

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

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ
И ЭТНОГРАФИИ**

Сетевое издание

**№ 4 (67)
2024**

ISSN 2071-0437 (online)

Выходит 4 раза в год

Главный редактор:

Зах В.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН

Редакционный совет:

Молодин В.И., председатель совета, академик РАН, д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Добровольская М.В., чл.-кор. РАН, д.и.н., Ин-т археологии РАН;
Бауло А.В., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН;
Бороффа Н., PhD, Германский археологический ин-т, Берлин (Германия);
Епимахов А.В., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН;
Кокшаров С.Ф., д.и.н., Ин-т истории и археологии УрО РАН; Кузнецов В.Д., д.и.н., Ин-т археологии РАН;
Лахельма А., PhD, ун-т Хельсинки (Финляндия); Матвеева Н.П., д.и.н., ТюмГУ;
Медникова М.Б., д.и.н., Ин-т археологии РАН; Томилов Н.А., д.и.н., Омский ун-т;
Хлахула И., Dr. hab., ун-т им. Адама Мицкевича в Познани (Польша); Хэнкс Б., PhD, ун-т Питтсбурга (США);
Чикишева Т.А., д.и.н., Ин-т археологии и этнографии СО РАН

Редакционная коллегия:

Дегтярева А.Д., зам. гл. ред., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Костомарова Ю.В., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН;
Пошехонова О.Е., отв. секретарь, ТюмНЦ СО РАН; Лискевич Н.А., отв. секретарь, к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Агапов М.Г., д.и.н., ТюмГУ; Адаев В.Н., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Бейсенов А.З., к.и.н., НИЦИА Бегазы-Тасмола (Казахстан);
Валь Й., PhD, О-во охраны памятников Штутгарта (Германия); Ключева В.П., к.и.н., ТюмНЦ СО РАН;
Крийска А., PhD, ун-т Тарту (Эстония); Крубези Э., PhD, проф., ун-т Тулузы (Франция);
Кузьминых С.В., к.и.н., Ин-т археологии РАН; Перерва Е.В., к.и.н., Волгоградский ун-т;
Печенкина К., PhD, ун-т Нью-Йорка (США); Пинхаси Р., PhD, ун-т Дублина (Ирландия);
Рябогина Н.Е., к.г.-м.н., ТюмНЦ СО РАН; Слепченко С.М., к.б.н., ТюмНЦ СО РАН;
Ткачев А.А., д.и.н., ТюмНЦ СО РАН; Хартанович В.И., к.и.н., МАЭ (Кунсткамера) 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, e-mail: vestnik.ipos@inbox.ru

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

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2024

**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 (67)
2024**

ISSN 2071-0437 (online)

There are 4 numbers a year

Editor-in-Chief

Zakh V.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Editorial Council:

Molodin V.I. (Chairman of the Editorial Council), member of the RAS, Doctor of History,
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Dobrovolskaya M.V., Corresponding member of the RAS, Doctor of History,
Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Baulo A.V., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Boroffka N., PhD, Professor, Deutsches Archäologisches Institut (German Archaeological Institute) (Berlin, Germany)

Chikisheva T.A., Doctor of History, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Chlachula J., Doctor hab., Professor, Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland)

Epimakhov A.V., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)

Koksharov S.F., Doctor of History, Institute of History and Archeology Ural Branch RAS (Yekaterinburg, Russia)

Kuznetsov V.D., Doctor of History, Institute of Archeology of the RAS (Moscow, Russia)

Hanks B., PhD, Professor, University of Pittsburgh (Pittsburgh, USA)

Lahelma A., PhD, Professor, University of Helsinki (Helsinki, Finland)

Matveeva N.P., Doctor of History, Professor, University of Tyumen (Tyumen, Russia)

Mednikova M.B., Doctor of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Tomilov N.A., Doctor of History, Professor, University of Omsk

Editorial Board:

Degtyareva A.D., Vice Editor-in-Chief, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Kostomarov Yu.V., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Poshekhonova O.E., Assistant Editor, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Liskevich N.A., Assistant Editor, Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Agapov M.G., Doctor of History, University of Tyumen (Tyumen, Russia)

Adaev V.N., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Beisenov A.Z., Candidate of History, NITSIA Begazy-Tasmola (Almaty, Kazakhstan),

Crubezy E., PhD, Professor, University of Toulouse (Toulouse, France)

Kluyeva V.P., Candidate of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Kriiska A., PhD, Professor, University of Tartu (Tartu, Estonia)

Kuzminykh S.V., Candidate of History, Institute of Archaeology of the RAS (Moscow, Russia)

Khartanovich V.I., Candidate of History, Museum of Anthropology and Ethnography RAS Kunstkamera
(Saint Petersburg, Russia)

Pechenkina K., PhD, Professor, City University of New York (New York, USA)

Pererva E.V., Candidate of History, University of Volgograd (Volgograd, Russia)

Pinhasi R., PhD, Professor, University College Dublin (Dublin, Ireland)

Ryabogina N.Ye., Candidate of Geology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Slepchenko S.M., Candidate of Biology, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Tkachev A.A., Doctor of History, Tyumen Scientific Centre SB RAS (Tyumen, Russia)

Wahl J., PhD, Regierungspräsidium Stuttgart Landesamt für Denkmalpflege

(State Office for Cultural Heritage Management) (Stuttgart, Germany)

Address: Chervishevskiy trakt, 13, Tyumen, 625008, Russian Federation; mail: vestnik.ipos@inbox.ru

URL: <http://www.ipdn.ru>

АРХЕОЛОГИЯ

<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-67-4-1>

УДК 902.01

Дегтярева А.Д.

ТюмНЦ СО РАН, ул. Червишевский тракт, 13, Тюмень, 625008
E-mail: adegtyareva126@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕДНЫХ И БРОНЗОВЫХ ОРУДИЙ ТРУДА ПЕТРОВСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ И СРЕДНЕГО ПРИТОБОЛЬЯ

Приведены результаты металлографического анализа орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья XIX–XVIII вв. до н.э. (47 экз.). Выявлена определенная корреляция между функциональным назначением изделия, видом сырья, схемой изготовления орудий. Для изготовления орудий в основном использовалась медь, загрязненная примесями, полученная из оксидно-карбонатных руд с добавлением халькозин-ковеллиновых минералов. Вислообушный топор, серпы, ножи с рукоятями, черешковые долота, крючки, часть шильев выполнены как в процессе литья в форме с последующей доработкой, так и в результате формообразующейковки. Медные орудия, полученные в процессе литья, зачастую имели литейные дефекты — усадочные трещины и коробление металла. Доработка медных орудий происходила в большинстве случаев в режиме неполной горячейковки при 300–500 °С, либо горячей — при 600–800 °С и предплавильных температур 900–1000 °С. В петровский период начали использовать оловянную и оловянно-мышьяковую бронзу для изготовления тесел, долот, черенковых ножей, большей части шильев, игл, наконечников копья, стрел. Более прогрессивные виды сплавов с точки зрения жидкотекучести, заполняемости без дефектов форм в виде низколегированной оловянной и оловянно-мышьяковой бронз (Sn до 7 %, As до 4 %) поступали от родственных племен петровской культуры Сарыарки, возможно Петропавловского Приишимья. Отливки при этом получали качественные, с ровной поверхностью, без дефектов коробления металла. Последующая доработка осуществлялась с выбором оптимальных режимов термообработки преимущественно при 600–800 °С или 900–1000 °С, а также в режиме неполной горячейковки 300–500 °С. Твердость доработанных бронзовых орудийковкой с нагревами значительно, в 1,5–2 раза, превышала микротвердость обработанной меди.

Ключевые слова: эпоха бронзы, технология изготовления металлических орудий, Южное Зауралье, Среднее Притоболье, петровская культура, металлографический анализ.

Ссылка на публикацию: Дегтярева А.Д. Технология изготовления медных и бронзовых орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024. 4. С. 5–18.

Введение

Статья продолжает публикацию результатов металлографического исследования орудийного комплекса петровской культуры Южного Зауралья вслед за работой по данным микроструктурного изучения серпов и ножей [Дегтярева, 2023]. Приведены сведения о технологии изготовления и приемах термообработки орудий труда из меди и легированных бронз, в числе которых рассмотрены вислообушный топор, тесла, пробойник, втульчатые и черешковые долота, крюк, шилья, игла, наконечники копья и стрелы, происходящие из памятников петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья XIX–XVIII вв. до н.э. (47 экз.).

Методика исследования, материалы

Металлографический анализ произведен в ТюмНЦ СО РАН (микроскоп Axio Observer D1m фирмы Zeiss; микротвердомер ПМТ-3М фирмы ЛОМО). Выводы по технологии обработки меди воссоздавались с учетом созданной базы данных и эталонов меди в литом, отожденном и деформированном состоянии с использованием различных термических режимов, наряду с использованием программного обеспечения Axio Vision Multiphase, Axio Vision Grains. Выводная часть анализов опирается на подробное описание микроструктурных данных образцов энеолита и эпохи бронзы из меди и легированных бронз [Равич, 1983; Рындина, 1998, с. 15–20; Дегтярева, 2023]. Режимы термообработки зафиксированы определенными изменениями в металле

в литом и деформированном состоянии: в частности, по форме и размерам кристаллов, наличию двойниковых образований, следов гомогенизации сплава, замерам микротвердости металла, наличию или отсутствию дефектов красноточности, хладноточности в присутствии повышенного содержания примесей сульфидов, свинца, висмута по результатам спектрального, атомно-эмиссионного спектрометрического, рентгенофлуоресцентного анализов [Новиков, Захаров, 1962; Лившиц, 1990; Равич, 1983; Дегтярева, Кузьминых, 2022].

Объектом исследования явились орудия труда ударного воздействия — топор, тесла, долота, пробойник, крюк, рыболовные крючки, шилья, наконечник копья и стрелы, обнаруженные в материалах поселений Кулевчи 3, Устье 1, пос. Убаган 1, Убаган 2, Убаган 3, мог. Убаган 1, Озерное 3, Верхняя Алабуга, Кривое Озеро (47 экз.). Сделано также обобщение о технологии получения орудий труда, видах и качестве литья, режимах термообработки, включая ранее опубликованные аналитические сведения по серпам и ножам (всего 84 экз.).

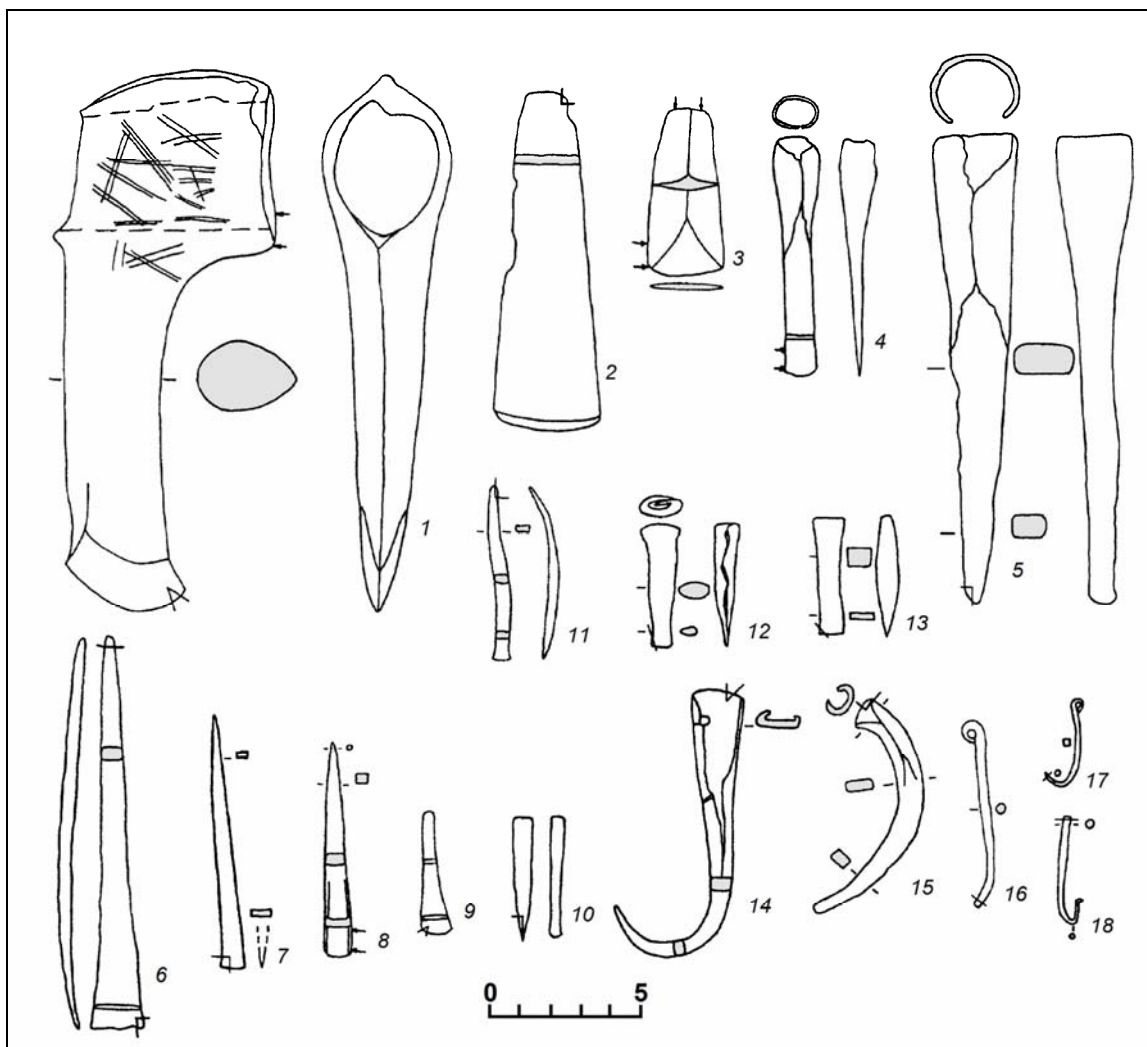


Рис. 1. Металлические орудия петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья:

1 — вислобушный топор (ан. 345); 2, 3 — тесла (ан. 439, 358); 4, 5 — втульчатые долота (ан. 362, 571); 6–13 — стержневидные долота (ан. 359, 489, 360, 948, 944, 385, 947, 964); 14, 15 — втульчатые крюки (ан. 484, 413); 16–18 — крючки (ан. 1056, 946, 378) (1, 3, 4, 6, 8, 11, 15, 18 — пос. Кулевчи 3; 2 — мог. Кривое Озеро; 5, 7, 14 — пос. Устье 1; 9, 10, 12, 13, 17 — пос. Убаган 2; 16 — пос. Убаган 3; секущими линиями показаны срезы на шлифы).

Fig. 1. Metal tools of the Petrovka culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region:

1 — shaft-butted axe (an. 345); 2, 3 — adzes (an. 439, 358); 4, 5 — socketed chisels (an. 362, 571); 6–13 — rod-shaped chisels (an. 359, 489, 360, 948, 944, 385, 947, 964); 14, 15 — socketed hooks (an. 484, 413); 16–18 — hooks (an. 1056, 946, 378) (1, 3, 4, 6, 8, 11, 15, 18 — Kulevchi 3 site; 2 — Krivoje Ozero grave; 5, 7, 14 — Ustye 1 site; 9, 10, 12, 13, 17 — Ubagan 2 site; 16 — Ubagan 3 site).

Основные результаты

Технология изготовления орудий труда ударного действия сводилась к отливке изделий как из меди, так и из низколегированной оловом до 1,4 % бронзы в литейных формах — двусторонней со вставным вкладышем глиняной (вислообушный топор) или односторонних с плоскими крышками (тесла, втульчатое долото-пробойник) каменных литейных формах. Подобные варианты односторонних с плоскими крышками форм для литья тесел и пробойника известны в материалах петровской и алакульской культур (пос. Семиозерное 2, Новотемирский рудник) [Евдокимов и др., 2016; Анкушева и др., 2021]. Далее изделия были подвергнуты незначительной доработке ковкой, направленной на заострение рабочей поверхности с обжатием металла до 40 % в режиме неполной горячейковки при 300–500 °С или по холодному металлу с отжигами. Так, топорик отлит из меди в двусторонней глиняной вертикальной литейной форме с каменным вкладышем, заливка производилась со стороны обуха (ан. 345, пос. Кулевчи 3; рис. 1, 1). Отливка получилась некачественной, асимметричной относительно продольной оси с видимыми поверхностными дефектами и с многочисленными горячими усадочными трещинами извилистых очертаний — следствия большой скорости охлаждения отливки в холодной непрогретой форме и ее недостаточного питания. Отливка была подвергнута незначительной доработке ковкой при 300–500 °С, о чем свидетельствует характер микроструктурных данных и незначительная микротвердость металла (наличие на лезвии литой полиэдрической структуры с мелкими рекристаллизованными зернами, HV 117,2 кг/мм², на обухе — литых полиэдров с небольшим количеством двойниковых образований, HV 107,5 кг/мм²; рис. 3, 1, 2).

Тесло трапециевидной формы отлито из сплава Cu+Sn (Sn 1,4 %) в односторонней с плоской крышкой литейной форме (ан. 439, мог. Кривое Озеро; рис. 1, 2). Полученная отливка доработана ковкой, сопровождавшейся незначительными степенями обжатия металла. Судя по отсутствию трещин краснотекстурности в присутствии краснотекстурных составляющих, ковка протекала в холодную и сопровождалась нагревами при температурах порядка 400–500 °С (наличие частично рекристаллизованной структуры на фоне дендритов, незначительно измененных деформирующим воздействием; рис. 3, 3).

Миниатюрное тесло (ан. 358, пос. Кулевчи 3; рис. 1, 3) отлито из меди в двусторонней каменной литейной форме с асимметричными створками, хорошо прогретой перед заливкой металла (крупные размеры полиэдров на обушке). Заливка производилась в вертикальном положении со стороны обушка. Затем нижняя часть орудия, прилегающая к рабочей части, была подвергнута доработке ковкой, направленной на вытяжку и заострение острия, в режиме неполной горячейковки при температуре 300–500 °С (наличие частично рекристаллизованной структуры в сочетании с замерами микротвердости — HV 79,8 кг/мм²; рис. 3, 4).

Долото-пробойник с открытой кововой втулкой и поперечным лезвием изготовлено из низколегированной оловом бронзы (0,75 %; ан. 571, пос. Устье 1; рис. 1, 5). При этом использовалась заготовка подтреугольной формы, отлитая в односторонней литейной форме с плоской крышкой. Доработочные операции направлены на плющение и свертывание втулки на оправке округлого профиля, а также на растяжку и заострение рабочего окончания при незначительном обжатии 20–40 %. Доработка протекала при низких температурах — в режиме неполной горячейковки 300–500 °С (наличие измельченной рекристаллизованной структуры). В отличие от предшествующих литых орудий миниатюрное долото с кововой втулкой изготовлено из оловянной бронзы (Sn 5 %) свободной ковкой из полосовой заготовки с использованием оправки округлого профиля (ан. 362, пос. Кулевчи 3; рис. 1, 4). Ковка направлена на вытяжку, плющение корпуса орудия, свертывание втулки и заострение лезвия с обжатием металла 60–80 %. Судя по характеру структуры (мелкозернистость, наличие дендритной ликвации) в сочетании с замерами микротвердости — HV 195,5 кг/мм², доработка производилась в холодную и сопровождалась промежуточными отжигами.

Методами металлографического анализа исследованы небольшие по величине черешковые долота (8 экз.; рис. 1, 6–13; пос. Устье 1, Кулевчи 3, Убаган 1, 2). Миниатюрные орудия, использовавшиеся скорее всего для работ по дереву или кости и имевшие незначительную микротвердость металла — HV 71,5–127,6 кг/мм², изготовлены свободной ковкой из медных прутков-заготовок. Лишь два орудия получены из сплавов Cu+Sn (ан. 944, Sn 2,5 %) и Cu+Sn+As (ан. 359; Sn 6 %, As 0,6 %), что сказалось на повышении микротвердости HV до 224,1 кг/мм². Более половины орудий (5 экз.; ан. 489, 360, 948, 944, 964; рис. 3, 5–7) изготовлены ковкой, сопровождавшейся 70–80 % обжатием металла, направленной на растяжку и заострение рабочей

части. Обработка орудий протекала в традиционном температурном режиме — неполной горячейковки при температуре 300–500 °С.

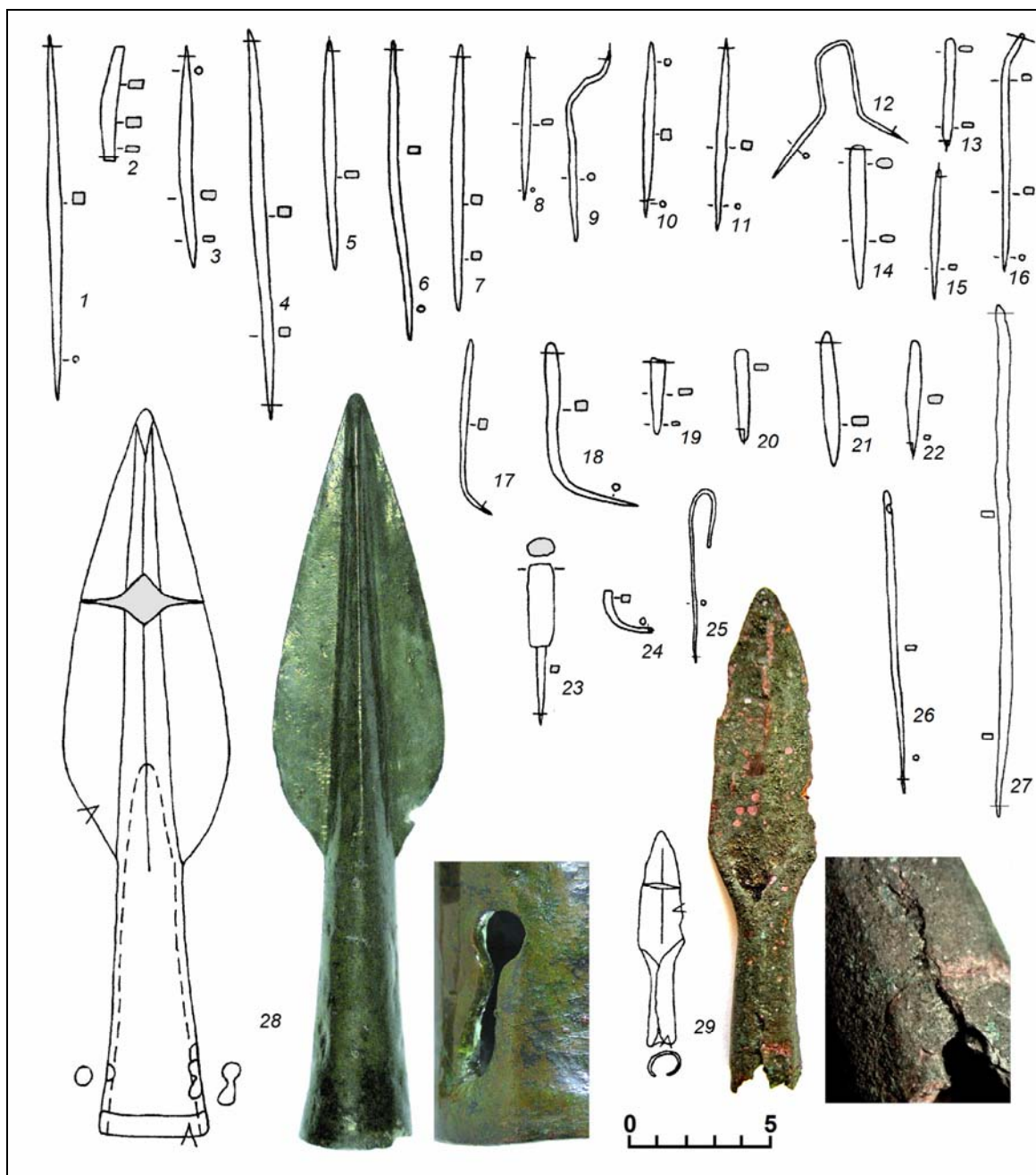


Рис. 2. Металлические орудия труда и предметы вооружения петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Приоболья:

1–11 — двусторонние шилья (ан. 466, 942, 602, 591, 581, 488, 593, 388, 397, 1197, 440); 12, 25 — проколки (ан. 391, 1065); 13–24, 27 — односторонние шилья (ан. 393, 394, 403, 398, 589, 603, 406, 608, 604, 955, 910, 897, 590); 26 — игла (ан. 929); 28 — наконечник копья (ан. 451; фото копья и отверстий по: [Виноградов, 2017, рис. 108, 109]; 29 — наконечник стрелы (ан. 960, рисунок, фото) (1, 3, 4–7, 17, 18, 20–22, 27 — пос. Устье 1; 2 — пос. Убаган 1; 8, 12–16, 19 — пос. Кулевчи 3; 9 — мог. Озерное 3; 11, 28 — мог. Кривое Озеро; 23, 24 — мог. Верхняя Алабуга; 25 — пос. Убаган 2; 26 — пос. Убаган 3; 29 — мог. Убаган 1; секущими линиями показаны срезы на шлифы).

Fig. 2. Metal tools and weapons of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region: 1–11 — double-ended awls (an. 466, 942, 602, 591, 581, 488, 593, 388, 397, 1197, 440); 12, 25 — piercers (an. 391, 1065); 13–24, 27 — single-ended awls (an. 393, 394, 403, 398, 589, 603, 406, 608, 604, 955, 910, 897, 590); 26 — needle (an. 929); 28 — spearhead (an. 451; photo of spear: [Vinoogradov, 2017, fig. 108, 109]; 29 — arrowhead (an. 960).

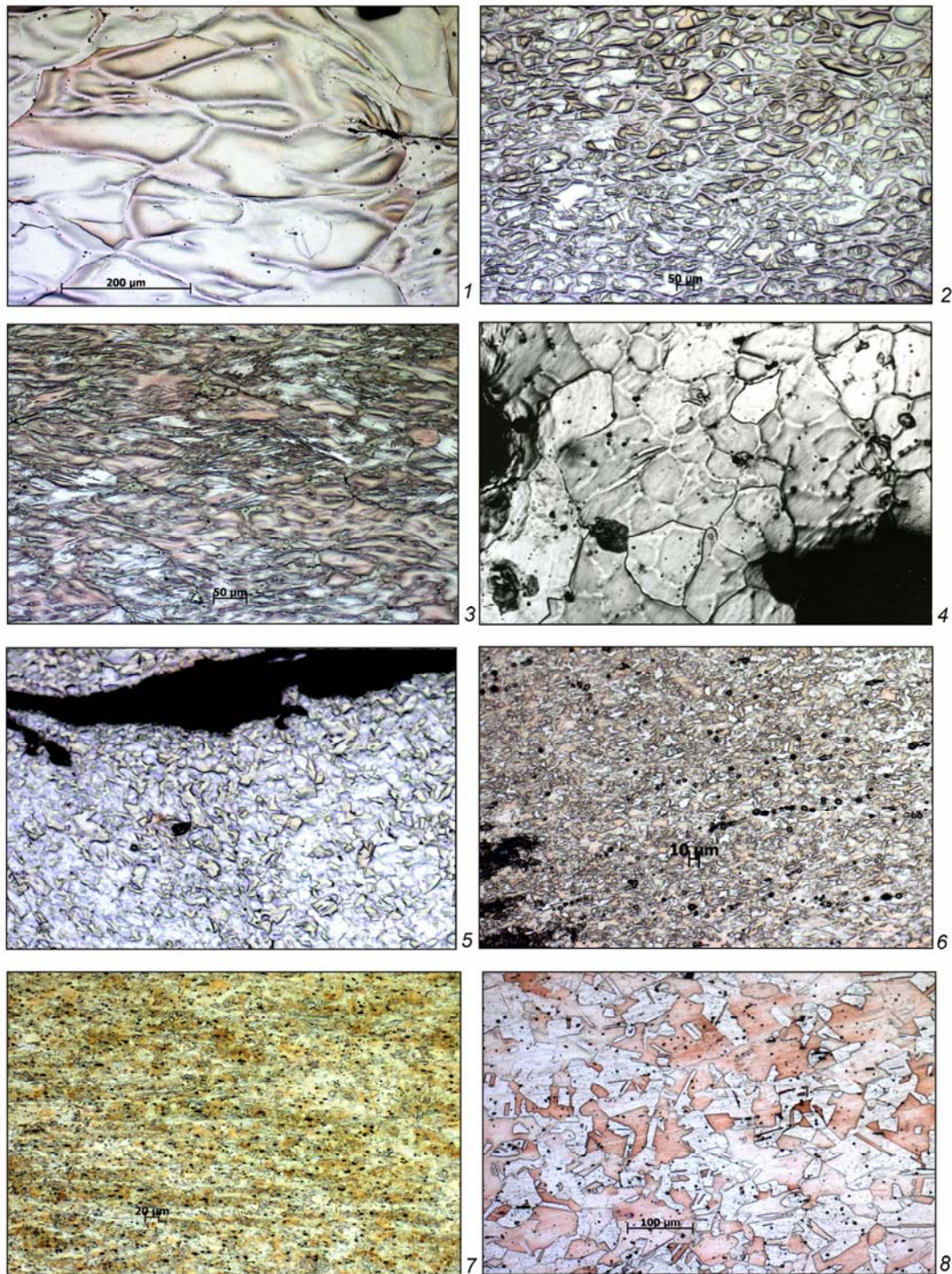


Рис. 3. Фото микроструктур орудий труда петровской культуры Южного Зауралья
 (1, 3, 4, 6, 8 — увел. $\times 200$; 3, 5, 7 — увел. $\times 100$):
 1, 2 — вислобушный топор (ан. 345); 3, 4 — тесла (ан. 439, 358); 5–7 — черешковые долота (ан. 489, 948, 944);
 8 — втульчатый крюк (ан. 484) (1, 2, 4 — пос. Кулевчи 3; 3 — мог. Кривое Озеро; 5, 8 — пос. Устье 1; 6, 7 — пос. Убаган
 2) (1, 8 — срезы втулки орудий; 2, 5–7 — срезы лезвия; 3, 4 — срезы обушной части).

Fig. 3. Photographs of microstructures of tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals
 (1, 3, 4, 6, 8 — magnification $\times 200$; 3, 5, 7 — magnification $\times 100$):
 1, 2 — shaft-butteted axe (an. 345); 3, 4 — adze (an. 439, 358); 5–7 — shank chisels (an. 489, 948, 944);
 8 — socket hook (an. 484) (1, 2, 4 — Kulevchi 3 site; 3 — Krivoje Ozero grave; 5, 8 — Ustye 1 site; 6, 7 — Ubagan
 2 site) (1, 8 — tool socket sections; 2, 5–7 — blade sections; 3, 4 — butt section sections).

В пользу этой схемы изготовления свидетельствует характер рекристаллизованной структуры на фоне деформированной матрицы (d зерен 0,025–0,045 мм) и замеры микротвердости металла. Два долота получены в процессековки по холодному металлу с промежуточными отжигами при 600–800 °С (ан. 359, 385; наличие завершенной рекристаллизованной структуры). Подобный выбор температурного режима был оптимальным, поскольку удалось избежать при обработке красноломкости, неизбежной при горячей ковке металла с повышенными концентрациями заготовки подтреугольной формы свободной ковкой, направленной на плющение и свертывание обушка орудия, заострение рабочего окончания при обжати металла 70–80 % (ан. 947). Судя по величине кристаллов (d 0,12–0,2 мм), ковка велась при предплавильных температурах 900–1000 °С (наличие завершенной рекристаллизованной структуры, замеры микротвердости металла).

Два крюка изготовлены из низколегированной оловянной бронзы (Sn 0,3 %) и меди, из литых заготовок подтреугольной формы (ан. 484, 413; пос. Устье 1, Кулевчи 3; рис. 1, 14, 15; 3, 8). Последующая доработка орудий направлена на плющение втулок, свернутых на оправке округлого профиля, и на заострение крюков. Кузнечные операции производились вгорячую при температурах красного каления металла (600–800 °С), о чем свидетельствуют наличие трещин красноломкости в структуре одного изделия в присутствии красноломких составляющих (ан. 484) и характер рекристаллизованной структуры в сочетании с замерами микротвердости металла HV 90,5 кг/мм² другого крюка (ан. 413).

Небольшие рыболовные крючки, длиной до 5,7 см, изготовлены ковкой из полосовых медных заготовок (ан. 378, 946, 1056; пос. Кулевчи 3, Убаган 2, 3; рис. 1, 16–18), в том числе 2 экз. из меди, насыщенной кислородом, с характерными включениями оксидов Cu_2O , различимыми по сероголубой окраске, в поляризованном свете приобретающими красный цвет. (ан. 946, 1056) [Лившиц, 1990, с. 272]. В двух случаях процессковки протекал вгорячую при температуре красного (600–800 °С; ан. 378) или белого (900–1000 °С; ан. 1056, рис. 4, 1) каления металла. Использование предплавильного температурного режимаковки подтверждено особенностями микроструктурных данных — наличием завершенной рекристаллизованной структуры с крупными кристаллами диаметром 0,1–0,2 мм на фоне продольных включений эвтектики $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$. Содержание кислорода в меди крючков в целом незначительно, в пределах 0,05–0,1 %. Формовка третьего крючка проведена в режиме неполной горячейковки — 300–500 °С (ан. 946; рис. 4, 2). Доработочные операции были направлены на придание заготовкам овальной или квадратной в сечении формы, свертывание петельки с одной стороны, изгибание и заострение рабочего окончания с другой.

Коллекция аналитически исследованных шильев насчитывает 26 экз., изготовленных как из меди (14 экз.), так и из низколегированной оловянной (8 экз.; Sn 0,3–7 %), оловянно-мышьяковой (3 экз.; Sn 0,3–4,0 %, As 0,3–1,3 %), мышьяковой (1 экз., As 0,68 %) бронзы. Орудия, за исключением одного шила, изготовлены свободной ковкой из полосовых заготовок при существенных степенях обжати металла 70–80 %, направленной на формовку корпуса орудия и заострение рабочего окончания. При этом использован разный температурный режим обработки металла, в основном при низких температурах — в режиме неполной горячейковки, вхолдную с промежуточными отжигами или только по холодному металлу (19 экз.). Так, медные орудия были прокованы преимущественно в режиме неполной горячейковки при 300–500 °С (ан. 466, 591, 581, 1197, 440, 589, 603, 608, 955, 590; пос. Устье 1, Убаган 2, мог. Кривое Озеро, Озерное 3; рис. 2, 1, 4, 5, 10, 11, 17, 18, 20, 22, 27; 4, 3, 4). На режимковки указывает наличие незавершенной рекристаллизованной структуры с мелкими зернами на фоне деформированной матрицы в сочетании с замерами микротвердости металла HV 98,5–132,4 кг/мм². Доля рекристаллизованного объема занимает более половины поля зрения. В двух случаях сильное обжатие металла при повышенных концентрациях сульфидов привело к растрескиванию металла и образованию трещин (ан. 440, 955). Рабочая часть только одного шила упрочнена холодной ковкой с повышением микротвердости острия до HV 183,4 кг/мм² (ан. 581).

Шесть изделий были изготовлены вхолдную с промежуточными отжигами для снятия межкристаллитных напряжений (ан. 391, 604, 403, 388, 397, 602; пос. Устье 1; Кулевчи 3; рис. 2, 3, 8, 9, 15, 21; 2 экз. — медные, 6 экз. из сплава Cu+Sn , Sn 2,2–7 %). Температурный режим засвидетельствован наличием рекристаллизованной структуры на фоне волокнистой текстуры при отсутствии явления красноломкости металла с повышенными концентрациями Pb и Bi. Использование холоднойковки, наряду с неполным возвратом металла, сказалось в существенном повышении микротвердости рабочей части некоторых орудий — до HV 205,3 кг/мм². Следы холоднойковки в виде деформированной волокнистой текстуры обнаружены в микроструктурах трех изделий (ан. 398, 897, 406; пос. Кулевчи 3, мог. Верхняя Алабуга; рис. 2, 16, 19, 23; 4, 6).

Технология изготовления медных и бронзовых орудий труда петровской культуры Южного Зауралья...

Холодная ковка с использованием существенных степеней обжатия металла 80–90 % привела к резкому повышению твердости металла до HV 260,7 кг/мм² (ан. 897).

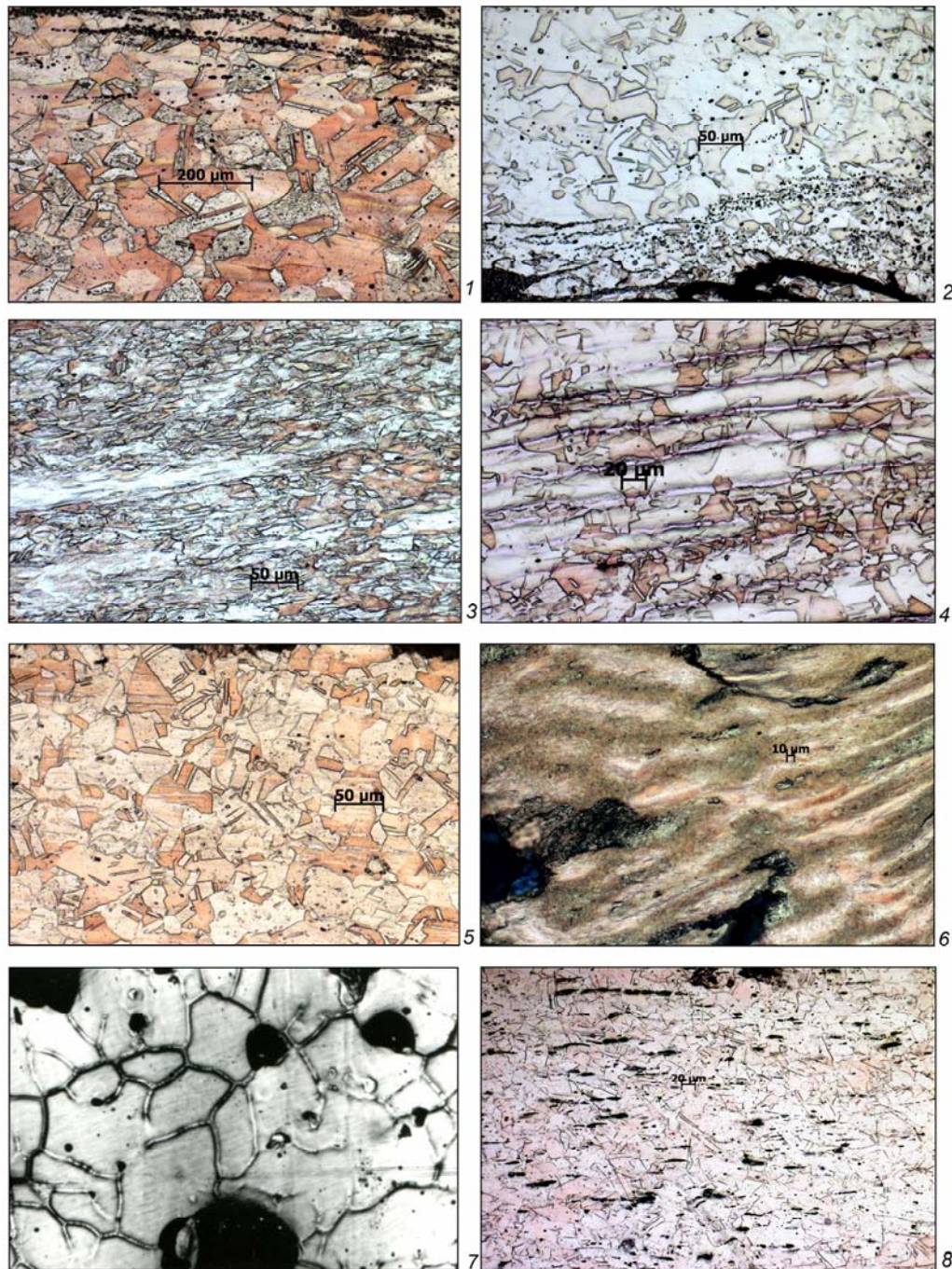


Рис. 4. Фото микроструктур орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья (1, 7 — увел. $\times 100$; 2–6, 8 — увел. $\times 200$);

1, 2 — рыболовные крючки (ан. 1056, 946); 3–7 — шилья (ан. 466, 589, 1065, 897, 394); 8 — игла (ан. 929)
(1, 8 — пос. Убаган 3; 2, 5 — пос. Убаган 2; 3, 4 — пос. Устье 1; 6 — мог. Верхняя Алабуга; 7 — пос. Кулевчи 3)
(1–6, 8 — срез рабочих окончаний; 7 — срез обушной части).

Fig. 4. Photographs of microstructures of tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region (1, 7 — magnification $\times 100$; 2–6, 8 — magnification $\times 200$);

1, 2 — fishhooks (an. 1056, 946); 3–7 — awls (an. 466, 589, 1065, 897, 394); 8 — needle (an. 929) (1, 8 — Ubagan 3 site; 2, 5 — Ubagan 2 site; 3, 4 — Ustye 1 site; 6 — Verkhnyaya Alabuga grave; 7 — Kulevchi 3 site)
(1–6, 8 — cross-section of working ends; 7 — cross-section of butt part).

Лишь 5 экз. шильев из 26 орудий подвергнуты горячей формовке при 600–800 °С (ан. 488, 593, 393, 910, 1065; пос. Устье 1, Кулевчи 3, Убаган 2, мог. Верхняя Алабуга; рис. 2, 6, 7, 13, 24, 25; рис. 4, 5) и 900–1000 °С (ан. 942; мог. Убаган 1; рис. 2, 2). Температурный режим обработки металла зафиксирован наличием завершённой рекристаллизованной разноразмерной структуры на фоне деформированной матрицы, в ряде случаев характерных трещин красноломкости, неизбежных при горячей ковке металла с повышенным содержанием свинца и висмута, замера микротвёрдости металла. При формовке проковки из слоя пос. Убаган 2 (ан. 1065; рис. 4, 5), судя по равномерному сечению орудия, использована наковальня с желобком. Одно шило проковано при предплавленных температурах 900–1000 °С, отражением чего в микроструктуре явилось появление крупных зерен d до 0,2 мм (ан. 942). Лишь один экземпляр шильев был получен в процессе литья в одностороннюю форму с плоской крышкой, после чего не подвергался доработке (ан. 394; пос. Кулевчи 3, рис. 2, 14). Об этом свидетельствует наличие литой полиэдрической структуры с включениями эвтектики Cu_2O и сульфидов по границам кристаллов (рис. 4, 7).

Игла изготовлена из медной заготовки ковкой (Sn 0,3 %) при сильных степенях обжатия металла 70–80 %, о чем свидетельствуют форма и расположение в виде цепочек включений вюстита (ан. 929; пос. Убаган 3; рис. 2, 26; 4, 8). Операции по изготовлению орудия протекали в холодную и сопровождались высокотемпературными отжигами 600–800 °С, на что указывает отсутствие трещин красноломкости при повышенном содержании свинца. Ковка была направлена на вытяжку корпуса орудия, придание круглой в сечении формы, заострение рабочей части, формовку отверстия в результате плющения и изгиба головки орудия.

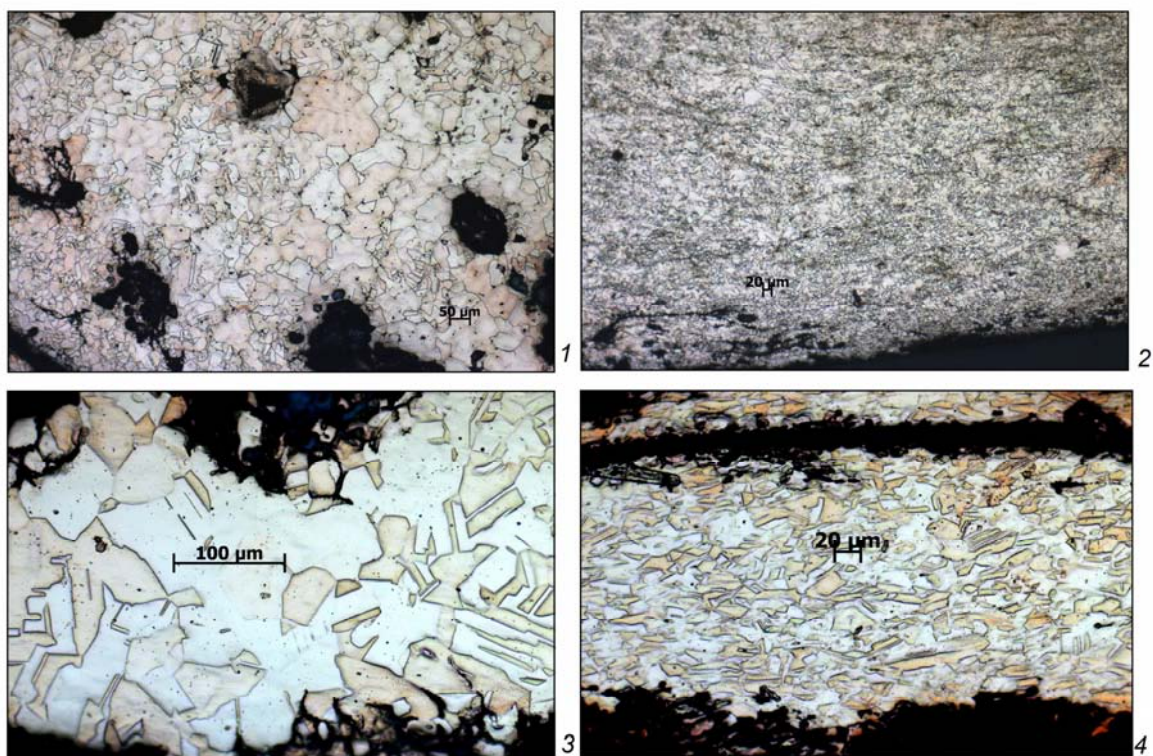


Рис. 5. Фото микроструктур наконечников копья и стрелы петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья (1, 2, 4 — увел. $\times 100$; 3 — увел. $\times 200$):

1, 2 — наконечник копья (ан. 451; мог. Кривое Озеро; срезы втулки и пера); 3, 4 — наконечник стрелы (ан. 960; пос. Убаган 1; срезы втулки и пера).

Fig. 5. Photographs of microstructures of spearheads and arrowheads of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region (1, 2, 4 — magnification $\times 100$; 3 — magnification $\times 200$):

1, 2 — spearhead (an. 451; Krivoie Ozero grave; sections of the socket and blade); 3, 4 — arrowhead (an. 960; Ubagan 1 site; sections of the blade and socket).

Металлические предметы вооружения в поселенческих материалах петровской культуры Южного Зауралья отсутствуют, в погребальных — обнаружены наконечник копья (мог. Кривое

Озеро, ан. 451, рис. 2, 28) и наконечник стрелы (мог. Убаган 1, ан. 960; рис. 2, 29). Наконечник копьа отлит из низколегированной оловом (концентрация 0,77 %) бронзы в двусторонней каменной литейной форме с вкладышем и шпеньками на одной из створок для получения литых отверстий. Заливка металла производилась со стороны втулки (сосредоточение крупных литых пор; рис. 5, 1, 2). Полученная качественная отливка с чистой, ровной поверхностью, четкими очертаниями пера была подвергнута минимальной доработке ковкой, направленной на удаление пороков литья и заострение пера наконечника со средними степенями обжатия металла 50–60 %. Ковка велась по горячему металлу при температуре 600–800 °С. Длительная выдержка металла при этой температуре привела к начавшейся гомогенизации сплава, исчезновению дендритной ликвации с образованием полиэдров с округлыми очертаниями и, вероятно, к снижению микротвердости металла на наконечнике до HV 112,6 кг/мм².

Наконечник стрелы получен ковкой из предварительно отлитой в односторонней литейной форме пластины подтреугольной формы из низколегированной оловянной бронзы (Sn 0,4 %; рис. 5, 3, 4). Ковка направлена на растяжку втулки, свертывание ее вокруг оправки овального профиля с наложением краев внахлест с получением сквозного отверстия. Доработочные операции в районе лезвия носили более существенный характер и были связаны с вытяжкой и заострением пера. Здесь степени обжатия металла достигали 80–90 % с превышением предела прочности металла, о чем свидетельствует наличие глубокой продольной трещины. Ковка велась по холодному металлу и сопровождалась отжигами при температурах 600–800 °С, в результате чего на втулке произошел рост кристаллов d до 0,065–0,1 мм, а также разупрочнение металла до HV 87,8 кг/мм².

Обсуждение

Аналитически изученные орудия в большинстве случаев обнаружены в слое поселений (40,1 % поселенческого металла), в то время как в погребениях их доля составляла только 15,3 % (рис. 6). В погребальном инвентаре численно преобладали украшения из металла, а орудия представлены в основном ножами и шильями, реже — теслами, вислообушными топорами и оружием — наконечниками копьа и стрелы [Куприянова, Зданович, 2015; Дегтярева, 2021]. Подводя итоги изучения технологии изготовления орудийного комплекса из цветного металла петровской культуры Южного Зауралья, включая опубликованные ранее результаты металлографического исследования серпов и ножей [Дегтярева, 2023], следует отметить, что доминировали кузнечные технологии получения орудий. Так, две трети изделий (65,5 % выборки), среди которых ножи с рукоятями или втулкой, втульчатое и черешковые долота, шилья, игла, наконечник стрелы, были получены в процессе свободнойковки заготовок (табл., рис. 7). Значительно меньше орудий, полученных в процессе литья в формы — двусторонние, односторонние с плоскими крышками с последующей доработкой ковкой (33,3 %). С использованием различных вариантов литья изготовлены вислообушный топор, тесла, долото, черенковые ножи и наконечник копьа. Лишь одно шило, отлитое в форме, не имело в микроструктуре следов деформирующего воздействия и не подвергалось ковке. Преобладание кузнечных технологий объясняется использованием в быту мелких орудий с незначительной металлоемкостью, изготовленных из меди оксидно-карбонатных руд — малахита, азурита, хризоколлы, куприта, тенорита, зачастую с добавлением в расплав сульфидных халькозин-ковеллиновых минералов. Орудия труда изготовлены в основном из меди — пластичной, легко поддающейся ковке, обладающей более низкой, в 1,5–2 раза, микротвердостью металла в сравнении с легированными бронзами. Из меди изготовлено 61,3 % орудий, в то время как из легированных бронз — Cu+Sn, Cu+Sn+As, Cu+As получено 38,7 %. При этом бронзы, поступающие из металлургических очагов Северного и Центрального Казахстана, отнесены к категории низколегированных — Sn 0,3–7%, As 0,3–4 %. Из этого вида сырья изготовлены орудия ударного действия и предметы ритуального характера для сопровождения погребенных — черенковые ножи, топор, наконечники копьа и стрелы, часть шильев, тесло, втульчатые долота. Бронзы на Урал поступали как в виде слитков, так и в виде готовых изделий. Причем слитки содержали более высокие, до 14 %, концентрации олова, нежели готовые орудия; видимо, их делили на части и добавляли в расплав [Дегтярева, 2015].

Наиболее предпочтительным видом термообработки металла являлась неполная горячая ковка при 300–500 °С — почти 40 % орудий, в основном медных, доработано после отливки или полностью изготовлено при низких температурах (рис. 8). Только треть изделий (33,3 %) дорабатывали в режимах красного и белого каления металла (600–800 °С или 900–1000 °С). Эта группа изделий представлена оловянными и оловянно-мышьяковыми бронзами, обработка которых при

низких температурах сопряжена с быстро образующимся наклепом, в то время как при высоких температурах металл становился пластичным (часть серпов, черенковых ножей, крюк, крючки, шилья, наконечники копья, стрелы). Меньшая часть орудий (20,2 %) — часть черенковых ножей, шильев, наконечник стрелы подвергнуты холодной ковке, которая сопровождалась промежуточными отжигами при 600–800 °С для снятия межкристаллитных напряжений в металле. Подобный температурный режим при ковке был оправдан, поскольку бронзы содержали повышенные концентрации свинца и висмута, вызывающие явления краснотекучести при горячей обработке давлением. Режим холоднойковки был зафиксирован по микроструктурным данным только 5 изделий.

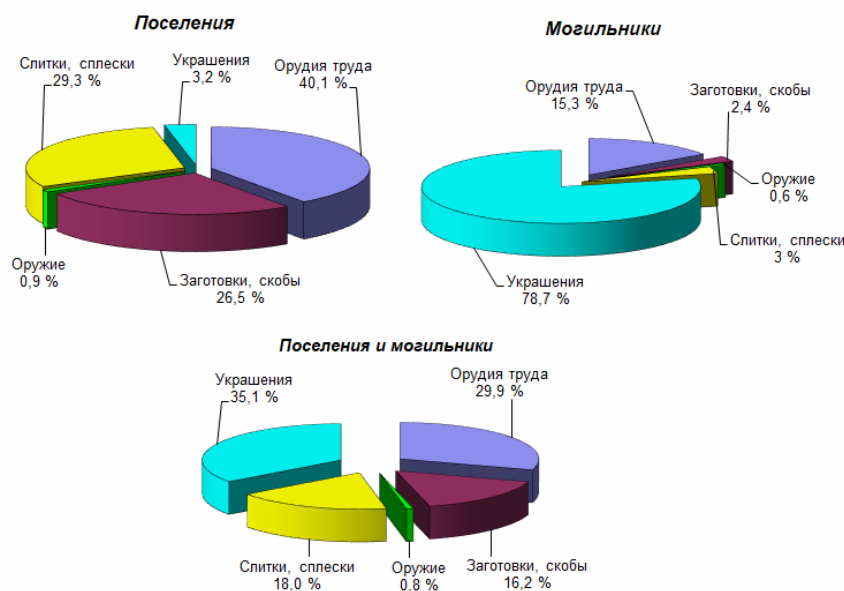


Рис. 6. Распределение металлических изделий поселений и могильников петровской культуры по основным категориям инвентаря.

Fig. 6. Distribution of metal products from sites and burial grounds of the Petrovka Culture by main categories of inventory.

Распределение орудий труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья по технологическим схемам и видам термообработки

Distribution of tools of the Petrovka culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region by technological schemes and types of heat treatment

Тип изделий	Литье + ковка					Кузнечная ковка						Литье без доработки	Всего	
	Технологические схемы *													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
Топор, тесла, долота	3	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—	5	
Серпы	3	2	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	7	
Ножи с рукоятью или втулкой	—	—	—	—	—	6	3	3	1	—	1	—	14	
Черенковые ножи	4	4	4	3	1	—	—	—	—	—	—	—	16	
Черешковые долота	—	—	—	—	—	5	—	1	2	—	—	—	8	
Крюки, крючки	—	—	—	—	—	1	3	1	—	—	—	—	5	
Шилья, игла	—	—	—	—	—	10	5	1	7	3	—	1	27	
Наконечник копья	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
Наконечник стрелы	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	
Всего	10/ 11,9 %	7/ 8,3 %	5/ 6 %	4/ 4,8 %	2/ 2,4 %	22/ 26,2 %	11/ 13,1 %	6/ 7,1 %	12/ 14,2 %	3/ 3,6 %	1/ 1,2 %	1/ 1,2 %	84/ 100 %	
Итого	28 (33,3 %)					55 (65,5 %)						1 (1,2 %)	84/100 %	

* Технологические схемы: 1 — литье + неполная горячая ковка при 300–500 °С; 2 — литье + горячая ковка при 600–800 °С; 3 — литье + холодная ковка с отжигами; 4 — литье + ковка при предплавильных температурах 900–1000 °С; 5 — литье + холодная ковка; 6 — неполная горячая ковка при 300–500 °С; 7 — горячая ковка при 600–800 °С; 8 — ковка при предплавильных температурах 900–1000 °С; 9 — холодная ковка с отжигами; 10 — холодная ковка; 11 — ковка + сварка при 300–500 °С; 12 — литье без доработки.

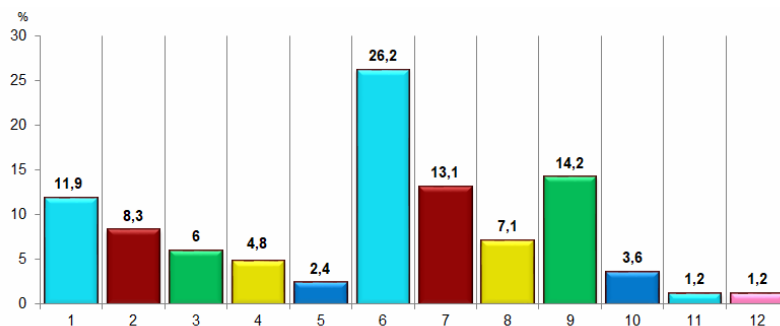


Рис. 7. Распределение металлических изделий петровской культуры Южного Зауралья по технологическим схемам (см. в примечании к табл.).

Fig. 7. Distribution of metal products of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals according to technological schemes (see note to the table).

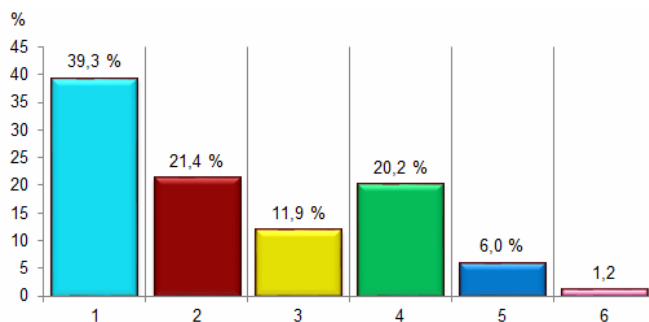


Рис. 8. Распределение металлических изделий петровской культуры Южного Зауралья по видам термообработки:

1 — неполная горячая ковка при 300–500 °С; 2 — горячая ковка при 600–800 °С; 3 — ковка при предплавильных температурах 900–1000 °С; 4 — холодная ковка с отжигами; 5 — холодная ковка; 6 — литье в форме без доработки.

Fig. 8. Distribution of metal products of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals by types of heat treatment:

1 — incomplete hot forging at 300–500 °C; 2 — hot forging at 600–800 °C; 3 — forging at pre-melting temperatures of 900–1000 °C; 4 — cold forging with annealing; 5 — cold forging; 6 — casting in a mold without finishing.

Технология обработки металла петровской культуры Центрального Казахстана была идентичной — литье в разъемные формы в сочетании с кузнечной доработкой рабочей части или же кузнечная формообразующая ковка при изготовлении изделий как из чистой меди, в том числе насыщенной оксидами Cu_2O , так и из оловянной бронзы. Однако металлургии племен петровской культуры Северного и Центрального Казахстана в отличие от уральских, располагая касситеритовыми рудными и россыпными месторождениями Центрального Казахстана, а также кварцево-жильно-грейзеновыми месторождениями олова Кокшетауского антиклинария, обладали приоритетом в производстве и распространении бронз [Артемьев и др., 2024]. В технологии обработки металла Сарыарки, с учетом более высокой концентрации олова (до 14 %) в отличие от уральских, доминировали режимы горячей обработки давлением при 600–800 °С и предплавильных температур при 900–1000 °С [Дегтярева и др., 2020]. С целью повышения пластичности и выравнивания структуры металла мастера прибегали к отжигу гомогенизации. Безусловно, ряд технологических новшеств — использование оловянной бронзы, приемы литья изделий со слепыми втулками, а также литье втульчатых наконечников копий, с учетом хронологического приоритета турбинских памятников, появились в петровском металлопроизводстве Петропавловского Приишимья и Сарыарки под влиянием турбинской металлургии [Черных, Кузьминых, 1989; Pigott & Ciarla, 2007; Pigott, 2018]. Вместе с тем в изготовлении инвентаря поселенческих комплексов Талдысай, Бозшаколь преобладали иные технологические схемы в связи с использованием в большей степени сырья из чистой меди, в меньшей — низколегированной оловянной бронзы. Именно поэтому на поселениях для изготовления металлических изделий применялась в основном формообразующая ковка, как при низких температурах, так и в режиме горячей ковки [Park, 2020; Park et al., 2020].

Дальнейший прогресс в развитии металлообработки связан с племенами алакульской культуры. Орудийный комплекс алакульских племен Среднего Притоболья, по данным металлографии и РФА, в основном изготовлен из оловянной бронзы с более высокими, до 12 %, концентрациями Sn в составе. В связи с этим в процессековки после получения отливок в двусторонних каменных формах использовали специальные приемы термообработки — отжиги гомогенизации с последующей горячей обработкой давлением или в холодную с промежуточными отжигами [Тигеева и др., 2016; Тигеева, 2018].

Выводы

Исследование технологии изготовления орудийного комплекса петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья методами металлографического анализа выявило определенную корреляцию между функциональным назначением изделия, видом сырья, схемой изготовления орудия. В основном использовалась медь, загрязненная примесями, полученная из оксидно-карбонатных руд с добавлением халькозин-ковеллиновых минералов. Из меди выполнены вислообушный топор, серпы, ножи с рукоятями, черешковые долота, крючки, часть шильев, как в процессе литья в форме с последующей доработкой, так и в результате формообразующейковки. Медные орудия, полученные в процессе литья, зачастую имели литейные дефекты — при перегреве расплавов с появлением горячих усадочных трещин, холодных трещин при заливке в непрогретые формы. Ранняя выбивка из матриц сопровождалась явлением усадочного коробления металла. Доработка медных орудий происходила в большинстве случаев в режиме неполной горячейковки, при 300–500 °С, либо горячей — при 600–800 °С и предплавиельных температур 900–1000 °С. В петровский период начали использовать оловянную и оловянно-мышьяковую бронзу для изготовления тесел, долот, черенковых ножей, большей части шильев, игл, наконечников копья, стрел. Более прогрессивные виды сплавов с точки зрения жидкотекучести, заполняемости без дефектов форм в виде низколегированной оловянной и оловянно-мышьяковой бронз (Sn до 7 %, As до 4 %) поступали от родственных племен петровской культуры Сарыарки, возможно Петропавловского Приишимья. Последующая доработка осуществлялась с выбором оптимальных режимов термообработки преимущественно при 600–800 °С или 900–1000 °С, а также в режиме неполной горячейковки 300–500 °С. Твердость доработанных орудийковкой с нагревами существенно, в 1,5–2 раза, превышала микротвердость обработанной меди. Поскольку использовали бронзы, незначительно легированные оловом, специальные режимы термообработки сплавов в виде отжигов гомогенизации нами не зафиксированы, за исключением наконечника копья из могильника Кривое Озеро. Совершенная технология получения литого наконечника с идеально ровной поверхностью пера, тонкими стенками втулки, начавшейся гомогенизации сплава при термообработке в процессековки на фоне использования более архаичных схем изготовления, приводит к заключению об импорте орудия. Вероятнее всего, наконечник копья поступил из очагов петровской культуры Центрального Казахстана, где они довольно часто встречались.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№ FWRZ-2021-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анкушева П.С., Алаева И.П., Анкушев М.Н., Фомичев А.В., Зазоевская Э.П., Блинов И.А. От руды к металлу: Эксплуатация Новотемирского месторождения Южного Зауралья во II тыс. до н.э. // Археология, этнография и антропология Евразии. 2021. Т. 49. № 1. С. 30–38. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2021.49.1.030-038>
- Артемьев Д.А., Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В., Орловская Л.Б. Цветной металл эпохи бронзы Северного Казахстана: Геохимическая характеристика и рудная база // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2024. № 1. С. 19–37. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-64-1-2>
- 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. Технология изготовления серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья (по результатам металлографического анализа) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2023. № 4. С. 39–52. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2023-63-4-3>

Десярева А.Д., Кузьминых С.В. Металлические орудия труда петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Приоболья: Химико-металлургическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2022. № 4. С. 29–42. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-59-4-3>

Десярева 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/ра2020.1.31.98.116>

Евдокимов В.В., Логвин А.В., Ткачев А.А. Поселение Семиозерное 2 // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 2. С. 30–40.

Куприянова Е.В., Зданович Д.Г. Древности лесостепного Зауралья: Могильник Степное VII. Челябинск: Энциклопедия, 2015. 196 с.

Лившиц Б.Г. Металлография. М.: Металлургия, 1990. 336 с.

Новиков И.И., Захаров М.В. Термическая обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1962. 429 с.

Равич И.Г. Эталоны микроструктур оловянной бронзы // Художественное наследие. М.: Искусство, 1983. Вып. 8 (38). С. 136–143.

Рындина Н.В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы. М.: Эдиториал УРСС, 1998. 288 с.

Тигеева Е.В. Технологические особенности изготовления металлических изделий алакульской культуры лесостепного Приоболья // Человек и Север: Антропология, археология, экология. Тюмень: ТюмНЦ СО РАН, 2018. Вып. 4. С. 250–254.

Тигеева Е.В., Новиков И.К., Шилов С.Н. Металлокомплекс эпохи бронзы Алакульского могильника (типология и технология изготовления) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 4. С. 18–32.

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

Park J.-S. & Voyakin D. & Beisenov A. The implication of diachronic changes reflected in LBA bronze assemblages of Central Kazakhstan // Archaeological and Anthropological Sciences. 2020. 12 (7). <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00989-z>

Park J.-S. Copper-based metallurgy as observed in metal objects excavated from the LBA site at Taldisai in Central Kazakhstan // Курманкулов Ж. (отв. ред.). Талдысай — поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи. Алматы: Ин-т археологии им. А.Х. Маргулана, 2020. С. 214–231.

Pigott V.C. & Ciarla R. On the origins of metallurgy in prehistoric Southeast Asia: The view from Thailand // S. La Niece, D. Hook, & P. Craddock (Eds.). Metals and mines: Studies in archaeometallurgy. L.: Archetype Press in association with the British Museum, 2007. 76–88.

Pigott V.C. The Bactria–Margiana Archaeological Complex (BMAC), the Seima-Turbino Horizon and a Possible Eastward Transmission of Tin Bronze Technology in Later Third and Early Second Millennium BCE Inner Asia // Inner and Central Asian Art and Archaeology. 2018. 1. 191–221.

Degtyareva A.D.

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS
Cherishhevskiy trakt st., 13, Tyumen, 625008, Russian Federation
E-mail: adeptyareva126@gmail.com

Technology of manufacturing copper and bronze tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol region

The article presents the results of metallographic analysis of the Petrovka Culture tools from the southern Trans-Urals and Middle Tobol River region of the 19th–18th centuries BC (47 items). A certain correlation has been determined between the functional purpose of an item, the type of raw material, and the tool manufacturing scheme. The tools were mainly made of copper contaminated with impurities, obtained from oxide-carbonate ores with the addition of chalcocite-covellite minerals. A butted axe, sickles, knives with handles, tanged chisels, hooks, and some awls were made of copper, both by casting in a mold with subsequent finishing and by forming forging. Copper tools obtained by casting often had casting defects — shrinkage cracks and warping of the metal. In most cases, the tools were finished either in the regime of incomplete hot forging at 300–500°C, or hot forging at 600–800°C and pre-melting temperatures of 900–1000°C. During the Petrovka period, tin and tin-arsenic bronze started being used for manufacturing adzes, chisels, handled knives, the majority of awls, needles, spearheads, and arrows. More progressive types of alloys in terms of fluidity, filling mold without defects in the form of low-alloy tin and tin-arsenic bronzes (Sn up to 7%, As up to 4%) came from related tribes of the Petrovka Culture of Saryarka, possibly from the Petropavlovsk Ishim region. The resulting castings were of high quality with smooth surface without metal warping defects. Subsequent finishing was carried out by selecting optimal heat treatment regimes mainly at 600–800°C or 900–1000°C, as well as using incomplete hot forging at 300–500°C. The hardness of the tools finished by forging with heating significantly exceeded the microhardness of the processed copper by 1.5–2 times.

Keywords: Bronze Age, metal tool manufacturing technology, Southern Trans-Urals, Middle Tobol, Petrovka Culture, metallographic analysis.

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, No. FWRZ-2021-0006.

REFERENCES

- Ankusheva, P.S., Alaeva, I.P., Ankushev, M.N., Fomichev, A.V., Zazovskaya, E.P., Blinov, I.A. (2021). From ore to metal: Exploitation of the Novotemir deposit in the Southern Trans-Urals in the 2nd millennium BC. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 49(1), 30–38. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2021.49.1.030-038>
- Artemyev, D.A., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Orlovskaya, L.B. (2024). Non-ferrous metal of the Bronze Age of Northern Kazakhstan: geochemical characteristics and ore base. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (1), 19–37. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2024-64-1-2>
- Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V. (1989). *Ancient metallurgy of Northern Eurasia (the Seima-Turbino phenomenon)*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Degtyareva, A.D. (2015). Non-ferrous metal ingots 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. (2023). Technology of manufacturing sickles and knives of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals (based on the results of metallographic analysis). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 39–52. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2023-63-4-3>
- 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 (Petrovka) culture of the Bronze Age of Central Kazakhstan. *Povolzhskaya arkheologiya*, (1), 98–116. (Rus.). <https://doi.org/10.24852/pa2020.1.31.98.116>
- Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2022). Metal tools of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals and Middle Tobol: chemical and metallurgical characteristics. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 29–42. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-59-4-3>
- Evdokimov, V.V., Logvin, A.V., Tkachev, A.A. (2016). Site Semiozernoye II. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (2), 30–40. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-33-2-030-040>
- Kupriyanova, E.V., Zdanovich, D.G. (2015). *Antiquities of the forest-steppe Trans-Urals: The burial ground Stepnoe VII*. Chelyabinsk: Encyclopedia. (Rus.).
- Livshits, B.G. (1990). *Metallography*. Moscow: Metallurgiya, 1990. (Rus.).
- Novikov, I.I., Zakharov, M.V. (1962). *Heat treatment of metals and alloys*. Moscow: Metallurgizdat. (Rus.).
- Park J.-S. (2020). Copper-based metallurgy as observed in metal objects excavated from the LBA site at Taldysay in Central Kazakhstan. In: *Taldysay — poseleniye drevnikh metallurgov pozdnego bronzovogo veka v Ulytauskoy stepi*. Almaty: Institut arkheologii im. A.Kh. Margulana, 214–231.
- Park, J.-S. & Voyakin, D. & Beisenov, A. (2020). The implication of diachronic changes reflected in LBA bronze assemblages of Central Kazakhstan. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(7). <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00989-z>
- Pigott, V.C. (2018). The Bactria–Margiana Archaeological Complex (BMAC), the Seima-Turbino Horizon and a Possible Eastward Transmission of Tin Bronze Technology in Later Third and Early Second Millennium BCE Inner Asia. *Inner and Central Asian Art and Archaeology*, (1), 191–221.
- Pigott, V.C., & Ciarla, R. (2007). On the origins of metallurgy in prehistoric Southeast Asia: The view from Thailand. In: S.La Niece, D. Hook, & P. Craddock (Eds.). *Metals and mines: Studies in archaeometallurgy*. London: Archetype Press in association with the British Museum, 76–88.
- Ravich, I.G. (1983). Standards of microstructures of tin bronze. *Khudozhestvennoye naslediyе*, 38(8), 136–143. (Rus.).
- Ryndina, N.V. (1998). *The oldest metalworking industry in South-Eastern Europe*. Moscow: Editorial URSS, 1998. (Rus.).
- Tigeeva, E.V. (2018). Technological Features of the Manufacture of Metal Products of the Alakul Culture of the Forest-Steppe Tobol Region. In: *Chelovek i Sever: Antropologiya, arkheologiya, ekologiya*, (4), 250–254.
- Tigeeva, E.V., Novikov, I.K., Shilov, S.N. (2016). Metal complex of the Bronze Age of the Alakul burial ground (typology and manufacturing technology). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 18–32. (Rus.). <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2016-34-3-018-032>
- Vinogradov, N.B., Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V., Medvedeva, P.S. (2017). *Images of the era. Bronze Age burial ground Krivoje Ozero in the Southern Trans-Urals*. Chelyabinsk: ABRIS. (Rus.).

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

Сведения об авторе: Дегтярева Анна Давыдовна, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник, Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень.

About the author: Degtyareva, A.D., Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher, Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen.



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

Accepted: 03.10.2024

Article is published: 15.12.2024