical and metallurgical characteristics**

In this paper, the chemical composition of tools and ingots of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region is characterized with identification of main recipes of the alloys using several analytical

---

\* Corresponding author.

## Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья...

methods (spectral, X-ray fluorescence, and atomic emission spectrometry analyses carried out in the laboratories of the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences and the Institute of Inorganic Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). The complexes of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals have been dated by a set of AMS  $^{14}\text{C}$  dates to 19<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> centuries BCE. Recently introduced in the scientific discourse 27 AMS  $^{14}\text{C}$  dates (settlement of Stepnoe and burial grounds of Stepnoe 1, 7 and 25) established an earlier interval of the Petrovka series — 2133–1631 BCE and point to the synchronicity of the cultures at the northern periphery of the Sintashta area in the local micro-region of the Southern Trans-Urals. The results of the analytical study of 106 metal tools and 70 ingots of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and south of Western Siberia are reported. The statistical processing of the analytical results with plotting correlation diagrams of Sn–As, Sn–Pb, As–Ag, As–Sb, and a frequency distribution histogram for the proportions of Sn allowed casting the metal into 4 metallurgical groups — pure copper and tin, arsenic-tin and arsenic bronzes. The first group subdivided into oxide and sulfidic samples. According to the geochemical peculiarity of the metal from the metal industry centers of Ustie 1, Kulevchi 3 and Shibaev 1, several sources of oxide-carbonated ores were utilized for copper smelting — malachite and azurite-malachite deposits, while sulfidic chalcocite-covellite ores, and sometimes chalcopyrite-pyrite depositions, were added to the melt as a flux agent. The admixture of sulfides was carried out as an experiment and was not purposeful. Petrovka metallurgists supplied copper to the workshops of the Middle Tobol region — the sites of Ubagan 1, 2, 3 and Kamyshnoe 1, 2. The centers of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals were dominated by the production of pure copper implements, including the metal smelted from the oxidized ore. To a lesser extent, low-alloyed bronze was used — Cu+Sn, Cu+Sn+As and Cu+As, whose feedstock was supplied by the kindred tribes of Central and Eastern Kazakhstan in the form of ingots and finished products along the eastern part of the Trans-Eurasian transport corridor of metal trade — over the Turgay trough and further along the extensive river system of the Tobol River and its tributaries. The highest concentration of tools of alloyed bronzes was recorded in the burial grounds of the Middle Tobol, which can be explained from the point of view of the prestige value of such goods and observance of special ceremonial practices.

**Keywords:** Southern Trans-Urals, Petrovka Culture, metallurgy, geochemical composition, ore sources, metallurgical contacts.

**Funding.** The study was carried out according to the state task No. 121041600045-8 (A.D. Degtyareva), No. NIOKTR 122011200264-9 (S.V. Kuzminykh).

## REFERENCES

- Ankushev, M.N., Artemyev, D.A., Blinov, I.A. (2020). Metallurgy of the Bronze Age at the Taldysai settlement: Ores, slags, alloying. In: Kurmankulov Zh. (Ed.). *Taldysay — poseleniye drevnikh metallurgov pozdnebron-zovogo veka v Ulytauskoy stepi*. Almaty: Institut arkheologii im. A.Kh. Margulana, 72–93. (Rus.).
- Ankushev, M.N., Yuminov, A.M., Zaikov, V.V., Kotlyarov, V.A., Blinov, I.A. (2016). Ancient copper mines of the Nikolsk ore field (South Urals). *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov*, (1), 96–101. (Rus.).
- Ankushev, M.N., Yuminov, A.M., Zaykov, V.V., & Noskevich, V.V. (2018). Copper Mines of Bronze Age in Southern Trans-Urals. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya*, 23, 87–110. (Rus.). <https://doi.org/10.26516/2227-2380.2018.23.87>
- Ankusheva, P.S., Alaeva, I.P., Ankushev, M.N., Artemyev, D.A., Bazhenov, E.A., Yuminov, A.M. (2020). Starodubtseva Yama — an ancient mine of the steppe zone of the Chelyabinsk region. *Geoarkheologiya i arkheologicheskaya mineralogiya*, 7, 136–139. (Rus.).
- Ankusheva, P.S., Alaeva, I.P., Ankushev, M.N., Batanina, N.S., Blinov, I.A., Rassomakhin, M.A., Chikunova, I.Yu., Yuminov, A.M. (2022). Prehistoric technologies of mining: Novotemirsky mine in the Southern Trans-Urals. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya*, 76, 166–179. <https://doi.org/10.17223/19988613/76/20> (Rus.).
- Artemyev, D.N., Ankushev, M.N. (2019). Trace Elements of Cu-(Fe)-Sulfide Inclusions in Bronze Age Copper Slags from South Urals and Kazakhstan: Ore Sources and Alloying Additions. *Minerals*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/min9120746>
- Chernykh, E.N. (1966). *History of ancient metallurgy in Eastern Europe*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Chernykh, E.N. (2007). Kargaly: A phenomenon and paradoxes of development: (Kargaly in the system of metallurgical provinces. The hidden life (sacred) life of archaic miners and metallurgists). In: *Kargaly. T. V*. Moscow: Yazyki slavyanskoy kul'tury. (Rus.).
- Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V. (1989). *Ancient metallurgy of Northern Eurasia (the Seima-Turbino phenomenon)*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Chernykh, E.N., Lunkov, V.Yu. (2009). Methods of X-ray fluorescence analysis of copper and bronzes in the laboratory of the Institute of Archeology. In: Chernykh E.N. (Ed.). *Analiticheskiye issledovaniya laboratorii yestvenno-nauchnykh metodov*, (1). Moscow: IA RAN, 2009, 78–83. (Rus.).
- Degtyareva, A.D. (2015). Ingots of non-ferrous metal of the Petrovka culture (composition and production technology). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (2), 14–24. (Rus.).
- Degtyareva, A.D. (2021). Non-ferrous metal tool complex of the Petrovka culture of the Southern Trans-Urals. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 17–35. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2021-55-4-2>

Degtyareva, A.D., Gubin, A.A., Artemyev, D.A. (2022). The potential of using scanning electron microscopy with an energy dispersive analyzer for the study of the Bronze Age metal: On the problem statement. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (1), 31–48. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-56-1-3>

Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Loman, V.G., Kukushkin, I.A., Kukushkin, A.I., Dmitriev, E.A. (2020). Non-ferrous metal of the early Alakul (Peter) culture of the Bronze Age of Central Kazakhstan. *Povolzhskaya arkhеologiya*, (1), 98–116. (Rus.). <https://doi.org/10.24852/pa2020.1.31.98.116>

Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Orlovskaya, L.B. (2001). Metal production of the Petrovka Culture (based on materials from the settlement of Kulevchi III. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 23–54. (Rus.).

Degtyareva, A.D., Ryndina, N.V. (2020). Knives of the Petrine culture of the Southern Trans-Urals: Morphological and typological characteristics. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 17–34. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-50-3-2>

Degtyareva, A.D., Shuvaeva, O.V. (2004). Chemical and metallurgical characteristics of the copper inventory of the pit culture of the Southern Urals. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 71–76. (Rus.).

Doonan, R. (2015). Compositional analyzes of metalwork from Stepnoye VII cemetery and kurgan 4 Stepnoye I cemetery. In: Kupriyanova, E.V., Zdanovich, D.G. *Drevnosti lesostepnogo Zaural'ya: Mogil'nik Stepnoye VII*. Chelyabinsk: Encyclopedia, 188–194. (Rus.).

Epimakhov, A.V., Kupriyanova, E.V., Hommel, P., Hanks, B.K. (2021). From ideas about linear evolution to a mosaic of cultural traditions: (The Bronze Age of the Urals in the light of large series of radiocarbon dates). In: Kupriyanova, E.V. (Ed.). *Drevniye i traditsionnyye kul'tury vo vzaimodeystvii so sredoy obitaniya: Problemy istoricheskoy rekonstruktsii: Materialy I Mezhdunarodnoy mezhdistsiplinarnoy konferentsii*. Chelyabinsk: Izd-vo ChelGU, 7–29. (Rus.).

Lunkov, V.Yu., Orlovskaya, L.B., Kuzminykh, S.V. (2009). X-ray fluorescence analysis: The beginning of research into the chemical composition of the ancient metal. In: Chernykh E.N. (Ed.). *Analiticheskiye issledovaniya laboratorii yestestvennonauchnykh metodov*, (1). Moscow: IA RAN, 84–110. (Rus.).

Krause, R., Epimakhov, A.V., Kupriyanova, E.V., Novikov, I.K., Stolyarchik, E. (2019). Petrovka monuments of the Bronze Age: Problems of taxonomy and chronology. *Archeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia*, (1), 54–63. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2019.47.1.054-063>

Kuzminykh, S.V., Chernykh, E.N. (1985). Spectroanalytical study of Bronze Age metal of the forest-steppe Tobol region. In: Potemkina T.M. *Bronzovyy vek lesostepnogo Pritobol'ya*. Moscow: Nauka, 346–367. (Rus.).

Kuzminykh, S.V., Degtyareva, A.D. (2012). Late Bronze Age. In: Yanin V.L. (Ed.). *Arkheologiya: Uchebnyk*. 2-ye izd., ispr. i dop. Moscow: MGU, 219–270. (Rus.).

Molodin, V.I., Epimakhov, A.V., Marchenko, Zh.V. (2014). Radiocarbon chronology of the Bronze Age of the Urals and the south of Western Siberia: Principles and approaches, achievements and problems. *Vestnik NGU. Seriya Istoriya, filologiya. Arkheologiya i etnografiya*, 13(3), 136–167. (Rus.).

Potemkina, T.M. (1985). *Bronze Age of the forest-steppe Tobol region*. Moscow: Nauka. (Rus.).

Safina, N.P., Ayupova, N.R. (2016). Cassiterite in ores of copper-zinc-sulfide deposits of the Ivdel ore region (Northern Urals). *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov*, (1), 90–92. (Rus.).

Vinogradov, N.B. (1982). Kulevchi III is a monument of the Petrovsky type in the Southern Trans-Urals. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arheologii*, (169), 94–100. (Rus.).

Vinogradov, N.B., Berseneva, N.A., Alaeva, I.P., Alentiev, Yu.M., Blinov, I.A., Galibin, V.A., Epimakhov, A.V., Ilyushina, V.V., Kitov, E.P., Kosintsev, P.A., Rassomahin, M.A. (2020). *Kulevchi VI is a burial ground of the Late Bronze Age in the Southern Trans-Urals* [Electronic resource]. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGGPU. (Rus.).

Vinogradov, N.B., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2013). Metallurgy and metalworking in the life of the inhabitants of the fortified settlement Ustye 1. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 4–30. (Rus.).

Vinogradov, N.B., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Medvedeva, P.S. (2017). *Images of the era: The burial ground of the Bronze Age Krivoye Ozero in the Southern Trans-Urals*. Chelyabinsk: ABRIS. (Rus.).

Zaikov, V.V., Yuminov, A.M., Ankushev, M.N., Tkachev, V.V., Noskevich, V.V., Epimakhov, A.V. (2013). Mining and metallurgical centers of the Bronze Age in the Trans-Urals and Mugodzhary. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya*, 1(2), 174–195. (Rus.).

Zaikov, V.V., Yuminov, A.M., Dunaev, A.Yu., Zdanovich, G.B., Grigoriev, S.A. (2005). Geological and mineralogical studies of ancient copper mines in the Southern Urals. *Archeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia*, (4), 101–114.

Zdanovich, G.B. (1988). *Bronze Age of the Ural-Kazakhstan steppes*. Sverdlovsk: UrGU. (Rus.).

Дегтярева А.Д., <https://orcid.org/0000-0002-1945-7145>

Кузьминых С.В., <https://orcid.org/0000-0002-3926-2185>



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

Accepted: 29.09.2022

Article is published: 15.12.2022