

Ю.В. Костомарова

ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026
E-mail: jvkostomarova@yandex.ru

ОРУДИЯ КУЗНЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА У НАСЕЛЕНИЯ ПОЗДНЕГО БРОНЗОВОГО ВЕКА ЛЕСОСТЕПНОГО ПРИТОБОЛЬЯ (ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТРАСОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)

Представлены итоги экспериментально-трасологического изучения каменных орудий, использованных в процессе кузнечной обработки металла. Экспериментальным путем подтверждено, что они включали молотки для горячей и холоднойковки, наковальни, гладилки для протяжки и доводки металла, полифункциональные инструменты. Полученные данные дополняют характеристику хозяйственной деятельности населения позднего бронзового века лесостепного Притоболья.

Ключевые слова: лесостепное Притоболье, эпоха поздней бронзы, производственная деятельность, металлообработка, каменные орудия, экспериментальные работы, трасологический анализ.

Введение

Несомненно, что плавка металла и его кузнечная обработка занимали важное место в структуре хозяйственно-производственной деятельности населения эпохи поздней бронзы лесостепного Притоболья. Об этом свидетельствует обнаружение практически на всех исследованных памятниках алакульской, федоровской, черкакульской, пахомовской и бархатовской культур рассматриваемой территории (рис. 1, 1) металлических предметов и орудий, связанных с их изготовлением (обломки тиглей, льячки, литейные формы, абразивные плитки).

Орудия кузнечной обработкой меди и бронзы по материалам лесостепного Притоболья впервые были выделены Г.Ф. Коробковой в 80-х гг. XX в. на поселениях Камышное 2, Ук 3, Дуванское 17. Они представлены подставками-наковальнями, молотками дляковки и гладилками для раскатки металла [Потемкина, 1985; Стефанов, Корочкова, 2000, с. 42]. Результаты этих исследований долгое время оставались единственным источником для характеристики орудийных комплексов, связанных с металлообработкой у населения позднего бронзового века рассматриваемой территории. Проведенное позднее спектральное и металлографическое изучение металлических изделий с интересующих нас памятников позволило определить состав металла и основные технологические схемы бронзолитейного производства, включавшие литье и ковку с разными температурными режимами [Тигеева, 2013; Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 39–42], что предполагает наличие соответствующих орудий. Об этом же свидетельствует опыт экспериментально-трасологического изучения материалов эпохи бронзы и более поздних эпох других территорий. Он показал, что типологически металлообрабатывающие инструменты представлены невыразительными обломками плиток и окатанными гальками с вытянутыми или приземистыми пропорциями [Килейников, 1984; Зданович, Коробкова, 1988; Пряхин, 1996; Коробкова, 2001б, с. 146–212; Епимахов, 2010; Кунгурова, 2013, с. 285–331; Кунгурова, Варфоломеев, 2013, с. 198–217; Молчанов, 2013; Лыганов, 2013; Князева, 2010; Голубева, 2016]. Следует отметить, что только часть из этих исследований содержит детальное описание признаков сработанности на кузнечных либо экспериментальных инструментах, микрофотографии следов сработанности на них [Потемкина, 1985, рис. 44, 8, 9; Килейников, 1984, с. 110–120; Пряхин, 1996, с. 80–93; Knyazeva, Kolchin, 2012; Голубева, 2016].

Ранее нами выделены орудия, связанные с обработкой металла [Костомарова, 2017а, 2017б]. Установлено, что они образуют три группы: 1) крупные продолговатые изделия с округлым или овальным поперечным сечением размерами 6–12х3–5 см (9 экз.) (рис. 1, 2–6). На рабочем торце — забитость, небольшие сколы и выбоинки от осуществления ударных действий; 2) вытянутые, но чаще приземистые крупные гальки с округлым поперечным сечением размерами 8–10х4–5,5 см (14 экз.) (рис. 1, 7–10). Их торцы уплощены, на них отмечена тусклая заполировка, металлический блеск, тонкие параллельные друг другу линейные следы в виде царапин, иногда мелкие выбоинки. Переход от рабочей зоны к боковым поверхностям на некоторых из-

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

делях приострен; 3) крупные уплощенные камни или бруски с прямоугольным или трапециевидным поперечным сечением размерами 4–12×5–8×2–4,5 см (14 экз.) (рис. 1, 11, 12). На поверхности рабочих участков отмечена общая сглаженность, шлифовка, зоны зеркальной заполировки, покрытые тонкими линейными следами и мелкими выбоинками, как правило, сгруппированными в нескольких местах. Кроме того, встречены изделия, на которых удалось зафиксировать сочетание нескольких групп признаков [Костомарова, 2017а; 2017b, с. 33].

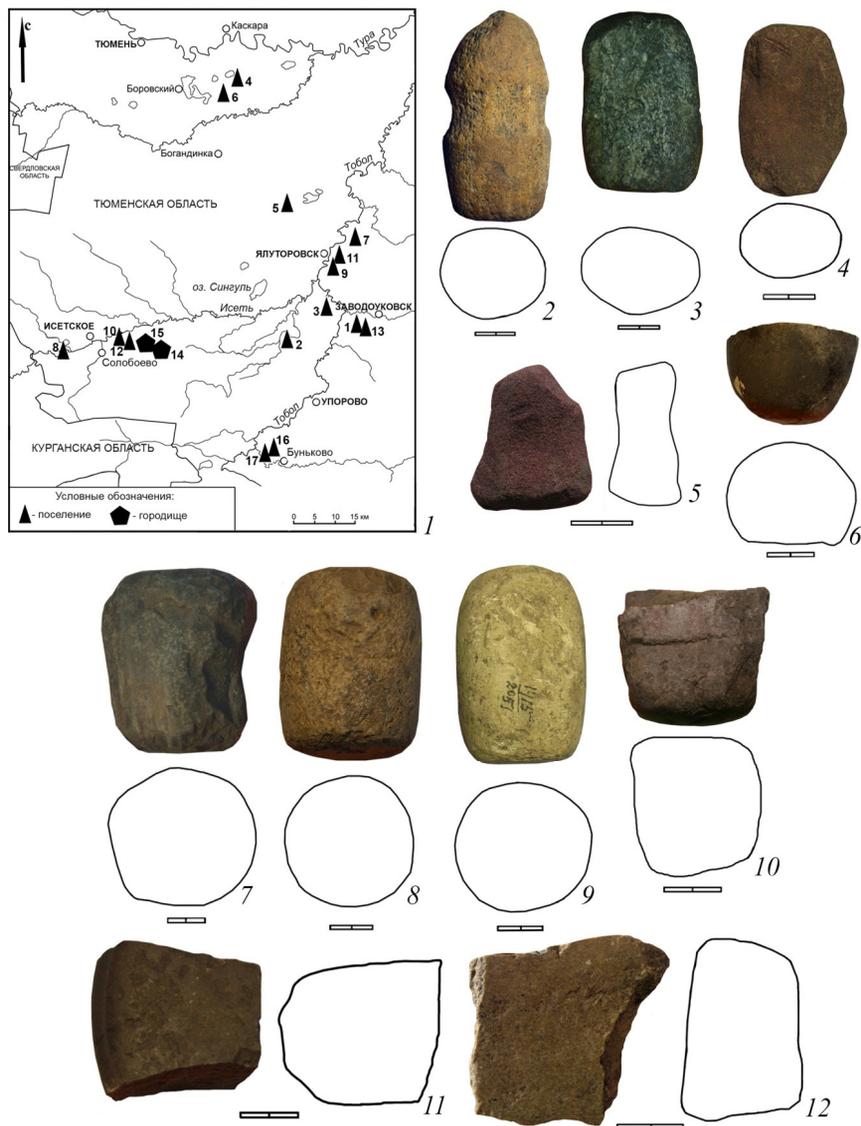


Рис. 1. Карта-схема расположения памятников позднего бронзового века в лесостепном Притоболье (1) и обнаруженные на них металлообрабатывающие орудия (2–12):

Памятники: 1 — Ук 3; 2 — Нижнеингальское 3; 3 — Щетково 2; 4 — Дуванское XVII; 5 — Черемуховый Куст; 6 — Курья 1; 7 — Криволюкское 7; 8 — Ольховка; 9 — Имбиряй 3; 10 — Хрипуновское; 11 — Большой Имбиряй 10; 12 — Ботники 1в; 13 — Заводоуковское IX; 14 — Коловское; 15 — Красногорское; 16 — Ново-Шадрино 2; 17 — Ново-Шадрино 7.
Орудия: 2–6 — группа 1: молотки дляковки; 7–10 — группа 2: гладилки; 11, 12 — группа 3: подставки-наковальни (2 — Ук XIV; 3, 7, 8, 11 — Черемуховый Куст; 4 — Большой Имбиряй 10; 5 — Ольховка; 6 — Ук 3; 9 — Дуванское XVII; 10 — Щетково 2; 12 — Коловское городище).

Fig. 1. The map-scheme of location of site of the Late Bronze Age on the forest-steppe Tobol river area (1) and metalworking tools from this site (2–12):

The sites: 1 — Uk 3; 2 — Nizhneingalskoe 3; 3 — Shchetkovo 2; 4 — Duvanskoe XVII; 5 — Cheremukhovyi Kust; 6 — Kurya 1; 7 — Krivolukskoe 7; 8 — Olkhovka; 9 — Imbiryai 3; 10 — Khripunovskoe; 11 — Bolshoy Imbiryai 10; 12 — Botniki 1v; 13 — Zavodoukovskoe IX; 14 — Kolovskoe; 15 — Krasnogorskoe; 16 — Novo-Shadrino 2; 17 — Novo-Shadrino 7.
The tools: 2–6 — group 1: hammers for forging; 7–10 — group 2: smoothers; 11, 12 — group 3: anvil (2 — Uk XIV; 3, 7, 8, 11 — Cheremukhovyi Kust; 4 — Bolshoy Imbiryai 10; 5 — Olkhovka; 6 — Uk 3; 9 — Duvanskoe XVII; 10 — Shchetkovo 2; 12 — Kolovskoe).

Для их функциональной атрибуции привлечены результаты опубликованных экспериментально-трасологических исследований по обработке металла. На основании этих данных орудия первой группы интерпретированы как молотки дляковки; вторая группа микропризнаков находит аналогии на гладилках, использовавшихся для разгонки, вытяжки предметов, получения листового металла и др., а третья — на подставках дляковки и протяжки металла. Взаимовстречаемость нескольких блоков следов как на разных рабочих площадках одного орудия, так и на одной свидетельствует о его полифункциональности [Килейников, 1984, с. 110–120; Потемкина, 1985, рис. 44, 8, 9; Зданович, Коробкова, 1988, с. 60–80; Пряхин, 1996, с. 80–93; Стефанов, Корочкова, 2000, с. 42–43; Коробкова, 2001а; 2001б; Коробкова, Шапошникова, 2005, с. 121, 172; Кунгурова, 2013, с. 307–309; Кунгурова, Варфоломеев, 2013, с. 198–217; Голубева, 2016]. Подтверждение, дальнейшая разработка данной гипотезы является актуальной задачей. Верификация полученных выводов подразумевает сравнение следов сработанности на археологических образцах с экспериментальными. Кроме того, необходимо конкретизировать, на каком этапе металлообработки использовались некоторые из них: определить, какие молотки применялись в процессе холодной и горячейковки. Интерес представляют возможность разделения кузнечных орудий по обработке отливок из меди и бронзы с разным содержанием олова, имевших разную микротвердость, сравнение следов сработанности на этих инструментах. Одна из гипотез, которую предстояло проверить, — каким образом формировалась ровная плоская поверхность у некоторых гладилок для раскатки металла.

Для реализации поставленных задач в 2017 г. проведены экспериментальные исследования, направленные на получение эталонов кузнечных каменных орудий эпохи поздней бронзы лесостепного Притоболья. Цель данной статьи — представить результаты этих работ. Были проведены: холодная и горячаяковка медных и бронзовых изделий с разным содержанием олова; выглаживание их поверхности. Осуществлено сравнение следов сработанности на археологических и экспериментальных орудиях, что позволило уточнить и в ряде случаев установить функцию археологических кузнечных инструментов.

Материалы исследования и условия эксперимента

Источниковый фонд исследования составили каменные орудия с алакульских (пос. Нижнеингальское 3, Ук 3), федоровских (селища Дуванское XVII, Черемуховый Куст, Щетково 2, Курья 1, Криволукское 7, Бочанцево 1), пахомовских (Ботники 1 в, городище Заводоуковское 11, Заводоуковское XIV), черкаскульских (поселения Ольховка, Имбиряй 3, Хрипуновское 1) и бархатовских (Щетково 2, городища Коловское и Красногорское) памятников (рис. 1, 1). Всего изучено около 120 предметов. С обработкой металла оказалось связано около 60 орудий. В результате экспериментальных работ было получено 23 эталона орудий, использовавшихся в различных операциях по обработке металла. Трасологический анализ и микрофотографии следов сработанности археологических и экспериментальных орудий выполнены на панкратическом микроскопе MC-2 ZOOM с увеличением от 10 до 40× и камерой Canon EOS-1100 D. Мы учитывали разработки по изучению микроструктур меди и бронзы [Равич, 1983; Равич, Рындина, 1989]; данные о химическом составе металлических изделий с памятников позднего бронзового века лесостепного Притоболья и технологические схемы металлообработки, реконструированные по результатам металлографического анализа. Население бронзового века рассматриваемой территории использовало чистую медь и низколегированную оловом бронзу — до 5 %, население алакульской культуры — до 10–15 % [Дегтярева, Костомарова, 2011; Тигеева, 2013, 2014]. Оловянная бронза характеризуется большей прочностью и твердостью, хорошими литейными свойствами [Дегтярева, 2010, с. 18]. В качестве реплик кузнечных орудий использованы окатанные гальки и плитка из плотных песчаниковых пород, диабаз, кварца. Отбиралось сырье по размерам и форме близкое к археологическому. Рабочее место состояло из наковальни — уплощенного песчаникового хорошо окатанного валуна размерами 14,5×10×3,6 см (рис. 2, 1). Вторым постоянным условием эксперимента стало воздушное устройство для контроля и поддержания температурного режима. Измерение температуры заготовки осуществлялось инфракрасным бесконтактным пирометром. Все этапы эксперимента фотофиксировались и детально описывались. Легирование оловом происходило следующим образом: на 100 г меди приходилось 3–3,5 г олова. Были отлиты прутки с примерным содержанием олова 3; 6; 9 %. Для более равномерного распределения олова отливка переплавлялась повторно¹. С

¹ Эксперименты по обработке металла проводились в 2017 г. на базе международной археологической школы в г. Болгар под руководством к.и.н. С.А. Агапова.

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

целью определения точного состава получившегося сплава проведен рентгенофлуоресцентный анализ металлических заготовок. Он показал, что они содержали 2,26; 6,14, 8,32 % олова, это примерно совпало с эмпирическими данными².



Рис. 2. Экспериментальные орудия для кузнечной обработки меди и следы сработанности на них (здесь и далее стрелками обозначены места микросъемки):

1 — наковальня; 2, 3 — молотки для холоднойковки; 4, 5 — молотки для горячейковки; 6, 7 — гладилки; А, Б — следы сработанности на молотках для холоднойковки (А — время работы 13 мин, увеличение $\times 10$; Б — время работы 30 мин, увеличение $\times 7,5$); В, Г — следы сработанности на молотках для горячейковки (время работы 17 и 20 мин, увеличение $\times 10$); Д — следы сработанности на гладилках (время работы 20 мин, увеличение $\times 10$); Е — рабочая поверхность гладилки после абразивной обработки (время работы 30 мин, увеличение $\times 5$); Ж — следы сработанности на гладилке с предварительно подготовленной рабочей площадкой (время работы 23 мин, увеличение $\times 15$).

Fig. 2. Experimental tools for forging copper and use-wear traces on them (here and further arrows indicate the places of macrophoto):

1 — anvil; 2, 3 — hammers for cold forging; 4, 5 — hammers for hot forging; 6, 7 — smoothers; А, Б — use-wear traces on the hammers for cold forging (А — working time 13 min, magnification $10\times$; Б — working time 30 min, magnification $7,5\times$); В, Г — use-wear traces on the hammers for hot forging (working time 17 and 20 min, magnification $10\times$); Д — use-wear traces on the smoothers (working time 20 min, magnification $10\times$); Е — the working surface of the smoother after abrasive treatment (working time 30 min, magnification $5\times$); Ж — use-wear traces on the smoothers with a pre-prepared work surface (working time 23 min, magnification $15\times$).

² Рентгенофлуоресцентный анализ проведен А.В. Матигоровым, заведующим лабораторией термомеханических и рентгеноструктурных исследований Инжинирингового центра композиционных материалов на основе соединений вольфрама и редкоземельных элементов на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL Optim'X.

Результаты экспериментальных работ

Проведены эксперименты по холодной, горячей ковке медной литой заготовки, ее протяжке и выглаживанию; ковке и протяжке бронзовой заготовки с содержанием олова 2,11; 6,14; 8,32 %.

Холодная ковка (рис. 2, 2, 3) медной литой заготовки (пруток длиной 33 см, шириной 0,7 см, толщиной 0,3 см). Она нагревалась до 500–600 °С, затем остужалась до 30–50 °С. После этого с помощью ручного каменного молотка, в качестве которого выступали окатанные гальки кварцитового песчаника размерами 10,2×2,5–3,8×2,7 и 7,6×3,5×3,2 см, осуществлялась ковка (вертикальные удары по поверхности заготовки). По истечении 1–2 мин рабочего времени происходило упрочнение металла (наклеп), его деформация каменным инструментом становилась затруднительной. Заготовка нагревалась повторно. На рабочей части молотков практически сразу (после двух циклов нагрев-охлаждение-ковка) наблюдалось потемнение поверхности на выступающих участках, оставались вкрапления сажистого налета и формировались следы сработанности в виде общей забитости и выбоинок, которые первоначально концентрировались на небольшой площади, а впоследствии равномерно покрывали рабочую поверхность (рис. 3, 3). На ее выступающих частях точно отмечается неяркая, выравнивающая рельеф, но не проникающая в него заполировка, она заходит и на боковые части орудия (рис. 2, А, Б). Медь в холодном виде достаточно прочна, поэтому от часто повторяющихся сильных ударных действий на боковых участках молотков из указанного сырья образовались сколы. Толщина медного прутка после семи циклов (в течение 13 мин) холоднойковки составила 0,2–0,15 см, т.е. на некоторых участках она уменьшилась вдвое.

Горячая, неполная горячая ковка (рис. 2, 4, 5) медной литой заготовки (33×0,7×0,3 см) сопровождалась ее нагревом до 600–700 °С, затем проводилась ковка каменным ручным молотком — окатанными гальками песчаника вытянутых очертаний с подквадратным и округлым поперечным сечениями размерами 8,9×2,2–3,3×2,5–2,7 и 10×3,8–4 см. Первоначально осуществлялись вертикальные удары орудием по заготовке, однако более эффективными оказались так называемые скользкие удары — когда вертикальный удар сопровождался движением по поверхности медного прутка в горизонтальной плоскости. Через 0,3–0,2 мин металл остывал до 400 °С, в интервале 300–500 °С велась его неполная горячая ковка. Это соотносится с результатами металлографического анализа, показавшего, что древние мастера не всегда руководствовались строго заданными температурными интервалами [Дегтярева, 2010, с. 15]. При температуре ниже 200 °С поверхность металла практически не деформировалась. Особенности кинематики нашли отражение в характере следов сработанности на рабочей площадке. На потемневшей поверхности появились: вкрапления сажистого налета, забитость и мелкие выбоинки, которые чередовались с выглаженными и выровненными выступающими участками, на которых видна яркая выравнивающая рельеф и придающая ему оплывшие очертания зеркальная заполировка (так называемый металлический блеск). В зоне заполировки фиксируются линейные следы — тонкие параллельные друг другу царапины (рис. 2, В, Г). Для нашего эксперимента важным оказался тот факт, что при неполной горячей ковке наиболее эффективными также были скользкие удары. То есть, следы сработанности на молотках для горячей и неполной горячейковки будут идентичны, в археологическом материале разделить их вряд ли удастся. После десяти циклов (в течение 17 мин) отжиг-ковка ширина медного прутка составила 0,9–1 см, а толщина 0,1 см, кроме того, начал формироваться приостренный режущий край.

Выглаживание, разгонка поверхности медной заготовки. В качестве орудия использовалась окатанная кварцитовая галька подквадратных очертаний в плане размерами 9,4×6,2×4,1 см. Литая медная заготовка (10×0,7×0,2 см) нагревалась до 600–650 °С. Осуществлялись движения орудием вперед-назад в горизонтальной плоскости либо в одном направлении по поверхности заготовки с давлением. Работа велась до остывания металла до 300–400 °С. Затем он нагревался повторно. После пяти циклов нагрев-выглаживание произошло уменьшение толщины пластины до 0,1 см и заострение ее краев. Рабочая поверхность орудия потемнела на выступающих участках, отмечен сажистый налет, появились яркая заполировка с металлическим блеском, придававшая оплывшие очертания рабочей площадке, но не проникающая в микро-рельеф, и линейные следы — параллельные друг другу риски, направленности которых определялась кинематикой (рис. 2, 6, Д). После 10 циклов (в течение 20 мин) нагрев-выглаживание рабочая площадка инструмента сохраняла выпуклое поперечное сечение, заострение граней, отмеченное на некоторых археологических экземплярах, не происходило. По этой причине было решено провести аналогичный эксперимент, но рабочую площадку орудия предварительно

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

подровнять на абразиве (рис. 2, 7, Е). Для этих целей отобрана треугольная в плане галька диабазом размерами 8,6×3,5–5×3,2–4,5 см. Осуществлялось выглаживание медной заготовки. При изучении поверхности рабочей площадки орудия отмечаются ее потемнение, отсутствие деформации, яркая, зеркальная, с пятнами металлического блеска, обволакивающая рельеф, но не проникающая в него заполировка и линейные следы — удлиненные царапины, расположенные разнонаправленными группами (рис. 2, Ж). Данный эксперимент показал, что формирование приостренной грани на некоторых гладилках связано не с процессом обработки металла, а является следствием предварительной подправки рабочей площадки инструмента.

Серия экспериментов связана с обработкой бронзовой заготовки с содержанием олова 2,11 %. Проводились те же операции, что и с медной отливкой: холодная ковка, горячая ковка и выглаживание (рис. 3, 1–3, А–В).

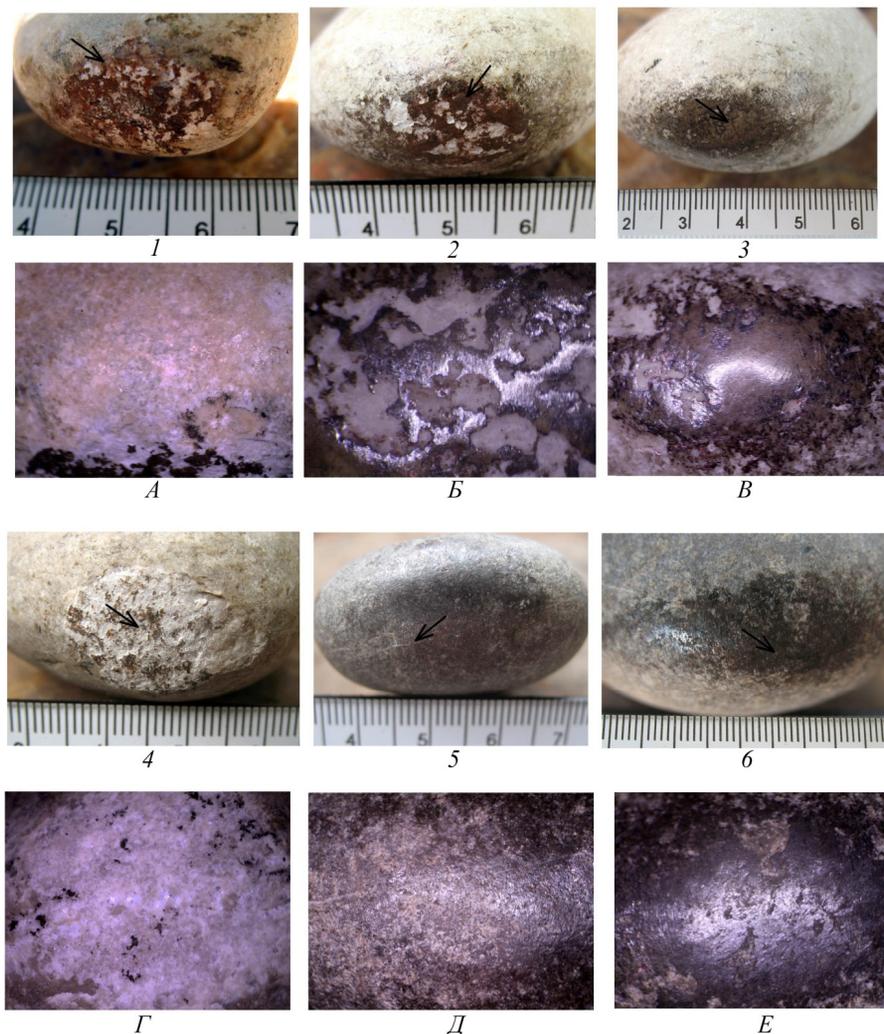


Рис. 3. Экспериментальные орудия для кузнечной обработки бронзы и следы сработанности на них: 1–3 — с содержанием олова 2,11 %; 4–6 — с содержанием олова 6,14 % (1, 4 — молотки для холоднойковки; 2, 5 — молотки для горячейковки; 3, 6 — гладилки). А, Г — следы сработанности на молотках для холоднойковки (А — время работы 30 мин, увеличение ×15; Г — время работы 20 мин, увеличение ×7,5); Б, Д — следы сработанности на молотках для горячейковки (Б — время работы 40 мин, увеличение ×10; Д — время работы 45 мин, увеличение ×7,5); В, Е — следы сработанности на гладилках (В — время работы 30 мин, увеличение ×15; Е — время работы 25 мин, увеличение ×10).

Fig. 3. Experimental tools for forging bronze and use-wear traces on them: 1–3 — a tin of 2,11 %; 4–6 — a tin 6,14 % (1, 4 — hammers for cold forging; 2, 5 — hammers for hot forging; 3, 6 — smoothers). А, Г — use-wear traces on hammers for cold forging (А — working time 30 min, magnification ×15; Г — working time 20 min, magnification ×7,5); Б, Д — use-wear traces on hammers for hot forging (Б — working time 40 min, magnification ×10; Д — working time 45 min, magnification ×7,5); В, Е — use-wear traces on the smoothers (В — working time 30 min, magnification ×15; Е — working time 25 min, magnification ×10)

При холодной ковке³ бронзовой пластины размерами 15,8×1,1–1,4×0,3–0,4 см с первых же минут рабочая площадка орудия, в качестве которого выступала окатанная галька кварца размерами 8,5×3,7×2,2 см, начала деформироваться, появились сколы и выбоинки, забитость, образовалось ребро при переходе к боковым частям. На выступающих участках точечно фиксируется заполировка, заходящая на боковые участки орудия (рис. 3, 1, А). Горячая ковка бронзовой заготовки (15,5×1,4×0,4 см) осуществлялась при нагреве до 700–770 °С (до красного каления металла). В качестве инструмента использована окатанная яйцевидная кварцевая галька размерами 10,1×3–5,2×3 см с выпуклыми торцами. Осуществлялись вертикальные удары, сопровождавшиеся скользящими движениями в горизонтальной плоскости по поверхности бронзового прутка. Уже после 2–3 циклов работы на одном из них фиксировались признаки износа в виде выбоинок и лунок, чередующихся с выступающими участками, покрытыми яркой, с металлическим блеском, выравнивающей поверхность, но не проникающей в микрорельеф заполировкой. В ее зоне отчетливо видны линейные следы (рис. 3, 2, Б). Также проведен эксперимент по протяжке и выглаживанию нагретой бронзовой заготовки каменной кварцевой галькой размерами 10,1×3–5,2×3 см. Производились возвратные или однонаправленные движения в горизонтальной плоскости. На рабочей площадке формируются заполировка в виде металлического блеска, придающая рельефу оплывшие очертания, линейные следы — тонкие удлиненные параллельные друг другу риски, деформация отсутствовала (рис. 3, 3, В). На всех орудиях отмечены потемнение рабочей поверхности и частицы сажистого налета. В целом все экспериментальные инструменты, использовавшиеся в кузнечной обработке бронзовой отливки с содержанием олова 2,11 %, продемонстрировали эффективность, металл нужным образом деформировался.

Следующий блок работ связан с обработкой бронзовой заготовки (Sn 6,14 %) размерами 11×1,5×1,2 см. Производилась ее холодная, горячая ковка, протяжка в аналогичных, что и в предыдущих экспериментах, условиях (рис. 3, 4–6, Г–Е). Один эксперимент был направлен на получение комбинированного орудия — им осуществлялись холодная ковка и протяжка. В качестве молотка для холоднойковки взята окатанная кварцевая галька размерами 10,6×5,8×3,9 см. Наносились вертикальные удары сверху вниз по поверхности бронзовой пластины. На орудии практически сразу сформировались следы сработанности в виде выбоинок, лунок, сколов и, по истечении некоторого времени, общей забитости рабочей площадки. На отдельных участках отмечены сажистые вкрапления, небольшие пятна тусклой, не проникающей в микрорельеф заполировки (рис. 3, 4, Г). Ковка велась примерно в течение одной минуты, потом заготовка нагревалась повторно. Горячая ковка велась при температуре около 650–750 °С. Молоток представлял собой серую окатанную гальку диабазы размерами 8,4×4,1×2,5 см. Осуществлялись скользящие удары. На рабочей площадке орудия формируются мелкие сколы, чередующиеся с выровненными яркой заполировкой выступающими участками (рис. 3, 5, Д). Следующий эксперимент предполагал выглаживание и протяжку предварительно нагретой бронзовой пластины. Работа выполнялась противоположным концом экспериментального молотка для горячейковки этого же сплава. Рабочая поверхность орудия отличалась отсутствием деформации и ярко выраженной, сглаживающей рельеф обволакивающей заполировкой. Отмечены изменение цвета и чешуйки металла (рис. 3, 6, Е).

Кроме того, проведено чередование холоднойковки и протяжки нагретой бронзовой заготовки (рис. 4, 1–5). Следы сработанности представлены выбоинками, выкрошенностью, которые чередовались с хорошо сглаженными выступающими участками, покрытыми яркой, с металлическим блеском, как бы оплавающей их заполировкой. Следует отметить, что рабочие площадки комбинированного орудия и молотка для горячейковки имеют общие признаки — два блока следов сработанности. Однако на комбинированном орудии они расположены неравномерно, и в зависимости от того, какая операция производилась последней, в большей степени выражены либо следы деформации отковки — лунки, выбоинки, либо признаки выравнивания поверхности отливки — зоны заполировки, линейные следы. Как и в предыдущих экспериментах, на макроуровне на рабочих площадках экспериментальных кузнечных инструментов отмечаются изменение цвета поверхности и сажистые вкрапления.

При кузнечной обработке бронзовой заготовки (Sn 8,32 %) необходимо было учитывать, что с повышением содержания олова снижается пластичность бронзы. Затруднительной становится ее холодная ковка [Равич, 1983, с. 139]. Для деформации подобного сплава необходимо его нагреть и выдерживать в определенном температурном режиме (отжиг гомогенизации), что по-

³ Бронзовая заготовка нагревалась до 600–700 °С, затем охлаждалась до 30–40 °С.

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

вышает пластичность металла и делает возможным его обработку. В ходе экспериментов оказалось затруднительно реализовать условия для такого отжига. Удалось осуществить только один цикл холоднойковки бронзовой отливки (10,2×1,5×0,3 см). Она производилась окатанной кварцевой галькой размерами 11×5,2–5,8×3,8 см. На молотке, при большой твердости сплава, сразу же формировались следы сработанности в виде сажистого налета, сколов, выбоин, они покрывали всю рабочую площадку (рис. 4, 6). Попытка нагреть и выдержать бронзовую заготовку повторно привела к тому, что металл расплавился. Горячая ковка бронзовой пластины велась окатанной галькой из того же сырья размерами 10,2×5,9×3 см (рис. 4, 7). Однако после двух цикловковки на пластине появились трещины, что также стало результатом нарушения условий ее отжига. Эксперимент по протяжке бронзовой заготовки, при которой использовался молоток для горячейковки этого же сплава, продемонстрировал неэффективность этой процедуры. На поверхности заготовки слегка полировались лишь выступающие участки. При ее нагревании до 600 °С работа была возможна в течение 0,2–0,3 мин. На молотке-гладилке формировались зеркальная заполировка и линейные следы (рис. 4, 8), но поверхность бронзовой заготовки не деформировалась.



Рис. 4. Экспериментальные орудия для кузнечной обработки бронзы:

1–5 — с содержанием олова 6,14 %; 6–8 — с содержанием олова 8,32 % (1–5 — рабочая поверхность комбинированного орудия молотка-гладилки (1 — время работы 10 мин; 2 — время работы 20 мин; 3 — время работы 30 мин; 4 — время работы 45 мин; 5 — время работы 1 час); 6 — молоток для холоднойковки, время работы 10 мин; 7 — молоток для горячейковки, время работы 10 мин; 8 — молоток-гладилка, время работы 20 мин); 9 — наковальня.
А — следы сработанности на подставке дляковки (время работы — 30 ч, увеличение ×7,5).

Fig. 4. Experimental tools for forging bronze:

1–5 — with a tin 6,14 %; 6–8 — with a tin 8,32 % (1–5 — working surface combo tools hammer-smoother (1 — working time 10 min; 2 — working time is 20 min; 3 — working time 30 min; 4 — working time 45 min.; 5 — working time 1 hour); 6 — hammer cold forging, working time 10 min; 7 — hammer for hot forging, working time 10 min; 8 — hammer-smoother, working time 20 min); 9 — anvil. A — use-wear traces on the anvil (working time 30 hour, magnification ×7,5).

Рабочая поверхность наковальни также подверглась изменениям (рис. 4, 9, А). Отдельные ее участки потемнели, в углублениях отмечались чешуйки металла, сажистый налет, которые, однако, в процессе камеральной обработки практически исчезли. Следы сработанности на поверхности наковальни представлены отдельными небольшими лунками, выбоинками, сосредоточенными в углубленной центральной части наковальни и единичными ближе к краям. Выступающие участки выровнены, пришлифованы, на них фиксируется зеркальная выравнивающая микро рельеф заполировка, не проникающая в микро рельеф. В ее зоне местами сформировались линейные следы — короткие тонкие параллельные друг другу риски (рис. 4, А).

Заключение

Проведена серия экспериментов, отражающих различные операции по кузнечной обработке металла: меди и бронзы с разным содержанием олова. Рабочие площадки части экспериментальных орудий оказались сходны с эталонами, полученными В.В. Килейниковым, Е.В. Голубевой [Килейников, 1984; Пряхин, 1996; Голубева, 2016]. На всех экспериментальных кузнечных инструментах происходило изменение цвета рабочей площадки: она приобретала более темный оттенок, появлялись сажистый налет, чешуйки металла, которые, однако, после чистки рабочей площадки практически исчезали. Выделены отличительные признаки износа молотков для холодной и горячейковки, обусловленные кинематикой орудия. Холоднаяковка осуществлялась вертикальными ударами каменным инструментом по обрабатываемой поверхности, в силу чего на рабочей площадке формировались многочисленные выбоинки и сколы. На выступающих участках точно фиксируется не проникающая в микро рельеф мерцающая заполировка, которая становится ярче по мере использования орудия. Линейные следы отмечаются единично (рис. 2, 1, 2, А, Б; 3, 1, 4, А, Г; 4, 6). Горячаяковка предполагала вертикальный удар и последующее скольжение по поверхности отливки. В этом случае на рабочей поверхности молотка формируется два блока следов: выбоинки и покрытые яркой зеркальной, с металлическим блеском, заполировкой участки, располагавшиеся равномерно. В зоне заполировки присутствуют линейные следы — параллельные друг другу риски (рис. 2, 4, 5, В, Г; 3, 5, Б, Д; 4, 7). Аналогичные признаки износа отмечаются на молотках, которыми производилась неполная горячаяковка. В археологическом материале эти инструменты разделить не удастся. Экспериментальным путем установлено, что ровная рабочая площадка части гладилок образовывалась путем ее предварительной абразивной подправки (рис. 2, 7, Е, Ж). На рабочей площадке этих инструментов отмечаются длинные царапины от абразивной обработки, перекрытые заполированными участками. Заполировка ярко выраженная, напоминает металлический блеск, зеркальная, выравнивающая рельеф. На ней присутствуют линейные следы — короткие параллельные друг другу риски (рис. 2, 6, 7, Д, Ж; 3, 3, 6, В, Д). Судя по характеру расположения следов износа — равномерно по всей рабочей площадке, ими производилось выглаживание листового металла или изделий с широкой поверхностью. Выглаживание, протяжка металла были эффективны при обработке медных изделий и низколегированных бронз горячей или неполной горячейковки. Установлено, что кинематика движения при обработке медных и бронзовых предметов одинакова. Инструменты, использовавшиеся при обработке бронзовых отливок с разным содержанием олова, отличаются от орудий для меди большей выраженностью таких признаков утилизации, как выкрошенность и сколы, что обусловлено более высокой твердостью сплавов меди с оловом. Получены эталоны полифункциональных орудий, одна рабочая площадка которых применялась в разных операциях —ковка и протяжка. Особенностью их рабочей площадки является сочетание нескольких блоков следов, которые расположены неравномерно, на некоторых участках перекрывают друг друга. В ходе экспериментов удалось зафиксировать зависимость степени деформации рабочей поверхности молотков от сырья, из которого они изготовлены. Так, на кузнечных инструментах из кварцевого песчаника выкрошенность сильнее, чем на орудиях из кварца и диабаз. Это обусловлено отличающейся твердостью этих пород. Особенности следов сработанности на орудиях из разного сырья нуждаются в дальнейшем изучении.

Сравнение выявленных признаков со следами сработанности на археологических инструментах позволили выявить сходные характеристики рабочих площадок. На основании новых данных были скорректированы ранее полученные результаты классификации металлообрабатывающих орудий памятников позднего бронзового века лесостепного Притобья.

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

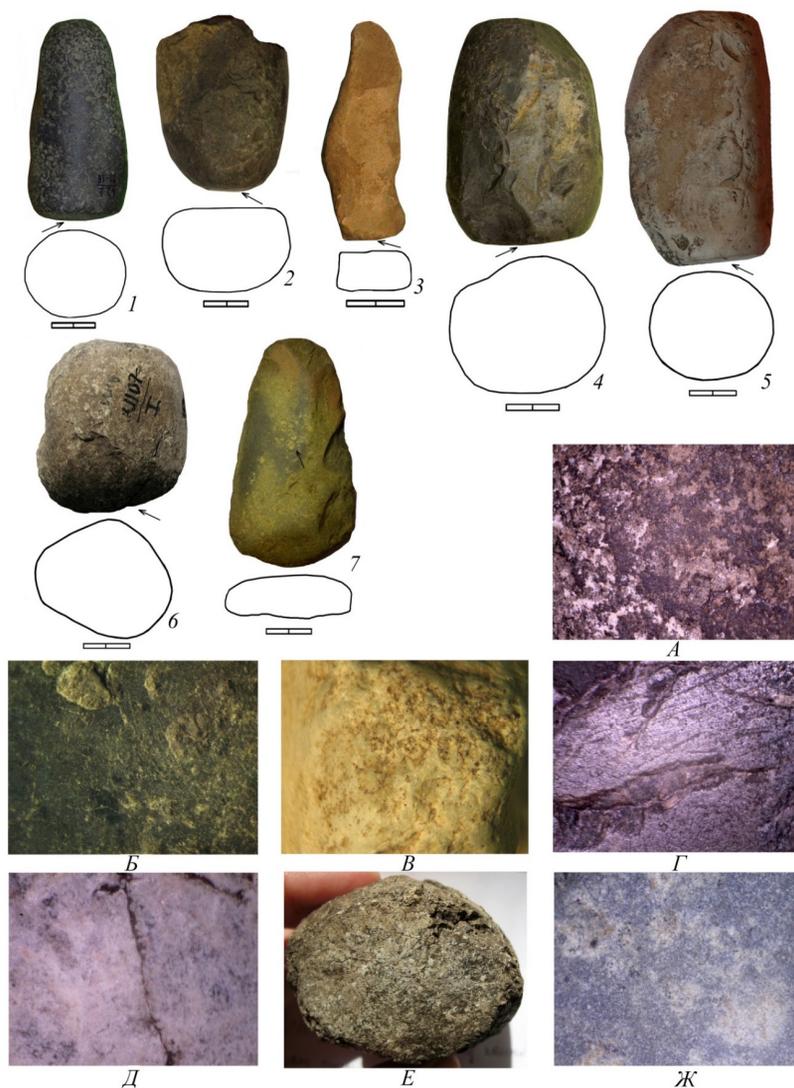


Рис. 5. Орудия для кузнечной обработки металла с памятников позднего бронзового века лесостепного Притобья и следы сработанности на них:

1, 2 — молотки для горячейковки; 3 — молоток для холоднойковки; 4, 5 — гладилки; 6 — молоток-гладилка; 7 — наковальня. А, Б — следы сработанности на молотках для горячейковки, увеличение $\times 15$; В — следы сработанности на молотке для холоднойковки, увеличение $\times 7,5$; Г, Д — следы сработанности на гладилках, увеличение $\times 15$; Е — следы сработанности на молотке-гладилке; Ж — следы сработанности на наковальне, увеличение $\times 10$ (1 — Ново-Шадрино 7; 2 — Черемуховый Куст; 3 — Ук 3; 4-6 — Хрипуновское 1; 7 — Курья 1).

Fig. 5. Tools for metal forging from the site of the Late Bronze Age of the forest-steppe Tobol river basin and use-wear traces on them:

1, 2 — hammers for hot forging; 3 — hammer for cold forging; 4, 5 — smoothers; 6 — hammer-smoother; 7 — anvil. А, Б — use-wear traces on the hammers for hot forging, magnification $\times 15$; В — use-wear traces on the hammer for cold forging, magnification $\times 7,5$; Г, Д — use-wear traces on the ironers, magnification $\times 15$; Е — use-wear traces on the hammer-smoother; Ж — use-wear traces on the anvil, magnification $\times 10$ (1 — Novo-Shadrino 7; 2 — Chermukhovyi Kust; 3 — Uk 3; 4-6 — Khripunovskoe 1; 7 — Kurya 1).

В комплексе выделены молотки для холодной и горячей или неполной горячейковки (9 и 8 экз. соответственно). Это крупные продолговатые изделия (рис. 1, 2-6; 5, 1-3), иногда с перехватом у одного из окончаний или посередине (3 экз.) размерами 6-12 \times 3-5 см. Рабочей частью являлся торец предмета. На молотках для холоднойковки на нем отмечаются забитость, небольшие сколы и выбоинки от ударных действий, неяркая, иногда точечно расположенная заполировка (рис. 5, В). На молотках для горячейковки участки выбоинок и лунок чередуются с выровненными, сглаженными, с яркой заполировкой, в зоне которой фиксируются линейные следы (рис. 5, А, Б).

Следующая группа орудий предназначалась для протяжки металла (12 экз). Она включает вытянутые или приземистые крупные гальки размерами 8–10×4–5,5 (рис. 1, 7–10; 5, 4, 5) с уплощенными зашлифованными торцами, на которых отмечаются хорошо заметная заполировка, не проникающая в микрорельеф, так называемый металлический блеск, тонкие параллельные друг другу линейные следы в виде царапин, иногда мелкие выбоинки (рис. 5, Г, Д). Переход от рабочей зоны к боковым поверхностям чаще приострен. В двух случаях рабочей была боковая поверхность орудия. Комбинированных инструментов, которыми осуществлялась ковка изделий и выравнивание поверхности, насчитывается 10 экз. (рис. 5, 6). В четырех случаях в рабочих операциях использовался один и тот же торец орудия. На их рабочих площадках фиксируется две группы признаков: выбоинки, сколы и выровненные участки, перекрывающие друг друга (рис. 5, Е).

Подставки-наковальни — 14 экз. (рис. 1, 11, 12; 5, 7). Это крупные уплощенные камни или бруски с прямоугольным или трапециевидным поперечным сечением. Целые изделия единичны, их размеры 4–12×5–8×2–4,5 см. Их боковые части в некоторых случаях оббиты пикетажной техникой и зашлифованы, но чаще не подвергались дополнительной обработке. На поверхности рабочих участков отмечены общая сглаженность, пришлифовка, зоны заполировки, покрытые тонкими линейными следами и мелкими выбоинками, как правило, сгруппированными в нескольких местах (рис. 5, Ж).

Таким образом, в ходе исследования удалось получить серию экспериментальных орудий, использовавшихся в кузнечной обработке меди и бронзы. Это позволило уточнить функциональную принадлежность и технологию изготовления некоторых археологических инструментов с памятников позднего бронзового века лесостепного Притоболья. Интерес представляет продолжение подобных работ, а именно: кузнечная обработка конкретных металлических изделий, характерных для рассматриваемого населения; использование орудий из разного каменного сырья, сравнение следов сработанности на них; использование одного инструмента на разных этапах металлообработки.

Финансирование. Работа выполнена по госзаданию — проект № АААА-А17-117050400147-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Голубева Е.В. Теория и практика экспериментально-трассологических исследований неметаллического инструментария раннего железного века — средневековья (на материалах южно-таежной зоны Средней Сибири). Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 144 с.

Десярева А.Д. История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы. Новосибирск: Наука, 2010. 162 с.

Десярева А.Д., Костомарова Ю.В. Металл позднего бронзового века лесостепного Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2011. № 1. С. 30–45.

Епимахов А.В. О синташтинском земледелии (Бронзовый век Южного Урала) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2010. № 2. С. 36–41.

Зданович С.Я., Коробкова Г.Ф. Новые данные о хозяйственной деятельности населения эпохи бронзы (по результатам изучения орудий труда с поселения Петровка II) // Проблемы археологии Урало-Казахстанских степей. Челябинск, 1988.

Клейников В.В. Каменные горнометаллургические и металлообрабатывающие орудия Мосоловского поселения // Эпоха бронзы восточно-европейской степи. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1984. С. 110–120.

Князева Е.В. Экспериментально-трассологическое исследование орудий эпохи металла // Историко-культурное наследие Азии: Изучение, сохранение и интерпретация. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2010. С. 43–55.

Коробкова Г.Ф. Методика изучения каменных, костяных, керамических и других изделий из неметаллического сырья // Особенности производства поселения Алтын-Депе в эпоху палеометалла: Материалы Южно-Туркменистанской археологической комплексной экспедиции. СПб.: Изд-во ИИМК РАН, 2001а. Вып. 5. С. 142–145.

Коробкова Г.Ф. Функциональная типология орудий труда и других неметаллических изделий Алтын-депе // Особенности производства поселения Алтын-депе в эпоху палеометалла. СПб., 2001b. С. 146–212. (Материалы ЮТАКЕ; Вып.5).

Коробкова Г.Ф., Шапошникова О.Г. Поселение Михайловка — эталонный памятник древнеямной культуры: (Экология, жилища, орудия труда, системы жизнеобеспечения, производственная структура). СПб.: Европейский Дом, 2005. 316 с.

Корякова Л.Н., Стефанов В.И., Стефанова Н.К. Проблемы методики исследований древних памятников и культурно-хронологическая стратиграфия поселения Ук 3. Свердловск: ИИА УрО РАН, 1991. 72 с.

Костомарова Ю.В. К проблеме выделения металлообрабатывающих орудий на поселениях позднего бронзового века лесостепного Притоболья // V (XXI) Всерос. археол. съезд. Барнаул: АлтГУ, 2017а. С. 543–544.

Орудия кузнечной обработки металла у населения позднего бронзового века...

Костомарова Ю.В. Каменные орудия в хозяйственной деятельности населения эпохи поздней бронзы лесостепного Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2017b. № 4. С. 25–33.

Кунгурова Н.Ю. Трасологическое изучение каменных предметов из раскопок укрепленного поселения Устье I // Древнее Устье: Укрепленное поселение бронзового века в Южном Зауралье. Челябинск: Абрис, 2013. С. 285–330.

Кунгурова Н.Ю., Варфоломеев В.В. Орудия и изделия из камня поселения Кент // Бегазы-дандыбаевская культура степной Евразии. Астана, 2013.

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

Пряхин А.Д. Мосоловское поселение металлургов-литейщиков эпохи поздней бронзы. Кн. 2. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1996.

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

Равич И.Г., Рындина Н.В. Методика металлографического изучения древних кованных изделий из меди // Естественнонаучные методы в археологии. М.: Наука, 1989. С. 91–100.

Стефанов В.И., Корочкова О.Н. Андроновские древности Тюменского Притоболья. Екатеринбург: Полиграфист, 2000.

Тигеева Е.В. Химико-металлургическая характеристика металла алакульской культуры Среднего Притоболья // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2013. № 3 (22). С. 31–40.

Тигеева Е.В. Соотношение тип — металл — технология в алакульских изделиях Среднего Притоболья // Труды IV (XX) Всерос. археол. съезда в Казани. Казань: Отечество, 2014. Т. I. С. 660–663.

Knyazeva E.V., Kolchin S.A. Experimental and Traceological studying the use of stone tools in blacksmiths work // Journal of Siberian University. Humanities & social sciences. 4. 2012-5. 556–567.

Источники

Лыганов А.В. Хозяйство населения позднего бронзового века Волго-Камья: Автореф. дис. ... канд. ист. наук. Казань, 2013. 28 с.

Молчанов И.В. Орудийный комплекс рубежа средней и поздней бронзы Южного Зауралья (по материалам укрепленных поселений Аландское, Каменный Амбар, Устье I): Автореф. дис. ... канд. ист. наук. Казань, 2013. 24 с.

Yu.V. Kostomarova

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS
Malygina st., 86, Tyumen, 625026, Russian Federation
E-mail: jvkostomarova@yandex.ru

The metal forging tools of the Late Bronze Age population of the forest-steppe Tobol River region (experimental-traceological analysis)

The paper reports on the results of experimental-traceological study of stone tools used for metal forging by the Late Bronze Age population of the Middle Tobol River region (Western Siberia). The chronological span of the study, according to the radiocarbon dating, extends from the 17th to 9th centuries BC. This paper aims to substantiate and expand the existing knowledgebase on the metalwork production with the aid of experiments in forging copper and bronze. The research materials include about 60 stone tools from the Late Bronze Age sites and 23 experimental tools. The trace evidence analysis and microphotography of the signs of use-wear have been performed using a continuous-zoom microscope MC-2 ZOOM with 10x to 40x magnification and a Canon EOS-1100-D camera. The experimental study involved cold and hot forging of copper and bronze items with different tin content and their surface smoothening. As a result, the efficiency of the stone tools in molding has been confirmed. The signs of use-wear of the tools have been recorded. Distinctive use-wear features of hammers for cold and hot forging associated with the tool kinematics have been identified. It has been concluded that the wear signs on the hammers used for incomplete hot and hot forging were identical. It appeared that the smooth working area of some flatters was the result of preliminary abrasive treatment. Smoothening and drawing proved efficient in processing of copper items and low-alloyed bronzes. This treatment was carried out on the hot metal. It has been ascertained that the kinematics of processing of the copper and bronze items was the same. The signs of usage of the tools employed for shaping bronze moldings with different tin content differ from those on the tools used on copper by more extensive chipping, which is due to a higher hardness of tin-copper alloys. Prototype multi-functional tools used in different operations, viz., forging and drawing, have been identified. Their specific is the working area with a combination of several groups of wear marks overlapping each other. Therefore, we managed to produce a series of the experimental tools used in copper and bronze forging. This allowed us to elaborate the functional identification and technology of some archaeological instruments from the Late Bronze Age sites of the forest-steppe Tobol River region.

Key words: forest-steppe Tobol River region, Late Bronze Age, industrial activity, metalworking, stone tools, experimental work, the use-wear analysis.

Funding. The article is written within the framework of the State Project No. AAAA-A17-117050400147-2.

REFERENCES

- Golubeva E.V. (2016). *Theory and practice of experimental traceological research of non-instrumentation of the early iron age — middle ages (on materials of the southern taiga zone of Middle Siberia)*. Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet. (Rus.).
- Degtyareva A.D. (2010). *History of metal industry of the south High Urals basin during the Bronze Age*. Novosibirsk: Nauka. (Rus.).
- Degtyareva A.D., Kostomarov Iu.V. (2011). Metal of the late bronze age of the forest-steppe Tobol river area. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (1), 30–45. (Rus.).
- Epimakhov A.V. (2010). About Sintashta agriculture (the Bronze age of the southern Urals). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (2), 36–41. (Rus.).
- Kileinikov V.V. (1984) Stone mining and machine guns Mosolovskogo settlement. In: *Epokha bronzy vostochno-evropeiskoi stepi*. Voronezh: Izd-vo Voronezh. un-ta, 110–120. (Rus.).
- Kniazeva E.V. (2010). Experimental-traceological study of the weapons of the age of metal. In: *Istoriko-kul'turnoe nasledie Azii: Izuchenie, sokhranenie i interpretatsiia*. Novosibirsk: Izd-vo Novosibirskogo gos. un-ta, 43–55. (Rus.).
- Knyazeva E.V., Kolchin S.A. (2012-5). Experimental and Traceological studying the use of stone tools in blacksmiths work. *Journal of Siberian University. Humanities & social sciences*, (4), 556–567.
- Korobkova G.F. (2001a). Method of studying stone, bone, ceramic and other products from non-metallic raw materials. In: V.M. Masson (Ed.). *Osobennosti proizvodstva poseleniia Altyn-depe v epokhu paleometalla*. Vyp. 5. St. Petersburg: Institut istorii material'noi kul'tury RAN, 142–145. (Rus.).
- Korobkova G.F. (2001b). Functional typology of tools and other nonmetallic products at Altyn-Depe. In: V.M. Masson (Ed.). *Osobennosti proizvodstva poseleniia Altyn-depe v epokhu paleometalla*. St. Petersburg: Institut istorii material'noi kul'tury RAN, 146–209. (Rus.).
- Korobkova G.F., Shaposhnikova O.G. (2005). *Settlement Mikhailovka — the site of the Yamnaya culture: (Ecology, dwellings, tools, life support systems, production structure)*. St. Petersburg: Evropeiskii dom. (Rus.).
- Koriakova L.N., Stefanov V.I., Stefanova N.K. (1991). *Problems of methods of research of ancient monuments and cultural and chronological stratigraphy of the settlement of Uk 3. Sverdlovsk*. (Rus.).
- Kostomarov Iu.V. (2017a). On the problem of allocation of Metalworking tools in settlements of the late bronze age of the forest-steppe tributary of the Volga region (Russia). In: *V (XXI) Vserossiiskii arkheologicheskii s"ezd*. Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 25–33. (Rus.).
- Kostomarov Iu.V. (2017b). Stone tools in the economic activity of the population of the late bronze age of the forest-steppe tributary region. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (4), 25–33. (Rus.).
- Kungurova N.Iu. (2013). Tracological study of stone objects from the excavations of the fortified settlement of Ustye 1. In: N. Vinogradov (Ed.) *Ancient Ust'ye: Fortified settlement of the Bronze Age in the Southern Trans-Urals (Russia)*. Cheliabinsk: Abris, 285–330. (Rus.).
- Kungurova N.Iu., Varfolomeev V.V. (2013). Tools and products from the stone of the settlement of Kent. *Begazy-dandybaevskaia kul'tura stepnoi Evrazii*. Astana, 198–217. (Rus.).
- Potemkina T.M. (1985). *The bronze age of the forest-steppe Tobol river basin (Russia)*. Moscow: Nauka. (Rus.).
- Priakhin A.D. (1996). *Mosolovskoe settlement of metallurgists-founders of the late bronze age. Book 2*. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gos. un-ta. (Rus.).
- Ravich I.G. (1983). Standards of microstructures of tin bronze. *Khudozhestvennoe nasledie*, (8), 136–143. (Rus.).
- Ravich I.G., Ryndina N.V. (1989). Method of metallographic study of ancient forged copper products. *Estestvennonauchnye metody v arkheologii*. Moscow: Nauka, 91–100. (Rus.).
- Stefanov V.I., Korobkova O.N. (2000). *Andronovskiy antiqities of the Tyumen Tobol river basin*. Ekaterinburg: Poligrafist. (Rus.).
- Tigeeva E.V. (2013). Chemical and metallurgical characteristics of the metal of the Alakul culture of the Middle tributary. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (3), 31–40. (Rus.).
- Tigeeva E.V. (2014). The relation of type-metal-technology in Alakul products of the Middle Tobol river. In: *Trudy IV (XX) Vserossiiskogo arkheologicheskogo s"ezda v Kazani*. Kazan': Otechestvo, 660–663. (Rus.).
- Zdanovich S.Ia., Korobkova G.F. (1988). New data on the economic activity of the population of the bronze age (based on the results of the study of tools from the settlement of Petrovka II). In: *Problemy arkheologii Uralo-Kazakhstanskikh stepei*. Cheliabinsk, 60–79. (Rus.).

Костомарова Ю.В., <https://orcid.org/0000-0001-5053-8464>



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

Accepted: 29.05.2020

Article is published: 28.08.2020