

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

**ВЕСТНИК АРХЕОЛОГИИ, АНТРОПОЛОГИИ  
И ЭТНОГРАФИИ**

*Сетевое издание*

**№ 4 (63)  
2023**

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;  
Хлагула 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](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

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

© ФИЦ ТюмНЦ СО РАН, 2023

**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 (63)  
2023**

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)

Kostomarova 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](mailto:vestnik.ipos@inbox.ru)

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

Дегтярева А.Д.

ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН  
ул. Червишевский тракт, 13, Тюмень, 625008  
E-mail: adegtyareva126@gmail.com

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕРПОВ И НОЖЕЙ ПЕТРОВСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)

*Приведены данные металлографического исследования серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья XIX–XVIII вв. до н.э. (37 экз.). Реконструкция технологии изготовления изделий петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья осуществлялась как с учетом результатов поверхностного визуального осмотра, так и по данным микроструктурного исследования металла. Выявлена определенная корреляция между функциональным назначением изделия, видом сырья, схемой изготовления орудия. Серпы и ножи с рукоятями получены в основном из чистой меди (в том числе окисленной) как в процессе литья в форме с последующей доработкой, так и в результате формообразующей ковки. Доработка медных орудий происходила в большинстве случаев в режиме либо неполной горячей ковки при 300–500 °С, либо горячей — при 600–800 °С и предплавленных температур 900–1000 °С. Черенковые ножи изготовлены преимущественно из низколегированной оловянной бронзы. Использование оловянной бронзы для производства ножей способствовало получению качественных отливок с ровной поверхностью без дефектов коробления металла. Доработка ножей после литья протекала с нагревами. Технологические инновации в обработке цветного металла, связанные с поступлением в Южное Зауралье Sn-бронзы в виде слитков или готовых изделий из Центрального Казахстана, привели к значительному повышению качества создаваемой продукции.*

**Ключевые слова:** эпоха бронзы, петровская культура, Южное Зауралье, Среднее Притоболье, металлопроизводство, металлографический анализ, технология изготовления, серпы, ножи.

В тематике историко-металлургической направленности определенное значение имеет реконструкция древних технологий изготовления цветного инвентаря на основе данных металлографического исследования изделий, в частности серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья XIX–XVIII вв. до н.э. Орудия (37 экз.) происходят из поселенческих (Устье 1, Кулевчи 3, Старокумлякское, Камышное 2, Убаган 2, Нижнеингалское 3) и погребальных (Озерное 1, Кривое Озеро, Верхняя Алабуга) комплексов. Ранее были опубликованы результаты аналитического исследования металла поселений Кулевчи 3 и Устье 1 [Дегтярева и др., 2001; Виноградов и др., 2013]. Расширение аналитической базы орудий, происходящих из поселений и могильников Курганской и Тюменской областей, позволит внести коррективы в сделанные выводы.

### Методика исследования

Реконструкция технологии изготовления изделий петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья осуществляется с учетом результатов поверхностного визуального осмотра и данным микроструктурного исследования металла. Металлографический анализ проведен в ТюмНЦ СО РАН (микроскоп Axio Observer D1m фирмы Zeiss; микротвердомер ПМТ-3М фирмы ЛОМО). Выводы по технологии обработки меди делались с учетом созданной базы данных и эталонов меди в литом, отожженном и деформированном состоянии с использованием различных термических режимов, наряду с использованием программного обеспечения Axio Vision Multiphase, Axio Vision Grains.

Результаты аналитического исследования состава металла орудий и слитков петровской культуры Южного Зауралья показали преобладание в коллекции группы чистой меди (63,6 %). Группа оловянной бронзы представлена третью изделий (30,7 %, 64 предмета), в основном низколегированными предметами с концентрациями олова преимущественно до 10 % [Дегтярева, Кузьминых, 2022, табл. 1, 2, рис. 3]. Группы мышьяковой и оловянно-мышьяковой бронзы малочисленны (3 и 7 изделий соответственно). Методика расшифровки микроструктурных данных металлографического анализа металла из чистой меди, мышьяковой и оловянной бронзы под-

робно описана при исследовании металла энеолита и эпохи бронзы [Равич, 1983, с. 136–143; Равич, Рындина, 1984, с. 114–124; Рындина, 1998, с. 15–20; Дегтярева, 2010, с. 14–19].

В связи с введением в научный оборот данных металлографического изучения изделий из сплавов Cu+Sn целесообразно отметить причины широкого территориального распространения их на территории Евразии в эпоху поздней бронзы, а также дать в краткой форме описание микроструктур. Оловянные бронзы обладают прекрасными механическими качествами — в сравнении с изделиями из чистой меди высокой твердостью и прочностью, хотя с повышением содержания олова понижается пластичность. Немаловажно и то, что оловянным бронзам в отличие от мышьяковых сплавов не присуща высокая токсичность при нагревах с выделением токсичных паров окислов мышьяка. Сплавы Cu–Sn имеют в сравнении с медью хорошие литейные свойства, что определяется малой усадкой, составляющей менее 1 % [Гуляев, 1977, с. 612–613]. Незначительная объемная усадка позволяет получать сложное фасонное литье с резкими переходами от тонких к утолщенным сечениям. Оловянные бронзы из-за большого температурного интервала затвердевания дают не концентрированную усадочную раковину как в меди, а рассеянную усадочную пористость, равномерно распределенную по всему сечению отливки [Смирягин, 1956, с. 255]. Сплавы, содержащие олово до 5 %, в литом состоянии состоят из неоднородного раствора  $\alpha$ -фазы с дендритным строением. Причиной образования неравновесного состояния, определяющего дендритную ликвацию, является замедленность процессов диффузии при широком интервале температур затвердевания сплавов [Смирягин, 1956, с. 252]. С увеличением содержания олова свыше 5–6 % в межосных пространствах твердого раствора появляются включения эвтектоида  $\alpha$ +Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub> [Туркин, Румянцев, 1947, с. 201–202]. Включения эвтектоида имеют серо-голубой цвет, отличаются характерными извилистыми очертаниями и дифференцированностью строения. По мере повышения содержания олова в сплаве количество включений возрастает. По эталонам микроструктур литых бронз можно в результате сопоставления их с исследуемыми образцами определить содержание олова с точностью до нескольких процентов.

В числе включений, наблюдаемых в микроструктурах оловянных бронз, обычны включения свинца, висмута, сульфидов. Характер их расположения и влияние на свойства сплавов идентичны поведению включений в меди. Следует только отметить, что в присутствии олова вредное влияние свинца и висмута на краснотемпературность металла усиливается. Цинк и железо в количестве до 5 % растворяются в медно-оловянных сплавах, но при введении его в количестве 2,5–4 % температура литья и рекристаллизации повышается на 150–200 °С с одновременным повышением твердости металла. При этом железо изменяет структуру бронз, которая становится измельченной с перебитыми, как бы расчлененными дендритами [Смирягин, 1956, с. 260].

С целью устранения недостатков литой структуры изделия подвергают специальным гомогенизационным отжигам при температуре 600–800 °С. Процесс устранения ликвационной неоднородности и соответствующий отжиг в практике термообработки называется гомогенизацией [Новиков, Захаров, 1962, с. 26–27; Лившиц, 1990, с. 114]. Основные структурные изменения при гомогенизации состоят в выравнивании состава твердого раствора в результате диффузии. При отжиге обогащенная оловом фаза переходит в твердый раствор, дендриты исчезают, образуются полиэдры, рассасываются включения эвтектоида  $\alpha$ +Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>. Сплав с такой выравненной структурой становится значительно более пластичным и довольно легко совершается горячая ковка бронз даже с 15–20 % Sn.

Неограниченная холодная обработка оловянных бронз допустима только для сплавов с низким содержанием олова, до 5–7 %, их можно подвергать степеням обжатия в 90 % без разрушения. Но уже бронзы с 10 % олова при холодном обжатии порядка 50 % растрескиваются, а сплавы с 25–35 % олова легко колются молотком [Гуляев, 1977, с. 612]. Пониженная ковкость бронз с повышенными концентрациями олова в составе объясняется появлением в структуре твердого, но хрупкого эвтектоида  $\alpha$ +Cu<sub>31</sub>Sn<sub>8</sub>. Холодная ковка оловянных бронз сопровождается значительным упрочнением сплавов с повышением микротвердости. Даже 20 % обжатие вызывает возрастание микротвердости до 140 кг/мм<sup>2</sup> в сплавах с 2 % олова и до 220 кг/мм<sup>2</sup> — с 10 % олова [Равич, 1983, с. 140]. Для возвращения пластичности и снятия меж- и внутрикристаллитных напряжений металл подвергается отжигам. Температуры начала рекристаллизации бронз находятся в интервале 300–400 °С, а отжигают их обычно при температурах 600–800 °С [Новиков, Захаров, 1962, с. 101]. При рекристаллизации происходит разупрочнение металла с одновременным повышением его пластичности. Отжиг вызывает появление рекристаллизованной структуры — происходит зарождение новых равноосных зерен с двойниками, волокнистое строение исчезает.

В то время как холодное обжатие возможно лишь для бронз с невысоким содержанием олова, в среднем до 10 %, горячая ковка допустима для бронз с достаточно большой примесью олова — 15–25 %. По данным экспериментальных исследований И.Г. Равич, ковка бронз с 15–25 % допускает обжатие до 80 % при условии их предварительного отжига при 700–800 °С [Равич, 1983, с. 141]. Вместе с тем горячая деформация возможна, если сплав при этом раскален докрасна, поскольку при нагреве в узком температурном интервале 586–798 °С хрупкий эвтектид  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  трансформируется в более пластичную  $\beta$ -фазу, что и делает доступной горячую обработку [Дриц и др., 1979, с. 38]. С захлаживанием металла бронза растрескивается, а сплавы с 30 % олова являются только литейным материалом, их нельзя ковать ни в холодную, ни в горячую даже после отжига. В горячекованных изделиях при температурах 600–800 °С — температурах красного каления происходит значительная структурная перестройка — появляются мелкие рекристаллизованные зерна на фоне дендритной ликвации, а после деформаций 60–80 % образуется однородная зернистая структура. Одним из наиболее характерных признаков горячекованных структур является разноразмерность.

При разграничении горячекованных бронз и обработанных в холодную с промежуточными отжигами исходят из суммарного учета всех микроструктурных признаков. Определенное внимание должно уделяться процентному содержанию олова в сплаве, форме, характеру расположения, количеству включений эвтектоида  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  в сопоставлении с данными химического состава изделий. Концентрация олова свыше 10 % с образованием хрупкой фазы  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  затрудняет холодную деформацию бронз, поэтому для бронз подобного состава более вероятной должна быть горячая обработка. Сопоставление вышеизложенных признаков дает возможность установить факт проведения гомогенизационного отжига, а также последующего температурного режима обработки.

### Основные результаты

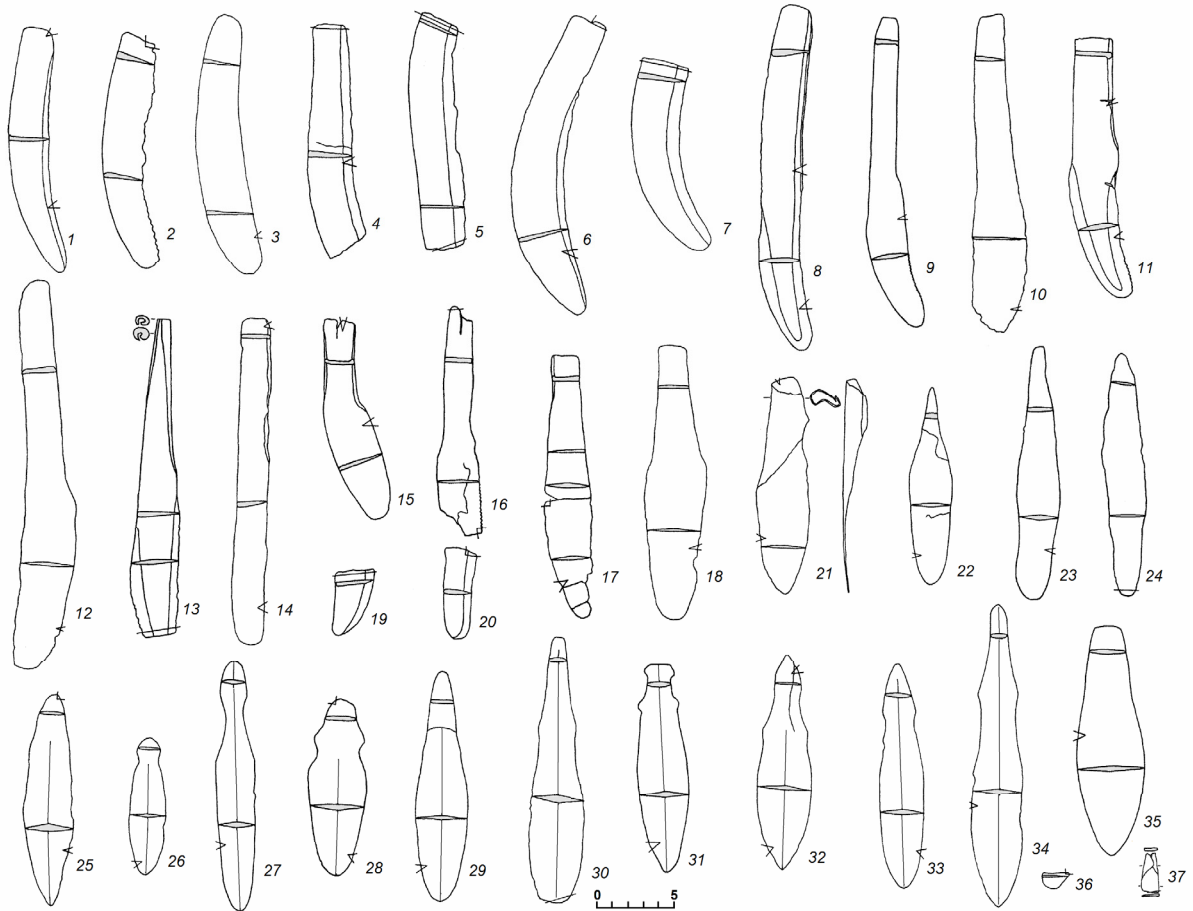
Рассматривая особенности технологий изготовления орудий труда, используемых в режущей функции, следует отметить, что серпы и ножи с длинной рукоятью отлиты в основном из чистой меди, в то время как черешковые ножи — в большей мере с использованием оловянной бронзы с концентрациями олова 0,4–10 %. Методами металлографического анализа изучено 37 серпов и ножей, включая 4 обломка лезвийной части.

В числе исследованных — 7 экз. **серпов**, микроструктурные данные которых изучены на срезах лезвийной части, обушка, спинки орудий (рис. 1, 1–7; пос. Кулевчи 3, Устье 1, Нижнеингальское 3; ан. 350, 352, 351, 457, 482, 454, 1139). Технология изготовления серпов сводилась к получению отливок из меди, в том числе окисленной (ан. 350, 1139), большей частью в глиняных односторонних литейных формах с плоской крышкой. На материал формы в ряде случаев указывало наличие губчатых затеков металла, характерных для пригара к стенкам глиняной литейной формы. Микроструктурное исследование орудий из чистой меди обнаружило наличие литой или деформированной микроструктуры в виде полиэдрических зерен, иногда с выраженной ликвацией по границам кристаллов. Хотя использовалась преимущественно медь с сульфидными включениями, несколько экземпляров серпов и ножей отлиты из чистой окисленной меди с характерными включениями эвтектики  $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$ . Лишь один серп отлит из низколегированной бронзы с содержанием Sn 0,5 % (ан. 457). В памятниках петровской культуры формы для отливки серпов неизвестны, в то время как в материалах поселения Аркаим синташтинской культуры обнаружена тальковая форма для отливки двух серпов одновременно с литниковыми каналами в районе рукоятей [Зданович, 1995, рис. 7].

Неравномерный прогрев створок формы или ранняя выбивка изделия из формы привели к усадочному короблению двух отливок орудий (ан. 350, 457). В одном случае при литье допущен пережог металла выше оптимальных температур, в результате чего заливка в холодную непрогретую форму явилась причиной появления крупных горячих усадочных трещин с рваными краями, локализованных по границам крупных полиэдрических ячеек ( $d$  0,2–0,3 мм; ан. 351; рис. 2, 8). Литейный брак явился основной причиной поломки этого серпа в начальной стадии доработочных операций.

Полученные отливки орудий доработаны ковкой, направленной на устранение пороков литья и заострение лезвийной кромки, сопровождавшейся средними степенями обжатия порядка 50–60 % (характер расположения участков эвтектики  $\text{Cu}-\text{Cu}_2\text{O}$ , сульфидных включений, наличие деформированной структуры). Доработка производилась либо в режиме неполной горячей

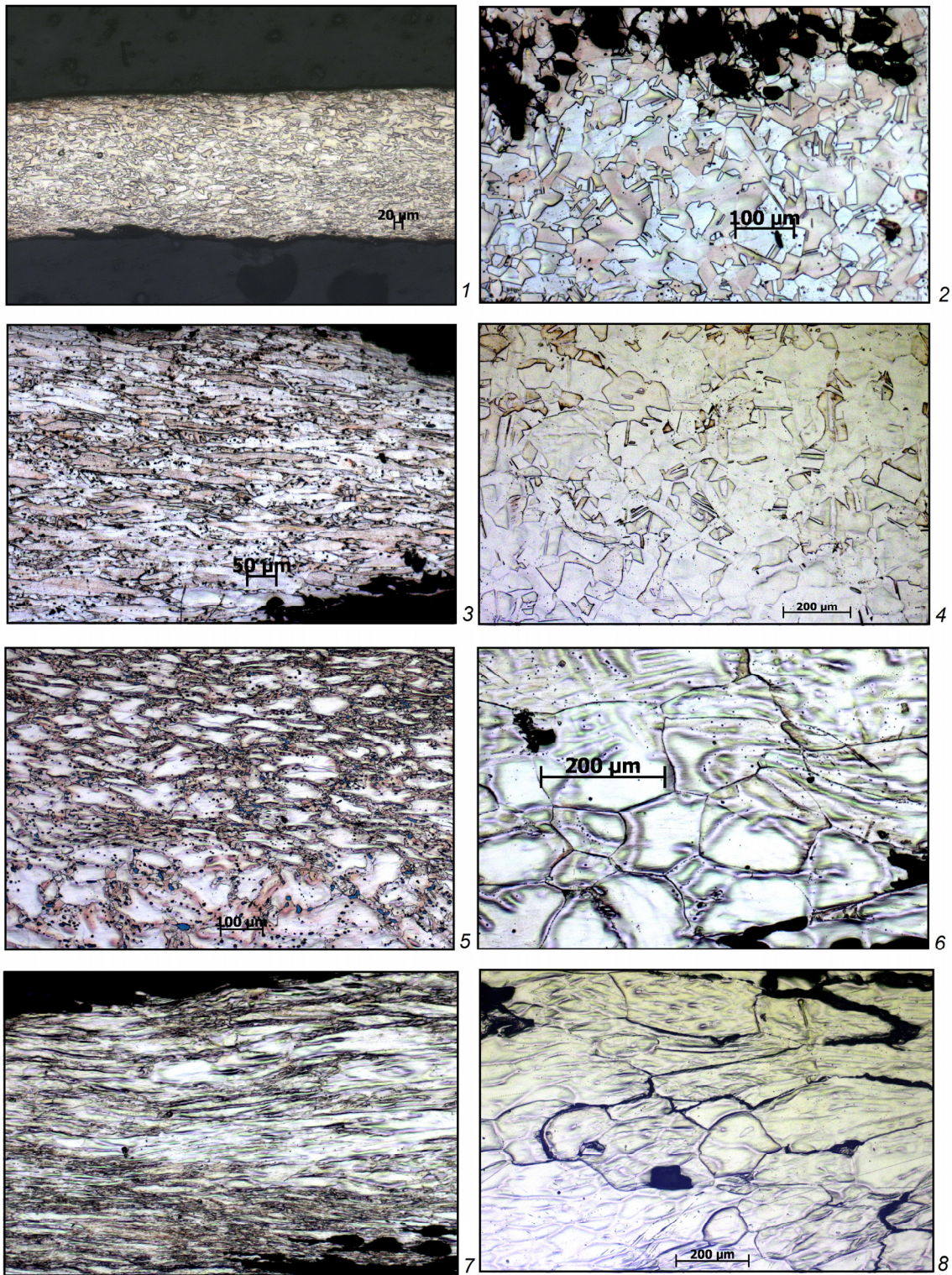
ковки в интервале 300–500 °С (незавершенность рекристаллизованной структуры в сочетании с замераами микротвердости; ан. 350, 1139, 482; рис. 2, 1, 3, 5) либо в горячую при 600–800 °С (появление рекристаллизованных зерен диаметром до 0,15 мм; ан. 457, 454; рис. 2, 2, 6). Кузнечные операции по доработке одного зерна из чистой меди производились в режиме предплавленных температур 900–1000 °С, о чем свидетельствует наличие крупных кристаллов  $d$  0,15–0,2 мм, а также глубоких трещин красноломкости металла, различимых визуально (ан. 352; рис. 2, 4). Серп с литейными изъянами в виде многочисленных усадочных трещин был подвергнут незначительной проковке в холодную (наличие полос деформации внутри кристаллов; ан. 351, рис. 2, 8). Заключительной операцией доработки большинства серпов явилось преднамеренное упрочнение рабочей части с повышением микротвердости меди HV до 158 кг/мм<sup>2</sup>.



**Рис. 1.** Серпы (1–7), ножи с рукоятью (8–20), нож со втулкой (21), черенковые ножи (22–37): 1, 4, 7, 8, 11, 14, 16, 20, 25, 28, 36 — пос. Кулевчи 3 (ан. 350, 352, 351, 346, 348, 347, 354, 355, 349, 353, 361); 2, 5, 6, 9, 13, 15, 19, 23, 24, 27, 31, 35 — пос. Устье 1 (ан. 457, 482, 454, 460, 480, 461, 605, 479, 486, 468, 463, 452); 3, 21 — пос. Нижнеингалское 3 (ан. 1139, 1140); 10 — пос. Камышное 2 (ан. 902); 12, 30 — случ. находки из Курганской обл. (ан. 903, 906); 17 — пос. Старокумляское (ан. 356); 18, 26, 37 — пос. Убаган 2 (ан. 1064, 905, 1076); 22, 29 — мог. Озерное 1 (ан. 1194, 1193); 32, 33 — мог. Кривое Озеро (ан. 414, 418); 34 — мог. Верхняя Алабуга (ан. 892).

**Fig. 1.** Sickles (1–7), knives with a handle (8–20), a knife with a sleeve (21), cutting knives (22–37): 1, 4, 7, 8, 11, 14, 16, 20, 25, 28, 36 — Kulevchi 3 site (an. 350, 352, 351, 346, 348, 347, 354, 355, 349, 353, 361); 2, 5, 6, 9, 13, 15, 19, 23, 24, 27, 31, 35 — Ustye site (an. 457, 482, 454, 460, 480, 461, 605, 479, 486, 468, 463, 452); 3, 21 — Nizhnyaya Ingala 3 site (an. 1139, 1140); 10 — Kamyshnoe 2 site (an. 902); 12, 30 — chance finds from the Kurgan region (an. 903, 906); 17 — Starokumlyak site (an. 356); 18, 26, 37 — Ubagan 2 site (an. 1064, 905, 1076); 22, 29 — Ozernoe 1 burial ground (an. 1194, 1193); 32, 33 — Krivoe Ozero burial ground (an. 414, 418); 34 — Verkhnyaya Alabuga burial ground (an. 892).





**Рис. 2.** Фото микроструктур серпов петровской культуры Южного Зауралья:  
1–5, 7 — увел.  $\times 100$ ; 6, 8 — увел.  $\times 200$ : 1, 4, 8 — пос. Кулевчи 3 (ан. 350, 352, 351); 2, 5–7 — пос. Устье 1 (ан. 457, 482, 454); 3 — пос. Нижнеингалское 3 (ан. 1139) (1, 3, 4, 7 — срез лезвия; 2, 6 — срез черешка; 5, 8 — срез спинки).

**Fig. 2.** Photo of microstructures of the sickles of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals:  
1–5, 7 — magnification  $\times 100$ ; 6, 8 — magnification  $\times 200$ : 1, 4, 8 — Kulevchi 3 site (an. 350, 352, 351); 2, 5–7 — Ustye 1 site (an. 457, 482, 454); 3 — Nizhnyaya Ingala site 3 (an. 1139) (1, 3, 4, 7 — blade cut; 2, 6 — petiole cut; 5, 8 — back cut).

**Ножи с длинной обособленной рукоятью**, используемые, как и серпы, в режущей функции, по данным металлографического анализа, изготовлены из меди в процессековки предварительно отлитых полосовых заготовок (13 экз., включая 2 фрагмента лезвийной части; пос. Кулевчи 3, Устье 1, Камышное 2, Старокумлякское, Убаган 2, случ. находка в Курганской обл.; рис. 1, 8–20). Подобная односторонняя глиняная литейная форма с плоской крышкой для отливки двух брусков обнаружена в материалах синташтинско-петровского могильника Бестамак [Logvin, Ševnina, 2013, S. 267, Ob. 83]. Лишь одно орудие имело в составе примесь олова 0,2 % (ан. 903). Три ножа с рукоятью и один серп относились к разряду полифункциональных орудий — помимо режущей функции, они использованы в качестве пилы (рис. 1, 2, 9, 11, 16). Завершение рабочей кромки у этих орудий оформлено в виде зубчиков, нанесенных ударами металлического долота или пробойника. Одно из этих орудий изготовлено способом пакетной сварки из 3–4 полос в режиме неполной горячей сварки при температуре 300–500 °С (ан. 354). Качество сварки было низким с неполным проваром металла на ряде участков, который обусловлен наличием загрязнений — сульфидов на свариваемых поверхностях. В процессековки рукояти было придано прямоугольное сечение, расплющена и вытянута лезвийная часть, пробиты зубчики пилы мини-зубилом.

При доработке литых заготовок ножей рабочая часть изделий была подвергнута существенной ковке с обжатием 80–90 %, в то время как степени деформирующего воздействия на рукояти не превышали 40–50 %. По всей видимости, использование свободной кузнечнойковки при формовке рабочей части объясняет вариативность оформления орудий — двулезвийных, с асимметричной или симметричной конфигурацией либо однолезвийных орудий. Кузнечные операции по изготовлению ножей с рукоятью направлены на устранение пороков литья, вытяжку, заострение и упрочнение лезвийной части. Доработка осуществлялась преимущественно в режиме неполной горячейковки при 300–500 °С, а также в холодную с низкотемпературными отжигами (ан. 346, 902, 348, 347, 356, 461, 605, 354; рис. 3, 1–5). На температурный режим доработочных операций указывает наличие деформированной полиэдрической структуры с рекристаллизованными зернами на ее фоне (доля рекристаллизованного объема занимает более половины поля зрения), микротвердость металла HV 110–131 кг/мм<sup>2</sup>. Три изделия доработаны при температурах красного каления металла 600–800 °С (ан. 460, 903, 480; рис. 3, 6, 7), два — с использованием предплавильных температур 900–1000 °С (ан. 1064; 355; рис. 3, 8). Использование температурных режимовковки документировано характером рекристаллизованной структуры с выраженной разнородностью с коэффициентом до 6, а в двух последних случаях — крупными размерами кристаллов до 0,15–0,2 мм, а также наличием трещин красноломкости. В ряде случаев зафиксировано усадочное коробление металла с литейными трещинами (ан. 347, 348, 461). В процессековки одного ножа избыточное количество сульфидных включений явилось причиной появления трещин хладноломкости и привело к поломке изделия (ан. 356).

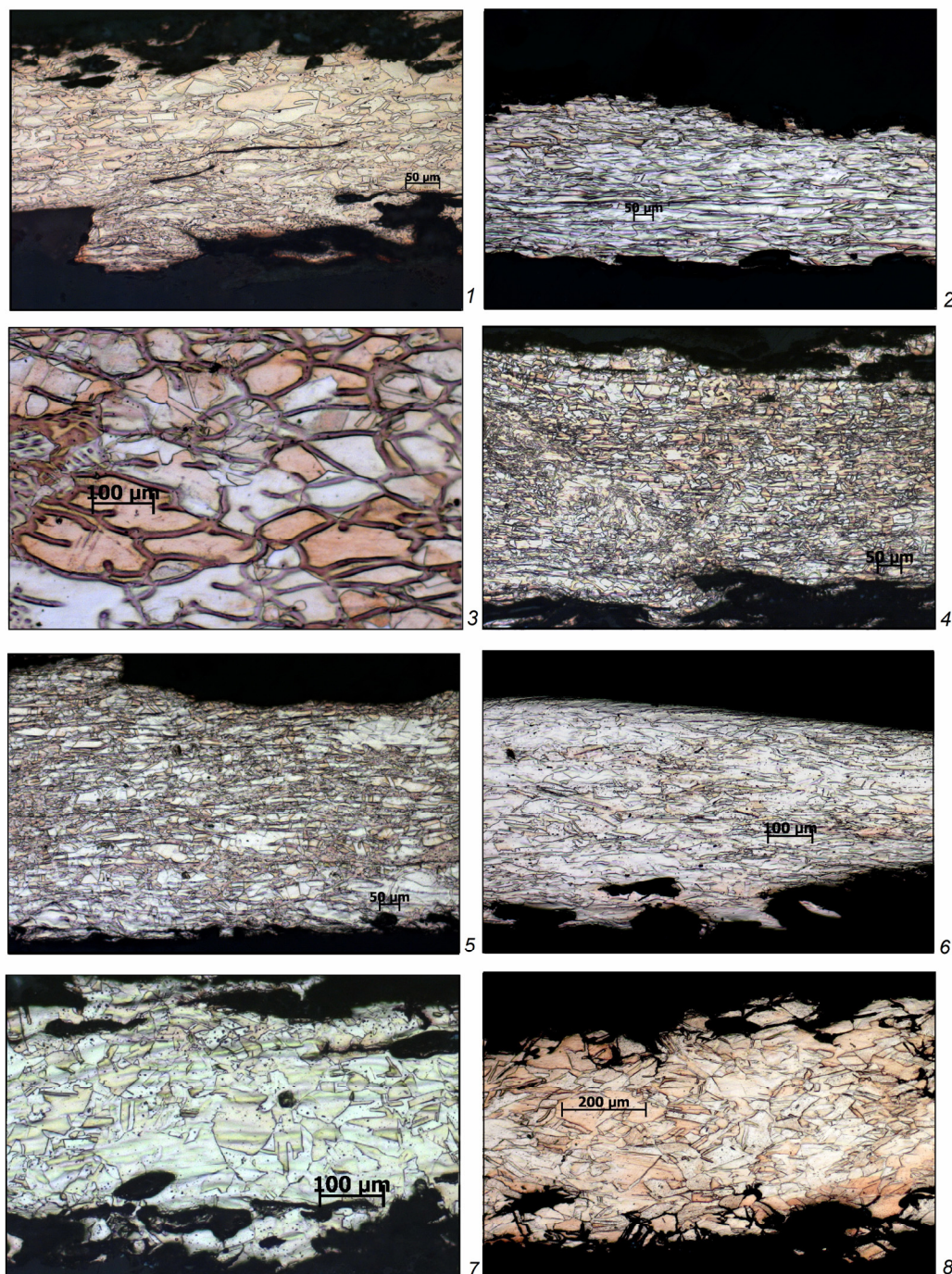
**Нож со втульчатой разомкнутой рукоятью** изготовлен из чистой окисленной меди из предварительно отлитой заготовки подтреугольной формы (рис. 1, 21; пос. Нижнеингальское 3; ан. 1140). Доработочные операции были направлены на растяжку лезвия, втульчатой части и заострение рабочей кромки. Судя по расположению включений эвтектики Cu–Cu<sub>2</sub>O, ковка сопровождалась 70–80 % обжатием металла. В заключение на оправке округлого профиля были подведены встык друг к другу края втулки. Наличие характерных трещин красноломкости, замеры микротвердости металла (85 кг/мм<sup>2</sup>) и значительный размер зерен (d 0,1–0,15 мм) позволяют заключить, что ковка велась в режиме предплавильных температур 900–1000 °С (рис. 4, 1).

Методами металлографического анализа исследованы также 16 экз. **черенковых ножей**, включая 2 фрагмента лезвийной части орудий, найденных в материалах как поселенческих, так и погребальных комплексов (рис. 1, 22–37; мог. Озерное 1; Кривое Озеро, Верхняя Алабуга, пос. Устье 1, Кулевчи 3, Убаган 2, сл. находка в Курганской обл.). Большинство ножей с черенками (почти две трети, 62,5 %), в отличие от серпов и ножей с рукоятями, отлиты из низколегированной оловянной бронзы с концентрациями Sn 0,4–3,5 %. Одно орудие имело в составе примесь олова 10 % (ан. 349). Судя по результатам микроструктурного исследования большинства ножей с остатками первоначальной литой структуры в виде деформированных полиэдров или дендритов, орудия отливали в односторонних с плоской крышкой или двусторонних литейных формах с последующей доработкойковки (ан. 353, 905, 1193, 463, 486; рис. 4, 3, 4, 8). На предполагаемый характер формы указывает сечение орудий — линзовидное или с выраженным ребром жесткости (рис. 1, 22–35). Иногда возможно было установить материал формы — глиняной — по характерным бугристым зацекам и пригару на поверхности изделий. Отливки ножей в подавляющем большинстве случаев



### Технология изготовления серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья...

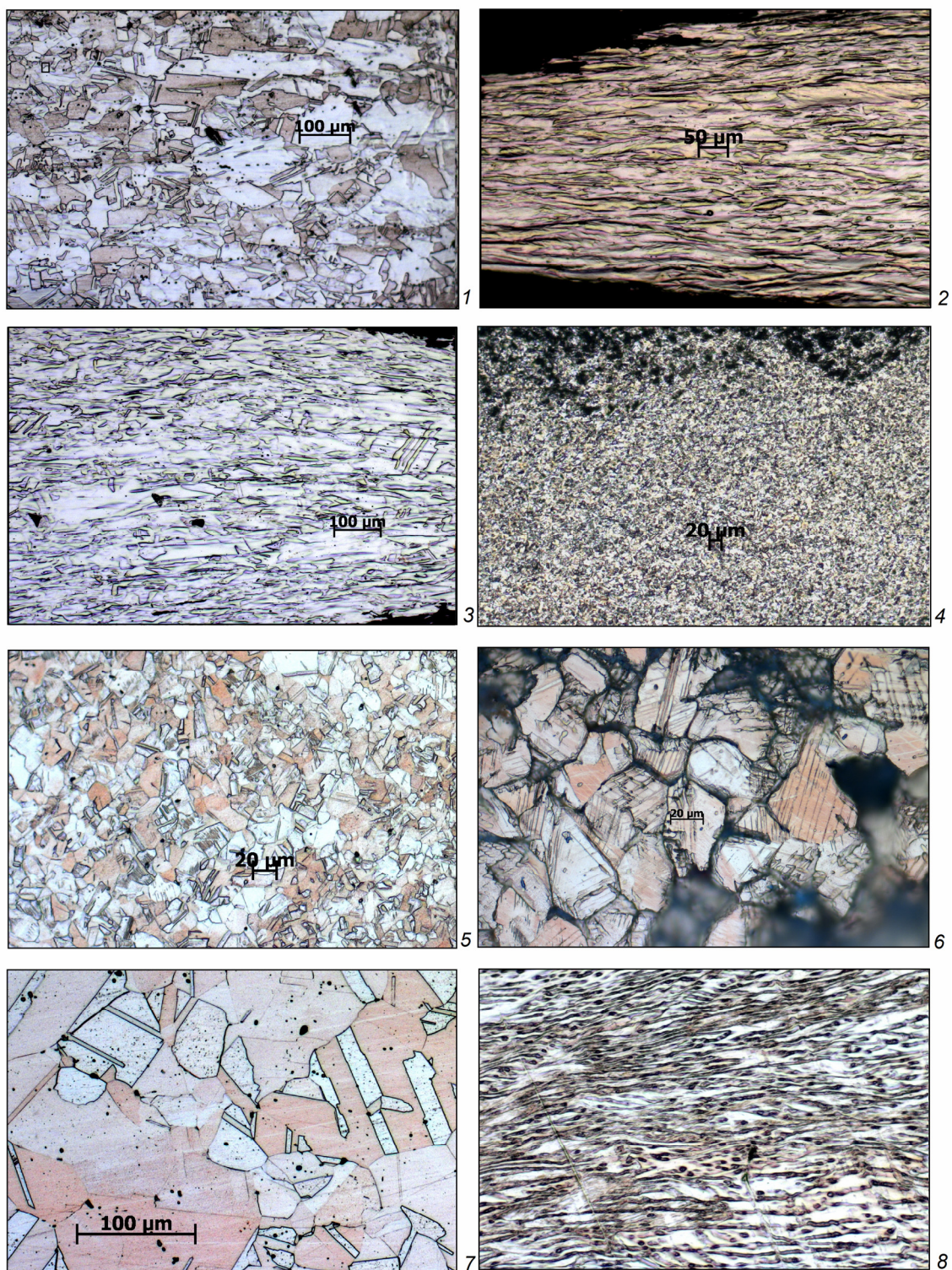
были плотными, качественными, с гладкой поверхностью, без видимых изъянов. Далее изделия подвергнуты кузнечной ковке с целью устранения пороков литья, растяжки и заострения лезвия, а также черенковой части. Лишь на двух изделиях прослежены следы коробления металла, связанного либо с пережогом металла, либо с ранней выбивкой отливки из формы (ан. 479, 486; рис. 1, 23, 24).



**Рис. 3.** Фото микроструктур ножей с рукоятью петровской культуры Южного Зауралья: 1–7 — увел.  $\times 200$ ; 8 — увел.  $\times 100$ : 1, 5 — пос. Кулевчи 3 (ан. 346, 347); 2 — пос. Камышное 2 (ан. 902); 3, 6 — пос. Устье 1 (ан. 605, 480); 4 — пос. Старокумляское (ан. 356); 7 — Курганская обл., случ. находка (ан. 903); 8 — пос. Убаган 2 (ан. 1064) (1–3, 6–8 — срез лезвия; 4, 5 — срез рукояти).

**Fig. 3.** Photo of microstructures of knives with a handle of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals: 1–7 — magnification  $\times 200$ ; 8 — magnification  $\times 100$ : 1, 5 — Kulevchi 3 site (an. 346, 347); 2 — Kamyshnoe 2 site (an. 902); 3, 6 — Ustye 1 site (an. 605, 480); 4 — Starokumlyak site (an. 356); 7 — Kurgan region, chance finds (an. 903); 8 — Ubagan 2 site (an. 1064) (1–3, 6–8 — blade cut; 4, 5 — handle cut).





**Рис. 4.** Фото микроструктур ножей петровской культуры Южного Зауралья:  
 1, 2, 4 — увел.  $\times 100$ ; 3, 5, 7, 8 — увел.  $\times 200$ ; 6 — увел.  $\times 500$ : 1 — пос. Нижнеингальское 3 (ан. 1140); 2, 3 — мог. Озерное 1 (ан. 1194, 1193); 4, 5, 7, 8 — пос. Устье 1 (ан. 463, 468, 486, 452); 6 — мог. Верхняя Алабуга (ан. 892) (1–8 — срезы лезвия).

**Fig. 4.** Photo of microstructures of knives of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals:  
 1, 2, 4 — magnification  $\times 100$ ; 3, 5, 7, 8 — magnification  $\times 200$ ; 6 — magnification  $\times 500$ : 1 — Nizhnyaya Ingala 3 (an. 1140);  
 2, 3 — Ozernoe 1 burial ground (an. 1194, 1193); 4, 5, 7, 8 — Ustye 1 site (an. 463, 468, 486, 452);  
 6 — Verkhnyaya Alabuga burial ground (an. 892) (1–8 — blade cuts).

## Технология изготовления серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья...

При доработке орудий кузнецы использовали как низкие температуры, так и ковку в режиме красного каления металла при 600–800 °С, а также 900–1000 °С. При этом зависимость между составом изделий и режимом термообработки не обнаружена. Примерно половина ножей прокована в режиме неполной горячейковки при 300–500 °С (ан. 1194, 1193, 905, 353) или по холодному металлу с промежуточными нагревами (ан. 463, 349, 414, 418). В пользуковки при 300–500 °С свидетельствует характер микроструктурных данных — наличие незавершенной рекристаллизованной структуры на фоне деформированной текстуры (рис. 4, 2, 3). Использованиековки по холодному металлу с отжигами зафиксировано по измельченности рекристаллизованных зерен  $d$  0,01–0,015 мм на фоне не измененных деформацией дендритов (рис. 4, 4).

Кузнечная доработка 4 ножей протекала в горячую при 600–800 °С, о чем свидетельствует выраженная разнотерность рекристаллизованных кристаллов, наличие трещин краснотомкости, неизбежных при горячей деформации металла с повышенными концентрациями Pb и Bi (ан. 479, 468, 906, 892; рис. 4, 5, 6). Судя по наличию очень крупных зерен диаметром до 0,15–0,2 мм, замерам микротвердости 73–93 кг/мм<sup>2</sup>, наличию трещин краснотомкости, ковка одного ножа и двух фрагментов орудий проведена при предплавильных температурах 900–1000 °С (ан. 486, 361, 1076; рис. 4, 7). Трещины краснотомкости, сопряженные с пережогом металла, явились основной причиной поломки изделия при доработке (ан. 361). Упрочнение холодной ковкой рабочей части ножей, изготовленных из меди, использовалось редко и вряд ли носило преднамеренный характер. Возможно, наклеп происходил по мере остывания металла в процессе доработки, при этом микротвердость достигала 143 кг/мм<sup>2</sup>.

Орудие с выделенным широким трапециевидным массивным черешком, предположительно являющееся импортным из турбинских очагов металлопроизводства, после литья в односторонней с плоской крышкой литейной форме, доработано ковкой (ан. 452, рис. 1, 35; тип НК-6; Черных, Кузьминых, 1989, с. 93; Дегтярева, Рындина, 2020). Доработочные операции производились в холодную и были направлены на растяжку рабочей части, заострение, а также упрочнение лезвия (HV 158,7 кг/мм<sup>2</sup>). Ковка сопровождалась 70–80 % обжатием металла, о чем свидетельствует волокнистая текстура металла (рис. 4, 8).

При изготовлении серпов и черенковых ножей использовались преимущественно литейные технологии в сочетании с доработкой рабочей части при различных режимах термообработки. Формообразующая ковка заготовок была традиционной при получении ножей с рукоятями (табл.). При доработке инвентаря применяли достаточно разнообразные режимы термообработки, большей частью нагревы в режиме либо неполной горячейковки при 300–500 °С, либо горячей — при 600–800 °С или предплавильных температур 900–1000 °С (рис. 5). Холодная ковка с отжигами и холодная доработка изделий использовались значительно реже, в изготовлении примерно 1/5 части орудий.

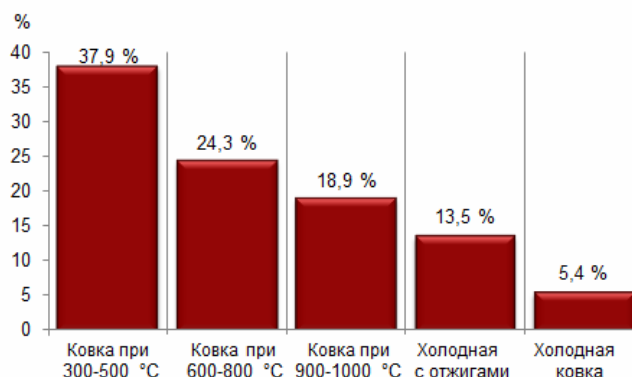
### Распределение серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья по технологическим схемам и видам термообработки

Distribution of sickles and knives of the Petrovsky culture of the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol region according to technological schemes and types of heat treatment

Тип изделий	Литье + ковка					Кузнечная ковка					Всего
	Технологические схемы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Серпы	1	2	—	1	1	—	—	—	—	—	7
Ножи с рукоятями, нож со втулкой	—	—	—	—	—	6	3	3	1	1	14
Черенковые ножи	4	4	4	3	1	—	—	—	—	—	16
Всего	23 (62,2 %)					14 (37,8 %)					37
	7	6	4	4	2	6	3	3	1	1	

**Примечание.** 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 — сварка при 300–500 °С.





**Рис. 5.** Распределение серпов и ножей по видам термообработки после литья в процессековки.  
**Fig. 5.** Distribution of sickles and knives by types of heat treatment after casting in the forging process.

### Обсуждение

Технологические схемы получения инвентаря петровской культуры в Южном Зауралье и Центральном Казахстане были практически идентичными — 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 окисленной, так и оловянной бронзы. Однако с учетом более высокой концентрации олова (до 14 %) в погребальных сарыаркинских памятниках в отличие от уральских доминировали режимы горячей обработки давлением при 600–800 °C и предплавильных температур при 900–1000 °C [Дегтярева и др., 2020]. С целью повышения пластичности и выравнивания структуры металла мастера прибегали к отжигу гомогенизации. Этот вид термообработки в центрах металлообработки Южного Зауралья применялся значительно реже, поскольку примеси олова в сопоставлении с центральноказахстанскими изделиями были низкими. Сырье для легирования бронз 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. В то же время в изготовлении инвентаря поселенческих комплексов Талдысай, Бозшаколь преобладали иные технологические схемы в связи с использованием в большей степени сырья из чистой меди, в меньшей — из низколегированной оловянной бронзы. Именно поэтому на поселениях для изготовления металлических изделий использовалась в основном формообразующая ковка, как при низких температурах, так и в режиме горячейковки [Park, 2020; Park et al., 2020].

Ранее были исследованы методами металлографического анализа серп, ножи с рукоятями, черенковые ножи синташтинской культуры Южного Зауралья (20 экз.) [Дегтярева, 2010, с. 100–112]. Схемы изготовления орудий синташтинской культуры близки технологиям получения орудий петровской культуры за исключением состава сырья для изделий и режимов термообработки. Синташтинские ножи и серпы в основном изготовлены из низколегированной мышьяком бронзы с примесью мышьяка 0,4–1,65 % (14 экз., 70 %), несколько орудий — из меди с повышенными концентрациями As 0,12–0,18 % (3 экз.), а также чистой меди (2 экз.) и комплексной мышьяково-сурьмяной бронзы (1 экз.; As 3,25 %, Sb 1,2 %). Технология изготовления серпов и черенковых ножей была достаточно однообразной, за редким исключением, и сводилась к получению отливок орудий в дву- или односторонних литейных формах с плоскими крышками. Практически все отливки были качественные, далее отливки дорабатывали кузнечной ковкой, направленной на вытяжку и заострение лезвийной части. Доработка орудий протекала с нагревами при температурах 400–500 °C или 600–700 °C. Один нож после литья был подвергнут холоднойковке с формовкой кромки по очертаниям лезвийной части. Примерно у половины орудий рабочая часть была преднамеренно упрочнена с помощью дополнительной холоднойковки. Ножи с рукоятями получены из заготовок формообразующей ковкой, в процессе которой были произведены вытяжка, заострение рабочей части и плющение рукояти. Ковка сопровождалась значительными степенями деформации металла (порядка 80–90 %) по всему корпусу изделия и протекала с нагревами при температуре 400–500 °C или 600–700 °C.



## Технология изготовления серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья...

Технологические приемы изготовления бронзовых и медных изделий сейминско-турбинских памятников отличаются безусловным совершенством в навыках обработки металла по сравнению с синташтинским и петровским металлопроизводством за счет использования легированных сплавов Cu+Sn, Cu+Sn+As, Cu+As, Cu+As+Sb. Выводы по технологии обработки металла сделаны по материалам мог. Сатыга, Товкуртлор, Турбино 1, Бор-Ленва [Беспрозванный и др., 2011, с. 37–44; Дегтярева, Кузьминых, 2023]. Это прежде всего проявилось в преобладании литейных технологий над методами получения изделий кузнечной ковкой, в том числе отработки сложной технологии литья орудий и оружия со слепой втулкой в двусторонних литейных формах. У литых изделий зафиксирована чистая ровная поверхность без литейных изъянов, признаков коробления металла. Уже только в процессе литья получали практически полностью готовые изделия, и последующаяковка была минимальной. Кузнечные операции по доработке отливок, связанные, как правило, с заострением рабочей части орудий с обжатием в пределах 20–40 %, носили косметический характер. Они протекали в режиме холоднойковки, холодной в сочетании с низкотемпературными нагревами 300–500 °С, горячей доработки орудий при 600–800 °С. Безусловно, ряд технологических новшеств — использование оловянной бронзы, отливок со слепыми втулками, а также форма наконечников копий, учитывая хронологический приоритет турбинских памятников, появились в петровском металлопроизводстве под влиянием турбинской металлургии [Черных, Кузьминых, 1989; Pigott & Ciarla, 2007; Pigott, 2018].

### Выводы

В основе выбора технологических традиций металлопроизводства, присущих металлургам и кузнецам той или иной культуры, находится прежде всего доступность определенной сырьевой базы, тип металла, получаемый из этой руды, а также наследование технологий предшествующих культурных сообществ. В эпоху ранней бронзы в степной зоне Восточной Европы появляется новая модель организации металлопроизводства, которая фактически закрепляется до окончания среднего бронзового века и проявляется в использовании низколегированных мышьяковых бронз, кузнечных и, в меньшей степени, литейных технологий изготовления инвентаря [Гак, 2016; Дегтярева, Рындина, 2019]. Одновременно на Южном Урале с освоением каргалинских рудных залежей меди происходило становление самостоятельного центра металлопроизводства с развитием технологических традиций обработки окисленной меди, начиная от выплавки металла и вплоть до трудоемких режимов высокотемпературной обработки давлением [Черных, 2007]. Уральские мастера использовали приемы литья крупных металлоемких орудий в открытые и составные закрытые формы с применением высокотемпературных режимов отжига металла при 900–1000 °С, не допуская чрезмерного окисления меди.

Приверженность подобным традициям металлопроизводства просматривается и в эпоху поздней бронзы. Синташтинские мастера производили и перерабатывали низколегированную мышьяковую бронзу уральского происхождения, петровские племена Южного Урала — уральскую медь и использовали, вероятно, поступающую из Казахстана низколегированную оловянную бронзу. Соответственно технологические методы переработки металла, режимы термообработки выработаны в зависимости от свойств доступного и традиционного металла — меди и бронзы.

Исследование технологии изготовления серпов и ножей петровской культуры Южного Зауралья и Среднего Притоболья методами металлографического анализа позволило отметить определенную корреляцию между функциональным назначением изделия, видом сырья, схемой изготовления орудия. Серпы и ножи с рукоятями получены в основном из чистой меди (в том числе окисленной) как в процессе литья в форме с последующей доработкой, так и в результате формообразующейковки. Орудия, полученные в процессе литья, зачастую имели литейные дефекты: пережог расплава, заливка в холодную форму, ранняя выбивка из формы сопровождались явлением усадочного коробления металла. Доработка медных орудий происходила в большинстве случаев в режиме либо неполной горячейковки при 300–500 °С, либо горячей — при 600–800 °С и предплавленных температур 900–1000 °С. Большую часть серпов в процессековки преднамеренно упрочняли ковкой по холодному металлу.

В отличие от серпов и ножей с рукоятями черенковые ножи изготовлены преимущественно из низколегированной оловянной бронзы. По всей видимости, этой категории орудий придавалось особое, ритуальное значение, тем более учитывая тот факт, что примерно треть орудий происходила из погребальных комплексов со специфическим подбором сопутствующего инвентаря. Использование оловянной бронзы для производства ножей кардинально изменило техно-

логию и способствовало получению качественных отливок с ровной поверхностью без дефектов коробления металла. Доработка ножей после литья протекала с нагревами при 600–800 °С или 900–1000 °С (44 % орудий) или в режиме неполной горячейковки 300–500 °С (25 %). Ковка по холодному металлу с отжигами использовалась редко (25 %), в холодную — в одном случае. Наклеп как способ упрочнения орудий практически не применялся, твердость доработанных орудий ковкой с нагревами доходила HV до 197 кг/мм<sup>2</sup>. Таким образом, технологические инновации в обработке цветного металла, связанные с поступлением в Южное Зауралье Sn-бронз в виде слитков или готовых изделий из Центрального Казахстана, привели к значительному повышению качества создаваемой продукции из цветного металла.

**Финансирование.** Работа выполнена по госзаданию № 121041600045-8.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беспрозванный Е.М., Дегтярева А.Д., Корочкова О.Н., Кузьминых С.В., Стефанов В.И., Косинская Л.Л.* Сатыга XVI: Сейминско-турбинский могильник в таежной зоне Западной Сибири. Екатеринбург: Урал. раб-очий, 2011. 192 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 (22). С. 4–30.
- Гак Е.И.* Переходный период в металлопроизводстве Предкавказья и юго-востока Русской равнины на рубеже ранней и средней бронзы // Исторический журнал: Научные исследования. 2016. № 6 (36). С. 760–769. <https://doi.org/10.7256/2222-1972.2016.6.20847>
- Гуляев А.П.* Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 647 с.
- Дегтярева А.Д.* История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. Новосибирск: Наука, 2010. 162 с.
- Дегтярева А.Д., Кузьминых С.В.* Технология изготовления металлических орудий и оружия из сборов на могильниках Турбино 1 и Бор-Ленва // И бронзы век, и век железный...: Сб. статей в честь Н.Н. Тереховой / Отв. ред. В.И. Завьялов. М.: Таус, 2023. С. 78–85.
- 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/ra2020.1.31.98.116>.
- 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.* Модели цветного металлопроизводства западной и восточной зоны ямной культурно-исторической области // КСИА. 2019. № 256. С. 58–74. <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.256.58-74>
- Дегтярева А.Д., Рындина Н.В.* Ножи петровской культуры Южного Зауралья: Морфологическая характеристика // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2020. № 3 (50). С. 17–34. <https://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-50-3-2>
- Дриц М.Е., Бочвар Н.Р., Гузей Л.С., Падежнова Е.М., Рохлин Л.Л., Туркина Н.И.* Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. М.: Наука, 1979. 248 с.
- Зданович Г.Б.* Аркаим: Арии на Урале, или несостоявшаяся цивилизация // Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия. Челябинск: Каменный пояс, 1995. С. 31–42.
- Лившиц Б.Г.* Металлография. М.: Металлургия, 1990. 236 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. Вып. 8 (38). М.: Искусство, 1983. С. 136–143.
- Равич И.Г., Рындина Н.В.* Изучение свойств и микроструктуры сплавов медь-мышьяк в связи с их использованием в древности // Художественное наследие. Вып. 9 (39). М.: Искусство, 1984. С. 114–124.
- Рындина Н.В.* Древнейшее металлообрабатывающее производство Юго-Восточной Европы. М.: Эдиториал УРСС, 1998. 288 с.
- Смирязин А.П.* Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургия, 1956. 559 с.
- Туркин В.Д., Румянцев М.В.* Структура и свойства цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1947. 439 с.
- Черных Е.Н.* Каргалы: Феномен и парадоксы развития. Каргалы в системе металлургических провинций. Потаенная (сакральная) жизнь архаичных горняков и металлургов // Каргалы. М.: Языки славянской культуры, 2007. Т. 5. 200 с.
- Черных Е.Н., Кузьминых С.В.* Древняя металлургия Северной Евразии (сейминско-турбинский феномен). М.: Наука, 1989. 320 с.
- Logvin A., Ševnina I.* Die Nekropole von Bestamak // Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 2013. Bd. 1. S. 231–244, 262–270.
- Park J.-S.* Copper-based metallurgy as observed in metal objects excavated from the LBA site at Taldisai in Central Kazakhstan // Талдысай — поселение древних металлургов позднебронзового века в Улытауской степи. Алматы: Ин-т археологии им. А.Х. Маргулана, 2020. С. 214–231.

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>

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.

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.

**Degtyareva A.D.**

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS  
Cheruvsheskiy trakt st., 13, Tyumen, 625008, Russian Federation  
E-mail: [adegtyareva126@gmail.com](mailto:adegtyareva126@gmail.com)

### **Technology for the production of sickles and knives of the Petrovka Culture of the Southern Trans-Urals (by the results of metallographic analysis)**

The data of the metallographic study of sickles and knives (37 pcs) of the Petrovka Culture from the Southern Trans-Urals and the Middle Tobol River basin of the 19<sup>th</sup>–18<sup>th</sup> centuries BC are reported. The implements originate from settlements (Ustye 1, Kulevchi 3, Starokumlyak, Kamyshnoe 2, Ubagan 2, Nizhneingaly 3) and burial complexes (Ozernoe 1, Krivoye Ozero, Verkhnyaya Alabuga). The reconstruction of the manufacturing technology of the Petrovka Culture tools from the Southern Trans-Urals was carried out by both taking into account the results of the surface visual inspection, as well as by the data of the microstructural study of the metal. The metallographic analysis was conducted at the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS (microscope Axio Observer D1m from Zeiss; microhardness tester PMT-3M from LOMO). A certain correlation was revealed between the functional purpose of the product, type of the raw material, and the tool manufacturing flowchart. The sickles and knives with handles are produced primarily from pure copper (including oxidised) both in the process of casting in mould with subsequent finishing, as well as in the result of the forming forging. The tools obtained in the casting process often had casting defects, accompanied by the phenomenon of shrinking warpage of the metal. The finishing of the copper tools was taking place in most cases either in the regime of incomplete hot forging at 300–500 °C, or hot forging at 600–800 °C and at near-melting temperatures of 900–1000 °C. Most of the sickles in the forging process were purposefully hardened by forging on the cold metal. Unlike the sickles and knives with handles, shank knives are made mainly of low-alloyed tin bronze. Apparently, this category of tools was given a special ritual significance, especially considering the fact that about a third of the tools came from burial complexes with a specific selection of the related implements. The use of tin bronze in the production of knives significantly contributed to the fabrication of high-quality castings with the smooth surface without metal warping defects. The finishing of the knives after casting was carried out with heating up to 600–800 °C or 900–1000 °C (44 % of the tools) or in the regime of incomplete hot forging (25 %). The forging on the cold metal with annealing was rarely used. Thus, at the basis of the choice of the technological traditions of the metal production lies the availability of a certain raw material base, the type of the metal obtained from this ore, as well as the inheritance of the technologies from the preceding cultural communities. Technological innovations in the processing of non-ferrous metal, associated with the supply of Sn-bronzes in the form of ingots or finished products from Central Kazakhstan to the Southern Trans-Urals, led to the significant increase in the quality of the produce.

**Keywords:** Bronze Age, Petrovka Culture, Southern Trans-Urals, Middle Tobol region, metal production, metallographic analysis, production technology, sickles, knives.

**Funding.** The work was carried out according to state order No. 121041600045-8.

### REFERENCES

Bezprozvanny, E.M., Degtyareva, A.D., Korochkova, O.N., Kuzminykh, S.V., Stefanov, V.I., Kosinskaya, L.L. (2011). *Satyga XVI: Seima-Turbino burial ground in the taiga zone of Western Siberia*. Yekaterinburg: Ural'skiy rabochiy. (Rus.).

Chernykh, E.N. (2007). Kargaly: Phenomenon and paradoxes of development. Kargaly in the system of metallurgical provinces: The hidden (sacred) life of archaic miners and metallurgists. In: *Kargaly. Vol. 5*. 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.).

Degtyareva, A.D. (2010). *History of metal production in the Southern Trans-Urals in the Bronze Age*. Novosibirsk: Nauka. (Rus.).

Degtyareva, A.D., Kuzminykh, S.V. (2023). The technology of manufacturing metal tools and weapons from collections at the burial grounds of Turbino 1 and Bor-Lenva. In: Zavyalov V.I. (Ed.). *Both the Bronze Age and the Iron Age...: Collection of articles in honor of N.N. Terekhova*. Moscow: Taus, 78–85. (Rus.).

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., Orlovskaya, L.B. (2001). Metal production of the Petrovka Culture tribes (based on the materials of the Kulevchi 3 site). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 23–54. (Rus.).

Degtyareva, A.D., Ryndina, N.V. (2019). Models of non-ferrous metal production in the western and eastern zones of the pit cultural and historical region. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii*, (256), 58–74. (Rus.). <http://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.256.58-74>

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>

Drits, M.E., Bochvar, N.R., Guzey, L.S., Padeznova, E.M., Rokhlin, L.L., Turkina, N.I. (1979). *Double and multicomponent systems based on copper*. Moscow: Nauka, 1979. (Rus.).

Gak, E.I. (2016). Transitional period in the metal production of the Ciscaucasia and the southeast of the Russian Plain at the turn of the Early and Middle Bronze Age. *Istoricheskiy zhurnal: Nauchnyye issledovaniya*, 36(6), 760–769. (Rus.). <https://doi.org/10.7256/2222-1972.2016.6.20847>

Gulyaev, A.P. (1977). *Metal science*. Moscow: Metallurgiya. (Rus.).

Livshits, B.G. (1990). Metallography. Moscow: Metallurgy, 1990. (Rus.).

Logvin, A., Ševnina, I. (2013). Die Nekropole von Bestamak. In: *Unbekanntes Kasachstan. Archäologie im Herzen Asiens. Bd. 1*. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum, 231–244, 262–270.

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 Taldysai in Central Kazakhstan. In: *Taldysay — poseleniye drevnikh metallurgov pozdnego bronzovogo veka v Ulytauskoy stepi*. Almaty: Margulan Institut arkheologii, 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). Moscow: Iskusstvo, 136–143. (Rus.).

Ravich, I.G., Ryndina, N.V. (1984). Study of the properties and microstructure of copper-arsenic alloys in connection with their use in antiquity. *Khudozhestvennoye naslediyе*, 39(9). Moscow: Iskusstvo, 114–124. (Rus.).

Ryndina, N.V. (1998). *The oldest metalworking industry in South-Eastern Europe*. Moscow: Editorial URSS, 1998. (Rus.).

Smiryagin, A.P. (1956). *Industrial non-ferrous metals and alloys*. Moscow: Metallurgizdat. (Rus.).

Turkin, V.D., Rummyantsev, M.V. (1947). *Structure and properties of non-ferrous metals and alloys*. Moscow: Metallurgizdat. (Rus.).

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

Zdanovich, G.B. (1995). Arkaim: Arias in the Urals, or a failed civilization. In: *Arkaim: Research. Search. Discoveries*. Chelyabinsk: Kamenny poyas, 31–42. (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 Anna D., Candidate of Historical Sciences, Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the SB RAS, Tyumen.



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

Accepted: 28.09.2023

Article is published: 15.12.2023