

Научная статья / Article

УДК 903.05(571.1/5)

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-11](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-11)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНИК МЕТАЛЛООБРАБОТКИ МЕДИ И БРОНЗЫ ТАГАРСКОЙ КУЛЬТУРЫ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТРАСОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Роман Вячеславович Давыдов

*Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия,
puer-viro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6580-2811>*

Резюме. Статья посвящена реконструкции техник металлообработки тагарской археологической культуры на базе экспериментально-трасологического анализа. Выполнена серия экспериментов, проведенных в рамках комплексного изучения наскального искусства Минусинской котловины. Получено 23 базовых эталона и отлито девять орудий, подвергнутых впоследствии кузнечно-слесарной обработке. В результате реконструированы техники, которые использовались при изготовлении 62 орудий труда и предметов вооружения. В основе построенных технологических цепочек лежали литье в двухчастных, в том числе глиняных, вертикальных или горизонтальных формах с последующей обработкой ковкой (каменными молотками) и шлифовкой (песчаник, песчаник с мокрым песком). Орудия труда и элементы оружия ударного воздействия подвергались упрочняющей ковке. Поверхности проникающего назначения (острия чеканов) не упрочнялись и затачивались. Планируется расширение коллекций экспериментальных эталонов.

Ключевые слова: Южная Сибирь, ранний железный век, тагарская культура, металлообработка, эксперимент, трасологический анализ

Благодарности: работа реализована при поддержке гранта Президента РФ №МК-2273.2020.6 «Петроглифы каменного века Минусинской котловины: от технологии к хронологической атрибуции».

Для цитирования: Давыдов Р.В. Реконструкция техник металлообработки меди и бронзы тагарской культуры на базе экспериментально-трасологического анализа // Теория и практика археологических исследований. 2021. Т. 33, №4. С. 185-208. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-11](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-11).

RECONSTRUCTION OF METALWORKING TECHNIQUES FOR COPPER AND BRONZE OF THE TAGAR CULTURE ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL TRACEOLOGICAL ANALYSIS

Roman V. Davydov

*Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russia,
puer-viro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6580-2811>*

Abstract. The paper is devoted to the reconstruction of metalworking techniques of the Tagar archaeological culture on the basis of experimental traceological analysis. A series of experiments was carried out for comprehensive research of the rock art in Minusinsk Basin. 23 basic samples were produced and nine tools were casted, which were then treated by cold forging and locksmithing. As a result, the techniques that were used in manufacture of 62 labor instruments and weapons were

reconstructed. The technological chains were based on casting in two-part, including clay, vertical or horizontal molds, with following forging (stone hammers) and abrasion (sandstone, sandstone with wet sand). The tools and elements of impact weapons were treated by hardening forging. The surfaces of the penetrating purpose weapons (the points of the picks) were not hardened, but only sharpened. The increasing of collection of experimental samples is scheduled.

Key words: Southern Siberia, Early Iron Age, Tagar culture, metalworking, experiment, traceological analysis

Acknowledgements: This work was supported by the grant of the President of the Russian Federation No. МК-2273.2020.6 “Petroglyphs of the Stone Age of the Minusinsk Basin: from Technology to Chronological Attribution”.

For citation: Davydov R.V. Reconstruction of Metalworking Techniques for Copper and Bronze of the Tagar Culture on the Basis of Experimental Traceological Analysis. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2021;33(4):185-208. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2021\)33\(4\).-11](https://doi.org/10.14258/tpai(2021)33(4).-11)

Введение

Тагарская культура Южной Сибири — археологическая культура, сочетающаяся в составе инвентаря предметы скифского облика (трехгранные втульчатые наконечники, изделия в «зверином» стиле и проч.) и реликты предшествующей эпохи бронзы (кельты, втульчатые долота и т.д.) (Вадецкая, 1986, с. 89–91; Членова, 1967, с. 212; 1992, с. 212–214). При этом, несмотря на принадлежность к эпохе раннего железного века, подавляющее большинство тагарских металлических изделий изготовлено из сплавов на медной основе: оловянистой бронзы, мышьяковистой меди, трехкомпонентных сплавов (Савельева, 2015, 2016; Савельева, Герман, 2015; Хаврин, 2000, 2007). Предметы из железа представлены весьма узким кругом находок, происхождение которых остается спорным (Завьялов, Терехова, 2014; Хоанг, 1974). Данными обстоятельствами обусловлена актуальность изучения тагарской металлообработки.

В рамках комплексного исследования памятников наскального искусства Минусинской котловины была реализована серия экспериментов, включая изготовление бронзовых орудий, аналогичных инструментам и оружию тагарской археологической культуры (Зоткина и др., 2020, с. 449; Davydov, 2021). На этапе выполнения предметов дополнительно проведены экспериментально-трасологические исследования по интерпретации технологических следов на археологических экземплярах путем формирования эталонной коллекции с использованием каменных и металлических инструментов.

Исследования в области археометаллургии по сегодняшний день в подавляющем большинстве базируются на двух ключевых подходах — морфолого-типологическом и химико-металлургическом (химический анализ, металлография). Аналогичная ситуация наблюдается и применительно к исследованиям металлообработки тагарской культуры. На данный момент достаточно подробно рассмотрены типология и морфология изделий, проведены крупные серии химических анализов (Савельева, 2015, 2016; Членова, 1967). Однако техники литья и кузнечно-слесарной обработки тагарской культуры практически не затронуты (Гришин, Тихонов, 1960, с. 145–149). Опыт комплексных зарубежных и отечественных работ с привлечением трасологических данных демон-

стрирует большой потенциал трасологии в изучении металлообработки (Fregni, 2014; Iaia, 2015; Trifonov, Shishlina, 2018).

Целью исследования выступала реконструкция техник металлообработки тагарской культуры на базе экспериментально-трасологического анализа. В ходе работы решалась серия задач, диктуемых характером экспериментов: предварительное изучение оригинальных образцов изделий тагарской культуры, отливка аутентичных реплик, изготовление металлообрабатывающего инструментария, кузнечно-слесарная обработка реплик, сопоставление следов на экспериментальных эталонах и на оригинальных предметах.

Материалы и методы

Методической базой работы является экспериментально-трасологический анализ в его классическом понимании, оформленном в трудах С.А. Семёнова, Г.Ф. Коробковой, С.Ю. Гири и др. В отечественной историографии данный метод получил наибольшее развитие в исследованиях предметов из камня, кости, рога (Гиря, 2015; Жилин, 2017). Его адаптация к металлическим материалам произошла относительно недавно, в первую очередь в работах, посвященных бронзовому веку и РЖВ Европы (Минасян, 2014; Dolfini, Crellin, 2016, p. 79–81).

В основе подхода — исследование следов антропогенного происхождения на поверхности археологических находок как самостоятельного археологического источника (Гиря, 1997; Семенов, 1957, с. 7). Следы представляют собой «специфический (узнаваемый) вид изменения формы рельефа известной исходной (естественной или искусственной) поверхности» и делятся на две категории: изготовления и износа (Гиря, 2015, с. 233).

При этом неотъемлемой частью алгоритма работы выступает эксперимент. Его цель — получение следов в известных условиях на базе построения причинно-следственных связей естественного порядка: в условиях «А» при действиях «Б» получается результат «В» (Волков, 2013, с. 344; Гиря, 2015, с. 257).

Последовательность действий при экспериментально-трасологическом исследовании выглядит следующим образом:

- 1) изучение археологического источника, фиксация следов на его поверхности;
- 2) выработка рабочей гипотезы и проектирование эксперимента;
- 3) построение моделей объектов, формирование условий для оперирования ими;
- 4) проверка рабочей гипотезы через совершение действий;
- 5) фиксация результатов;
- 6) доказательство отношения подобия между репликой или эталоном и археологическим источником;
- 7) интерпретация результатов.

В представленной работе автор придерживался данного алгоритма: обследование оригинальных изделий тагарской культуры и сбор опубликованных данных о металлообработке этого периода; разработка эксперимента, включая построение гипотезы, создание условий и т.д.; проведение эксперимента с целью получения следов в известных условиях; сопоставление реплик и эталонов и археологических источников; интерпретация результатов.

Источниковая база**Образцы**

Образцами для орудий-эталонов послужили инструменты и предметы вооружения тагарской культуры из фондов Минусинского краеведческого музея им. Н.М. Мартянова (шифр А — «археология»). Были изучены с фиксацией технологических следов следующие предметы из меди и оловянистой бронзы: чеканы (экз. А577, 578, 580, 587, 588, 596, 598, 600, 614, 645, 649, 9968), долота (экз. А468, 469, 471, 476–478, 480, 482, 484–487, 489, 491, 493–495, 497–500, 502, 503, 505–509, 511–513, 516–521, 526, 528, 529, 670, 691, 9977), зубило (экз. А694), орудия неопределенного назначения (экз. А693, 695, 9311, 9334, 9335, 9734) (рис. 1). Они имеют широкие датировки, но по опубликованным аналогиям могут быть отнесены к V–III вв. до н.э. (сарагашенский этап по С.А. Теплоухову) (1929, с. 46–48).



Рис. 1. Предметы из фондов Минусинского краеведческого музея им. Н.М. Мартянова: 1, 2 — долота (А 499, 471); 3, 4 — предметы неизвестного назначения (А9335, 9734); 5 — зубило (А694); 6, 7 — чеканы (А 600, 577)

Fig. 1. Items from the funds of the Martyanov Museum:
1, 2 — bits (А 499, 471); 3, 4 — items of unknown purpose (А9335, 9734);
5 — chisel (А694); 6, 7 — sagaris (А 600, 577)

Все изделия в данной подборке — случайные находки, поступившие в фонды музея в XIX — начале XX в. Отдельные типы предметов из данной подборки ранее были опубликованы. Единичные изображения встречаются уже в атласе Д.А. Клеменца (1886,

рис. II). Чеканы из Минусинского музея опубликованы при составлении типологий данной категории оружия (Киселев, 1949, табл. XXIV; Членова, 1967, табл. 7).

Для изготовления копий отобраны: чекан А600, зубило А694, орудие неизвестного назначения А9335 (предположительно деформированное остроконечное) и А9734.

Выбор универсальных орудий труда и чеканов обусловлен необходимостью дальнейшего использования реплик для экспериментов по нанесению петроглифов. Кроме того, они наиболее информативны как первичная выборка, поскольку минимально зашлифованы и сохранили большое количество технологических следов. Наконец, в ранние этапы тагарской культуры рецептура сплавов весьма нестабильна, потому выбраны предметы V–III вв. до н.э., когда установилось использование оловянистой бронзы (Савельева, 2016, с. 128; Хаврин, 2000).

Условия экспериментов

Получение следов литья и кузнечно-слесарной обработки в ходе эксперимента требует соблюдения ряда условий: аутентичность материала реплик и эталонов; аналогичный тип и материал литейных форм; схожесть металлообрабатывающего инструментария.

Опубликованные исследования тагарских сплавов на медной основе позволяют определить оптимальные материалы для эксперимента. Согласно результатам химического анализа 28 тагарских чеканов, для их изготовления применялись медь или бронза с добавлением олова от 5 до 10% (7,5% в среднем) (Савельева, Герман, 2015; Хаврин, 2000, табл. 6; 2007). Долота, серпы, втоки, топоры, кельты (всего учтено 48 экз.) также отлиты из меди или бронзы с содержанием олова от 4 до 11,8% (среднее 7,4%) (Савельева, 2015, 2016; Савельева, Герман, 2015, с. 114–115; Хаврин, 2000, 2007).

В работах, посвященных тагарским металлическим изделиям, данных о процессах литья и кузнечно-слесарной обработке крайне мало. Основным до настоящего момента остается публикация Ю.С. Гришина (Гришин, Тихонов, 1960), где рассмотрено производство в тагарскую эпоху, в том числе обработка меди и бронзы. Исходя из характера литейных швов и особенностей поверхности изделий исследователь сделал вывод о широком использовании глиняных двухчастных форм без выпоров, которые скреплялись глиной и были одноразовыми, на что указывает большая редкость серийного литья. В меньшей степени применялись медные формы, камень практически не задействовался. Модели были металлическими, деревянными, изредка костяными (Гришин, Тихонов, 1960, с. 145, 147). Касательно техник литья Ю.С. Гришиным сделаны замечания о частой «пористости» металла из-за не успевшего выйти из формы воздуха, непроливах, вызванных низкой температурой литья, швах, возникших при доливе металла (Там же, с. 142).

Среди материалов с территории Минусинской котловины, не обнаружено форм, используемых для отливки предметов, аналогичных тем, что задействованы в эксперименте. Можно предположить, что для отливки длинных цельных изделий формы располагались вертикально. Найденная при исследовании городища Иткульское-1 (Челябинская обл., VII–III вв. до н.э.) форма для чекана, единственная известная на данный момент, имеет горизонтальную ориентацию с заливом по втулке со стороны брюшка и изготовлена из глины (Бельтикова, 1986, рис. 4).

В настоящее время каменные металлообрабатывающие орудия с территории Минусинской котловины практически не известны. В фондах Минусинского краеведческого музея им. Н.М. Мартыанова зафиксирована каменная наковальня, сделанная из крупной глыбы песчаника (экз. А10118-9). Предмет отнесен к таштыкской культуре.

Согласно экспериментально-трасологическим исследованиям, на территории Западной Сибири в периоды РЖВ и Средневековья применялись каменные орудия следующих форм: молотки и молоточки из галек без предварительной обработки (поселения Усть-Шилка-2, Проспихинская Шивера-I, IV) для работы по цветным металлам, молоты на деревянных рукоятях для горячейковки железа, округлые или эллипсоидные наковальни, гладилки для листового металла, точильные камни из плиток песчаника (Голубева, 2016, с. 112–113; Князева, 2011).

Аналоги указанных инструментов фиксируются в Поволжье, на поселении бронзового века Михайлово-Овсянка, где выявлены каменные наковальни, кузнечные молотки и крупные молоты ручного удержания (без рукоятей) (Горащук, Семин, 2018).

Металлические кузнечно-слесарные инструменты эпохи бронзы и РЖВ в отечественных материалах представлены крайне слабо. Бронзовые орудия для обработки металла представлены зубилом, датированным тагарской культурой (экз. А694). Самый ранний известный железный экземпляр — напильник, найденный при исследовании культового сооружения гунно-сарматского времени Бертек-3 (Горный Алтай) (Молодин, 1994, с. 146).

В европейских коллекциях бронзового века и начала РЖВ металлообрабатывающие орудия представлены каменными и бронзовыми экземплярами. В материалах с территории Апеннинского полуострова зафиксированы бронзовые наковальни, бронзовые и каменные молотки на деревянных рукоятях (Iaia, 2015, p. 83–85). Наиболее древнее железное орудие — напильник III в. до н.э. (Корневский, 1934, с. 121). Собрания из Великобритании включают бронзовые зубила, пробойники, чеканы, наковальни, молотки на деревянных рукоятях (Fregni, 2014, p. 63–92). Инструменты из Центральной и Восточной Европы представлены бронзовыми ювелирными наковальнями, зубилами, молотками, отдельными железными наковальнями (для периода РЖВ) (Arnbruster et al., 2019, p. 169, fig. 16–18).

Экспериментальное литье и кузнечно-слесарная обработка

Целью экспериментов было получение следов литья и кузнечно-слесарной обработки в определенных условиях для дальнейшей реконструкции технологий изготовления оригиналов. Первый этап включал отливку серии реплик. На втором производилась их обработка и формирование дополнительных эталонов.

Отливка реплик

Процесс литья осуществлялся в углубленном в землю горне с ручным нагнетанием воздуха посредством двухкамерного меха. Топливом служил древесный уголь из хвойных пород. Металл расплавлялся в глиняных тиглях.

Литье производилось в двухчастные формы, изготовленные из глины с минимальной (до 1%) примесью шамота. Половинки лепились вручную, высыхание происходило отдельно. Для негативов использовались деревянные модели, выструганные ножом и обработанные песчаником. После высыхания части форм подгонялись вручную при-

тиркой, вырезался литейный канал. Выпоры не прорезались. Обжиг не производился. Ориентация форм была вертикальная с заливом по втулке или со стороны рукояти. Исключение — чеканы, которые отливались горизонтально, с литейным каналом по втулке со стороны брюшка.

Элементный анализ тагарских металлов показывает, что в качестве материала для изделий выбраны медь, бронза оловянистая с изначальным содержанием олова 5 и 10%. В качестве металлического сырья использовались медь марки М1 (99,9% Cu) и прут оловянный марки О1 (99,9% Sn).

Материал помещался в тигель перед плавкой. Емкость закрывалась керамической крышкой. Литье выполнялось в прогретую форму, скрепленную глиняной обмазкой, непосредственно из тигля. После остывания глина разбивалась.



Рис. 2. Экспериментальные изделия: 1–3 – зубила; 4–6 – остроконечные орудия; 7 – долотовидное орудие; 8, 9 – чеканы (1, 6 – медь; 2, 4, 8 – бронза оловянистая 4–5% Sn; 3, 5, 7, 9 – бронза оловянистая 7–8% Sn)

Fig. 2. Experimental items: 1–3 – chisels; 4–6 – pointed tools; 7 – chisel tool; 8, 9 – mints (1, 6 – copper; 2, 4, 8 – tin bronze 4–5% Sn; 3, 5, 7, 9 – tin bronze 7–8% Sn)

Поскольку в процессе плавки происходило выгорание части металлов, выполнена проверка химического состава итоговых сплавов. Четыре экземпляра (один с 5% Sn и три с 10% Sn изначально) изучены методом сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM-EDX) на настольном микроскопе Hitachi TM3000 компании Hitachi High-Technologies и элементном анализаторе Bruker Quantax 70 в ЦКП «Геохронология кайнозоя» ИАЭТ СО РАН.

Материалы с изначальной пропорцией 95% Cu и 5% Sn послужили основой для образования сплава с содержанием Cu 93,1%. Концентрация олова неравномерна, в сред-

нем составляет 4,5%. Также зафиксированы загрязнения алюмосиликатами, вызванные контактом материала с глиной (Al, Si, Fe, Cl суммарно 2,4%).

Из сырья с первоначальным соотношением 90% Cu и 10% Sn получены сплавы с содержанием меди 89,7%, 90% и 91,2%, олова 7%, 7,4% и 8,1% соответственно. Чистота металла различна, количество примесей от 0,7% до 3,4%.

Таким образом, в результате получены изделия из оловянистой бронзы с 4–5% Sn (минимальное содержание в искусственных сплавах) и 7–8% Sn (средняя концентрация в тагарских бронзах с оловом).

В результате плавки получены следующие реплики: зубило медное, зубило бронзовое (4–5% Sn), зубило бронзовое (7–8% Sn), остроконечное орудие медное, остроконечное орудие бронзовое (4–5% Sn), остроконечное орудие бронзовое (7–8% Sn), долотовидное орудие (7–8% Sn), чекан бронзовый (4–5% Sn), чекан бронзовый (7–8% Sn) (рис. 2).

Кузнечно-слесарная обработка

Второй этап экспериментов включал кузнечно-слесарную обработку отливок с целью их трансформации в пригодные для работы орудия. Дополнительно была сформирована серия базовых эталонов со следами конкретных операций.

В качестве орудий для металлообработки использовались следующие инструменты (рис. 3):

- а) каменные молотки из необработанных галек без рукоятей (M1–M3) весом 248 г. (M1), 132 г. (M2) и 301 г. (M3) (рис. 3.-1-3);
- б) металлические молотки универсальной формы, отлитые из меди (M4, 264 г.) и бронзы с содержанием олова 4–5% (M5, 151 г.) (рис. 3.-4, 5);
- в) каменная наковальня из крупной гальки с плоской поверхностью (рис. 3.-6);
- г) абразивные инструменты в виде плиток песчаника разного размера (рис. 3.-7-11);
- д) бронзовое зубило (7–8% Sn) с шириной лезвия 12 мм (рис. 3.-12).

Базовые эталоны имели вид пластинок 20×20×5 мм из меди и оловянистой бронзы (4–5% Sn). Они включали образцыковки (M1–M5, 40 и 100 ударов), абразивной обработки (чистый песчаник, песчаник с водой и песком 50, 100 и 200 движений), их наложения. Цель их формирования — выявить общие признаки следов.

Молотки зажимались в правой руке, удары наносились вертикально, непрерывно, с максимальной силой. Металлические пластинки при этом лежали на каменной наковальне. Фиксировались следы ударов и контрударов со стороны наковальни.

Плитки песчаника лежали неподвижно на земле, эталоны прижимались к ним сверху одной рукой, производились возвратно-поступательные движения. Нагрев металла и отжиг не выполнялись. Фиксировались следы абразивной обработки.

Всего выполнено 23 эталона.

Экз. 1–11 —ковка:

экз. 1–7 — медная основа: экз. 1–3 — 40 ударов, M1–M3; экз. 4–7 — 100 ударов, M2–M5;

экз. 8–11 — бронзовая основа, 100 ударов, M2–M5.

Экз. 12–23 — абразивная обработка:

экз. 12–14 — эталонковки 4, песчаник, 50, 100, 200 движений;

экз. 15–17 — эталон ковки 5, песчаник с водой и песком, 50, 100, 200 движений;

экз. 18–20 — эталон ковки 8, песчаник, 50, 100, 200 движений;

экз. 21–23 — эталон ковки 9, песчаник с водой, 50, 100, 200 движений.

Обработка отливок была ориентирована на изготовление функциональных орудий, что обусловило подбор техник. Изначально при необходимости извлекались стержни втулок. Они разрушались ковкой; остатки, закрепившиеся на неровностях рельефа, выскребались. Затем удалялся облой. Для этого применялись ковка (молотки М2 и М3), рубка бронзовым зубилом, абразивная обработка песчаником. Поверхность предметов выравнивалась с помощью ковки (молотки М2, М3, М5) и абразии (песчаник, песчаник с водой и песком). На финальной стадии обработки изделия упрочнялись ковкой-наклепом (молотки М2, М3, М5), острия и лезвия затачивались песчаником и песчаником с мокрым песком.



Рис. 3. Экспериментальные инструменты для обработки металла: 1–3 — каменные молотки М1–М3; 4 — молоток медный М4; 5 — молоток бронзовый М5; 6 — каменная наковальня; 7–11 — абразивные орудия из плиток песчаника; 12 — зубило из оловянистой бронзы 7–8% Sn
Fig. 3. Experimental metalworking tools: 1–3 — stone hammers M1–M3; 4 — copper hammer M4; 5 — bronze hammer M5; 6 — stone anvil; 7–11 — sandstone slab abrasive tools; 12 — chisel made of tin bronze 7–8% Sn

Ковка осуществлялась молотками, зажатыми в правой руке, ударами наибольшей силы. Предметы лежали на наковальне и фиксировались левой рукой. Нагрев метал-

ла и его отжиг не производились. При рубке зубило предмет зажимал на наковальне один человек. Другой держал в левой руке зубило, в правой — молоток. Абразивная обработка осуществлялась на лежащих на земле плитках песчаника, удерживаемых левой рукой. Возвратно-поступательные движения выполнялись прижатым к песчанику предметом.

Технологические следы фиксировались на готовых изделиях. После экспериментов также изучены изменения рабочих поверхностей инструментов.

Результаты экспериментов

Признаки литья в глиняные формы

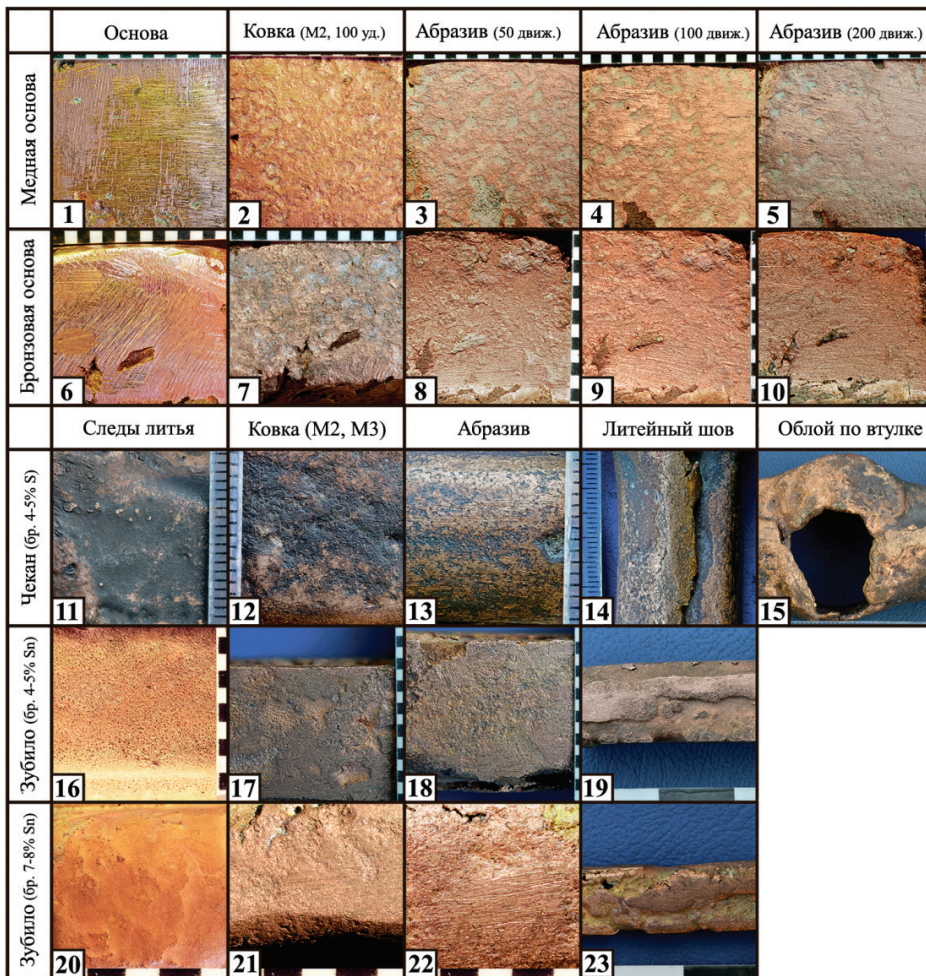


Рис. 4. Примеры базовых экспериментальных эталонов (вверху) и следы после обработки экспериментальных изделий (внизу)

Fig. 4. Examples of basic experimental samples (top) and traces after processing experimental casts (bottom)

После отливки вертикально расположенных орудий оставался воронковидный литник. Он практически отсутствовал у чеканов. Двухчастный вариант форм обусловил возникновение литейных швов с двух сторон по продольным осям инструментов с облоем размерами до 15 мм. В отдельных случаях, когда формы были достаточно тщательно подогнаны, литейный шов не фиксировался. Линия швов незначительно изогнута.

При изготовлении чеканов металл частично заливался под сердечник втулки, в результате чего со стороны спинки возникало уплощение шириной 6–7 мм, а отверстие втулки было заметно меньше, чем со стороны брюшка (рис. 4.-15). Глиняные сердечники при этом заклинивались в изделиях.

Характер поверхности предметов зависел от температурного режима литья, рельефа формы, загазованности формы (рис. 4.-11, 16, 20). При перегреве материала и (или) недостаточной температуре формы возникало вскипание газов, в результате чего на поверхности образовывались пузырьки, фиксировались каверны в виде неровных полостей с гладкими стенками. На отдельных изделиях встречаются непроливы — утраты части поверхности изделий из-за неравномерного заполнения металлом формы. В большинстве случаев поверхность повторяет неровный микрорельеф глины. При наличии полостей в форме (выкрашиваний конкреций материала, вымываний фрагментов струей жидкого металла и т.д.) на изделии заметны наросты — резкие выступы.

В крупных кавернах, непроливах и ближе к литнику (последнее связано с остыванием металла) фиксируются утяжки — протяженные морщинистые структуры в виде длинных складок, разветвлений, выступов.

Таким образом, получено три типа следов: облои в районе створок форм и сердечников (у втульчатых орудий); дефекты, связанные с процессом заполнения формы металлом (пористость, каверны, непроливы); отпечатки рельефа форм (наросты, микрорельеф поверхности).

Признаки кузнечно-слесарной обработки

На базовых эталонах обследованы изменения поверхности от конкретных операций.

Следыковки каменным молотком весьма яркие, представлены заметными углублениями разных размеров (2–4 мм) с четкими границами, что связано с выпуклой формой бойков (рис. 4.-2, 7). Гальки из мягких или хрупких пород оставляют в углублениях характерный неровный хаотичный микрорельеф с фрагментами выкрошенного камня. Отпечатки гальки из вязкого сырья четкие (5–6 мм), с заметными границами, не имеют ярко выраженного микрорельефа, остатков камня не зафиксировано (рис. 4.-12).

Металлические молотки не оставляют отпечатков с определенными границами, формируя уплощение с микроскопическими отслоениями материала и трещинками из-за наклепа. Хаотичный микрорельеф в отдельных случаях вызван неровностями бойков, обработанных каменными орудиями. Медный и бронзовый молотки весили заметно меньше каменных, имели деревянные амортизирующие рукояти, вследствие чего импульс от ударов существенно меньше. Потому отпечатки данных орудий менее заметны.

На обратной стороне эталонов во всех случаях отмечаются контрудары в виде уплощений со слабым микрорельефом лица наковальни. Отдельные отпечатки отсутствуют, изменения охватывают площади, аналогичные зонамковки с лицевой стороны образцов.

Поверхности, обработанные абразивами из плиток песчаника, нивелированы, покрыты частыми параллельными мелкими линейными следами, идущими по направлению работы (рис. 4.-3-5, 8-10). После шлифовки с использованием мокрого песка помимо них остаются отдельные крупные прерывистые царапины. Иногда они изгибаются, что связано с возвратно-поступательными движениями без отрыва. После интенсивного применения одной и той же плитки песчаника (более 400 движений) на эталонах наблюдаются свидетельства заполировки поверхности абразива. Возникают гладкие темные участки с одиночными мелкими царапинами.

При абразивной обработке поверхностей, ранее подвергнутых ковке, интенсивный рельеф следов молотков нивелируется уже после 50 движений (рис. 4.-12). После 200 движений абразивом сохраняются только наиболее яркие удары, в основном в виде небольших (2-5 мм) углублений с остатками неровного микрорельефа (рис. 4.-5, 10, 17).

После обработки отливок получены следующие результаты. Первоначально глиняные сердечники были раскрошены посредством серии ударов металлическим молотком по втулке с боков, со стороны спинки и брюшка. Однако фрагменты глины остались внутри изделий. Они скопились в неровностях поверхностей, непроливах, выступах металла по форме выкрашиваний в глине. На оригинальных археологических предметах глины не обнаружено, потому было использовано бронзовое зубило, с помощью которого фрагменты стержней выскребли из втулок. После этой операции на внутренней поверхности втулок остались скопления неглубоких длинных параллельных полос.

В ходе удаления облоя по втулкам и швам наибольшую эффективность показала техникаковки, при которой производилось интенсивное плющение шва. После нескольких серий ударов металл облоя становился хрупким и обламывался (рис. 4.-14, 19). Остатки материала в месте слома зашлифовывались на весу плиткой песчаника возвратно-поступательными движениями поперек шва (рис. 4.-23). В отдельных случаях металл по шву был загнут вбок и расплющен, без абразивной обработки и слома (рис. 4.-14). Наименьшую эффективность показало использование зубила, поскольку вдоль швов не было места для надежной фиксации лезвия и не хватало опоры для достаточно интенсивных ударов. Относительно успешным было применение зубила при обрубке облоя в месте залива металла в форму.

После ликвидации облоя фиксировались следующие изменения поверхности: загнутый вбок и расплющенный металл с трещинами от наклепа, глубокие отпечатки каменных молотков по шву, линейные следы абразивной обработки песчаником в виде серий параллельных царапин поперек шва.

После выравнивающейковки поверхность предметов приобретала вид, аналогичный базовым эталонам (рис. 4.-12, 17, 21). Выступы металла сплющивались, пористости и непроливы прикрывались козырьками из смещенного материала. В результате абразивной обработки, в том числе по ранее прокованным поверхностям, возникали следы, как на базовых эталонах (рис. 4.-13, 18, 22).

Упрочнение изделий ковкой велось по всей площади предметов длинными сериями накладывающихся друг на друга ударов. Общее время работы для каждого предмета — 10-15 минут. Наклеп привел к понижению общего уровня поверхностей на 1-2 мм и образованию невысоких выступов по краям, куда пришлось наименьшее количество

ударов. После дополнительной шлифовки по краям поверхностей отчетливо видны следы абразивной обработки и небольшие (до 0,5 мм) козырьки по кромкам перпендикулярных плоскостей. Контрудары от наковален не сохранились, поскольку они перекрывались более интенсивными отпечатками молотков. Выделить последние из общей площади практически невозможно, поскольку происходило многократное пересечение и наложение ударов.

Заточка острий и лезвий производилась возвратно-поступательными движениями изделиями по неподвижным плиткам песчаника. При этом оставались параллельные царапины, направленные к рабочему краю. Кончики острий и лезвия имели либо небольшие скругления, либо козырьки, указывающие на последнее направление шлифовки.

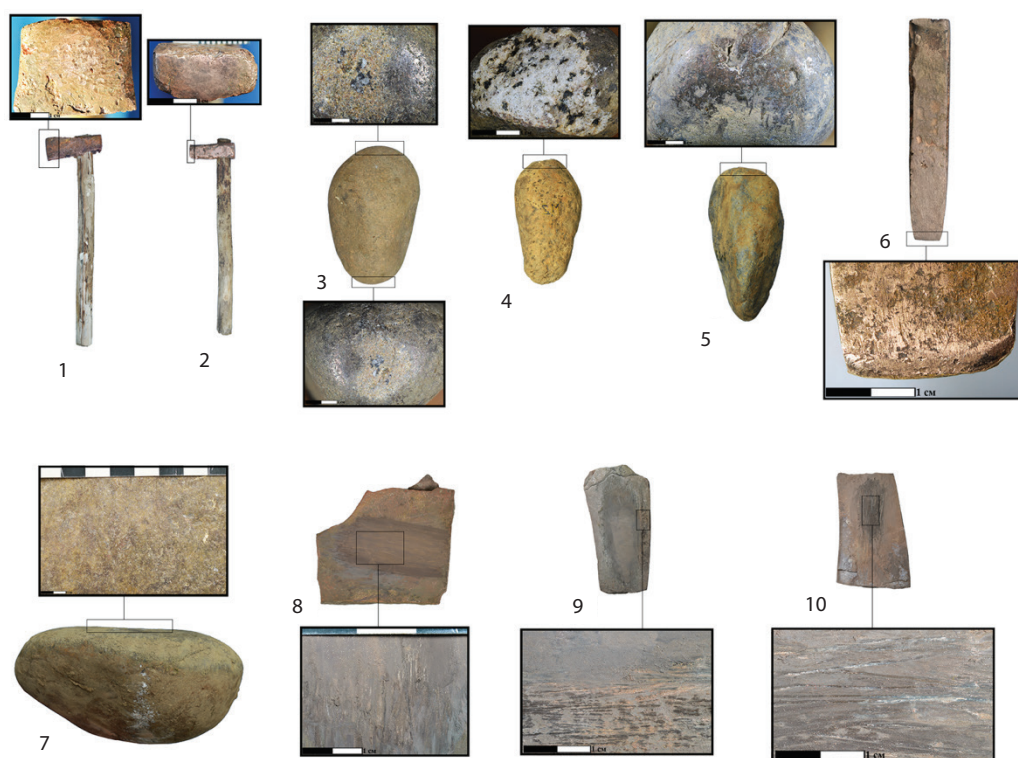


Рис. 5. Следы износа на экспериментальных орудиях: 1 – молоток медный М4; 2 – молоток бронзовый М5; 3–5 – молотки каменные М1–М3; 6 – зубило из оловянистой бронзы 7–8% Sn; 7 – каменная наковальня; 8–10 – абразивные орудия из плиток песчаника

Fig. 5. Traces of wear on experimental tools: 1 – copper hammer M4; 2 – bronze hammer M5; 3–5 – stone hammers M1–M3; 6 – chisel made of tin bronze 7–8% Sn; 7 – stone anvil; 8–10 – sandstone slab abrasive tools

Полученные изменения поверхности могут быть разбиты на две группы: модификации ковкой и абразивной обработкой. Они подразделяются в зависимости от задач на трансформации следов литья (например, плющение литейного шва или сбивание об-

лоя) и улучшения функциональности изделия (заточка острий и лезвий, упрочняющая ковка).

Признаки износа на кузнечно-слесарных инструментах

В результате экспериментов поверхности орудий, использованных для обработки металла, также подверглись трансформации (рис. 5). Работа молотками велась одной поверхностью, выбранной в качестве бойка. Инструменты зажимались в правой руке, удары наносились вертикально с наибольшей силой по холодному металлу. Каждым выполнено, с учетом обработки отливок и базовых эталонов, от 80 до 150 ударов.

Поверхности металлических молотков (рис. 5.-1, 2) уплощены, в отдельных случаях на них фиксируются нивелированные отпечатки рельефа изделий. Особенно негативы отковки заметны на медном орудии. Присутствуют поверхностные трещины и отслоения металла из-за наклепа.

На бойках каменных молотков М1 и М2 фиксируется выкрашивание камня участками 1,5–2×1–2 см (рис. 5.-3, 4). По бокам от зоны выкрашивания инструмента М1 заметен металлический блеск — фрагменты материала с поверхности обрабатываемых изделий вследствие сильных ударов остались на камне, затронув зоны размерами 1,5–2×0,5 см. На массивной гальке из вязкого сырья М3 присутствует только металл, покрывающий весь боек участком 3×2,5 см (рис. 5.-5).

Бронзовое зубило несколько раз подновлялось, потому следы абразивной обработки заметны вплоть до лезвия (рис. 5.-6). При рубке металла лезвие сплющилось, в первую очередь в районе концов (до 5 мм), приобретая дугообразную форму. Соскальзывание инструмента привело к появлению замятий в виде углублений со смещениями металла размерами 0,5–1 мм.

Износ на наковальне мало заметен (рис. 5.-7). Выступающие элементы рельефа площадки, на которой велась работа («лицо»), сбиты, фиксируется уплощение поверхности без выбоин и новых углублений. В отдельных местах присутствуют фрагменты металла, как на каменных молотках.

Плитки песчаника большую часть времени располагались статично, на земле. К ним прижимались изделия, которыми совершались возвратно-поступательные движения. На плитках (рис. 5.-8–10) зафиксировано два типа следов. Первый — глубокие или мелкие длинные параллельные, иногда пересекающиеся царапины, возникшие вследствие выкрашивания поверхности при шлифовке. Их появление обусловлено использованием мокрого песка. Второй тип — заполировки в виде темных гладких участков. Их образование связано с продолжительным (более 400 движений) использованием орудий. Две плитки песчаника (рис. 4.-9, 11) сломались в процессе работы и были утрачены.

Интерпретация следов литья и кузнечно-слесарной обработки артефактов тагарской культуры на базе экспериментальных данных

На базе проведенных экспериментов были интерпретированы следы на рассмотренных ранее предметах тагарской культуры (рис. 6), реконструированы техники их обработки. Обнаружены признаки литья в глиняные формы и следы кузнечно-слесарной обработки.

Следы литья представлены всеми тремя типами, выделенными в результате экспериментов: облоями; дефектами, связанными с процессом заполнения формы металлом; отпечатками рельефа форм.

Облои и литейные швы выявлены на всех изделиях. Они фиксируются вдоль продольной оси орудий, что указывает на применение двухчастных форм. Швы, как правило, имеют незначительный изгиб, аналогично полученным при экспериментальном литье. Размеры облоя — до 7 мм. Это свидетельствует о неравномерной подгонке половинок. На отдельных участках предметов литейные швы не фиксируются, отсутствуют следы интенсивной обработки. В этих местах части форм плотно примыкали друг к другу. При обследовании поверхности только одного изделия (А580) выявлен залив металла в трещину, идущую поперек обеих половинок формы.

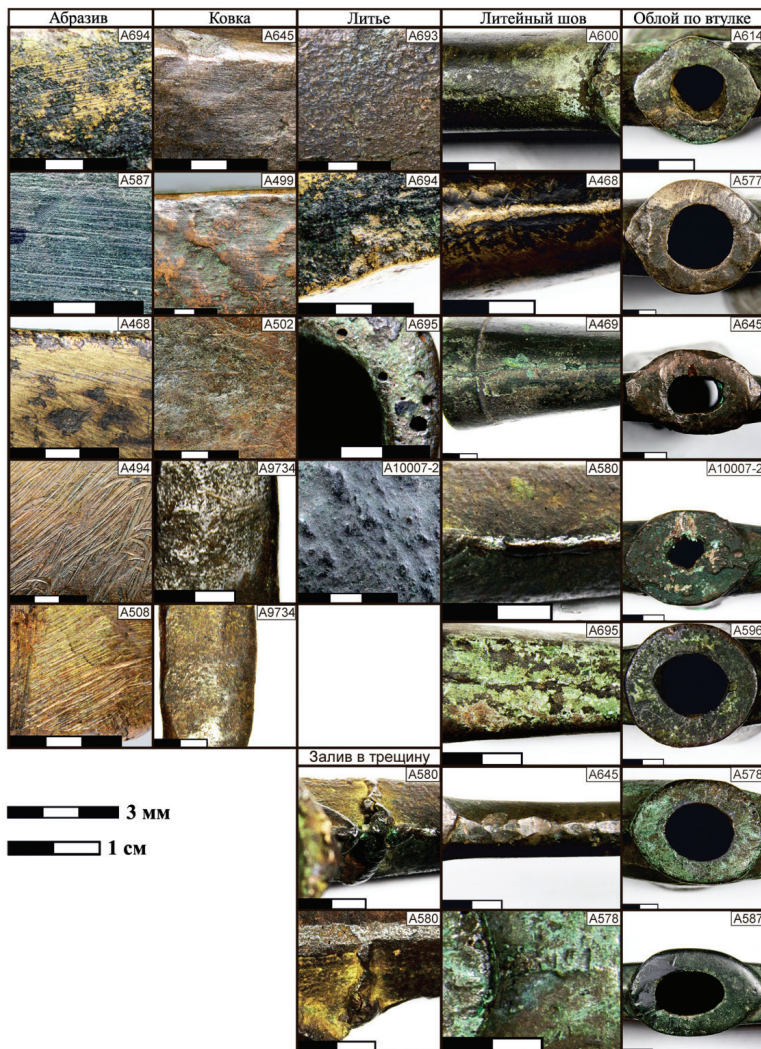


Рис. 6. Технологические следы на орудиях труда и предметах вооружения из фондов Минусинского краеведческого музея им. Н.М. Мартыанова

Fig. 6. Technological traces on tools and weapons from the funds of the Martyanov Museum

На чеканах облой обнаружен и в районе втулок со стороны спинок. Он связан с заливом металла под сердечник. Отверстие втулки со стороны спинки существенно меньше, чем со стороны брюшка, имеются уплощения, увеличивающие толщину стенок на 5–25 мм в зависимости от размеров изделия. Данная закономерность, аналогичная экспериментальным данным, указывает на расположение форм для чеканов горизонтально, с заливом металла по втулке со стороны брюшка.

Признаков удаления литников не выявлено из-за зашлифовки поверхностей.

Дефекты, связанные с процессом заполнения формы металлом, представлены только пористостями в виде небольших пузырьков-полостей. Они встречаются достаточно редко (А695).

Отпечатки рельефа форм представлены участками с неровным микрорельефом глины (А693) и небольшими наростами из-за выкрашивания и вымывания материала (А694, 1007-2 и др.). Свидетельства использования глиняной формы идентифицированы на большинстве чеканов, кроме А578 и А588. На ряде орудий труда удалось также выявить характерный рельеф (А693, 694 и др.). Однако в большинстве случаев поверхность была полностью изменена ковкой и абразивной обработкой.

Признаки кузнечно-слесарной обработки включают следыковки каменными орудиями и шлифовки песчаником (в отдельных случаях — с добавлением песка). Они встречаются на изделиях в тех же местах, что и на экспериментальных репликах.

В районе литейных швов обнаружены признаки удаления облой интенсивной ковкой инструментом из вязких пород галек с плющением металла до уровня остальной поверхности предмета. При менее тщательной обработке облой просто деформировался вертикальными ударами (А645). В большинстве случаев он загибался вбок (А469, 578, 580, 600, 695). Абразивная обработка в виде параллельных частых царапин, идущих под углом 90–45° относительно линии шва, фиксируется только на отдельных предметах (А468).

На различных по площади участках выявлены свидетельства выравнивания поверхности и устранения следов литья посредствомковки и абразивной обработки. Идентифицированы отпечатки каменных молотков размерами 2–10 мм. Использовались как гальки из вязкого сырья, оставляющие яркие ровные следы с минимальным микрорельефом и четкими границами (А499, 645, 9734), так и более хрупкие молотки, отпечатки которых сливаются и имеют неровный хаотичный микрорельеф (А462). Следов металлических молотков не выявлено.

Линейные следы от абразивной обработки перекрывают отпечаткиковки и признаки литья, сглаживая яркий рельеф, однако, за исключением частей, близких к рабочим поверхностям, не ровняют поверхность полностью. Это может свидетельствовать о работе интенсивностью порядка 100–200 движений на участок. При шлифовке использовались чистые плитки песчаника и абразивы с мокрым песком. На применение последних указывают крупные прерывистые борозды, в том числе загибающиеся, что говорит о шлифовке возвратно-поступательными движениями с отрывом и без отрыва от плиток (А494, 508 и др.). Следы от применения чистого песчаника имеют вид параллельных длинных неглубоких линий (А468, 587, 694). Заполированных участков с тонкими царапинами не обнаружено. Вероятно, плитки для абразивной обработки заменялись быстрее, чем успевали зашлифовываться.

Упрочняющая ковка зафиксирована на подавляющем большинстве долот (кроме А509), в основном по широким граням. Характерные понижения поверхности со сливающимися друг с другом отпечатками каменных молотков из вязких и хрупких пород начинаются в 5–7 мм от острий и продолжаются на 35–80 мм, в зависимости от размеров предметов. По бокам, ближе к кончику, заметен приподнятый на 1–2 мм бортик шириной 1–3 мм. Он имеет однонаправленные следы шлифовки под углом 30–80° относительно продольной оси инструмента. На узких гранях в большинстве случаев фиксируются только следы абразивной обработки, хотя на единичных толстых изделиях заметны отпечатки молотков. Обследование других орудий труда также позволило выявить на них следы упрочняющейковки.

Ковка для упрочнения чеканов применялась избирательно. Из 12 рассмотренных предметов у семи изделий упрочнен только боек (А577, 578, 596, 600, 645, 9968, 10007-2), четыре имеют прокованные бойки и острия (А 580, 588, 598, 614), одно — только острие (А587). Все острия заточены с использованием абразивов.

Обсуждение

В результате работы установлено, что при изготовлении рассмотренной выборки изделий тагарской культуры V–III вв. до н.э. применялись следующие техники: литье в двухчастную глиняную форму, ковка каменными молотками (для выравнивания поверхности и с целью упрочнения предметов), абразивная обработка песчаником (как чистым, так и с мокрым песком).

Технологическая цепочка изготовления предметов начиналась с отливки заготовки в глиняную форму. После изъятия ее из формы ковкой и шлифовкой устранялись дефекты литья, влияющие на внешний вид и удобство использования орудия. Финальной стадией являлось улучшение функциональности изделия упрочняющей ковкой и заточкой острий или лезвий.

Вариации в данной схеме связаны с тщательностью обработки и, применительно к упрочняющей ковке, с назначением изделий. В первом случае предметы различаются по качеству устранения облоя, выравниванию поверхности с микрорельефом глиняных форм. Это может быть связано с различными причинами, включая разницу в квалификации ремесленников (Kuijpers, 2017), особенности назначения предметов (например, нет необходимости полного заглаживания швов у орудий труда), материальное положение заказчиков.

Повышенного внимания заслуживает установленная разница в применении упрочняющейковки. Вероятно, она связана с назначением изделий. Так, орудия труда, подвергающиеся механическим нагрузкам при работе с твердыми материалами, упрочнены. Для острий чеканов такой наклеп не обязателен, поскольку они предназначены для проникновения в органический, более мягкий материал. Яркий пример подобных проникающих древковых орудий — «алебарды» из европейских материалов бронзового века (O’Flaherty, 2007; O’Flaherty et al., 2000). Бойки, напротив, должны оказывать дробящее и оглушающее действие без расчета на проникновение, потому в большинстве своем они подвергнуты наклепу. Таким образом, назначение изделия влияет не только на выбор сплава, но и на характер обработки отливок (Савельева, 2015, с. 85; Савельева, Герман, 2015, с. 116).

Данные о широком распространении упрочняющей ковки применительно к тагарским изделиям согласуются с выводами, полученными Ю.С. Гришиным в результате металлографического анализа серии кельтов, ножей и серпов тагарской культуры. Все предметы являлись орудиями труда и были укреплены проковкой (Гришин, Тихонов, 1960, с. 142). Исследователем также сделаны замечания о возможном перекрытии следов ковки в процессе шлифовки (Гришин, Тихонов, 1960, с. 142).

Принимая во внимание результаты представленных в статье реконструкций и материалы Ю.С. Гришина, можно сделать вывод о некоторой стандартизации технологии изготовления предметов, имеющих практическую функцию. Распространенная модель включала литье в разрушаемых глиняных формах, доработку отливок каменными орудиями ковкой и шлифовкой, упрочнение проковкой. Подобная унификация связана с развитой устойчивой технологической традицией, достигшей нахождения оптимального сочетания техник. Следует отметить, что на рассмотренных предметах дефекты литья минимальны.

Если обратиться к динамике рецептур сплавов на медной основе в тагарской культуре, то наблюдается аналогичная картина. Так, схема развития тагарской металлообработки предложена Д.В. Наумовым, который выделил три этапа по изменению состава металлов и техник литья: первый — методы металлообработки дотагарского времени, медно-мышьяковистые рецептуры; второй — разнообразие бронзовых сплавов и накопление методов обработки в поисках наилучших; третий — установление бронзовых сплавов определенного состава и оптимальных методов обработки металла (Савельева, 2016, с. 128). В последующем специфика и неустойчивость сплавов ранней тагарской культуры неоднократно демонстрировалась исследователями (Хаврин, 2000; Савельева, 2016).

Таким образом, реконструированные техники и их последовательность представляют развитую технологическую традицию металлообработки бронзы тагарской культуры.

Аналогии представленной технологии зафиксированы в синхронных материалах в регионе Южной Сибири. Так, бронзовый чекан данного периода из Усть-Коксинского района Республики Алтай, ранее опубликованный, в том числе с фотофиксацией технологических следов, выполнен весьма грубо, но по той же технологической схеме, что и изученные тагарские чеканы. Заметно плющение литейных швов ковкой с их загибом набок, залив металла под втулку (Бычков, Ненахов, Давыдов, 2019, рис. 4.-1). В районе острия фиксируется упрочняющаяковка. Длинные параллельные следы внутри втулки, вероятно, возникли при выскребании сердечника (Бычков, Ненахов, Давыдов, 2019, рис. 3).

Использование при металлообработке орудий труда и предметов вооружения каменных инструментов также является общераспространенной для эпохи бронзы и РЖВ тенденцией применения бронзовых орудий только в ювелирном деле. Согласно европейским материалам, бронзовые молотки, зубила и наковальни преимущественно применялись для изготовления украшений (Armbruster et al., 2019, p. 167).

Сопоставление следов на экспериментальном зубиле и предмете из коллекции Минусинского музея А694 позволило однозначно интерпретировать последний как ювелирный инструмент. Зафиксированы небольшие замятия металла, царапины от со-

скальзывания орудия. Один угол лезвия скошен на 3 мм, что является последствием работы под углом и последующего обновления. Износ существенно меньше, чем при работе с крупными бронзовыми изделиями.

Можно предположить, что бронзовые металлообрабатывающие инструменты тагарской культуры использовались ювелирами.

Полученные следы износа на каменных орудиях в перспективе позволят выделять инструменты бронзового века и РЖВ, применяемые для обработки бронзы. Данные материалы являются расширением базы следов, опубликованной Е.В. Голубевой (2016) для каменных средневековых кузнечных инструментов.

Заключение

Результаты работы демонстрируют эффективность экспериментально-трасологического анализа как метода исследования металлообработки. Его особенность заключается в построении реконструкций на базе жесткой аргументации сопоставления следов на предмете и экспериментальных эталонов, опубликованных ранее или изготовленных автором. Это отличает экспериментально-трасологический анализ от микро- и макрообследования поверхности, где интерпретация признаков редко основана на экспериментальных данных, что накладывает определенные ограничения на аргументацию (Дегтярева, 2006).

Необходимость соблюдения условий возникновения следов определяет комплексность экспериментов, в результате чего накапливается база данных не только трасологических, но и относящихся к другим аспектам археометаллургии: изменения химического состава при литье, трансформация микроструктуры предметов, планиграфические особенности производственной площадки и проч.

Представленная работа базируется на обследовании 50 орудий труда и 12 предметов вооружения. Коллекция эталонов включает 23 базовых эталона и девять орудий, прошедших всю технологическую цепочку. Дальнейшая работа предполагает исследование особенностей изготовления ювелирных изделий и попытку выявления динамики изменения техник.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бельтикова Г.В. Иткульское I городище — место древнего металлургического производства // Вопросы археологии Урала. Вып. 18. Проблемы урало-сибирской археологии. Свердловск : УрГУ, 1986. С. 63–79.

Бычков Д.А., Ненахов Д.А., Давыдов Р.В. Бронзовый боевой чекан скифского времени — случайная находка из Усть-Коксинского района Республики Алтай // Теория и практика археологических исследований. 2019. №3(27). С. 34–41. DOI: 10.14258/tpai(2019)3(27).-03.

Вадецкая Э.Б. Археологические памятники в степях Среднего Енисея. Л. : Наука, 1986. 180 с.

Волков П.В. Опыт эксперимента в археологии. СПб. : Нестор-История, 2013. 416 с.

Гиря Е.Ю. Следы как вид археологического источника (конспект неопубликованных лекций) // Следы в истории. К 75-летию Вячеслава Евгеньевича Щелинского. СПб. : ИИМК РАН, 2015. С. 232–268.

Гиря Е.Ю. Технологический анализ каменных индустрий (методика микро-макроанализа древних орудий труда, часть 2). СПб. : Академ Принт, 1997. 198 с.

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.

Горащук И.В., Семин Д.В. Металлургический и металлообрабатывающий комплекс каменных орудий труда с поселения Михайлово-Овсянка в Самарской области // Вестник Удмуртского университета. Серия: История и филология. 2018. Т. 28, вып. 4. С. 599–606.

Гришин Ю.С., Тихонов Б.Г. Очерки по истории производства в Приуралье и Южной Сибири в эпоху бронзы и раннего железа. М. : Изд-во АН СССР, 1960. 206 с.

Дегтярева А.Д. Методика поверхностного изучения цветного металла // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2006. №6. С. 117–126.

Жилин М.Г. Наконечники колющих копий в мезолите лесной зоны Восточной Европы // КСИА. 2017. Вып. 249-1. С. 56–73. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.249-1.56-73.

Завьялов В.И., Терехова Н.Н. К вопросу о происхождении железных изделий у племен тагарской культуры // КСИА. 2014. №236. С. 109–112.

Зоткина Л.В., Солодейников А.К., Давыдов Р.В., Курбанов Р.Н., Постников Н.В., Сутугин С.В., Шевченко Т.А., Конохов В.А., Федоренко П.Ю. Результаты полевых исследований памятников наскального искусства древнейшего пласта на территории Минусинской котловины в 2020 году // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск : Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2020. Т. XXVI. С. 445–453. DOI: 10.17746/2658-6193.2020.26.445-452.

Киселев С.В. Древняя история Южной Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1949. 643 с.

Клеменц Д.А. Древности Минусинского музея. Памятники металлических эпох. Томск : Издание Иннокентия Кузнецова, 1886. 185 с.

Князева Е.В. Технология металлургии и металлообработки на территории нижнего Приангарья в средние века: опыт экспериментально-трассологических исследований // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2011. Т. 10, вып. 5: Археология и этнография. С. 108–116.

Кореневский Э. Из истории инструмента // История техники. 1934. Вып. II. С. 110–137.

Минасян Р.С. Металлообработка в древности и Средневековье. СПб. : Изд-во Гос. Эрмитажа, 2014. 472 с.

Молодин В.И. Культовый комплекс Бертек-3–4 // Древние культуры Бертекской долины (Алтай, плоскогорье Укок). Новосибирск : Наука, 1994. С. 94–104.

Савельева А.С. Цветной металл тагарской культуры: история исследований состава сплавов на медной основе с 1860-х по 1950-е гг. // Вестник ТГУ. История. 2015. №4 (36). С. 85–95. DOI: 10.17223/19988613/36/15.

Савельева А.С. Цветной металл тагарской культуры: история исследований состава сплавов на медной основе с 1960-х по 2000-е гг. // Вестник ТГУ. 2016. №408. С. 125–133. DOI: 10.17223/15617793/408/19.

Савельева А.С., Герман П.В. Бронзы из курганного могильника тагарской культуры Некрасово II (по материалам раскопок 1970 г.) // Вестник ТГУ. История. 2015. №6 (38). С. 108–118. DOI: 10.17223/19988613/38/17.

- Семенов С.А. Первобытная техника. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1957. 239 с.
- Теплоухов С.А. Опыт классификации древних металлических культур Минусинского края // *Материалы по этнографии*. 1929. Т. 4, вып. 2. С. 41–62.
- Хаврин С.В. Тагарские бронзы // *Мировоззрение. Археология. Ритуал. Культура: сборник статей к 60-летию М.Л. Подольского*. СПб. : Мир Книги, 2000. С. 183–193.
- Хаврин С.В. Тагарские бронзы Ширинского района Хакасии // А.В.: сборник научных трудов в честь 60-летия А.В. Виноградова. СПб. : Культ-Информ-Пресс, 2007. С. 115–122.
- Хоанг Ван Кхоан. Технология изготовления железных и стальных орудий труда Южной Сибири (VII в. до н.э. — XII в. н.э.) // *Советская археология*. 1974. №4. С. 110–124.
- Членова Н.Л. Происхождение и ранняя история племен тагарской культуры. М. : Наука, 1967. 300 с.
- Членова Н.Л. Тагарская культура // *Степная полоса Азиатской части СССР в скифо-сарматское время*. М. : Наука, 1992. С. 206–223.
- Armbruster B., Jockenhövel A., Kapuran A., Ramadanski R. The moulds from Velebit and European bronze age metal anvils // *Starinar*. 2019. Issue 69. P. 139–182. DOI: 10.2298/STA1969139A.
- Davydov R.V. Instruments and weapons of the Tagar culture as tools for picketage: use-wear analysis // 27th EAA Annual Meeting (Kiel Virtual, 2021) — Abstract Book. Prague : EAA, 2021. P. 523.
- Dolfini A., Crellin R.J. Metalwork wear analysis: The loss of innocence // *Journal of Archaeological Science*. 2016. Vol. 66. P. 78–87. DOI: 10.1016/j.jas.2015.12.005.
- Fregni E.G. The Compleat Metalsmith: Craft and Technology in the British Bronze Age. Sheffield : University of Sheffield, Department of Archaeology, 2014. 231 p.
- Iaia C. Smiths and Smithing in Bronze Age “Terramare” // *Archaeology and crafts: Experiences and Experiments on traditional Skills and Handicrafts in Archaeological Open-Air Museums in Europe*. Husum : Husum Druck, 2015. P. 78–94.
- Kuijpers M.H.G. The Bronze Age, a World of Specialists? Metalworking from the Perspective of Skill and Material Specialization // *European Journal of Archaeology*. 2017. P. 1–22. DOI: 10.1017/ea.2017.59.
- O’Flaherty R. A weapon of choice — experiments with a replica Irish Early Bronze Age halberd // *Antiquity*. 2007. N.81. P. 423–434. DOI: 10.1017/S0003598X00095284.
- O’Flaherty R., Bright P., Gahan J., Gilchrist M.D. Up close and personal // *Archaeology Ireland*. 2008. Winter. P. 22–25.
- Trifonov V.A., Shishlina N.I. The production of thin-walled jointless gold beads from the Maykop culture megalithic tomb of the Early Bronze Age at Tsarskaya in the North Caucasus: results of analytical and experimental research // *Archaeometry*. 2018. P. 1–14. DOI: 10.1111/arcm.12393.

REFERENCES

- Bel’tikova G.V. Itkuľ’skoe I Settlement — a Place of Ancient Metallurgical Production. *Voprosy arheologii Urala*. Vyp. 18. Problemy uralo-sibirskoj arheologii = Archeological issues of the Urals. Vol. 18. Problems of the Ural-Siberian archeology. Sverdlovsk : URGU, 1986. Pp. 63–79. (In Russ.)

Bychkov D.A., Nenahov D.A., Davydov R.V. Bronze Sagaris of the Scythian Time Warriors — a Random Find from the Ust-Koksinsky District, Altai Republic. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2019;3(27):34–41. (In Russ.) DOI: 10.14258/tpai(2019)3(27).-03.

Vadeckaya E.B. *Archaeological Sites in the Steppes of the Middle Yenisei*. L. : Nauka, 1986. 180 p. (In Russ.)

Volkov P.V. *Experience of Experiment in Archaeology*. SPb. : Nestor-Istoriya, 2013. 416 p. (In Russ.)

Girya E.Yu. *Technological Analysis of Stone Industries (method of micro-macroanalysis of ancient tools, part 2)*. SPb. : Akadem Print, 1997. 198 p. (In Russ.)

Girya E.Yu. *Traces as a Kind of Archaeological Source (compendium of unpublished lectures)*. *Sledy v istorii. K 75-letiyu Vyacheslava Evgenëvicha SHChelinskogo = Traces in history. To the 75th anniversary of Vyacheslav Evgenievich Shchelinsky*. SPb. : IIMK RAN, 2015. Pp. 232–268. (In Russ.)

Golubeva E.V. *Theory and Practice of Experimental and Traceological Studies of Non-metallic Tools of the Early Iron Age — the Middle Ages (based on materials from the southern taiga zone of Central Siberia)*. Krasnoyarsk : Sib. feder. un-t, 2016. 144 p. (In Russ.)

Gorashchuk I.V., Syomin D.V. *Metallurgical and Metalworking Complex of Stone Tools from the Mikhailovo-Ovsyanka Settlement in the Samara Region*. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Istoriya i filologiya = Bulletin of the Udmurt University. Series: History and Philology*. 2018;28(4):599–606. (In Russ.)

Grishin Yu.S., Tihonov B.G. *Essays on the History of Production in the Urals and Southern Siberia in the Bronze Age and Early Iron Age*. M. : Izd-vo AN SSSR, 1960. 206 p. (In Russ.)

Degtyareva A.D. *Method of Surface Study of Non-ferrous metal*. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii = Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2006;6:117–126. (In Russ.)

Zhilin M.G. *Tip of Stabbing Spears in the Mesolithic of the Forest Zone of Eastern Europe*. *KSIA = Brief reports of the Institute of archeology*. 2017;249-I:56–73. (In Russ.) DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.249-1.56-73.

Zav'yalov V.I., Terekhova N.N. *On the Question of the Origin of Iron Products among the Tribes of the Tagar Culture*. *KSIA = Brief reports of the Institute of Archaeology*. 2014;236:109–112. (In Russ.)

Zotkina L.V., Solodejnikov A.K., Davydov R.V., Kurbanov R.N., Postnikov N.V., Sutugin S.V., Shevchenko T.A., Konohov V.A., Fedorenko P.Yu. *Results of Field Studies of Rock Art Monuments of the Oldest Layer on the Territory of the Minusinsk Depression in 2020. Problemy arheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nyh territorij = Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk : Izd-vo In-ta arheologii i jetnografii SO RAN, 2020. Vol. XXVI. Pp. 445–453. (In Russ.) DOI: 10.17746/2658-6193.2020.26.445-452.

Kiselev S.V. *Ancient History of Southern Siberia*. M. : Izd-vo AN SSSR, 1949. 643 p.

Klemenc D.A. *Antiquities of the Minusinsk Museum. Sites of metal eras*. Tomsk : Izdanie Innokentiya Kuznecova, 1886. 185 p. (In Russ.)

Knyazeva E.V. Metallurgy and Metalworking Technology in the Lower Angara Region in the Middle Ages: Experience of Experimental and Trace Research. *Vestnik NGU. Seriya: Istorija, filologija = Novosibirsk State University Bulletin. Series: History and Philology.* 2011;10(5): Arheologija i etnografija. Pp. 108–116. (In Russ.)

Korenevskij E. From the History of the Instrument. *Istorija tekhniki = History of technology.* 1934;II:110–137. (In Russ.)

Minasyan R.S. Metalworking in Antiquity and the Middle Ages. SPb. : Izd-vo Gos. Ermitazha, 2014. 472 p. (In Russ.)

Molodin V.I. The Ritual Complex Bertek-3–4. *Drevnie kul'tury Bertekskoj doliny (Altaj, ploskogor'e Ukok) = Ancient Cultures of the Bertek Valley (Altai, Ukok plateau).* Novosibirsk : Nauka, 1994. Pp. 94–104. (In Russ.)

Saveleva A.S. Non-ferrous Metal of the Tagar Culture: the History of Studies of the Composition of Copper-based Alloys in the 1860s — 1950s. *Vestnik TGU. Istorija = Tomsk State University Journal. History.* 2015;4(36):85–95. (In Russ.) DOI: 10.17223/19988613/36/15.

Saveleva A.S. Non-ferrous Metal of the Tagar Culture: the History of Studies of the Composition of Copper-based Alloys in the 1960s — 2000s. *Vestnik TGU = Tomsk State University Journal.* 2016;408:125–133. (In Russ.) DOI: 10.17223/15617793/408/19.

Saveleva A.S., German P.V. Bronzes from the Tagar Burial Mound Nekrasovo II (research based on the data of excavations in 1970). *Vestnik TGU. Istorija = Tomsk State University Journal. History.* 2015;6(38):108–118. (In Russ.) DOI: 10.17223/19988613/38/17.

Semyonov S.A. Prehistoric Technology. M. ; L. : Izd-vo AN SSSR, 1957. 239 p. (In Russ.)

Teplouhov S.A. The Experience of Classification of Ancient Metal Cultures of the Minusinsk Region. *Materialy po etnografii = Ethnographic materials.* 1929;4(2):41–62. (In Russ.)

Havrin S.V. Tagar Bronzes. In: *Worldview. Archeology. Ritual. Culture: Collection of Articles Dedicated to the 60th Anniversary of M.L. Podolsky.* SPb. : Mir Knigi, 2000. Pp. 183–193. (In Russ.)

Havrin S.V. Tagar bronzes of the Shirinsky region of Khakassia. A.V.: *sbornik nauchnyh trudov v chest' 60-letiya A.V. Vinogradova = A.V. : Collection of scientific papers in honor of the 60th anniversary of A.V. Vinogradov.* SPb. : Kul't-Inform-Press, 2007. Pp. 115–122. (In Russ.)

Hoang Van Kkhoan. Manufacturing Technology of Iron and Steel Tools of Labor in Southern Siberia (the 7th century BC — 12th century AD). *Sovetskaya arheologija = Soviet Archaeology.* 1974;4:110–124. (In Russ.)

Chlenova N.L. The Origin and Early History of the Tribes of the Tagar Culture. M. : Nauka, 1967. 300 p. (In Russ.)

Chlenova N.L. Tagar Culture. *Stepnaya polosna Aziatskoj chasti SSSR v skifo-sarmatskoe vremya = Steppe zone of the Asian part of the USSR in the Scythian-Sarmatian time.* M. : Nauka, 1992. Pp. 206–223. (In Russ.)

Armbruster B., Jockenhövel A., Kapuran A., Ramadanski R. The Moulds from Velebit and European Bronze Age Metal Anvils. *Starinar.* 2019;69:139–182. DOI: 10.2298/STA1969139A.

Davydov R.V. Instruments and Weapons of the Tagar Culture as Tools for Picketage: Use-wear Analysis. 27th EAA Annual Meeting (Kiel Virtual, 2021) — Abstract Book. Prague: EAA, 2021. P. 523.

Dolfini A., Crellin R.J. Metalwork Wear Analysis: The Loss of Innocence. *Journal of Archaeological Science*. 2016;66:78–87. DOI: 10.1016/j.jas.2015.12.005.

Fregni E.G. *The Compleat Metalsmith: Craft and Technology in the British Bronze Age*. Sheffield : University of Sheffield, Department of Archaeology, 2014. 231 p.

Iaia C. *Smiths and Smithing in Bronze Age “Terramare”*. *Archaeology and crafts: Experiences and Experiments on traditional Skills and Handicrafts in Archaeological Open-Air Museums in Europe*. Husum : Husum Druck, 2015. Pp. 78–94.

Kuijpers M.H.G. The Bronze Age, a World of Specialists? Metalworking from the Perspective of Skill and Material Specialization. *European Journal of Archaeology*. 2017:1–22. DOI: 10.1017/ea.2017.59.

O’Flaherty R. A Weapon of Choice — Experiments with a Replica Irish Early Bronze Age Halberd. *Antiquity*. 2007;81:423–434. DOI: 10.1017/S0003598X00095284.

O’Flaherty R., Bright P., Gahan J., Gilchrist M.D. Up Close and Personal. *Archaeology Ireland*. 2008;Winter:22–25.

Trifonov V.A., Shishlina N.I. The Production of Thin-walled Jointless Gold Beads from the Maykop Culture Megalithic Tomb of the Early Bronze Age at Tsarskaya in the North Caucasus: Results of Analytical and Experimental Research. *Archaeometry*. 2018:1–14. DOI: 10.1111/arcm.12393.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Давыдов Роман Вячеславович, инженер-исследователь лаборатории ЦифРА Института археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Roman V. Davydov, Research engineer of Laboratory of Digital Archaeology of Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 23.08.2021; одобрена после рецензирования 20.10.2021; принята к публикации 15.11.2021.

The article was submitted 23.08.2021; approved after reviewing 20.10.2021; accepted for publication 15.11.2021.