

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ МЕТОДОВ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

USE OF NATURAL-SCIENTIFIC METHODS IN ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

Научная статья/Research Article

УДК 903.05(571.63)"653"

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2025\)37\(3\).-09](https://doi.org/10.14258/tpai(2025)37(3).-09)

EDN: KHMWPL

КЕРАМИЧЕСКИЕ ТИГЛИ ИЗ ГОРОДИЩА КОКШАРОВКА-1: НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ В ЭПОХУ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Ирина Сергеевна Жущиховская^{1*}, Николай Александрович Клюев²,
Александра Вячеславовна Балагурова³

¹Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН,
Владивосток, Россия; Irina1zh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1469-6013>

²Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН,
Владивосток, Россия; klyev2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7406-649X>

³Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН,
Владивосток, Россия; balagurovaleksandra@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3860-4729>

*Автор, ответственный за переписку

Резюме. В статье представлены материалы исследования коллекции керамических тиглей, полученной при раскопках одного из наиболее интересных археологических памятников юга Дальнего Востока России — городаща Кокшаровка-1, относящегося к эпохе средневековья. Это первый для дальневосточной археологии опыт целенаправленного изучения тиглей для плавки металлов как особой категории технической керамики. Исследование проведено в рамках комплексного подхода, сочетающего традиционный анализ археологических артефактов с физико-химическими методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии (SEM-EDS), рентгенофлуоресцентной спектроскопии (XRF). Морфологические и технологические характеристики тиглей свидетельствуют о специальных приемах изготовления емкостей, предназначенных для термообработки металлов. На поверхностях тиглей диагностирована

ны следы сплавов на основе меди, золота и серебра. Впервые получены доказательства местного производства изделий из благородных металлов на юге Дальнего Востока России в средневековье.

Ключевые слова: Приморье, эпоха средневековья, металлообработка, тигли, методы естественных наук, цветные и благородные металлы

Благодарности: аналитическая часть работы выполнена с использованием оборудования ДВФУ при финансовой поддержке из средств государственного задания № FZNS-2025-0018. Авторы признательны сотрудникам ИТПМ ДВФУ И. Ю. Буравлеву и Н. П. Иванову за квалифицированно выполненный методом рXRF анализ элементного состава объектов исследования. Также авторы выражают признательность Д. В. Фомину, заведующему центром электронной микроскопии Национального научного центра морской биологии (ННЦМБ) ДВО РАН, за техническое содействие в выполнении исследований методом SEM-EDS.

Для цитирования: Жущиховская И. С., Клюев Н. А., Балагурова А. В. Керамические тигли из городища Кокшаровка-1: новые данные о металлообработке на юге Дальнего Востока России в эпоху средневековья // Теория и практика археологических исследований. 2025. Т. 37, № 3. С. 185–211. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2025\)37\(3\).-09](https://doi.org/10.14258/tpai(2025)37(3).-09)

CERAMIC CRUCIBLES FROM THE KOKSHAROVKA-1 SETTLEMENT: NEW EVIDENCE OF METALWORKING IN THE SOUTHERN RUSSIAN FAR EAST DURING THE MEDIEVAL PERIOD

Irina S. Zhushchikhovskaya¹, Nikolay A. Klyuev²,
Aleksandra V. Balagurova³

¹Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS,
Vladivostok, Russia; Irina1zh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1469-6013>

²Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS,
Vladivostok, Russia; kluyev2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7406-649X>

³Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS,
Vladivostok, Russia; balagurovalesandra@mail.ru, <https://orcid.org/0002-3860-4729>

*Corresponding Author

Abstract. This article presents materials from a study of a collection of ceramic crucibles obtained during excavations at one of the most interesting archaeological sites in the southern Russian Far East — the medieval settlement of Koksharovka-1. This study represents the first systematic investigation of metal-melting crucibles as a distinct category of technical ceramics in Far Eastern archaeology. The research employed an integrated approach combining traditional archaeological analysis with physicochemical methods including scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS) and X-ray fluorescence spectroscopy (XRF). The morphological and technological characteristics of the crucibles reveal specialized manufacturing techniques for containers designed for metal heat treatment. Traces of copper-, gold-, and silver-based alloys were identified on the crucible surfaces. For the first time, evidence has been obtained confirming local production of noble metal artifacts in the southern Far East during the medieval era.

Keywords: Primor'ye region, medieval period, metalworking, crucibles, natural science methods, non-ferrous and noble metals

Acknowledgments: the analytical part of this work was carried out using the equipment of the Far Eastern Federal University (FEFU) with financial support from the state assignment No. FZNS-2025-0018. The authors are grateful to I. Yu. Buravlev and N. P. Ivanov of the Institute for High Technology and Advanced Materials of FEFU for their skilled analysis of the elemental composition of the study objects using the pXRF method. The authors also extend their gratitude to D. V. Fomin, Head of the Electron

Microscopy Center at the National Scientific Center of Marine Biology (NSCMB), Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, for his technical assistance in conducting the SEM-EDS studies.

For citation: Zhushchikhovskaya I. S., Klyuev N. A., Balagurova A. V. Ceramic Crucibles from the Koksharovka-1 Settlement: New Evidence of Metalworking in the Southern Russian Far East During the Medieval Period. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2025;37(3):185–211. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2025\)37\(3\).-09](https://doi.org/10.14258/tpai(2025)37(3).-09)

B *введение*

Тигли наряду с льячками и литейными формами относятся к основным категориям технической керамики, используемой с древности в операциях по производству изделий из цветных и благородных металлов. Найдки тиглей на археологических памятниках разного времени представляют интерес как вероятные свидетельства существования местной металлообработки (Sahlén, 2013, 2016; Алаева и др., 2017; Руденко, 2020; Orfanou et al., 2021; Молодин, Дураков, Кобелева, 2023).

Современные исследования керамических тиглей с применением методов археометрии акцентируют внимание на следующих признаках: морфологические параметры, состав формовочной массы, наличие специальных покрытий на стенках, следы функционального использования. В совокупности эти признаки позволяют сделать определенные заключения о технологических стандартах и навыках изготовления керамических тиглей как специализированных емкостей для работы с расплавленным металлом в условиях высоких температур, об особенностях процесса металлообработки и о составах самих металлических сплавов (Bayley, Rehren, 2007; Rehren et al., 2015; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018; Orfanou et al., 2021).

Статья продолжает тему изучения технической керамики юга Дальнего Востока с использованием методов естественных наук. Это новое междисциплинарное направление в археологии региона, и результаты, полученные ранее в процессе работы со средневековыми керамическими литейными формами, показали его перспективность (Жушиховская, Буравлев, 2021).

Исследование керамических тиглей, представленное в статье, осуществлено на материалах коллекции из раскопок городища Кокшаровка-1 в Приморье. Это один из немногих известных в настоящее время средневековых памятников конца VII–XI в., где найдены серии керамических тиглей со следами использования (Леньков, Семениченко, Хорев, 1974; Семениченко, 1981; Гельман, Кодзима, 2013; Клюев, Гридасова, 2017). Основная цель — получить комплексную характеристику керамических тиглей из Кокшаровки-1 и интерпретировать результаты в контексте изучения истории металлообработки на юге Дальнего Востока России. Задачи исследования: 1 — систематизация морфологических и технологических признаков изделий как особой категории технической керамики, 2 — диагностика следов металлических сплавов как свидетельств функционального использования тиглей.

Археологический контекст

Городище Кокшаровка-1 располагается в центральном Приморье, в 3 км к северо-востоку от с. Кокшаровка, на правом берегу р. Уссури (рис. 1). На памятнике выделе-

ны культурные горизонты, относящиеся к периоду существования государства Бохай (698–926 гг.) и пост-бохайскому периоду (Х–XI вв.) В результате раскопок 2008–2014 г. исследован уникальный для региона архитектурный комплекс Х–XI в., состоящий из семи деревянных зданий и обширного двора с постройками хозяйственного и производственного назначения (Клюев и др., 2012).

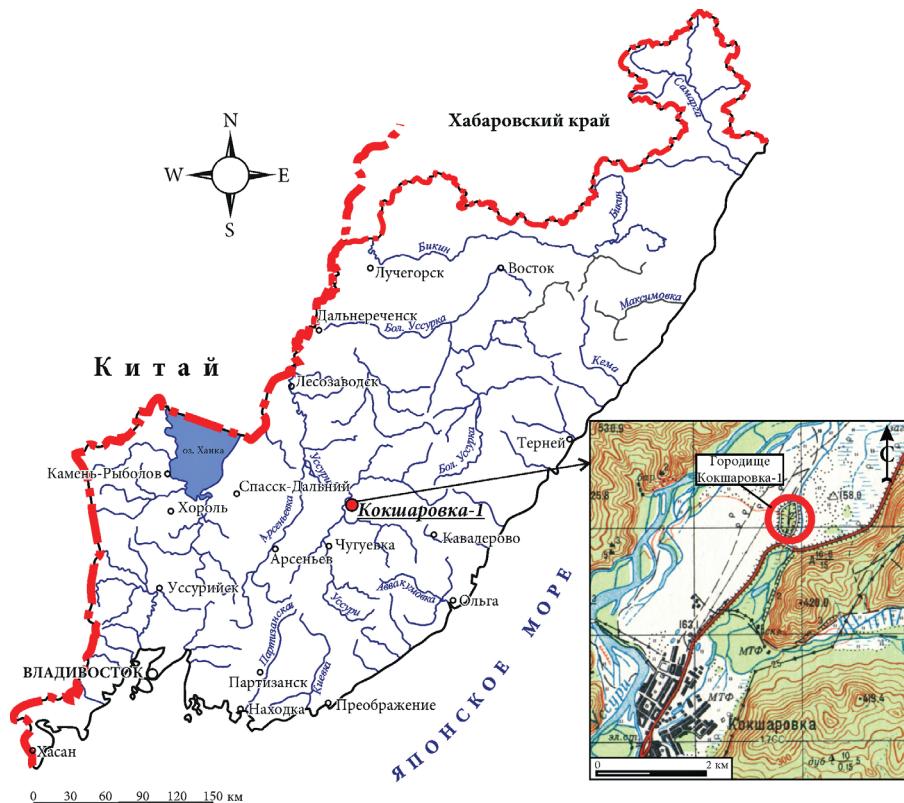


Рис. 1. Городище Кокшаровка-1. Местоположение памятника на карте Приморского края

Fig. 1. The Koksharovka-1 settlement. Site location at the map of the Primorsky district

Одна из построек имела наземную конструкцию прямоугольной формы площадью 48 кв. м (рис. 2). Ее стены ориентированы по сторонам света. Фундамент стен шириной 35–42 см и высотой 7–42 см сложен из окатанного речного галечника и необработанного камня. По углам постройки с внешней стороны располагаются базы под столбы (рис. 2). С внешней стороны постройки, около ее восточной стены было выявлено скопление прокаленных камней с углами и кусочками жженой обмазки, которое могло представлять собой остатки горна. Фрагментированные тигли обнаружены в виде двух скоплений и разрозненно, у юго-западной и северо-восточной границ постройки. Данный археологический объект предположительно интерпретируется как остатки литейной мастерской (Клюев, Гридасова, 2017).

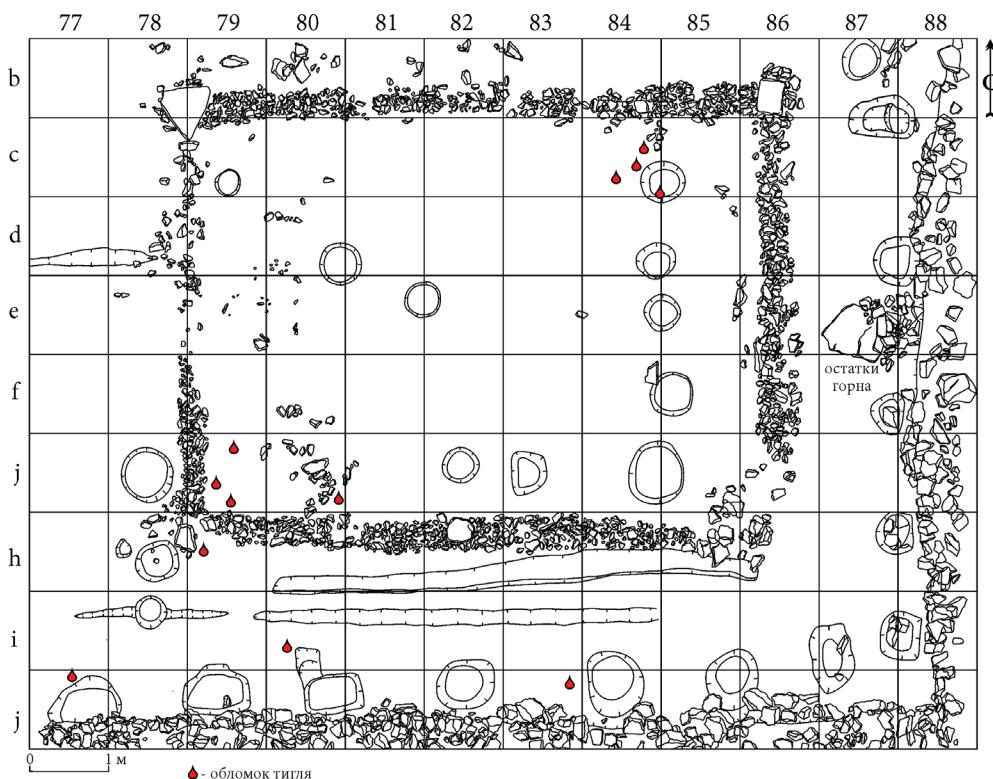


Рис. 2. Городище Koksharovka-1. План литьейной мастерской с обозначением мест находок тиглей

Fig. 2. The Koksharovka-1 settlement. Plan of the foundry remains with the points of crucibles finds

Найдены тигли были сделаны и в других местах — в частности, несколько целых изделий обнаружены в разведочном раскопе в западной части городища. Других предметов инвентаря, связанного с металлообработкой, на памятнике не найдено. Коллекция керамики в целом представлена сосудами разного назначения и отдельными находками черепицы (Клюев и др., 2012, с. 132).

Также в процессе исследований был раскопан погребальный курганный комплекс Koksharovka-8, локализованный в непосредственной близости от городища и связанный с его архитектурным ансамблем. Здесь найдена представительная серия металлических декоративных изделий: бронзовый браслет, 26 серебряных гвоздиков, две серебряные сбруйные бляхи, серебряная накладка и 44 «листика», вырезанные из золотой фольги (Клюев и др., 2015).

Материалы и методы исследования

В состав исследованной коллекции тиглей входят изделия разной степени сохранности. Каждое изделие, целое или фрагментированное, для удобства представления информации обозначено как отдельный объект. Целые или почти целые тиг-

ли соответствуют объектам 1, 5, 7 (рис. 3.-1, 5, 7). Фрагментированные тигли с полностью сохранившимися участками профиля от устья до дна — это объекты 2, 3, 4 и 6 (рис. 3.-2, 3, 4, 6). Один тигель (объект 18) представлен небольшим фрагментом верхней части и сохранившейся нижней частью (рис. 4.-18). От трех изделий (объекты 8–10) уцелели нижние части, позволяющие получить информацию о форме дна (рис. 4.-8–10). Три изделия (объекты 11, 14, 15) представлены фрагментами устья и верхней части стенок (рис. 4.-11, 14, 15). Присутствуют также небольшие обломки стенок от разных тиглей — объекты 12, 13, 16, 17, 19 и 20 (рис. 4).

Ранее было отмечено наличие следов функционального использования на большинстве целых и фрагментированных тиглей из Кокшаровки-1 (Клюев, Гридасова, 2017). Входящие в состав исследованной коллекции объекты 4 и 12 найдены на территории предполагаемой литейной мастерской, объекты 15 и 17 обнаружены среди остатков хозяйственной постройки недалеко от мастерской. Остальные объекты найдены на отдалении от мастерской.



Рис. 3. Городище Кокшаровка-1. Керамические тигли. Объекты 1–7

Fig. 3. The Koksharovka-1 settlement. Ceramic crucibles. The objects 1–7

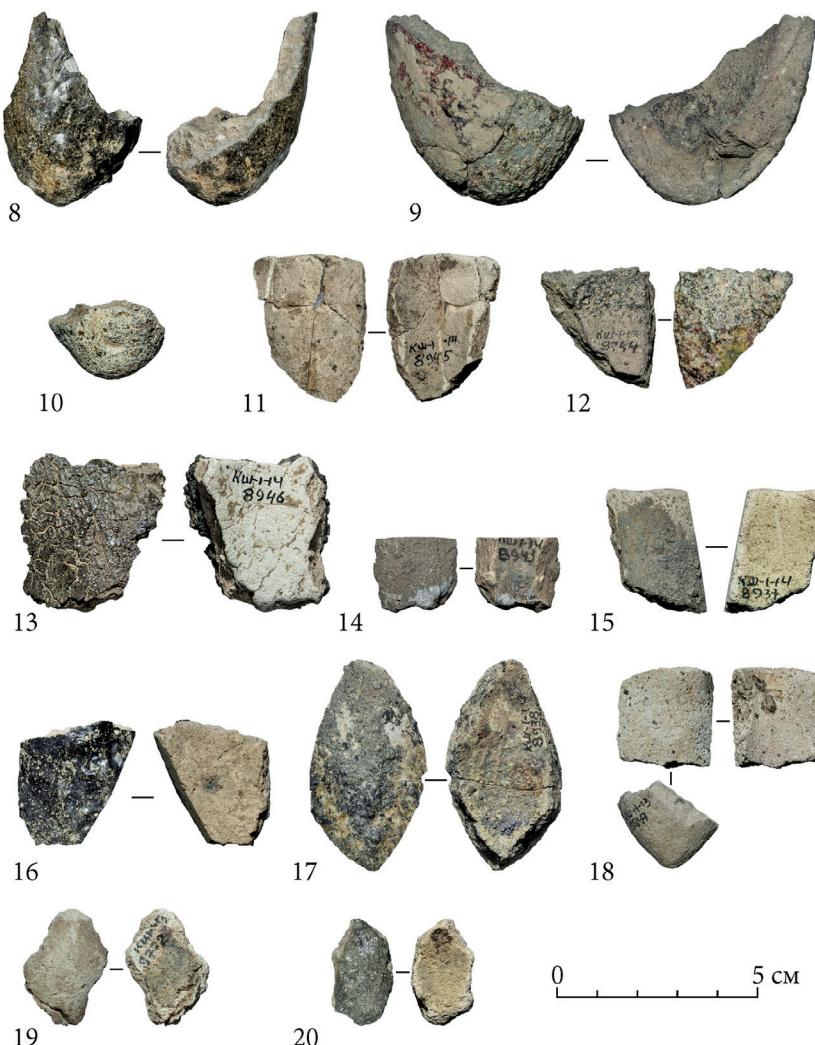


Рис. 4. Городище Кокшаровка-1. Фрагменты керамических тиглей.
Объекты 8–20. Внешняя (слева) и внутренняя поверхности

Fig. 4. The Koksharovka-1 settlement. Fragments of ceramic crucibles.
The objects 8–20. Outer (left) and inner surfaces

Выбор методов исследования определялся поставленными задачами, доступными технико-аналитическими возможностями и необходимостью сохранить уникальную коллекцию без разрушающих вмешательств.

Для исследования макропризнаков формовочных масс и текстуры поверхностей цельных и фрагментированных изделий использовался портативный цифровой микроскоп Levenhuk DTX 50, позволяющий работать с объектами разной конфигурации и разме-

ра. Цифровая микроскопия применяется в исследованиях древней технической керамики (Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018; Wang et al., 2024).

Определение химического состава вещества на участках внутренних и внешних поверхностей с целью выявления вероятных следов сплавов и характеристики формовочных масс проводилось с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии на портативном устройстве (pXRF) и сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (SEM-EDS). Эти методы хорошо известны в практике изучения археологической керамики, связанной с металлообработкой (Dungworth, 2000; Rehren et al., 2013; Персов, Сарачева, Солдатенкова, 2016; Алаева и др., 2017; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018).

Метод pXRF использован для работы с целыми и фрагментированными тиглями (объекты 1–12). Анализ проводился на устройстве Olympus Delta Professional DP 4000, позволяющем исследовать участки поверхности радиусом 10–20 мм. Возможности данного устройства для работы на внутренних поверхностях тиглей с хорошо сохранившимся, «закрытым» резервуаром сильно ограничены. Методом pXRF были проанализированы участки на внутренних поверхностях объектов 2, 3, 4 и 9 и на внешних поверхностях объектов 1, 3–8, 10–12. Анализатор откалиброван в режиме съемки «Сплавы», ориентированном на определение элементов-металлов и имеющем ограничения в определении таких элементов, как H, C, O, Na, K, Ca, Mg, N, As. Число измерений для одного участка съемки — 3. С учетом относительности количественных показателей анализа его результаты представлены в качественном формате, с указанием основных, второстепенных и следовых элементов (табл. 1, 2).

Метод SEM-EDS совмещает исследование микротекстуры вещества и определение его химического элементного состава в широком range от бериллия (Be) до урана (U). В нашем проекте использован электронный микроскоп Zeiss EVO-40 с EDS-анализатором Oxford Instruments INCA-x. Исследованы фрагменты восьми тиглей (объекты 12–19), по размерам и форме подходящие для помещения в камеру микроскопа. Ввиду необходимости сохранить артефакты без изменений поверхности объектов они не подвергалась полированию и напылению (хромом, углеродом или золотом). SEM-EDS исследования проводились в режимах низкого вакуума и обратных электронов, при увеличении 500 \times и рабочем расстоянии 12,5 мм.

На объектах 12, 13, 15, 16, 17 проанализированы внешняя и внутренняя поверхности, на объектах 14, 18, 19 — внешняя поверхность. Для большинства объектов инструментальная съемка проводилась на одном участке внешней и/или внутренней поверхности. Внутренние поверхности объектов 15 и 16 исследованы на двух участках. Для каждого участка съемки получен электронный скан-изображение и серия EDS-спектров в количестве от 10 до 19. Выборочные, наиболее показательные спектры, элементный состав которых конвертирован в оксидную форму, представлены в таблицах 3 и 4. Надо учитывать, что при работе с неполированными поверхностями без напыления метод EDS не является оптимальным для точной оценки содержания химических элементов. Их количественные значения носят относительный и ориентировочный характер. В ходе анализа также диагностировано содержание С (углерода) во всех спектрах. Однако диагности-

ка углерода методом EDS имеет много ограничений (низкая энергия характеристического излучения, возможность поверхностного загрязнения и эффекты матрицы). Для полноты представления результатов мы включили данные по присутствию CO_2 в таблицы 3 и 4, но не используем их в дальнейших интерпретациях и выводах исследования.

Результаты исследования

Макропризнаки керамических тиглей

Морфологические признаки целых и частично целых тиглей позволяют выделить два основных варианта формы. Первый вариант — это емкость с узким конусовидным дном и глубоким резервуаром, высота которого превосходит диаметр устья в 1,5–2 раза. К данному варианту мы относим объекты 2–7. Особенность оформления устья у объектов 2, 5, 6 и 7 заключается в наличии выделенного носика-слива (рис. 3.-2, 5, 6, 7). Для объектов 3 и 4 ввиду частичной сохранности устьевой зоны нет информации о наличии или отсутствии этого морфологического признака (рис. 3.-3, 4). По высоте объекты 2–7 варьируют от 4,7 до 7,7 см. Их объемы также различны: 20–25 мл (объекты 2, 3, 4, 7), 35 мл (объект 6) и 60–65 мл (объект 5).

Второй вариант формы тиглей представлен единственным экземпляром: плоскодонная емкость с овальным резервуаром (объект 1). Максимальная ширина устья 7,5 см, высота 5,0 см, объем 35–40 мл (рис. 3.-1). По некоторым фрагментам можно получить частичную информацию о морфологии. Объекты 8, 9, 10 и 18 представляют изделия с узким коническим дном, а объект 11 принадлежит тиглю с выделенным носиком-сливом (рис. 4.-8–11, 18). Объекты 12–17, 19, 20 представляют фрагменты, не несущие информации о морфологии изделий.

Нет признаков формовки тиглей на гончарном круге. Контуры стенок и устьевых частей имеют легкую асимметрию. Толщина стенок у первого типа варьирует от 0,3 до 0,8 см, составляя для большинства изделий 0,6–0,7 см. Толщина дна у разных тиглей варьирует от 1,3 до 1,8 см. Толщина стенок и дна тигля второго типа составляет 0,7–0,8 см. Керамический череп большинства тиглей, особенно со следами использования, имеет серую окраску разной интенсивности, обусловленную, очевидно, воздействием воздушной среды, насыщенной углеродом. У некоторых изделий (объекты 11, 18, 19) череп без признаков науглероживания имеет светло-бежевый или палевый цвет, что характерно для обожженных в окислительной среде глин с низким содержанием железа (Rice, 1987, р. 333–336).

По данным визуального осмотра и цифровой микроскопии поперечных сечений в формовочной массе большинства тиглей присутствуют непластичные минеральные включения, среди которых можно выделить полупрозрачные зерна серовато-белого цвета размером от 0,1–0,2 до 1,0–2,0 мм, часто угловатого или остроугольного контура (рис. 3.-3, 4). По внешним признакам эти включения соотносятся с дробленым кварцем (Masioli et al., 2006, fig. 6). В керамической массе присутствуют округлые замкнутые поры, хорошо видимые под цифровым микроскопом (рис. 5.-5, 6). Этот признак свидетельствует о развитии в глинистом веществе процесса витрификации, т.е. спекания (Veronesi, Rehren, Martinón-Torres, 2021).

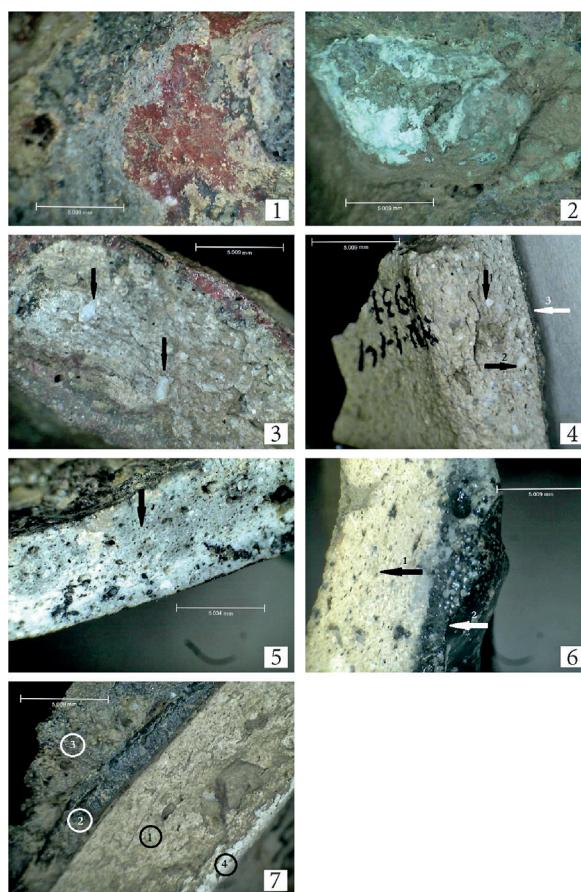


Рис. 5. Городище Кокшаровка-1. Снимки цифровой микроскопии поверхностей и поперечных сечений фрагментов тиглей (масштабная линейка: 5 мм): 1 — объект 2: участок красного цвета на внешней поверхности; 2 — объект 2: участок зеленовато-бирюзового цвета на внутренней стороне носика-слива; 3 — объект 12: включения остроугольного кварца (показаны стрелками); 4 — объект 15: включения остроугольного кварца (стрелки 1, 2), слой черного покрытия на внешней стороне (стрелка 3); 5 — объект 18: керамическая масса с признаками витрификации (участок показан стрелкой); 6 — объект 16: керамическая масса с признаками витрификации (стрелка 1), слой черного покрытия на внешней стороне (стрелка 2); 7 — объект 13: 1 — череп, 2 — слой черного покрытия на внешней поверхности, 3 — ошлакованный слой, 4 — покрытие белого цвета на внутренней поверхности

Fig. 5. The Koksharovka-1 settlement. Photo-images of digital microscopy of crucibles' surfaces and cross-sections (Scale: 5 mm): 1 — object 2: red-colored zone on outer surface; 2 — object 2: green-colored zone at spout's inner side; 3 — object 12: angular-shaped quartz grains inclusions (marked with arrowheads); 4 — object 15: angular-shaped quartz grains inclusions (arrowheads 1, 2), black-colored covering at outer surface (arrowhead 3); 5 — object 18: ceramic fabric with the evidence of vitrification (marked with arrowhead); 6 — object 16: ceramic fabric with the evidence of vitrification (arrowhead 1), black-colored covering at outer surface (arrowhead 2); 7 — object 13: 1 — ceramic fabric, 2 — black-colored covering at outer surface, 3 — slagged layer, 4 — white-colored covering at inner surface

Представительная серия изделий имеет на внешних сторонах покрытия двух видов. Покрытия черного или темно-серого цвета, иногда с легким зеленоватым оттенком, образуют слой толщиной от 0,5 до 1,5 мм. В ряде случаев для них характерны отчетливые признаки глазури — блеск, глубокий цвет, стекловидная текстура (рис. 4.-8, 16, 20). Но в основном поверхность покрытий трещиноватая, покоробленная или вспененная, пористая, со слабым неровным блеском или тусклая, обесцвеченная, с ошлакованной «корочкой» (рис. 4.-10, 12, 13, 15, 17). Глазурный слой хорошо фиксируется в поперечных сечениях объектов 13, 15, 16 (рис. 5.-4, 6, 7). На некоторых объектах (7, 10) покрытия темного цвета сохраняются лишь в виде отдельных пятен (рис. 3.-7; 4.-10). Покрытия рыжевато-желтого цвета, толщиной 0,2–0,3 мм, выглядят как обычная обмазка, потрескавшаяся, местами отслоившаяся, с деформированной вследствие воздействия высоких температур текстурой (рис. 3.-2, 3, 6).

Отметим единичный случай покрытия на внутренней поверхности. Это фрагмент тигля (объект 13) со светлым черепком, черной глазурью и ошлакованной коркой снаружи. Внутреннее покрытие выглядит как равномерный слой толщиной 0,2–0,3 мм очень светлой, почти белой глинистой обмазки (рис. 4.-13; 5.-7).

При визуальном осмотре на стенках большинства объектов фиксируются признаки функционального использования. Ошлакованные участки имеют темный цвет и покоробленную, трещиноватую или «вспененную» поверхность. На отдельных объектах ошлакованный слой фиксируется на слое покрытия глазурного типа (рис. 5.-7). В отдельных случаях на внешней поверхности, на участках без покрытий заметен эффект остекловывания (самоглазурования) в виде полупрозрачного застывшего расплава светлых тонов, структурно не отделимого от керамического черепа.

На стенках некоторых тиглей (объекты 2, 3, 4, 6, 9) присутствуют локальные точечные пятна и более обширные зоны красного цвета. Они чаще отмечены на внешней поверхности, на участках с признаками ошлакования и других проявлений термических деформаций (рис. 3.-2, 6; 4.-9; 5.-1). Согласно данным исследований, зоны красного цвета появляются на поверхностях керамических тиглей в процессе плавки и являются индикаторами присутствия меди (Pettersson, 2013; Персов, Сарачева, Солдатенкова, 2016). На внутренних сторонах иногда отмечаются зоны зеленовато-бирюзовой окраски, также соответствующей химическим и цветовым трансформациям меди (рис. 5.-2). Но присутствия чистого металла в виде капель и выплесков не выявлено.

На отмеченных выше объектах 11, 18, 19 с керамическим черепом светлого цвета нет отчетливых следов покрытий снаружи и внутри, а также выраженных признаков функционального использования. Поверхности имеют лишь незначительные потемнения (рис. 4.-11, 18, 19).

Результаты исследования методами рXRF и SEM-EDS

По результатам рXRF-анализа состав исследованных участков внутренних поверхностей тиглей (объекты 2, 3, 4, 9) носит достаточно сложный, композитный характер (табл. 1). Элементы-металлы Cu, Sn, Pb, Ag можно связывать с веществом сплавов. Si и Al являются основой элементного состава керамической массы. Fe может быть связан как с веществом сплавов, выступая в качестве примеси в медной руде, так и в определенной степени с веществом керамики. Для объектов 2, 3, и 9 по сочетаниям основ-

ных и второстепенных элементов-металлов определены следы сплавов на основе меди — Cu–Sn и Cu–Sn–Pb. В объекте 4 присутствует Ag в качестве основного элемента-металла.

Таблица 1

*Состав вещества внутренних поверхностей тиглей по данным pXRF анализа:
основные элементы (≥10%), второстепенные элементы (≥1.0%),
следовые элементы (≤1.0%)*

Tab. 1

*Composition of the inner surface material of crucibles according to pXRF analysis:
major elements (≥10%), minor elements (≥1.0%), trace elements (≤1.0%)*

Объект №	Участок съемки	Элементный состав
2	Пятно бирюзово-зеленого цвета	Cu, Al, Fe, Si, Sn, Ti, P, Pb, Mn, Zr, V, Ni
3	Ошлакование с бирюзово-зелеными пятнами	Cu, Fe, Si, Sn, Al, P, Pb, Ti, Ag, S, Mn, Zr
4	Ошлакование темного цвета	Ag, Si, Fe, Al, Cu, Sn, Ti, P, Pb, S, Mn, Bi, Zr
9	Пятно красного цвета	Fe, Si, Sn, Pb, Al, Cu, P, Ti, Sb, Mn, Zn, Bi, Cd, Ni, Zr

Анализ внешних поверхностей с черными покрытиями глазурного типа и покрытиями типа обмазки рыжеватого цвета выявил Si, Al, Fe в качестве основных элементов (табл. 2). В трех случаях для черных покрытий выявлено присутствие элементов-металлов, которые можно соотнести со следами сплавов, в количественном содержании ≥1.0%: в объектах 1, 5 это Cu, в объекте 4 — Cu и Ag. В веществе керамической поверхности палевого цвета, без обмазки и глазури (объект 11), основными элементами являются Si и Al, тогда как Fe отмечен в качестве второстепенного элемента.

Таблица 2

Состав вещества внешних поверхностей тиглей по данным pXRF анализа: основные элементы (≥10%), второстепенные элементы (≥1.0%), следовые элементы (≤1.0%)

Tab. 2

Composition of the outer surface material of crucibles according to pXRF analysis: major elements (≥10%), minor elements (≥1.0%), trace elements (≤1.0%)

Объект №	Участок съемки	Элементный состав
1	Зеленовато-черное покрытие	Si, Al, Fe, Ti, P, Cu, Mn, Zr, Zn, S, V, Pb
3	Рыжеватое покрытие	Si, Al, Fe, P, Ti, Cu, Mn, Zr, Zn, V, Ni, Bi, Nb
4	Черное покрытие	Si, Al, Fe, Cu, P, Ti, Ag, Mn, Sn, S, Pb, Ni, Nb
5	Черное покрытие	Si, Fe, Al, P, Ti, Cu, Mn, Pb, Zr, Zn
6	Рыжеватое покрытие	Si, Al, Fe, P, Ti, Cu, Mn, V, Zr, Zn, Pb, Ni
7	Черное покрытие	Si, Al, Fe, Ti, P, Mn, Cu, S, V, Zr, Bi, Pb, Zn
8	Черное покрытие	Si, Al, Fe, Ti, P, Mn, V, Zr, Zn, Cu, Bi
10	Темно-серое покрытие	Si, Al, P, Fe, Ti, Mn, Cu, Zr
11	Керамический череп палевого цвета	Si, Al, Fe, P, Ti, S, Mn, Zr, Cu, Zn, V, Pb
12	Черное покрытие	Si, Al, Fe, Ti, P, Mn, V, Zr, Zn, Cu, Bi

Согласно результатам SEM-EDS, состав вещества на внутренних поверхностях объектов 12, 15, 16 и 17 носит композитный характер, т.е. включает вероятные следы металлических сплавов и компоненты керамической массы (табл. 3).

Таблица 3

Состав вещества внутренних поверхностей тиглей. Данные выборочных EDS-спектров, в оксидах, % вес.
*Composition of the inner surface material of crucibles. Selected EDS spectra data,
 in oxides, wt. %*

Оспектр	Чемктр	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	SnO ₂	As ₂ O ₃	PbO	Bi ₂ O ₃	Ag	Au	—	S	—	La ₂ O ₃	CeO ₂	Nd	CO ₂	
12	6	0,80	0,58	6,69	11,29	5,89	1,50	1,00		3,07	1,58	31,37						0,42						35,81	
	7	0,53	6,73	11,48	4,58					3,59	2,29	34,96	0,38	1,36	4,14										29,96
11	0,80	1,23	11,39	42,20	2,68	3,13	3,21	0,82	9,62	3,27	6,41	0,06												15,18	
13	1	0,20	0,42	35,88	38,41	0,99	2,53	0,71	1,67	0,87														18,32	
9		0,38	31,66	23,87	9,30	1,29	0,64	0,70	1,03																
19		0,33	28,59	56,30	0,69	2,39	0,50	1,05	0,94										3,06	5,04	0,88	22,15			
15	4/2	0,38	1,06	11,94	30,87	5,70	2,07	4,69	0,50	5,75	1,01													9,21	
8/2	0,66	1,69	15,55	34,70	2,04	3,54	2,53	0,48	3,27															28,04	
16/1		1,34	12,30	26,23	1,10	2,30	0,31	0,23	23,82																
16	4/2	0,55	8,45	13,37	4,44	1,08	3,46	0,73	4,33										18,85	12,58	4,51			27,65	
3/2		0,60	10,81	19,06	8,47	1,25	11,42	0,87	7,22	1,58								3,38	0,39	3,05	0,36			32,22	
5/1			7,78	9,11	16,51	0,52	14,62	0,48		3,00								6,92	1,01	0,23				32,37	
17	2		1,01	8,63	14,42	0,83	2,59	0,52	,	3,97								10,21	12,18	1,66					
7	0,20	0,95	7,92	14,44	2,45	0,75	4,17	0,57	0,15	5,15	0,51	2,43					0,79	2,13						57,39	
15	0,23	0,98	9,48	19,13	3,41	0,96	2,86	0,50	4,22								8,17	8,00	0,19					41,87	

Примечания: 1 — Ag, Au, I, S, Nd не образуют устойчивых оксидных соединений, данные по ним приводятся в элементной форме; 2 — для объектов 15 и 16 в номерах спектров указаны участки съемки — 1 и 2.

Со следами сплавов можно соотнести оксиды металлов и элементы-металлы: в объекте 12 — CuO, SnO₂ и PbO, в объекте 15 — Ag и CuO, в объекте 16 — Ag, Au, CuO, в объекте 17 — Ag, Au, CuO, SnO₂. На электронных сканах участков EDS-съемки хорошо видны светлоокрашенные зоны концентрации металлов. Так, для объекта 12 можно отметить зону отчетливых округлых очертаний, размером 80 × 70 мкм: спектры, снятые в ее границах, показали совместное присутствие олова, меди, свинца и мышьяка (рис. 6.-1, 1a). В объекте 15 в светлой зоне неправильных очертаний диагностирована концентрация серебра (рис. 6.-2, 2a). В объекте 16 концентрация серебра и золота также связана со светлой зоной (рис. 6.-3, 3a). К компонентам керамической массы относятся SiO₂ и Al₂O₃ как базовые составляющие любой глины. MgO, Na₂O, K₂O, CaO, TiO₂ также присутствуют во многих сортах глинистого сырья и соответственно в составе керамики (Rice, 1987, р. 40–43, 390). Оксид железа Fe₂O₃ может быть связан, как отмечено выше, с веществом сплавов в виде примеси к рудам и/или с составом керамической массы.

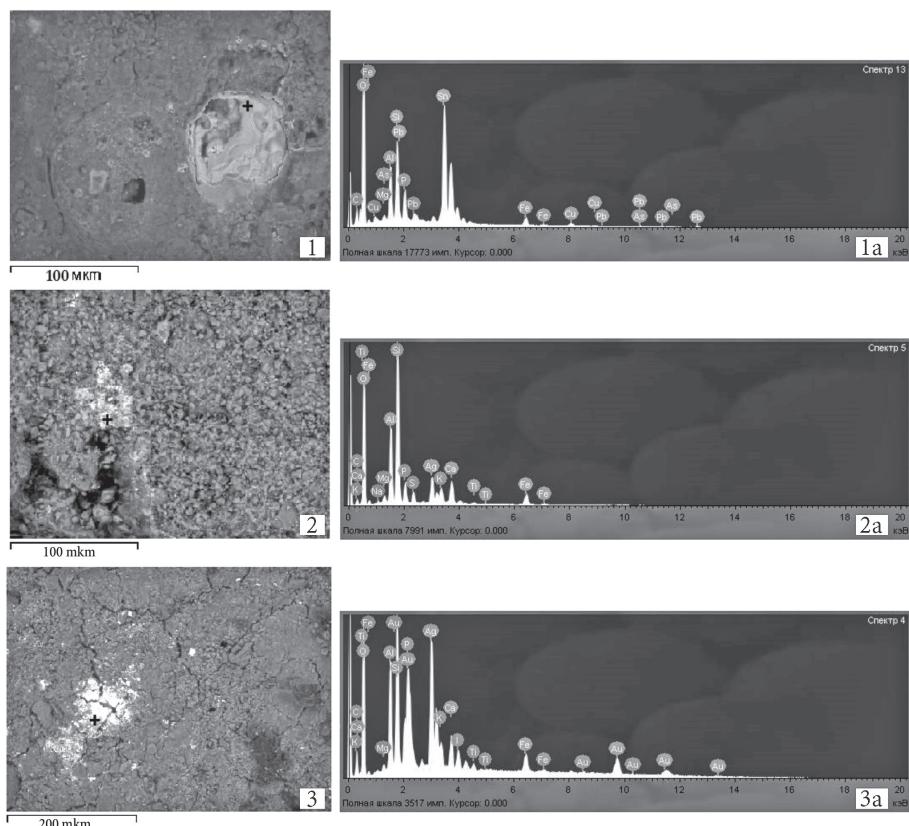


Рис. 6. Городище Кокшаровка-1. Электронные сканы и графики EDS-спектров внутренних поверхностей тиглей: 1, 1а — объект 12; 2, 2а — объект 15, участок 2; 3 — объект 16, участок 2. + точка снятия EDS-спектра

Fig. 6. The Koksharovka-1 settlement. Electron micrographs and EDS-spectra graphics of crucibles' inner surfaces: 1, 1a — object 12; 2 — object 15, site 2; 3 — object 16, site 2. + EDS-spectrum point

Интересной особенностью объектов 16 и 17 со следами золота и серебра является присутствие йода (I), обнаруженного в элементном составе большинства EDS-спектров. Максимальное содержание йода в объектах 16 и 17 составляет 22,29% и 14,53%, соответственно.

Объект 13 показал особый состав вещества на внутренней поверхности, покрытой тонким слоем глинистой субстанции белого цвета (рис. 4.-13; 5.-7). В EDS-спектрах отмечены высокие значения Al_2O_3 , до 35,88%, низкие значения Fe_2O_3 , менее 1,5%, и низкие суммарные значения окислов щелочных и щелочноземельных металлов Na_2O , MgO , K_2O и CaO , менее 4,0%. Эти окислы играют в алюмосиликатных массах роль флюсов. Данные характеристики в целом соответствуют слабожелезистым светло-жгущимся глинам с тенденцией к тугоплавкости (Sahlen, 2013; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018). Следует отметить присутствие редкоземельных элементов ряда лантаноидов La, Ce, Nd, характерных для тугоплавкого и огнеупорного сырья (Liu Q. et al., 2020).

Исследование внешних поверхностей показало разные по характеру составы (табл. 4).

Таблица 4

*Состав вещества внешних поверхностей тиглей.
Данные выборочных EDS спектров, в оксидах, % вес.*

Tab. 4

*Composition of the outer surface material of crucibles.
Selected EDS spectra data, in oxides, wt. %*

Объект	Спектр	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO	SnO_2	S	CO_2
12	3	2,82	3,75	10,54	47,57	1,24	5,53	9,46	0,43	0,22	2,99				15,45
	7	2,22	2,33	12,30	50,81	0,94	8,28	6,40	0,28		2,70				13,74
	11	2,51	1,45	12,26	49,03	0,41	7,45	4,06			1,39				21,44
14	3	0,42	1,10	14,83	35,71	2,61	1,82	0,59	0,57		5,99				36,36
	10	0,40	0,73	8,84	21,53	1,19	1,06	1,06	16,68	1,59	15,40				32,58
	8	0,50	1,30	14,64	31,86	3,44	2,83	1,86	1,12		11,66	0,33			30,46
13	3	2,98	1,77	9,96	42,82	0,41	6,69	3,23	1,07		16,38				14,69
	6	3,01	1,92	11,26	41,90		3,83	2,35	0,77		6,05				28,91
	10	2,83	2,02	11,58	40,90	0,48	3,45	1,93	0,70		8,26				27,85
15	2	0,71	1,68	18,90	38,31	1,79	2,87	1,05	0,67		6,72				27,30
	5	0,74	2,54	13,74	33,54	1,99	1,81	1,74	0,43		6,53				36,94
	9	0,65	1,72	14,13	38,02	1,40	2,25	0,78	0,63		5,33				35,09
16	6	1,32	1,31	7,52	59,53	0,78	4,80	4,51	0,88		6,10	0,65			12,60
	7	1,60	2,11	9,64	37,03	0,62	6,80	1,93	1,40		14,62				24,25
	19	3,07	1,63	4,89	58,87	0,44	4,94	4,10	0,85		6,35	0,83	0,17		13,86
17	1	1,89	1,13	5,73	52,73		4,31	1,83	10,77		1,84				19,77
	5	1,85	3,02	9,90	46,68	0,92	4,38	6,65	0,90	0,48	11,28				13,94
	11	1,94	2,44	9,94	47,36	0,55	5,94	5,35	0,82	0,44	8,26				16,96
18	4	0,85	0,63	32,61	41,56	0,48	2,58	0,49	1,52		1,66				17,62
	12	0,66	1,74	35,03	32,53	0,69	1,71	0,39	1,28		1,93				24,04
19	4	0,50	1,47	31,48	35,78	1,58	4,10	0,41	0,85		1,86				21,97
	9	0,57	1,31	26,05	38,45	0,94	5,45	0,45	0,52		1,00				25,26

В веществе черных покрытий глазурного типа выявлено минимальное присутствие вероятных следов сплавов. В единичных EDS-спектрах объектов 14 и 16 зарегистрирован CuO в низких концентрациях. В качестве ведущих компонентов на объектах 12–17 диагностированы SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃. При этом для всех объектов, исследованных с обеих сторон (12, 13, 16, 17), наблюдается тенденция к повышенному содержанию SiO₂ в наружном покрытии по сравнению с внутренними поверхностями. Для объектов 12, 13, 15, 16, 17 отмечены достаточно высокие суммарные значения MgO, Na₂O, K₂O, CaO, до 10–15%. Значительные концентрации SiO₂ и флюсующих окислов характерны для составов легкоплавких глазурей, не содержащих свинца. Темная окраска от коричневого до черного цветов может быть обусловлена присутствием оксидов железа (Rice, 1987, p. 99, 151, 338).

У объектов 18 и 19 EDS-анализ внешней поверхности, соответствующей керамической массе светлого цвета, показал высокие значения Al₂O₃, в отдельных спектрах до 35%, в сочетании с достаточно низкими значениями Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O (табл. 4). Эти признаки могут указывать на тугоплавкое глинистое сырье.

Обсуждение

Принимая во внимание фрагментарный характер материалов исследованной коллекции, суждения по морфологии тиглей из городища Кокшаровка-1 мы определяем как ориентировочные. Предположительно в качестве ведущей формы, отмеченной для большинства целых и частично целых тиглей, можно выделить емкость с относительно глубоким резервуаром за счет заметного преобладания высоты над максимальным диаметром, с утолщенным дном конического контура. По мнению исследователей древней технической керамики, подобная форма является результатом эволюции тиглей как контейнеров для плавки металлов. Емкость с глубоким резервуаром предполагала нагрев снизу и с боков, с более равномерным и постепенным распределением теплового потока по сравнению с мелкой широкой емкостью. Есть мнение, что тигли с заостренным или скругленным дном, снижающим возможность термического шока, были удобны для помещения их в слой раскаленных углей (Bayley, Rehren, 2007).

Особенностью серии тиглей (объекты 2, 5, 6, 7, 11) является выделенный в устьевой части носик-слив, хотя по имеющимся материалам нельзя уверенно определять этот признак как обязательный для всех изделий с глубоким резервуаром и коническим дном. По данным публикаций, тигли с глубоким резервуаром, часто имеющие функциональный носик-слив, известны уже в античности и обычны для эпохи средневековья и постсредневекового времени в разных районах мира (König, Serneels, 2013; Персов, Сарачева, Солдатенкова, 2016; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018; Руденко, 2020; Orfanou et al., 2021).

Исследованная коллекция не показывает морфологического единства. Наряду с изделиями, имеющими глубокий резервуар и конусовидное дно, в ней есть и экземпляр плоскодонного приземистого тигля в виде овальной чаши (объект 1). Археологические контексты, связанные с процессами металлообработки, нередко дают свидетельства существования в определенных хронологических и культурных рамках керамических тиглей разных морфологических типов и вариаций. Это может объяснять

ся спецификой конкретных технологических задач, особенностями работы разных мастеров и мастерских, сменой предпочтений у разных поколений литьщиков и другими причинами (Bayley, Rehren, 2007; Eniosova, Rehren, 2012; Персов, Сарачева, Солдатенкова, 2016; Руденко, 2020).

Для серии изделий были определены размерные параметры высоты и объема. Однако фрагментарный характер коллекции не позволяет интерпретировать общие рамки высоты в пределах 4,7–7,7 см и объема в пределах 20–65 мл как устойчивые стандарты. На городище могли быть также известны тигли меньшего или, наоборот, большего размера. Керамические тигли для плавки цветных и благородных металлов из памятников средневековья и нового времени показывают заметное варьирование как по высоте, от 3,0 см до 10 см и более, так и по объему, от маленьких, менее 20 мл, до крупных, 100–150 мл и более (Sahlen, 2016; Персов, Сарачева, Солдатенкова, 2016; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018; Руденко, 2020; Chazhengina, Summanen, Svetov, 2021; Orfanou et al., 2021).

Выявлены признаки и характеристики, свидетельствующие о целенаправленных приемах изготовления тиглей в соответствии с их функциональным назначением. Керамический череп в тех случаях, когда он не науглерожен, имеет светлый цвет, который после обжига в окислительной среде приобретают слабожелезистые глины с тенденцией к тугоплавкости. Эта особенность отличает тигли от других керамических артефактов, найденных на Кокшаровке-1. Так, сосуды, обожженные в окислительном режиме, имеют яркую окраску — оранжевую, красноватую и др. (Клюев и др., 2012, с. 135–146).

Состав светлой керамической массы, который удалось определить в трех случаях (объекты 11, 18, 19), показал высокие значения Al_2O_3 в сочетании с пониженными значениями Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , что соответствует глинам с тенденцией к тугоплавкости. По археологическим данным подбор глин, химический состав которых обеспечивал устойчивость к высоким температурам, практиковался для изготовления тиглей в эпохи античности и средневековья (Bayley, Rehren, 2007; Eniosova, Rehren, 2012; Sahlen, 2013; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018; Gardner et al., 2020). Для более раннего времени, бронзового и железного века, исследователи отмечают случаи изготовления тиглей из обычных глин, не обладающих особыми физико-химическими характеристиками (Sahlen, 2013).

Присутствие в составе керамической массы большинства исследованных тиглей зерен кварца со следами дробления носит, как представляется, неслучайный характер. Прием введения песчаных добавок, и прежде всего кварца, в формовочное тесто тиглей был известен уже в бронзовом веке и широко распространен в античности и средневековье в разных районах мира. Исследователи связывают добавку кварца с технологической задачей повышения термостойкости керамических тиглей (Masioli et al., 2006; Bayley, Rehren, 2007; Rehren et al., 2013). Есть примеры сочетания в составе формовочной массы тиглей тугоплавкой глины и примеси песка или шамота (Martinton-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018).

Наши наблюдения о наличии покрытий на внешних и внутренних поверхностях тиглей из Кокшаровки-1 сопоставимы с данными современных исследований. Во-первых, это касается покрытий из легкоплавкой ожелезненной глины на объектах 2, 3, 6 с признаками

воздействия высоких температур. Прием нанесения на внешнюю поверхность тиглей составов на основе легкоплавких глин был известен в бронзовом веке, античности и средневековье. Это могли быть покрытия типа обычной обмазки или «футляры» значительной толщины. Покрытие из легкоплавких глин, в которых под действием высоких температур быстро развивалась фаза остекловывания (витрификация), выполняло ряд технологических функций: способствовало более равномерному росту температуры внутри основного контейнера в процессе плавки, защищало от термического шока и от попадания из топлива золистых загрязнений, действующих как флюсы, увеличивало теплоемкость тигля (Masioli et al., 2006; Bayley, Rehren, 2007; König, Serneels, 2013; Gardner et al., 2020).

Особую группу образуют внешние покрытия черного цвета, имеющие более или менее выраженные признаки глазури. По результатам рXRF и SEM-EDS исследований их состав соответствует бессынцовой глазури, роль флюсов в которой играет совокупность окислов железа, щелочных и щелочноземельных металлов. Правомерен вопрос — результат ли это преднамеренного глазурования или случайный эффект в процессе функционирования тиглей?

Известны примеры образования слоя глазури вследствие физико-химических реакций керамического материала тиглей под воздействием высоких температур и возможных контактов с веществом металлов. Сформировавшийся глазурный слой показывает широкие цветовые вариации от светлых оттенков до темных с преобладанием желто-зеленых тонов, неравномерную толщину, структурную связку с керамическим черепом (Veronesi, Rehren, Martinón-Torres, 2021; Klein et al., 2023). Рассматриваемые покрытия на тиглях из Кокшаровки-1 отличают такие признаки, как равномерная окраска в черных тонах и четкая структурная дифференция от керамического черепа. Даже в тех случаях, когда глазурь выглядит деформированной, она фиксируется в виде отдельного слоя на керамической поверхности. По своим внешним признакам покрытия глазурного типа отличны от проявления эффекта остекловывания (самоглазуривания), отмеченного выше для некоторых тиглей. В целом есть основания интерпретировать черные покрытия на внешних поверхностях как результат целенаправленного глазурования тиглей. Глазурь, в микроструктуре которой присутствует стекловидная фаза, могла выполнять те же функции, что и отмеченные выше глинистые покрытия.

Представляет интерес прием нанесения внутреннего покрытия из тугоплавкой глины на фрагменте тигля с черной глазурью снаружи (объект 13). Единичный случай не позволяет пока дать определенное заключение. Можно предположить, что покрытие было нанесено с целью дополнительной защиты керамической емкости от температурного воздействия изнутри. В целом, судя по литературе, обмазка тиглей изнутри специальными составами с протекторной функцией встречается достаточно редко. Например, подобный прием отмечен для керамических тиглей из отдельных памятников античной эпохи на территории Франции. Но в этом случае внутренние покрытия были аналогичны внешним покрытиям из легкоплавких глин (König, Serneels, 2013).

По результатам анализов рXRF и SEM-EDS, следы металлов, для плавки которых предназначались тигли, представлены главным образом на внутренних поверхностях емкостей. Во всех случаях они образуют общий с веществом керамической массы композитный состав. Согласно данным исследований, именно внутренние поверхности

тиглей с признаками ошлакования и металлизации наиболее информативны для диагностики следов сплавов. Однако сложный состав вещества поверхности позволяет делать в первую очередь качественную оценку предполагаемых следов сплавов. Количественные показатели имеют относительное значение. Наибольшая точность определений возможна только в случаях анализа сохранившихся капель или выплесков чистого металла (Dungworth, 2000; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018).

Согласно результатам рXRF и SEM-EDS исследований, по присутствию основных и второстепенных элементов вещества на внутренних поверхностях можно выделить следы разных сплавов. Предположительно, сплавы на основе меди диагностированы для объекта 2 и группы объектов 3, 9, 12: Cu–Sn и Cu–Sn–Pb соответственно. Эти типы сплавов характерны для средневековых дальневосточных бронз (Конькова, 1989, с. 53–83; Гельман, Кодзима, 2013).

Следы сплава на основе серебра определены для объектов 4 и 15. В обоих случаях присутствует медь в небольшом количестве, а в объекте 4 есть также олово. Совместное присутствие золота и серебра в сочетании с некоторым содержанием меди отмечено для объектов 16 и 17. В этих объектах взаимосвязь Au и Ag на уровне микротекстуры вещества прослеживается по данным SEM-EDS (рис. 4.-2, 3).

Эти результаты можно соотнести с проведенным ранее методом рXRF исследованием декоративного металла из ансамбля, найденного в соседнем с городищем погребальном кургане Кокшаровка-8. Анализ одного бронзового изделия показал почти 100% меди. Анализ трех серебряных изделий показал в качестве постоянных элементов Ag до 92,89% и Cu до 7,12%. В двух изделиях также отмечены Sn до 2,82% и Pb до 1,90%. В химическом составе золотой фольги основным элементом является Au, до 80,70%, также присутствуют Ag до 19,08% и Cu менее 1,0%. По мнению исследователей, медные, серебряные и золотые изделия из кургана были не импортными, но изготовленными из местного сырья. В частности, для золотых изделий предполагаются россыпные месторождения, хорошо известные на территории Приморья (Попов и др., 2015). Известно, что в природном россыпном золоте часто присутствует примесь серебра, количественное содержание которой может заметно варьировать (Зайков и др., 2016, с. 42–54; Martinon-Torres, Veronesi, Guerrero Arenas, 2018). Использовались ли тигли из Кокшаровки-1 для плавки золота, добытого в россыпях, или для приготовления сплава из золота и серебра? Этот вопрос может быть поставлен для дальнейших исследований.

Полученные результаты содержат очень ограниченную информацию о связи между морфологией тиглей и составом сплавов. Можно лишь отметить, что тигли с глубоким конусовидным резервуаром и узким дном объемом 20–25 мл использовались как для приготовления сплавов на основе меди (объект 3), так и для работы с благородными металлами, в частности с серебром (объект 4). Вместе с тем диагностированные для объекта 17 следы золота и серебра в сочетании со следами олова и меди указывают на возможность использования одного тигля для плавки разных металлов. Отметим, что обнаружение на территории предполагаемой литейной мастерской объектов 4 и 12 со следами плавки серебра и меди указывает на вероятность работы здесь с цветными и благородными металлами. Объекты 15 и 17, связанные с обработкой серебра и золота, найдены в относительной близости к остаткам мастерской.

Имеющиеся сегодня версии о местном характере металлообрабатывающего производства в VII–XI вв. на юге Дальнего Востока России строятся в первую очередь на фактах наличия на ряде памятников остатков бронзолитейных мастерских и специального инвентаря. Местное производство бронзовых изделий предполагается для Новогордеевского селища и соседнего Новогордеевского городища, городищ Николаевское-II, Горбатка и Марьяновское в Приморье, поселения Осиновое Озеро в Приамурье (Семениченко, 1981, с. 13–15; Конькова, 1989, с. 71–71; Гельман, Кодзима, 2013; Нестеров, Савин, Колмогоров, 2016).

Рассмотренные материалы в целом добавляют принципиально новую информацию об уровне знаний и навыков дальневосточных мастеров-литейщиков в эпоху средневековья. Во-первых, комплекс морфологических и технологических характеристик тиглей из Кокшаровки-1 отражает целенаправленный, избирательный подход к изготовлению керамических емкостей, предназначенных для особой функции — высокотемпературной плавки металлов. Во-вторых, впервые получены свидетельства производившихся на одном городище и, возможно, в одной мастерской операций по термообработке не только меди, но также серебра и золота. Эти находки позволяют считать вопрос использования благородных металлов в литейном деле на Дальнем Востоке России в эпоху средневековья перспективным для дальнейших исследований. Здесь можно заметить, что на соседнем с Приморьем полуострове Корея металлообработка серебра и золота активно развивалась с первых веков н.э. На средневековых археологических памятниках найдены не только готовые изделия, но и свидетельства их производства (Kim, Lee, 2006, р. 37–55; Lee, 2019).

В заключение коротко остановимся на выявленном с помощью EDS присутствии I (йода) в химическом составе проб с содержанием золота. На текущий момент мы не располагаем основаниями для однозначной интерпретации этого наблюдения. Однако заметим, что обнаружение йода только в пробах с золотом не позволяет объяснять присутствие этого элемента фактором случайности. В этой связи представляют интерес современные практические исследования в области биоорганической химии, доказавшие возможность использования йода из морских микроорганизмов для эффективной очистки природного золота (Khaing San, Sugai, Sasaki, 2019). Предварительная гипотеза, требующая дальнейшей проверки, состоит в том, что дальневосточные мастера золотых дел в эпоху средневековья были знакомы с приемами очистки сырья с помощью йодосодержащих органических веществ.

Неразрушающие методы рXRF и SEM-EDS, использованные в исследовании керамических тиглей из Кокшаровки-1, показали свою эффективность. Однако их аналитические возможности ограничены получением информации о химическом составе вещества. Неменьший интерес представляют минерально-фазовые характеристики керамической массы и следов сплавов, которые могут быть определены неразрушающими методами рентгеновской дифракции, электронно-зондового микроанализа (EPMA), спектроскопии Raman (König, Serneels, 2013; Chazhengina, Summanen, Svetov, 2021; Orfanou et al., 2021). Включение этих методов в дальнейшее изучение древней технической керамики юга Дальнего Востока представляется перспективным.

Заключение

Основным итогом исследований, выполненных на базе междисциплинарного подхода, явилось получение новой информации по истории древней металлообработки на юге Дальнего Востока России. Изучение керамических тиглей из городища Кокшаровка-1 в соответствии с поставленными задачами выявило свидетельства достаточно высокого технико-технологического уровня металлообрабатывающего производства. Тигли показывают признаки изготовления их как особой категории технической керамики, предназначено для работы с металлами в условиях высоких температур. Определение химического состава следов осуществлявшейся в тиглях термообработки металлов позволило диагностировать изготовление сплавов на основе меди, серебра и золота. Это указывает на существование на территории Приморья в эпоху средневековья, в вероятных хронологических рамках конца VII–XI в., технологии обработки не только цветных, но и благородных металлов.

Представленный в статье алгоритм исследования с перспективой расширения спектра аналитических методов может быть применен к коллекциям керамических тиглей из других средневековых памятников юга Дальнего Востока России. Это позволит вывести данную категорию археологических источников на новый информационный уровень и обеспечит основу для проведения сравнительного анализа материалов в пространственно-временном контексте.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Алаева И. П., Рассомахин М. А., Медведева П. С., Анкушев М. Н. Свидетельства металлургического производства в коллекциях поселений бронзового века Южно-Го Зауралья // Геоархеология и археологическая минералогия — 2017. Миасс: Южно-Уральский гос. ун-т, 2017. С. 139–146.

Гельман Е. И., Кодзима Ё. Производство бронзы бохайским населением в долине р. Илистая // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. 2013. № 5. С. 49–57.

Жущиховская И. С., Буравлев И. Ю. Керамические литейные формы из памятника Круглая Долина в Приморье: опыт междисциплинарного исследования // Вестник Томского государственного университета. 2021. № 470. С. 135–146. <https://doi.org/10.17223/15617793/470/16>

Зайков В. В., Таиров А. Д., Зайкова Е. В., Юминов А. М., Котляров В. А. Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии. Челябинск: Каменный пояс, 2016. 307 с.

Клюев Н. А., Артемова А. В., Бессонова Е. А., Бондаренко О. В., Гладченков А. А., Гельман Е. И., Гридасова И. В., Дорофеева Н. А., Емельянова Т. А., Залищак В. Б., Зверев С. А., Ивлиев А. Л., Коптев А. А., Малков С. С., Морева О. Л., Николаева Н. А., Сергушева Е. А., Слепцов И. Ю., Сокарев А. Н., Якупов М. А., Якупова А. А. Городище Кокшаровка-1 в Приморье: итоги раскопок российско-корейской экспедиции в 2008–2011 годах. Ч. 1. Тэджон: Ин-т истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН; Гос. исслед. ин-т культурного наследия Республики Корея, 2012. 320 с.

Клюев Н. А., Гридасова И. В. Свидетельства металлургического производства и металлообработки на городище Кокшаровка-1 в Приморье // Мультидисциплинарные исследования в археологии. Выпуск 3: Ремесла и промыслы. Владивосток: ИИАЭ ДВО РАН, 2017. С. 67–75.

Клюев Н. А., Чи Б., Бессонова Е. А., Гельман Е. И., Гридасова И. В., Ивлиев А. Л., Ким В., Коптев А. А., Ли М., Лим Н., Морева О. Л., Ноздрачев Е. А., Попов В. К., Саранцева С. Е., Сергушева Е. А., Слепцов И. Ю., Стоякин М. А., Ю Ы., Юн Х., Якупов М. А. Археологические памятники Кокшаровка-1 и Кокшаровка-8 в Приморье: итоги исследований российско-корейской экспедиции в 2012–2014 годах. Тэджон: Ин-т истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН; Гос. исслед. ин-т культурного наследия Республики Корея, 2015. 220 с.

Конькова Л. В. Бронзолитейное производство на юге Дальнего Востока СССР. Рубеж II–I тыс. до н.э.–XIII век н.э. Л.: Наука, 1989. 123 с.

Леньков В. Д., Семениченко Л. Е., Хорев В. А. Следы металлургического производства на раннесредневековом поселении в долине р. Арсеньевка // Вопросы истории и культуры народов Дальнего Востока. Вып. 2. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 96–103.

Молодин В. И., Дураков И. А., Кобелева Л. С. Динамика бронзолитейного производства в Обь-Иртышской лесостепи в бронзовом веке // Российская археология. 2023. № 4. С. 36–49.

Нестеров С. П., Савин А. Н., Колмогоров Ю. П. Раннесредневековый предметный комплекс ювелира-литейщика из Западного Приамурья // Археология, этнография и антропология Евразии. 2016. Т. 44, № 2. С. 81–90. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2016.44.2.081-090>

Персов Н. Е., Сарачева Т. Г., Солдатенкова В. В. Тигли из раскопок квартала ювелиров в Твери // Исторический журнал: научные исследования. 2016. № 6. С. 750–759. <https://doi.org/10.7256/2222-1972.2016.6.20792>

Попов В. К., Клюев Н. А., Ноздрачев Е. А., Слепцов И. Ю. Химический состав изделий из золота, серебра и меди в кургане Кокшаровка-8 (Приморье, X в.) и их возможные источники // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2015. Т. 12. С. 37–46.

Руденко К. А. Тигли VI–VII вв.н.э. именьковской культуры // Теория и практика археологических исследований. 2020. Т. 31, № 3. С. 65–81. [https://doi.org/10.14258/trai\(2020\)3\(31\).-06](https://doi.org/10.14258/trai(2020)3(31).-06)

Семениченко Л. Е. Материальная культура населения Приморья в период государства Бохай (VII–X вв.): автореф. дис. ... канд. ист. наук. Новосибирск, 1981. 24 с.

Bayley J., Rehren T. Towards a Functional and Typological Classification of Crucibles // Metals and Mines Studies in Archaeometallurgy. London: Archetype Books, 2007. P. 46–55.

Chazhengina S. Y., Summanen I. M., Svetov S. A. Rare Crucible from Medieval Karelian Hillfort: Mineralogical Fingerprints of Functional Use // Minerals. 2021. Vol. 11. P. 648. <https://doi.org/10.3390/min11060648>

Dungworth D. A. Note on the Analysis of Crucibles and Moulds // Historical Metallurgy. 2000. Vol. 34, No. 2. P. 83–86.

Gardner C., Vekinis G., Müller N. S., Freestone I. High Temperature Performance of Two-layered Ceramics and the Implications for Roman Crucibles // *Archaeometry*. 2020. Vol. 62. Iss. 5. P. 935–951.

Eniosova N., Rehren Th. Metal Melting Crucibles from Medieval Novgorod // *The Archaeology of Medieval Novgorod in Context: Studies in Centre/Periphery Relations*. Oxford: Oxbow Books, 2012. Pp. 210–224.

Khaing San Y., Sugai Y., Sasaki K. Gold Dissolution from Ore with Iodide-Oxidising Bacteria // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 4178. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41004-8>

Kim Ch.M., Lee B. Kh. Artifacts and Workshops in Baekje. Buyeo: E-Maek press, 2006. 167 p.

Klein S., Fischer-Lechner S., Berthold C., Sessing J., Kirnbauer T., Zeiler M., Essling-Wintzer W. Lead-Glazed Ceramic Fragments: Intentional Glazing or Metallurgical Accident? // *Metallography, Microstructure, and Analysis*. 2023. Vol. 12. P. 246–261. <https://doi.org/10.1007/s13632-023-00944-4>

König D., Serneels V. Roman Double-layered Crucibles from Autun/France: a Petrological and Geochemical Approach // *Journal of Archaeological Science*. 2013. Vol. 40. Iss. 1. P. 156–165.

Lee H. Silla Metalwork: Discoveries from Gyeongju // *Journal of Korean Art & Archaeology*. 2019. Vol. 13. P. 67–81. https://doi.org/10.23158/jcaa.2019.v13_05

Liu Q., Wang F., Qiu X., An D., He Zh., Zgang Q., Xie Zh. Effects of La and Ce on Microstructure and Properties of SiC/Al Composites // *Ceramics International*. 2020. Vol. 46. Iss. 1. P. 1232–1235.

Martinon-Torres M., Veronesi U., Guerrero Arenas J. L. Goldsmithing Traditions and Innovations in Colonial Colombia: an Analytical Study of Crucibles from Santa Cruz de Mompox // *Post-Medieval Archaeology*. 2018. Vol. 52. Iss. 2. P. 147–169. <https://doi.org/10.1080/00794236.2018.1515384>

Masioli E., Artioli D., Bianchetti P., Di Pilato S., Guida G., Salvatori S., Sidoti G., Vidale M. Copper-melting Crucibles from the Surface of Altyn-Depe, Turkmenistan (ca 2500–2000 BC) // *Paléorient*. 2006. Vol. 32. Iss. 2. P. 157–174. <https://doi.org/10.3406/paleo.2006.5195>

Orfanou V., Birch T., Sindbæk S. M., Feveile C., Barfod G. H., Lesher C. E. On Diverse Arts: Crucible Metallurgy and the Polymetallic Cycle at Scandinavia's Earliest Viking Town, Ribe (8th-9th c. CE), Denmark // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2021. Vol. 13. P. 81. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01308-1>

Pettersson P. E. The Quality of the Craft // *The EXARC Journal*. 2013. Iss. 1. P. 10098.

Rehren T., Asderaki E., Skafida E., Karnava A. Bronze Age Crucibles from the Kastro-Palaia Settlement, Volos, Greece — a Contradiction of Form and Function? // *Historical Metallurgy*. 2013. Vol. 47. Iss. 2. P. 111–124.

Rice P. M. *Pottery Analysis: A Sourcebook*. Chicago: Chicago Univ. press, 1987. 559 p.

Sahlén D. Selected with Care? — the Technology of Crucibles in Late Prehistoric Scotland. A Petrographic and Chemical Assessment // *Journal of Archaeological Science*. 2013. Vol. 40. P. 4207–4221. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.05.028>

Sahlén D. Ceramic Evidence from Non-ferrous Metallurgy in the Mälaren Valley during the Viking Age // *Prehistoric Pottery across the Baltic*. Oxford: Archaeopress, 2016. P. 75–80.

Veronesi U., Rehren Th., Martinón-Torres M. The Philosophers and the Crucibles. New Data on the 17th-18th Century Remains from the Old Ashmolean Laboratory, Oxford // Journal of Archaeological Science: Reports. 2021. Vol. 35. P. 102684.

Wang C., Gao Z., Wang Qin, Gao J., Wang Quan. The Diversity of Bronze Production Technologies during the Eastern Zhou Dynasty Revealed by Analysis of Slags from the Badian and Xincun Sites in Central China // Heritage Science. 2024. Vol. 12. P. 333. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01449-1>

REFERENCES

Alaeva I. P., Rassomakhin M. A., Medvedeva P. S., Ankushev M. N. Evidence of Metallurgical Production in the Collections of the Bronze Age Settlements of the Southern Trans-Urals. In: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy — 2017. Miass: Yuzhno-Ural'skij gos. un-t, 2017. Pp. 139–146. (In Russ.)

Gelman E. I., Kojima Yo. Production of Bronze by the Bohai Population in the Ilistaya River Valley. *Gumanitarnye issledovaniya v Vostochnoj Sibiri i na Dal'nem Vostoke = Humanites Research in the Russian Far East*. 2013;5:49–57. (In Russ.)

Zhushchikhovskaya I. S., Buravlev I. Yu. Ceramic Casting Molds from the Kruglaya Dolina Site in the Primorye Region: A Case of an Interdisciplinary Study. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*. 2021;470:135–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/15617793/470/16>

Zaikov V. V., Tairov A. D., Zaikova E. V., Yuminov A. M., Koltlyarov V. A. Noble Metals in the Ores and Ancient Gold Artefacts of Central Eurasia. Chelyabinsk: Kamennyj pojas, 2016. 307 p. (In Russ.)

Klyuev N. A., Artemova A. V., Bessonova E. A., Bondarenko O. V., Gladchenkov A. A., Gelman E. I., Gridasova I. V., Dorofeeva N. A., Emelyanova T. A., Zalischak V. B., Zverev S. A., Ivliev A. L., Koptev A. A., Malkov S. S., Moreva O. L., Nikolaeva N. A., Sergusheva E. A., Sleptsov I. Yu., Sokarev A. N., Yakupov M. A., Yakupova A. A. The Walled Town of Koksharovka-1 in Primorye: Results of Excavations of the Russian-Korean Expedition in 2008–2011. Part 1. Daejeon: In-t istorii, arheologii i etnografii narodov Dal'nego Vostoka DVO RAN; Gos. issled. in-t kul'turnogo naslediya Respubliki Koreya, 2012. 320 p. (In Russ.)

Klyuev N. A., Gridasova I. V. Evidence of Metallurgical Production and Metalworking at the Koksharovka-1 Walled Town in Primorye. In: Multidisciplinary Research in Archaeology. Issue 3: Crafts and Trades. Vladivostok: IIAE DVO RAN, 2017. Pp. 67–75. (In Russ.)

Klyuev N. A., Chi B., Bessonova E. A., Gelman E. I., Gridasova I. V., Ivliev A. L., Kim V., Koptev A. A., Lee M., Lim N., Moreva O. L., Nozdrachev E. A., Popov V. K., Sarantseva S. E., Sergusheva E. A., Sleptsov I. Yu., Stoyakin M. A., Yu Y., Yun H., Yakupov M. A. Archaeological Sites Koksharovka-1 and Koksharovka-8 in Primorye: Results of Research of the Russian-Korean expedition in 2012–2014. Daejeon: In-t istorii, arheologii i etnografii narodov Dal'nego Vostoka DVO RAN; Gos. issled. in-t kul'turnogo naslediya Respubliki Koreya, 2015. 220 p. (In Russ.)

Kon'kova L. V. Bronze Casting Production in the South of the USSR Far East. The Turn of the 2nd-1st Millennia BC — the 13th Century AD. Leningrad: Nauka. 123 p. (In Russ.)

Len'kov V.D., Semenichenko L. E., Khorev V. A. Traces of Metallurgical Production at an Early Medieval Settlement in the Valley of the Arsenyevka River. In: Questions of History and Culture of the Peoples of the Far East. Issue 2. Vladivostok: DVNC AN SSSR, 1974. Pp. 96–103. (In Russ.)

Molodin V. I., Durakov I. A., Kobeleva L. S. Dynamics of Bronze Casting Production in the Ob-Irtysh Forest-steppe in the Bronze Age. *Rossijskaya arheologiya = Russian Archaeology*. 2023;4:36–49. (In Russ.)

Nesterov S. P., Savin A. N., Kolmogorov Yu. P. Early Medieval Object Complex of a Jeweler-caster from Western Amur Region. *Arheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii = Archaeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia*. 2016;44(2):81–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2016.44.2.081-090>

Persov N. E., Saracheva T. G., Soldatenkova V. V. Crucibles from Excavations of the Jewelers' Quarter in Tver. *Istoricheskij zhurnal: nauchnye issledovaniya = Historical Journal: Scientific Research*. 2016;6:750–759. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2222-1972.2016.6.20792>

Popov V. K., Klyuev N. A., Nozdrachev E. A., Sleptsov I. Yu. Chemical Composition of Gold, Silver and Copper Items in the Koksharovka-8 Burial Mound (Primorye, 10th Century) and Their Possible Sources. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarheologiya. Etnologiya. Antropologiya = Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series*. 2015;12:37–46. (In Russ.)

Rudenko K. A. Crucibles of the 6th-7th Centuries AD of the Imenkovo Culture. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2020;31(3):65–81. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2020\)3\(31\).-06](https://doi.org/10.14258/tpai(2020)3(31).-06)

Semenichenko L. E. Material Culture of the Population of Primorye during the Period of the Bohai State (the 7th-10th Centuries): abstract. diss. ... cand. of Historical Sciences. Novosibirsk, 1981. 24 p. (In Russ.)

Bayley J., Rehren T. Towards a Functional and Typological Classification of Crucibles. In: Metals and Mines Studies in Archaeometallurgy. London: Archetype Books, 2007. P. 46–55.

Chazhengina S. Y., Summanen I. M., Svetov S. A. Rare Crucible from the Medieval Karelian Hillfort: Mineralogical Fingerprints of Functional Use. *Minerals*. 2021;11:648. <https://doi.org/10.3390/min11060648>

Dungworth D. A. Note on the Analysis of Crucibles and Moulds. *Historical Metallurgy*. 2000;34(2):83–86.

Gardner C., Vekinis G., Müller N. S., Freestone I. High Temperature Performance of Two-layered Ceramics and the Implications for Roman Crucibles. *Archaeometry*. 2020;62(5):935–951.

Eniosova N., Rehren Th. Metal Melting Crucibles from Medieval Novgorod. In: The Archaeology of Medieval Novgorod in Context: Studies in Centre/Periphery Relations. Oxford: Oxbow Books, 2012. Pp. 210–224.

Khaing San Y., Sugai Y., Sasaki K. Gold Dissolution from Ore with Iodide-Oxidising Bacteria. *Scientific Reports*. 2019;9:4178. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41004-8>

Kim Ch.M., Lee B. Kh. Artifacts and Workshops in Baekje. Buyeo: E-Maeck press, 2006. 167 p.

Klein S., Fischer-Lechner S., Berthold C., Sessing J., Kirnbauer T., Zeiler M., Essling-Wintzer W. Lead-Glazed Ceramic Fragments: Intentional Glazing or Metallurgical Accident?

Metallography, Microstructure, and Analysis. 2023;12:246–261. <https://doi.org/10.1007/s13632-023-00944-4>

König D., Serneels V. Roman Double-layered Crucibles from Autun/France: a Petrological and Geochemical Approach. *Journal of Archaeological Science.* 2013;40(1):156–165.

Lee H. Silla Metalwork: Discoveries from Gyeongju. *Journal of Korean Art & Archaeology.* 2019;13:67–81. https://doi.org/10.23158/jcaa.2019.v13_05

Liu Q., Wang F., Qiu X., An D., He Zh., Zgang Q., Xie Zh. Effects of La and Ce on Microstructure and Properties of SiC/Al Composites. *Ceramics International.* 2020;46(1):1232–1235.

Martinon-Torres M., Veronesi U., Guerrero Arenas J. L. Goldsmithing Traditions and Innovations in Colonial Colombia: an Analytical Study of Crucibles from Santa Cruz de Mompox. *Post-Medieval Archaeology.* 2018;52(2):147–169. <https://doi.org/10.1080/00794236.2018.1515384>

Masioli E., Artioli D., Bianchetti P., Di Pilato S., Guida G., Salvatori S., Sidoti G., Vidale M. Copper-Melting Crucibles from the Surface of Altyn-Depe, Turkmenistan (ca 2500–2000 BC). *Paléorient.* 2006;32(2):157–174. <https://doi.org/10.3406/paleo.2006.5195>

Orfanou V., Birch T., Sindbæk S. M., Feveile C., Barfod G. H., Lesher C. E. On Diverse Arts: Crucible Metallurgy and the Polymetallic Cycle at Scandinavia's Earliest Viking Town, Ribe (8th-9th c. CE), Denmark. *Archaeological and Anthropological Sciences.* 2021;13:81. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01308-1>

Pettersson P. E. The Quality of the Craft. *The EXARC Journal.* 2013;1:10098.

Rehren T., Asderaki E., Skafida E., Karnava A. Bronze Age Crucibles from the Kastro-Palaia Settlement, Volos, Greece — a Contradiction of Form and Function? *Historical Metallurgy.* 2013;47(2):111–124.

Rice P. M. Pottery Analysis: A Sourcebook. Chicago: Chicago Univ. press, 1987. 559 p.

Sahlén D. Selected with Care? — the Technology of Crucibles in Late Prehistoric Scotland. A Petrographic and Chemical Assessment. *Journal of Archaeological Science.* 2013;40:4207–4221. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.05.028>

Sahlén D. Ceramic Evidence from Non-ferrous Metallurgy in the Mälaren Valley during the Viking Age. In: Prehistoric Pottery across the Baltic. Oxford: Archaeopress, 2016. P. 75–80.

Veronesi U., Rehren Th., Martinón-Torres M. The Philosophers and the Crucibles. New Data on the 17th-18th Century Remains from the Old Ashmolean Laboratory, Oxford. *Journal of Archaeological Science: Reports.* 2021;35:102684.

Wang C., Gao Z., Wang Qin, Gao J., Wang Quan. The Diversity of Bronze Production Technologies during the Eastern Zhou Dynasty Revealed by Analysis of Slags from the Baidian and Xincun Sites in Central China. *Heritage Science.* 2024;12:333. <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01449-1>

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Жущиховская И. С.: концепция исследования, сбор источников/материалов, анализ материалов естественно-научными методами, написание текста, научное редактирование.

I. S. Zhushchikhovskaya: research conceptualization, research sources/materials collecting, analytical examination of research materials, article's text writing, scientific editing.

Клюев Н. А.: сбор источников/материалов, написание разделов текста, редактирование текста.

N. A. Klyuev: research sources/materials collecting, writing of article's sections, text editing.

Балагурова А. В.: сбор источников/материалов, анализ материалов естественно-научными методами, написание разделов текста.

A. V. Balagurova: research sources/materials collecting, analytical examination of research materials, writing of article's sections.

Конфликт интересов отсутствует / There is no conflict of interest

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Жущиховская Ирина Сергеевна, доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник музея археологии и этнографии Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия.

Irina S. Zhushchikhovskaya, Doctor of Historical Sciences, Leading Research Fellow, Museum of Archaeology and Ethnology, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

Клюев Николай Александрович, кандидат исторических наук, ведущий научный сотрудник сектора первобытной археологии Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия.

Nikolay A. Klyuev, PhD in History, Leading Research Fellow, Department of Prehistoric Archaeology, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

Балагурова Александра Вячеславовна, младший научный сотрудник музея археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток, Россия.

Aleksandra V. Balagurova, Junior Research Fellow, Museum of Archaeology and Ethnology, Institute of History, Archaeology and Ethnology of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

*Статья поступила в редакцию 21.08.2025;
одобрена после рецензирования 18.09.2025;*

принята к публикации 24.09.2025.

The article was submitted 21.08.2025;

approved after reviewing 18.09.2025;

accepted for publication 24.09.2025.