

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ У НАСЕЛЕНИЯ ЮЖНОГО УРАЛА
В ЭПОХУ РАННЕГО ЖЕЛЕЗА И СРЕДНЕВЕКОВЬЯ: МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ****Евгений Владимирович Русланов**

Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Уфа, Россия. E-mail: butleger@mail.ru

Станислав Вацлавович КрымскийИнститута проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН, Уфа, Россия**Антон Сергеевич Проценко**Историко-культурный музей-заповедник «Древняя Уфа», Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН, Уфа, Россия

Аннотация. Археометаллургическое направление в археологии определяется как междисциплинарная область, изучающая все аспекты, связанные с реконструкцией процессов производства и использования металлов человеческими коллективами. Являясь сложнейшей междисциплинарной дисциплиной, археометаллургия способна демонстрировать выразительные результаты при условии интеграции методов археологии, геохимии, материаловедения, минералогии, геофизики, физической химии и еще целого ряда дисциплин. Работы С.В. Рязанова (26.10.1963 – 15.07.2022) в этом направлении позволили выявить в Демско-Уршакском междуречье ряд крупных средневековых металлургических центров и железоплавильных печей и предположить их синхронность, реконструировать процесс добычи руды, изготовления чугуновых и металлических изделий, а также сделать вывод о том, что генезис черной металлургии на Южном Урале связан с расширением влияния булгар, в результате чего западная часть региона была включена в ареал распространения болгарских металлургических традиций. В последнее время постоянное приращение новой археологической информации, полученной в ходе раскопок поселенческих и погребальных памятников эпохи раннего железа и средневековья на территории Южного Урала, требует постановки новых исследовательских задач. Одной из них является возобновление исследований в области черной и цветной металлургии на междисциплинарном уровне, начатых С.В. Рязановым. В предлагаемой статье детально рассматриваются пять металлических изделий (фрагменты котлов, дужка, долото и зеркало), которые были проанализированы методами современной металлографии. Впервые выполнен анализ химического состава предметов и установлены особенности использованных сплавов. На основе привлеченных аналогий поставлен вопрос о способах производства чугуновой посуды на селище Ябалаклы-1 эпохи позднего средневековья, а также изделий из цветных металлов с памятников эпохи раннего железа, кроме того, применительно к черной металлургии намечены места добычи исходного сырья.

Ключевые слова: Южный Урал, металлургия, позднее средневековье, чияликская культура, селище, могильник, ранний железный век, металлографический анализ

Цитирование. *Русланов Е.В., Крымский С.В., Проценко А.С.* Новые данные по черной и цветной металлургии у населения Южного Урала в эпоху раннего железа и средневековья: металлографический анализ // Уфимский археологический вестник. 2024. Т. 24. № 1. С. 181–188. DOI: <https://doi.org/10.31833/uaav/2024.24.2.012>

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-78-10057 «Динамика культурного развития и освоения Южного Урала с древности и до вхождения в состав России (IV в. до н.э. – XVI в. н.э.): междисциплинарное археологическое исследование» и проведена на базе Центра коллективного пользования ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов».

**NEW DATA ON FERROUS AND NON-FERROUS METALLURGY AMONG THE POPULATION
OF THE SOUTHERN URALS IN THE EARLY IRON AGE AND THE MIDDLE AGES:
METALLOGRAPHIC ANALYSIS****Evgeny V. Ruslanov**

Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia. E-mail: butleger@mail.ru

Stanislav V. Krymskiy

Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Anton S. ProtsenkoRepublican Historical and Cultural Museum-Reserve "Ancient Ufa", Ufa Federal Research Center of the Russian
Academy of Sciences, Ufa, Russia

Abstract. The constant increase in new archaeological information obtained during excavations of settlement and funerary sites of the Early Iron Age and the Middle Ages in the Southern Urals requires the formulation of new research tasks. One of them is the resumption of research in the field of ferrous and non-ferrous metallurgy at the interdisciplinary level, started by S.V. Ryazanov. This article examines in detail six metal objects (two fragments and a bow from a boiler, a chisel, a mirror and an arrowhead), which were analyzed using modern metallography methods. For the first time compositional analysis of objects was performed and the features of the alloys used were established. It is shown that research products have differences in chemical composition, which is due to different purposes and production. Boiler wall samples 1 and 2 are hypereutectic cast iron, the boiler bow is made of high-carbon steel, and the bit is made of medium-carbon steel. The bronze mirror is made of tin bronze with a small nickel content. Based on the analogies involved, the question is raised about the methods of production of cast-iron utensils at the Yabalakly-1 settlement of the late Middle Ages, as well as products made of non-ferrous metals from the Early Iron Age sites, in addition, in relation to ferrous metallurgy, the places of extraction of raw materials are outlined. Comparison with previously obtained data allows us to conclude that the objects could have been made at the already identified narrow metallurgical complexes of the Yaruk type or even directly at it itself.

Keywords: Southern Urals, metallurgy, late Middle Ages, Chiyalik culture, settlement, burial ground, early Iron Age metallographic analysis

Citation. Ruslanov, E.V., Krymskiy, S.V., Protsenko, A.S. 2024, "New data on ferrous and non-ferrous metallurgy among the population of the Southern Urals in the Early Iron Age and the Middle Ages: metallographic analysis", *Ufimskij arkhеologicheskij vestnik*, vol. 24, no. 1, pp. 181–188. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31833/uav/2024.24.1.012>

Acknowledgements. This study was supported by the RSF grant № 23-78-10057 "Dynamics of cultural progress and development of the Southern Urals from the ancient times until it became part of Russia (IV century BC – XVI century AD): an interdisciplinary archaeological study" and carried out on the basis of the Center for Collective Use of the IMSP RAS "Structural and Physics-Mechanical research of materials".

Введение

В последние годы большое внимание учёные уделяют изучению средневековых археологических памятников Южного Урала [Кузьминых, 1983; Руденко, 2000; Перевошиков, 2002; Борзунов и др., 2023]. Усилиями археологов и историков накоплен и проанализирован обширный материал по черной металлургии [Рязанов, 1997; 2003; 2011]. При этом отнесение находок к конкретным культурам осуществлялось традиционными для археологии методами, а именно путем сравнения конструкции и художественных особенностей предметов. Однако изучение и реконструкция способов и технологии изготовления предметов представляется чрезвычайно важной научной задачей, поскольку постоянное совершенствование технологий и их взаимное заимствование составляют не меньший пласт развития материальной культуры народов, чем усложнение, например, уровня художественного замысла.

Таким образом, сложившаяся в археологии практика выявления конкретных культур зачастую связана с использованием в повседневной жизни населения типичных предметов быта, например, посуды (культуры линейно-ленточной керамики и шаровидных амфор) или каменных изделий (культура ладьевидных топоров) [Dardeniz, 2024]. В связи с этим актуальной научной задачей является широкое использование современных металлографических методов анализа химического состава и структуры металлических изделий, найденных при археологических раскопках [Wayman, 2000;

Stepanov et al., 2021; Dolfini, 2024; Daragan, Polin, Gleba, 2024]. Этот анализ позволит получить новые данные как о культурно-историческом и технологическом развитии, так и о взаимном влиянии различных культур и народов.

Значительный интерес в этом отношении представляет изучение средневековой металлургии, в связи с развитием на этом этапе металлургического производства ряда металлов и сплавов, основными из которых являются медь и бронза, а также, несомненно, чугун и сталь [Yuminov et al., 2013; Shishlina et al., 2020; Ankusheva et al., 2022].

Материалы и методы

Разработкой проблем, связанных с изучением черной и цветной металлургии на Южном Урале в эпоху раннего железа и средневековья было занято не одно поколение исследователей [Кузьминых, 1983; Руденко, 2000; Перевошиков, 2002; Семькин, 2015; Борзунов и др., 2023. С. 201–242].

Применительно к археологическим памятникам Южного Урала, плодотворную деятельность в этом направлении вел Сергей Владимирович Рязанов (26 октября 1963 г. – 15 июля 2022 г.), которым проведена большая работа по сбору и систематизации данных о производстве и добыче чугуна, а также получена представительная эталонная база шлифов [Рязанов, 1997; 2003. С. 244–257; 2011]. К сожалению, со смертью исследователя все работы в этом направлении практически свелись к нулю.

Предлагаемая публикация является первой из запланированной серии статей, задуманных как

продолжение большой работы, начатой С.В. Рязановым по вводу в научный оборот материалов многолетних археологических исследований памятников черной и цветной металлургии раннего железа и средневековья, в рамках их технологической и исторической интерпретации.

Приведенная в статье выборка предметов черной и цветной металлургии, состоящая из чугунных и железных изделий с позднесредневекового селища Ябалаклы-1 и бронзового зеркала с

грунтового могильника эпохи раннего железа Юрмаш-1, получена в ходе раскопок 2019 и 2021 гг. [Русланов, 2023. С. 118–130; Сафуанов и др., 2023. С. 87] (рис. 1).

Бронзовое зеркало происходит из грунтового могильника эпохи раннего железа Юрмаш-1. Некрополь открыт в 2012 г. отрядом Отдела археологических исследований ИИЯЛ УНЦ РАН (ныне – ИИЯЛ УФИЦ РАН) под руководством В.В. Овсянникова, в 2019 г. исследования были продол-

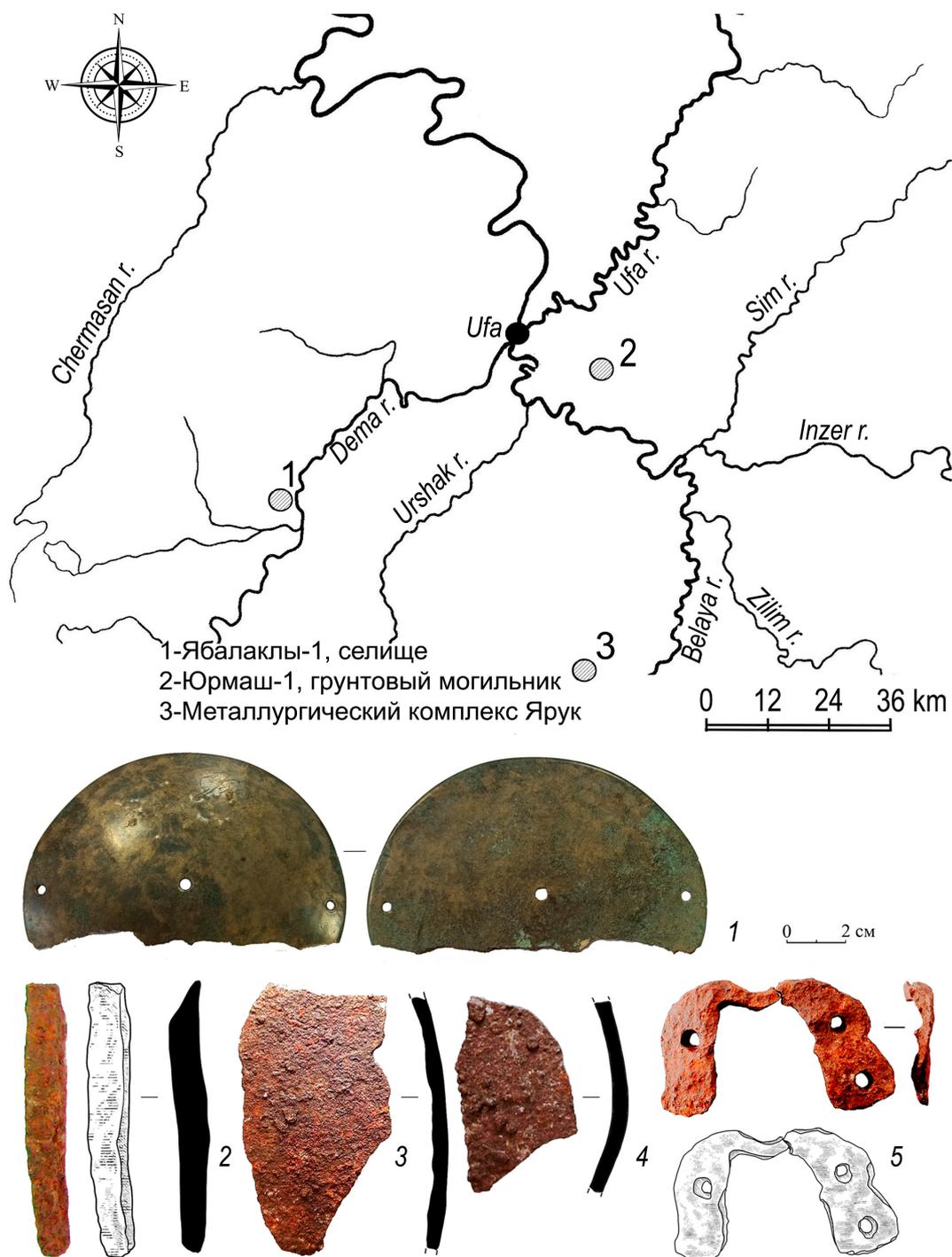


Рис. 1. Географическое расположение археологических объектов и исследованные предметы. 1 – зеркало; 2 – долото; 3, 4 – фрагменты котлов; 5 – дужка котла

Fig. 1. Geographical layout of archaeological sites and researched items. 1 – mirror; 2 – chisel; 3, 4 – pot fragments; 5 – pot hoop

жены И.М. Бабиным. Расположен в 1 км севернее с. Турбаслы Иглинского района Республики Башкортостан, занимает высокий мыс коренной террасы правого берега р. Юрмаш (правый приток р. Уфа). По полученным материалам некрополь отнесен к позднему этапу кара-абазской культуры (I–III вв. н.э.) [Сафуанов и др., 2023. С. 87].

Фрагменты чугунных котлов, дужка и железное долото происходят с селища Ябалаклы-1, выявленного Е.В. Руслановым в 2021 г. в ходе разведочных работ по поиску позднесредневековых памятников в долине р. Дема. Памятник находится в 1,17 км к северу от северной окраины с. Ябалаклы Чишминского района Республики Башкортостан, на левом обрывистом берегу р. Дема. Селище расположено на подтреугольном мысу, образованном современным руслом реки и старичным озером Дога-куле. Площадка ровная, высотой 2–3 м над урезом воды, покрыта луговой растительностью, к северу резко понижается на 1,5–2 м. Это связано с тем, что в ходе меандрирования русло р. Дема поменяло свое положение, сместившись к востоку, а прежнее русло превратилось в оз. Дога-куле. Площадь памятника составляет более 10 га (500×210 м). Стратиграфия памятника по результатам раскопок 2023 г. выглядит следующим образом: дерн – 5 см, рыхлый светло-серый запесоченный гумус (культурный слой) – 5–35 см, светло-серый аллювий – 35–40 см, гумусированная супесь с включением суглинка (переходный слой к материковому основанию) – 45–75 см, материк – светло-коричневый плотный суглинок (глубже 75 см). Мощность культурного слоя составила 45 см.

Анализ металлических изделий проводился на портативном оптическом эмиссионном спек-

трометре Hitachi PMI-MASTER Smart (Германия). Перед испытаниями образцы были очищены с помощью абразивного круга и наждачной бумаги. В связи с тем, что образцы представляли собой археологические артефакты, подвергшиеся длительному окислению в слое почвы на открытом воздухе, окисленный слой характеризовался глубиной и значительной неоднородностью, проникновением в слой металла по границам зерен и пор с их заполнением. Поэтому механическое удаление оксидного слоя не было проведено полностью, что могло повлиять на точность результатов исследования. Кроме того, поскольку некоторые образцы представляли собой фрагменты стенок котлов, наличие микроскопических органических остатков могло повлиять на точность определения содержания углерода. Если не указано иное, точность измеряемого параметра не превышала 5%.

Результаты и обсуждение

Железные и чугунные предметы

Проведенный анализ показал, что образцы стенок котлов 1 и 2 (рис. 1, 3, 4) практически не различаются между собой по составу и, по сути, структурно представляют собой заэвтектический чугун, поскольку содержание углерода в них превышает 4,3% (табл. 1) [Strangwood, 2024]. Образец железной дужки (рис. 1, 5) значительно отличается по химическому составу от образцов стенок котлов и представляет собой высокоуглеродистую сталь (содержание углерода более 0,6%). Данные образцы также существенно различаются по содержанию остальных элементов. Так, содержание кремния в материале дужки существенно меньше,

Таблица 1. Химический состав железных предметов
Table 1. Iron Items Chemical Composition

Образец	Химический элемент, вес. %									
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Mg	Ti	Pb
Фрагмент котла 1	94,1	>4,50	1,02	0,05	<0,01	0,01	0,10	0,09	0,02	0,04
Фрагмент котла 2	94,3	>4,50	0,92	0,02	<0,01	<0,01	0,09	0,06	0,02	0,02
Дужка	97,6	1,55	0,55	0,02	<0,01	0,03	0,09	0,03	0,04	0,07
Долото	98,9	0,49	0,09	0,2	0,10	0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01

а никеля, магния, титана и свинца – больше, чем в материале стенок котлов.

Различие в химическом составе может объясняться как различным методом изготовления, так и различием состава исходной руды и места ее добычи. В связи с тем, что стенки котлов и дужка имеют разный химический состав, можно предположить, что способ их изготовления был различным. Так, вероятнее всего, дужка была изготовлена отдельно, как часть котла, подвергающаяся более высоким статическим и динамическим нагрузкам, однако для определения детального метода изготовления стали требуются разрушающие микроструктурные исследования.

Химический состав долота (рис. 1, 2) позволяет сделать вывод о том, что оно изготовлено из среднеуглеродистой стали (0,3–0,55% C). Обращает на себя внимание низкое содержание кремния при одновременно большой доле марганца и хрома. Очевидно, данный образец был изготовлен из руды, отличной от той, из которой были выплавлены остальные исследованные образцы.

Таким образом, все четыре исследованных предмета представляют собой продукцию средневековой черной металлургии, а именно сталь и чугун. Достаточно обширный анализ памятников средневековой металлургии Южного Урала приведен в монографии С.В. Рязанова [Рязанов, 2011].

По его данным, на территории Южного Урала учтено сорок три археологических памятника, связанных с черной металлургией. Четырнадцать местонахождений автором достоверно определены как памятники металлургии, но без возможности в настоящее время их точной интерпретации и датировки.

Как известно, основой сыродутного процесса является прямое восстановление железной руды в металлическое железо [Strangwood, 2024]. В невысокий сыродутный горн загружалась специально приготовленная шихта – смесь руды, древесного угля и, часто, т.н. флюсов (как правило – известняк). Горение угля при подаче сырого (т.е. не подогретого, как в современном доменном процессе, а холодного) воздуха (отсюда – сыродутный процесс) создавало в рабочем пространстве горна высокую температуру и восстановительную атмосферу с преобладанием окиси углерода (CO). Находящаяся в таких условиях железная руда, состоящая в основном из окислов железа, кремнезема (SiO_2), глинозема (Al_2O_3) и других окислов, подвергалась химическим изменениям. Под влиянием химических реакций одна часть окислов железа восстанавливалась до металлического железа. Восстановленные микроскопические частички железа постепенно опускаясь вместе со столбом шихты вниз, к соплу, в зону высоких температур, нагревались и слипались в губчатую массу, пропитанную жидким шлаком – крицу. Другая часть окислов железа, восстановившись до закиси железа (FeO), вместе с окислами, получившимися из пустой рудной породы и флюсов образовывала легкоплавкий шлак [Байков, 1948. С. 356–381].

Для увеличения объема сыродутного горна увеличивали также длину и ширину (или диаметр) рабочей камеры. Для обеспечения равномерного процесса горения на всех горизонтах и высокой рабочей температуры на единицу объема шахты печи требуется определенное количество воздушных сопел. Следовательно, изменение параметров длины и ширины горна влекло за собой увеличение числа воздушных сопел. Этот путь был приемлем для повышения производительности печей, однако вследствие ограниченных возможностей техники того времени, скоро наступал его предел [Dolfini, 2024].

В монографии С.В. Рязанова подробно рассмотрен металлургический комплекс Ярук и ему подобные на территории Башкирии, получившие именование «комплексы типа Ярук» [Рязанов, 2011. С. 7–19]. Металлурги Ярука и подобных ему памятников для обеспечения равномерного нагрева пространства шахты горна и, соответственно, получения крицы большего размера, увеличивали количество воздушных трубок до шести.

На металлургических комплексах Южного Приуралья в подъемном материале (на овраге Ярук – в большом количестве в слое и в скопле-

ниях отходов металлургии) также присутствуют бесформенные слитки металла. Некоторые слитки представляют из себя практически чистое по содержанию углерода железо, другие имеют структуру высокоуглеродистой стали или чугуна. На приуральских памятниках подобные слитки иногда очень крупные – от 500 до 1000 граммов. Автором предложена реконструкция метода изготовления форм для отливок чугунных котлов [Рязанов, 2011. С. 101. Рис. 29]. Заслуживает внимания предположение о возможности использования никелевых руд Южного Урала в качестве легирующих добавок в болгарской черной металлургии для получения качественной стали [Королев, Хлебникова, 1961. С. 160; Семькин, 2015. С. 35].

Таким образом, основываясь на результатах химического анализа железных предметов и данных литературы, с высокой степенью вероятности можно предположить, что все проанализированные предметы могли быть изготовлены непосредственно на селище Ябалаклы-1, на что косвенно указывает найденный фрагмент металлургического шлака. Однако отсутствие находок остатков печей и шлака в большом количестве позволяет утверждать, что необходимы дальнейшие исследования селища. При этом, предметы могли быть изготовлены и на уже выявленных близлежащих металлургических комплексах типа Ярук, расположенных в 50–60 км к востоку и юго-востоку от селища.

Бронзовое зеркало

Исследовалось металлическое зеркало, которое сохранилось фрагментарно, однако общая симметричность предмета позволяет сделать вывод об его исходной геометрии и размерах (рис. 1, 1). У зеркала отсутствует боковая часть в размере приблизительно одной трети. Первоначально оно имело форму вогнутого диска диаметром 12,5 см. На расстоянии 5 мм от края диска имеются два симметричных отверстия диаметром 3 мм. В центре диска расположено отверстие диаметром 4,5 мм. Толщина диска составляет 2 мм, к краям утончается до 1 мм. Со стороны утраченной части предмета скол имеет хрупкий характер, без значительных следов патины. С лицевой стороны диск имеет гладкую поверхность. На поверхности наблюдаются вспучивания коррозионного происхождения. Следы патины наблюдаются преимущественно с обратной стороны диска. С обратной стороны поверхность диска неровная, с характерным рельефом в виде мелких кратеров, что говорит о литейном происхождении изделия.

Результаты анализа химического состава зеркала показали, что оно изготовлено из оловянной бронзы с высоким содержанием никеля (табл. 2). Следует отметить, что состав данной бронзы существенно отличается от состава современных оловянных бронз [Freudenberger, 2024]. Высокое содержание никеля, вероятно, примесного проис-

Таблица 2. Химический состав зеркала

Table 2. Mirror Chemical Composition

Образец	Химический элемент, вес. %							
	Cu	Pb	Sn	Fe	Ni	Al	Si	Bi
Зеркало	60,98	0,826	18,0	5,89	13,3	0,194	0,401	0,160

хождения, и обусловлено использованием медно-никелевой руды. Однако, вопрос о целенаправленности легирования никелем остается открытым.

В пользу данного предположения говорит тот факт, что добавление никеля в качестве легирующей добавки повышает прочность и коррозионную устойчивость бронзы. С другой стороны, высокое содержание никеля в данном изделии значительно отличается в большую сторону от современных никелевых бронз, что может свидетельствовать о том, что содержание никеля в изделии не контролировалось осознанно.

Заключение

1. В результате проведенного металлографического анализа установлены особенности используемых сплавов предметов черной и цветной

металлургии с селища Ябалаклы-1 и могильника Юрмаш-1.

2. Показано, что исследованные изделия имеют существенные различия по химическому составу, что обусловлено разным назначением и технологией производства. Образцы стенок котлов 1 и 2 – заэвтектический чугуи, дужка котла – из высокоуглеродистой стали, долото – из среднеуглеродистой стали. Бронзовое зеркало изготовлено из оловянной бронзы с высоким содержанием никеля.

3. Сравнение с полученными ранее данными позволяет сделать вывод, что чугунные и стальные предметы могли быть изготовлены, как на металлургических комплексах типа Ярук, так и непосредственно на нем самом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Байков А.А.* Физико-химические основы способов прямого восстановления железа из руд // Собрание трудов. Т. II. М.; Л.: АН СССР, 1948. С. 356–381.
- Борзунов В.А., Бельтикова Г.В., Косинцев П.А., Кузьминых С.В.* Металлургический «завод» раннего железного века в Уральских горах // *Stratum Plus*. 2023. № 3. С. 201–242. DOI: <https://doi.org/10.55086/sp233201242>
- Королев А.В., Хлебникова Т.А.* К вопросу о черной металлургии у волжских болгар // Труды Куйбышевской археологической экспедиции. 1960. Т. 3. С. 159–168. (МИА СССР. № 80)
- Кузьминых С.В.* Металлургия Волго-Камья в раннем железном веке (медь и бронза). М.: Наука, 1983. 257 с.
- Перевоицков С.Е.* Железообрабатывающее производство населения Камско-Вятского междуречья в эпоху средневековья (технологический аспект). Ижевск: УдГУ, 2002. 175 с.
- Руденко К.А.* Металлическая посуда Поволжья и Прикамья в VIII–XIV вв. Казань: Репер, 2000. 158 с.
- Русланов Е.В.* Селища Ябалаклы-1: новые материалы по чияликской культуре Южного Предуралья // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История, филология. 2023. Т. 22. № 5: Археология и этнография. С. 118–130. DOI: <https://doi.org/10.25205/1818-7919-2023-22-5-118-130>
- Рязанов С.В.* Чугунолитейное ремесло в городах Золотой Орды (Итоги предварительных исследований). Уфа: УНЦ РАН, 1997. 68 с.
- Рязанов С.В.* Кузнечная металлообработка на Южном Урале в X–XIV веках // Уфимский археологический вестник. 2003. Вып. 4. С. 244–257.
- Рязанов С.В.* Металлургия железа на Южном Урале в XIII–XIV вв. Уфа: ИЭИ УНЦ РАН, 2011. 125 с.
- Семькин Ю.А.* Черная металлургия и кузнечное производство Волжской Булгарии в VIII – начале XIII вв. Казань: АН РТ, 2015. 168 с. (Археология евразийских степей. Вып. 21)
- Сафуанов Ф.Ф., Проценко А.С., Мамбетова Л.В., Грабарь П.Ю.* Освоение территории долины р. Юрмаш на рубеже эр // Историко-географический журнал. 2023. Т. 2. № 2. С. 84–89. DOI: <https://doi.org/10.58529/2782-6511-2023-2-2-84-89>
- Ankusheva P.S., Zazovskaya E.P., Yuminov A.M., Ankushev M.N., Alaeva I.P., Epimakhov A.V.* Radiocarbon chronology of Bronze Age mines in the Southern Trans-Urals: first results // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2022. Vol. 14. P. 218. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01681-5>
- Daragan M., Polin S., Gleba M.* Early Iron Age Nomadic Cultures of the Lower Volga, Lower Don and Southern Urals // *Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*. 2024. Vol. 4B. P. 815–834. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90799-6.00251-2>
- Dardeniz G.* *Archaeological Science in Practice // Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*. 2024. Vol. 2B. P. 588–598. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199567942.013.004>
- Dolfini A.* *Metals: Manufacture and Use // Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*. 2024. Vol. 2B. P. 815–834. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90799-6.00019-7>
- Freudenberger J., Tikana L., Hosford W.F.* *Alloys: Copper // Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition)*. 2024. Vol. 5. P. 601–634.
- Shishlina N., Roslyakova N., Kolev Yu., Bachura O., Kuznetsova O., Kiseleva D., Retivov V.*

Tereschenko E. Animals, metal and isotopes: Mikhailo-Ovsyanka I, the Late Bronze Age mining site of the steppe Volga region // *Archaeological Research in Asia*. 2020. Vol. 24. P. 100229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ara.2020.100229>

Stepanov I.S., Artemyev D.A., Naumov A.M., Blinov I.A., Ankushev M.N. Investigation of ancient iron and copper production remains from Irtyash Lake (middle Trans-Urals, Russia) // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021. Vol. 40. P. 103255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103255>

Strangwood M. Alloys: Steel. *Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition)*. Vol. 5. 2024. P. 533–548.

Wayman M.L. Archaeometallurgical contributions to a better understanding of the past // *Materials Characterisation*. 2000. Vol. 45. P. 259–267. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00108-X)

Yuminov A.M., Zaykov V.V., Korobkov V.F., Tkachev V.V. Bronze Age Copper Mining in the Mugodzhary // *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2013. Vol. 41. P. 87–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeae.2014.03.011>

REFERENCES

Ankusheva, P.S., Zazovskaya, E.P., Yuminov, A.M., Ankushev, M.N., Alaeva, I.P., Epimakhov, A.V. 2022, “Radiocarbon chronology of Bronze Age mines in the Southern Trans-Urals: first results”, *Archaeological and Anthropological Sciences*, no. 14, p. 218. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01681-5>

Baykov, A.A. 1948, *Physical and chemical bases of methods of direct reduction of iron from ores*. AN SSSR, Moscow, Leningrad, pp. 356–381. (in Russ.)

Borzunov, V.A., Beltikova, G.V., Kosintsev, P.A., Kuzminykh, S.V. 2023, “Metallurgical “plant” of the Early Iron Age in the Ural Mountains”, *Stratum Plus*, no. 3, pp. 201–242. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.55086/sp233201242>

Daragan, M., Polin, S., Gleba, M. 2024, “Early Iron Age Nomadic Cultures of the Lower Volga, Lower Don and Southern Urals”, *Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*, vol. 4B, pp. 815–834. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90799-6.00251-2>

Dardeniz, G. 2024, “Archaeological Science in Practice”, *Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*, vol. 2B, pp. 588–598. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199567942.013.004>

Dolfini, A. 2024, “Metals: Manufacture and Use”, *Encyclopedia of Archaeology (Second Edition)*, vol. 2B, pp. 815–834. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90799-6.00019-7>

Freudenberger, J., Tikana, L., Hosford, W.F. 2024, “Alloys: Copper”, *Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition)*, v. 5, p. 601–634.

Korolev, A.V., Khlebnikova, T.A. “On the question of ferrous metallurgy in the Volga Bulgarians”, *Materials and research on the archaeology of the USSR*, no. 80, pp. 159–168. (in Russ.)

Kuzminykh, S.V. 1985, *Metallurgy of the Volga-Kama region in the Early Iron Age (copper and bronze)*. Nauka, Moscow, 257 p. (in Russ.)

Perevoshikov, S.E. 2002, *Iron processing production of the population of the Kama-Vyatka interfluvium in the Middle Ages (technological aspect)*. UdGU, Izhevsk, 175 p. (in Russ.)

Rudenko, K.A. 2000, *Metallic tableware of the Volga and Kama region in the VIII–XIV centuries AD*. Reper, Kazan, 158 p. (in Russ.)

Ruslanov, E.V. 2023, “Yabalakly-1 settlement: new materials on the Chiyalik culture of the Southern Urals”, *Vestnik Novosibirskogo Gosudarst-*

vennogo Universiteta, Seriya: Istoriya, Filologiya, no. 5, pp. 118–130. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.25205/1818-7919-2023-22-5-118-130>

Ryazanov, S.V. 1997, *Cast iron metalcraft in the cities of the Golden Horde: (Results of preliminary research)*. UNC RAN, Ufa, 68 p. (in Russ.)

Ryazanov, S.V. 2003, “Forging metalworking in the Southern Urals in the X–XIV centuries AD”, *Ufa Archaeological Herald*, no. 4, pp. 244–257. (in Russ.)

Ryazanov, S.V. 2011, *Iron metallurgy in the Southern Urals in the XIII–XIV centuries AD*. IEI UNC RAN, Ufa, 125 p. (in Russ.)

Safuanov, F.F., Protsenko, A.S., Mambetova, L.V., Grabar, P.Yu. 2023, “Development of the territory of the Yurmash river valley at the border of eras”, *Historical and Geographical Journal*, no. 2, pp. 84–89. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.58529/2782-6511-2023-2-2-84-89>

Semykin, Yu.A. 2015, *Iron metallurgy and forging production of Volga Bulgaria in the VIII – early XIII centuries AD*, AN TR, Kazan, 168 p. (Series “Archaeology of the Eurasian steppes”, vol. 21). (in Russ.)

Shishlina, N., Roslyakova, N., Kolev, Yu., Bachura, O., Kuznetsova, O., Kiseleva, D., Retivov, V., Tereschenko, E. 2020, “Animals, metal and isotopes: Mikhailo-Ovsyanka I, the Late Bronze Age mining site of the steppe Volga region”, *Archaeological Research in Asia*, no. 24, p. 100229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ara.2020.100229>

Stepanov, I.S., Artemyev, D.A., Naumov, A.M., Blinov, I.A., Ankushev, M.N. 2021, “Investigation of ancient iron and copper production remains from Irtyash Lake (middle Trans-Urals, Russia)”, *Journal of Archaeological Science: Reports*, no. 40, p. 103255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103255>

Strangwood, M. 2024, *Alloys: Steel. Encyclopedia of Condensed Matter Physics (Second Edition)*, vol. 5, pp. 533–548.

Wayman, M.L. 2000, “Archaeometallurgical contributions to a better understanding of the past”, *Materials Characterisation*, no. 45, pp. 259–267. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(00\)00108-X](https://doi.org/10.1016/S1044-5803(00)00108-X)

Yuminov, A.M., Zaykov, V.V., Korobkov, V.F., Tkachev, V.V. 2013, “Bronze Age Copper Mining in the Mugodzhary”, *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, no. 41, pp. 87–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeae.2014.03.011>

Сведения об авторах

Евгений Владимирович Русланов, кандидат исторических наук, Институт истории, языка и литературы Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Российская Федерация, г. Уфа. E-mail: butleger@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0387-3360

Станислав Вацлавович Крымский, кандидат технических наук, Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Институт истории, языка и литературы Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Российская Федерация, г. Уфа. E-mail: stkr_imsr@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1534-3239

Антон Сергеевич Проценко, кандидат исторических наук, Республиканский историко-культурный музей-заповедник «Древняя Уфа», Институт истории, языка и литературы Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Российская Федерация, г. Уфа. E-mail: anton.procenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5152-8564

Information About the Authors

Evgeny V. Ruslanov, Ph.D., Institute for History, Language and Literature, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Ufa. E-mail: butleger@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0387-3360

Stanislav V. Krymskiy, Ph.D., Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences, Institute for History, Language and Literature, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Ufa. E-mail: stkr_imsr@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1534-3239

Anton S. Protsenko, Ph.D., Republican Historical and Cultural Museum-Reserve "Ancient Ufa", Institute for History, Language and Literature, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Ufa. E-mail: anton.procenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5152-8564