

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО- НАУЧНЫХ МЕТОДОВ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Научная статья / Research Article

УДК 903.01/.09

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(4\).-08](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(4).-08)

СООТНОШЕНИЕ СОСТАВА МЕТАЛЛА И ПАТИНЫ В БРОНЗОВЫХ ЗАКЛЕПКАХ КОЖАНОГО СОСУДА ИЗ КИЧИГИНО-I

Иван Александрович Блинов¹, Александр Дмитриевич Таиров^{2*}

¹Уральский федеральный научный центр минералогии
и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия;

ivan_a_blinov@mail.ru, <https://orcid.org/00000-0001-7397-4760>

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия;

tairov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-0430>

*Автор, ответственный за переписку

Резюме. В ходе работы исследованы бронзовые заклепки кожного сосуда из могильника Кичигино-I. Данные изделия имеют маленький размер и интенсивно корродированы, что делает невозможным их зачистку до металла. Исследование патинированной поверхности проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) патины и реликтового металла растровой электронной микроскопией (РЭМ). Результаты анализа показали, что заклепки изготовлены из мышьяково-оловянных бронз с примесью свинца. Пати́на качественно соответствует составу исходного металла, но имеет различия, определяемые соотношением ее компонентов. Различия количественных соотношений не превышают 100% относительных, характер изменений предсказать невозможно. Они могут происходить в сторону как увеличения, так и уменьшения содержания каждого из второстепенных компонентов (мышьяка, олова) в патине. Сопоставление результатов РФА и РЭМ показало, что РФА с определенной точностью отражает состав исходного металла с систематическим завышением содержания свинца, олова, мышьяка.

Ключевые слова: Южное Зауралье, ранние кочевники, рентгенофлуоресцентный анализ, пати́на, растровая электронная микроскопия

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект №21-18-00576, <https://rscf.ru/project/21-18-00576/>).

Для цитирования: Блинов И. А., Таиров А. Д. Соотношение состава металла и патины в бронзовых заклепках кожного сосуда из Кичигино-I // Теория и практика археологических исследований. 2022. Т. 34, №4. С. 137–147. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(4\).-08](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(4).-08)

CORRELATION OF THE COMPOSITION OF METAL AND PATINA IN BRONZE RIVETS OF A LEATHER VESSEL FROM KICHIGINO-I

Ivan A. Blinov¹, Aleksandr D. Tairov^{2*}

¹South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Russia; ivan_a_blinov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7397-4760>

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; tairov55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8575-0430>

*Corresponding Author

Abstract. The paper investigates bronze rivets of a leather vessel from the burial ground of Kichigino-I. These products of a small size are intensively corroded, which makes it impossible to strip them down to metal. The study of the patinated surface was carried out by X-ray fluorescence analysis (XRF) of patina and relic metal by scanning electron microscopy (SEM). The results of the analysis showed that the rivets were made of arsenic-tin bronzes with an admixture of lead. The patina qualitatively corresponds to the composition of the original metal, but has differences determined by the ratio of its components. Differences in quantitative ratios do not exceed 100% relative, the nature of the changes cannot be predicted. They can change both in the direction of increasing and decreasing the content of each of the minor components (arsenic, tin) in the patina. Comparison of the results of XRD and SEM showed that XRD reflects the composition of the parent metal with a certain accuracy, with a systematic overestimation of the contents of lead, tin, and arsenic.

Key words: Southern Trans-Urals, Early Nomads, X-ray fluorescence analysis, patina, scanning electron microscopy

Acknowledgements: the work was carried out with financial support from the Russian Science Foundation (project No. 21-18-00576, <https://rscf.ru/project/21-18-00576/>).

For citation: Blinov I. A., Tairov A. D. Correlation of the Composition of Metal and Patina in Bronze Rivets of a Leather Vessel from Kichigino-I. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2022;34(4):137–147. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(4\).-08](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(4).-08)

Введение

Исследование цветного металла археологических предметов важно для понимания технологий и направлений взаимодействий древних обществ. Практика показывает, что предметы на основе медных сплавов покрыты слоем патины разной толщины, плотности и состава. Пatina, состоящая из солей и оксидов металлов, искажает результаты анализа состава самого металла. Для получения данных о нем перед проведением анализа необходимо зачищать поверхность металлического изделия от окислов. Однако это не всегда возможно по нескольким причинам. Дело в том, что значительные коллекции древних артефактов хранятся в музеях, при этом практически не допускаются какие-либо манипуляции, связанные с изменением их целостности. В том числе и снятие патины для подготовки предмета к анализу. Другим ограничением является интенсивное корродирование предмета до такой степени, что металл теряет свою целостность и сохраняется только в виде редких реликтов размером менее 1 мм.

Бронзовые изделия, покрытые патиной, имеют тот же самый качественный состав, что и исходный металл, из которого они сделаны. Обычно патинирование ведет к завышению определяемого содержания примесей в 1,5–2 раза (Блинов, Таиров, Юминов, 2017; Блинов, Таиров, 2018), а в более толстой патине — в 3–5 раз (Черных, Луньков, 2009, с. 82). «Проведенные исследования показали, что практически всегда в окисленной зоне изделия происходит увеличение содержания олова (Sn), сурьмы (Sb), мышьяка (As), железа (Fe) и, в меньшей степени, цинка (Zn). Содержание свинца (Pb) изменяется слабо, а серебро (Ag) проявляет себя неустойчиво» (Черных, Луньков, 2016, с. 250).

Исследование состава металла и патины наконечников стрел с поселения Боровое-III (Верхнее Приобье) показало, что в патине по сравнению с металлом происходит уменьшение в процентном отношении количества меди (Cu) в 1,1–1,4 раза, иногда до 1,9 раза. Одновременно в патине, по сравнению с металлом, возрастает количество олова (Sn) — в 1,2–2,9 раза, редко в 4,2 раза, мышьяка (As) — в 1,0–2,0 раза, реже до 2,8 раза, свинца (Pb) — в 1,0–2,0 раза, иногда в 3,9 раза, сурьмы (Sb) — в 1,3–1,8 раза, редко в 2,3 раза (Тишкин, Кунгуров, Лихачева, 2014).

Материалы и методы

Для исследования нами были выбраны три бронзовые заклепки кожного сосуда из погребения 2-й половины VII в. до н.э. в могильной яме 1 кургана №5 некрополя Кичигино-I. Сосуд находился слева от головы погребенного, рядом с ним найдены фрагменты деревянной чаши, край которой украшали две обкладки в форме стилизованной головы хищной птицы, изготовленные из толстой золотой фольги (рис. 1) (Таиров, 2015, с. 302, 312). Материалы погребения хранятся в музее «Народы и технологии Урала» Южно-Уральского государственного университета. Заклепки (НВМ-6, инв. №P1 41K1-5) цилиндрической формы длиной 3,8–4,7 мм и диаметром 2,0–2,4 мм (рис. 2). Их состав сначала был исследован неразрушающим рентгенофлуоресцентным анализом (РФА). Спектральное разрешение 220 эВ. Метод анализирует поверхность изделия и позволяет определять элементы тяжелее титана (Ti). Таким образом, на незащищенных поверхностях игнорируются такие элементы, как водород (H), углерод (C), кислород (O), сера (S) и хлор (Cl), которые связываются с металлом при его окислении. При анализе исследуемый предмет должен закрывать окно детектора площадью около 1 см². Исследования проведены на приборе Innov Xa, режим Process Analytical, время экспозиции 30 с. Чувствительность прибора составляет 0.1%.

Затем заклепки разрезались поперек и срезами монтировались в шашку эпоксидной смолы. Полученный препарат механически полировали и для исследования напыляли углеродом. Последующие исследования проводились на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Tescan Vega 3 sbu, оснащенном энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Oxford Instruments X-act. Время набора спектра 120 с, ускоряющее напряжение 20 кВ. Спектральное разрешение 114 эВ. Спектрометр позволяет определять элементы тяжелее бора (B), однако из-за углеродного напыления количественное определение углерода невозможно. Поэтому весь углерод исключается из анализа. Обработка спектров проводилась с помощью программы Inca, которая позволяет редактировать количество анализируемых элементов, в частности, исключать из анализа.



Рис. 1. Положение кожного сосуда с бронзовыми заклепками при раскопках могильника

Fig. 1. Position of a leather vessel with bronze rivets during the excavation of the burial ground

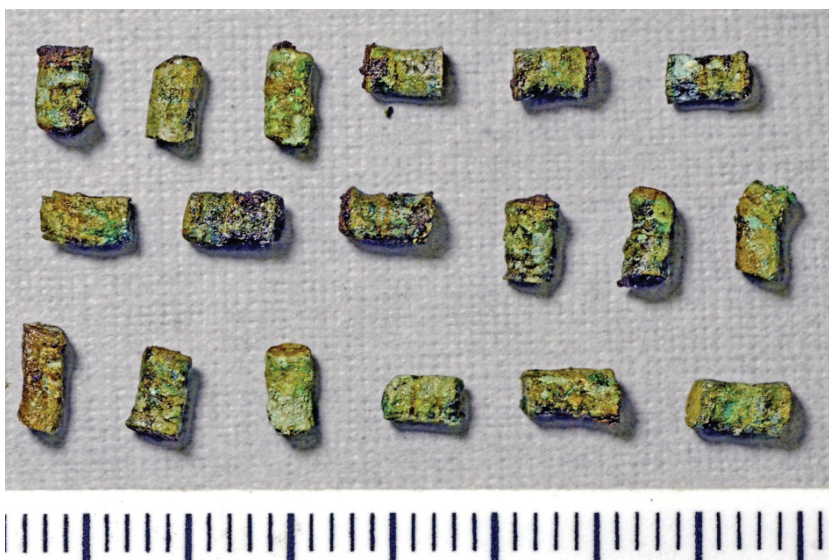


Рис. 2. Заклепки, извлеченные из кожного сосуда

Fig. 2. Rivets removed from a leather vessel

При обработке результатов использованы концентрации, выраженные в абсолютных процентах, показывающие концентрации компонентов. Далее абсолютные процен-

ты в тексте не упоминаются. Соотношение и изменение измеренных значений концентраций по сравнению с какими-либо базовыми значениями выражено в процентах относительных. Для избегания путаницы при обсуждении изменения концентрации указывается, что проценты относительные.

Результаты

Размеры заклепок не позволяют полностью закрыть окно детектора РФА, однако по данным анализа сумма близка к 100%, что дает основания полагать об удовлетворительных условиях набора спектра. По данным РФА заклепки изготовлены из оловянно-мышьяково-свинцовых бронз (Cu+Sn+As+Pb). Содержание меди в патине трех проанализированных заклепок колеблется в пределах 69.6–88.3 мас.%, олова — 6.0–25.5 мас.%, мышьяка — 2.7–4.1 мас.%, свинца — 0.7–2.0 мас.% (табл. 1) (Блинов, Таиров, 2021, с. 152–153).

Таблица 1

Состав заклепок по данным РФА, мас.%

Tab. 1

Composition of rivets according to XRF data, wt.%

| Номер пробы | Cu | Pb | As | Sn | Fe | Сумма |
|-------------|------|-----|-----|------|-----|-------|
| НВМ-6а | 77.8 | 0.7 | 4.1 | 16.6 | 0.8 | 100.0 |
| НВМ-6б | 88.3 | 2.0 | 3.2 | 6.0 | 0.5 | 100.0 |
| НВМ-6в | 69.6 | 0.8 | 2.7 | 25.5 | 0.8 | 99.3 |

Исследования на РЭМ показали, что в заклепках сохраняются частицы реликтового металла. Патина интенсивно развита в межзерновом пространстве. Зерна металла изолированы веществом патины. Размер реликтовых зерен металла не превышает 100 мкм (рис. 3). Реликтовый металл не в полной мере отражает состав исходного металла, из которого было изготовлено изделие, так как коррозия происходит неравномерно. В первую очередь окисляются менее устойчивые фазы, предохраняя от окисления соседние зерна. Как правило, эти фазы имеют другой состав и при коррозии они утрачиваются безвозвратно.

Исходный металл представлен мышьяково-оловянными бронзами (Cu+As+Sn), содержание мышьяка варьирует в пределах 0.58–1.80 мас.%, а содержание олова — 0.73–5.43% (табл. 2). При этом металл не однороден, что, возможно, связано с ликвацией в исходных изделиях.

Патина не однородна. По данным, полученным на РЭМ, она состоит преимущественно из куприта с примесями или микровостками кислородных соединений мышьяка и олова с индивидуализированными выделениями серебра (Ag), сульфата свинца — англезита и соединений висмута (Bi) и свинца. Куприт и англезит диагностированы по количественному анализу РЭМ с ЭДС. Куприт как оксид меди с атомным соотношением Cu:O, близким к 2:1, англезит — по наличию на спектре характеристических линий Pb, S, O и соотношению, соответствующему PbSO₄.

Основная масса патины, представленная преимущественно купритом, не однородна по составу (табл. 3). По данным точечных ЭДС анализов содержание As_2O_5 не регулярно и достигает 6.95%, SnO_2 — 30.02%, отмечены также редко встречаемые примеси Sb_2O_3 , PbO , SiO_2 , SO_4 и Cl . Куприт, как правило, химически чистый, его кристаллическая решетка не позволяет включать примеси Sn , As и др. Однако в данной ситуации РЭМ не разрешает других минералов-востков, содержащих эти элементы. В связи с этим анализы условно считаются купритом.

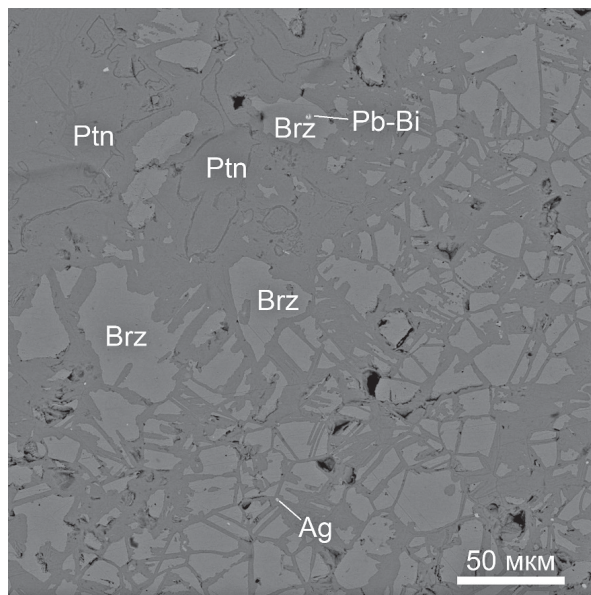


Рис. 3. Типичное строение интенсивно корродированной бронзовой заклепки: Ag — металлическое серебро; Pb–Bi — сплав свинца и висмута; Brz — реликты As-Sn-бронзы; Ptn — патина

Fig. 3. Typical structure of a heavily corroded bronze rivet: Ag — metallic silver; Pb–Bi — an alloy of lead and bismuth; Brz — relics of As-Sn-bronze; Ptn — patina

Таблица 2

Состав реликтового металла заклепок, мас. %

Tab. 2

The composition of the relic metal of rivets, wt. %

| Заклепка | Анализ | Cu | As | Sn | Сумма |
|----------|--------|-------|------|------|--------|
| НВМ-6а | 21799i | 96.05 | 1.80 | 2.17 | 100.02 |
| НВМ-6а | 21799d | 96.52 | 1.36 | 1.92 | 99.8 |
| НВМ-6б | 21800d | 98.51 | 1.21 | 0.73 | 100.44 |
| НВМ-6в | 21801e | 94.64 | 0.58 | 5.43 | 100.65 |

Англезит образует небольшие выделения размером 2–5 мкм, реже до 10–15 мкм. Обособленные выделения встречаются только в заклепке НВМ-66. Сплав свинца и висмута (Pb+Bi) встречается крайне редко, он образует капли размером до 1–3 мкм, которые отмечены в реликтах зерен бронзы. Капли этого сплава также являются реликтовыми металлическими фазами. Крайне редко встречаются также зерна металлического серебра размером до 1–2 мкм, которые образуются по периферии реликтовых зерен бронзы среди куприта. Зерна металлического серебра формируются при окислении меди и перераспределении серебра. Серебро, как более устойчивый к окислению металл, накапливается в самородном виде.

Таблица 3

Состав патины минеральных фаз. Результаты точечного анализа, мас.%

Tab. 3

The composition mineral phases of the patina. Point analysis results, wt.%

| Заклепка | Анализ | SiO ₂ | SO ₃ | Cl | Cu ₂ O | As ₂ O ₃ | SnO ₂ | Sb ₂ O ₃ | PbO | Сумма | Примечание |
|----------|---------|------------------|-----------------|------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------|--------------------------|
| НВМ-6а | 21799b | | | | 94.31 | 1.6 | 3.92 | | | 99.83 | Куприт |
| НВМ-6а | 21799с | | | | 92.27 | 1.34 | 5.72 | | | 99.32 | Куприт |
| НВМ-6а | 21799g | 1.11 | | | 61.54 | 6.95 | 30.02 | | 0.71 | 100.35 | Оксид меди |
| НВМ-6а | 21799g' | 1.2 | | | 53.76 | 3.6 | 27.15 | 0.81 | 0.53 | 87.04 | Смесь оксидов, карбонат? |
| НВМ-6а | 21799h | | | | 100.17 | | | | | 100.17 | Куприт |
| НВМ-66 | 21800b | 0.4 | 0.3 | 0.51 | 91.7 | 0.68 | | | 0.45 | 94.04 | Оксиды, карбонаты меди? |
| НВМ-66 | 21800с | | | | 99.18 | 0.73 | | | | 99.91 | Куприт |
| НВМ-66 | 21800е | | 25.83 | | | | | | 74.17 | 100 | Англезит |
| НВМ-6в | 21801d | | | | 97.14 | | 3.71 | | | 100.84 | Куприт |

Однако точечные ЭДС анализы не дают представительной картины для сопоставления состава реликтового металла и патины, а также результатов РЭМ-ЭДС и РФА. Из-за малого количества имеющегося вещества проведение химического анализа заклепок затруднено, поэтому на РЭМ с ЭДС были набраны и рассчитаны спектры по растру, т.е. с площади около 1 мм². В анализируемую область входили как реликтовый металл, так и патина. Для сопоставления с данными РФА набранные спектры были рассчитаны с наличием легких элементов (ЛЭ), атомный номер которых меньше титана, и с исключением таковых из анализов.

Растровые анализы показали, что содержание легких элементов около 10% (9.18–11.3%), содержание мышьяка в заклепках НВМ-6а и НВМ-6в около 1%, а в заклепке НВМ-66 не определяется (табл. 4). Содержание олова различно, минимальная его концентрация отмечена в заклепке НВМ-66 — 0.70–0.79%, а максимальное в заклепке НВМ-6в — 7.78–8.93%. Исключение легких элементов «увеличивает» определяемые концентрации второстепенных компонентов (мышьяка, олова) на 12–22% относительных, или приблизительно на 0.1 мас.% для As и 0.1–1% мас. для Sn.

Таблица 4

Состав заклепок по спектрам, набранных по растру, мас.%

Tab. 4

The composition of the rivets by colors typed according to the raster, wt.%

| Заклепка | Анализ | O | Si | S | Cl | Cu | As | Sn | Сумма | Примечание |
|----------|--------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------------------------|
| НВМ-6а | 21799а | 8.99 | | | 0.19 | 87.07 | 1.01 | 2.73 | 100 | По растру |
| НВМ-6а | 21799а | | | | | 95.75 | 1.19 | 3.06 | 100 | По растру, ЛЭ исключены |
| НВМ-6б | 21800а | 9.69 | | 0.11 | 0.36 | 89.15 | | 0.7 | 100 | По растру |
| НВМ-6б | 21800а | | | | | 99.21 | | 0.79 | 100 | По растру, ЛЭ исключены |
| НВМ-6в | 21801а | 10.82 | 0.18 | 0.3 | | 79.99 | 0.93 | 7.78 | 100 | По растру |
| НВМ-6в | 21801а | | | | | 89.94 | 1.13 | 8.93 | 100 | По растру, ЛЭ исключены |

Обсуждение

В целом наблюдается различие между составом исходного металла и патины. Соотношение точечных ЭДС анализов и растровых (при исключении легких элементов) показывает, что измеренные концентрации изменяются неравномерно. Так, в НВМ-6а в патине по сравнению с металлом содержание мышьяка уменьшается с 1.36–1.80 мас.% до 1.19 мас.%, что соответствует уменьшению на 10–30% относительных. В то же время содержание олова увеличивалось приблизительно на 1 мас.% абсолютный, с 1.92–2.17 до 3.06 мас.%, что составляет увеличение на 40–60% относительных процентов. В заклепке НВМ-6в в патине происходит увеличение концентрации и мышьяка на относительные 90%, и олова — на 60%. В то же время в заклепке НВМ-6б и по результатам точечных ЭДС анализов, и по данным растровых исследований отмечается полное отсутствие мышьяка в патине, а в металле мышьяка — 1.21 мас.%. Определяемое содержание олова в патине возрастает на относительных 10%.

Прямое сопоставление данных РФА и РЭМ с ЭДС не совсем корректно, поскольку РФА анализирует поверхность патинированного изделия, а РЭМ с ЭДС — поверхность среза, т.е. центральную часть изделия. Кроме того, патина развивается неравномерно и разрушает в первую очередь богатое оловом и мышьяком межзерновое пространство, что обедняет оставшийся металл легирующими компонентами. Всегда стоит помнить, что реликтовый металл в таких ситуациях не полностью соответствует исходному. Кроме этого, сопоставление разных анализов также несет в себе некоторую погрешность метода. Тем не менее сопоставление показывает, что в целом РФА правильно определяет качественный состав за исключением привнесенного из почв железа (Fe). Содержание висмута и серебра в исходном металле было ниже предела обнаружения для обоих методов. Свинец при растровых анализах на РЭМ с ЭДС не обнаруживается, но, похоже, он накапливается во внешней зоне патинированной заклепки. Разница в содержании мышьяка и олова между РФА и РЭМ с ЭДС отличается в сторону увеличения. По сравнению металла по данным ЭДС и патины по данным РФА в патине содержание мышьяка увеличено в 2.3–4.7 раза, а содержание олова — в 4.7–8.2 раза.

Заключение

Реликтовый металл интенсивно корродированных предметов, скорее всего, не соответствует истинному составу исходного металла, так как легированный металл часто не однороден, разные части сплава имеют разную устойчивость к коррозии. Исследования реликтов металла показали, что заклепки изготовлены из мышьяково-оловянной бронзы с примесью свинца — металла, сходного по качественному составу, но отличающегося по количественному соотношению компонентов. Если сравнивать результаты внутри метода РЭМ с ЭДС, то наблюдается незначительное изменение состава патины относительно металла. Эти изменения вызваны множеством факторов, которые не всегда возможно учесть, и могут происходить как в сторону увеличения, так и уменьшения содержания каждого из второстепенных компонентов (мышьяка, олова) в патине. Характер изменений соотношения не превышает относительных 100%. В то же время по непонятным причинам в патине заклепки НВМ-66 методом РЭМ с ЭДС совсем не обнаруживается мышьяк, ни в точечных анализах, ни при анализе по растру.

При сопоставлении состава металла, исследованного РЭМ с ЭДС, и внешней каймы патины, исследованной РФА, определяется привнос во внешнюю кайму железа, а также существенное накопление свинца. Содержание мышьяка и олова увеличивается неравномерно. Накопление олова во внешней кайме происходит более активно, нежели мышьяка. В целом результат РФА с определенной точностью отражает состав исходного металла с систематическим завышением легирующих компонентов — свинца, олова, мышьяка. Степень завышения для каждого элемента и каждого изделия может варьировать, и сложно предсказать, какова будет величина в каждом конкретном случае. В то же время анализ РФА по патинированной поверхности с определенной долей точности дает информацию о составе медных сплавов. Применение таких анализов, на наш взгляд, оправдано там, где по тем или иным причинам не возможно удаление слоя патины. При этом исследователь должен понимать, каким методом и с какой поверхности были проведены измерения, и с осторожностью подходить к полученным данным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Блинов И. А., Таиров А. Д. Состав бронз поселения Шибаво из подъемных сборов сезона 2017 г. // *Геоархеология и археологическая минералогия* — 2018. Миасс : Институт минералогии УрО РАН, 2018. С. 152–155.

Блинов И. А., Таиров А. Д. Состав бронзовых изделий невоенного назначения могильника Кичигино I // *Геоархеология и археологическая минералогия* — 2021. Миасс; Челябинск : Изд-во ЮУрГГПУ, 2021. С. 150–155.

Блинов И. А., Таиров А. Д., Юминов А. М. Влияние способа чистки бронзовых изделий на результаты анализа РФА (на примере поясных обоев из кургана 5 могильника Кичигино I в Южном Зауралье) // *Геоархеология и археологическая минералогия* — 2017. Миасс : Институт минералогии УрО РАН. 2017. С. 181–184.

Таиров А. Д. Комплекс раннесакского времени кургана 5 могильника Кичигино I в Южном Зауралье // *Сакская культура Сарыарки в контексте изучения этносоциокультурных процессов Степной Евразии*. Алматы : НИЦИА «Бегазы-Тасмола», 2015. С. 300–319.

Тишкин А. А., Кунгуров А. Л., Лихачева О. С. Рентгенофлуоресцентный анализ металлических наконечников стрел аржано-майэмирского времени с поселения Боровое-III (Верхнее Приобье) // Теория и практика археологических исследований. 2014. Т. 10, №2. С. 96–111.

Черных Е. Н., Луньков В. Ю. Методика рентгено-флуоресцентного анализа меди и бронзы в лаборатории Института археологии // Аналитические исследования лаборатории естественно-научных методов. Вып. 1. М. : ИА РАН, 2009. С. 78–83.

Черных Е. Н., Луньков В. Ю. Рентгено-флуоресцентный метод анализа химического состава древних изделий из цветных металлов // Междисциплинарная интеграция в археологии (по материалам лекций для аспирантов и молодых сотрудников). М. : ИА РАН, 2016. С. 244–251.

REFERENCES

Blinov I. A., Tairov A. D. The Composition of the Bronzes of the Shibaev Settlement from the Survey Samples Season 2017. In: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy — 2018. Miass : Institut mineralogii UrO RAN, 2018. Pp. 152–155. (*In Russ.*)

Blinov I. A., Tairov A. D. Composition of Non-Military Bronze Items of the Kichigino I Site. In: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy – 2021. Miass; Chelyabinsk : Izd-vo YuUrGGPU, 2021. Pp. 150–155 (*In Russ.*)

Blinov I. A., Tairov A. D., Yuminov A. M. Influence of the Method of Cleaning Bronze Items on the Results of XRF Analysis (on the Example of Belt Clips from Mound 5 of the Kichigino I Burial Ground in the Southern Trans-Urals). In: Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy — 2017. Miass : Institut mineralogii UrO RAN, 2018. Pp. 181–184. (*In Russ.*)

Tairov A. D. Early Saka Time Complex of Kurgan 5 of the Kichigino I Burial Ground in the Southern Trans-Urals. In: Saka Culture of Saryarka in the Context of Studying Ethno-Socio-Cultural Processes of Steppe Eurasia. Almaty : NITsIA «Begazi-Tasmola», 2015. Pp. 300–319. (*In Russ.*)

Tishkin A. A., Kungurov A. L., Likhacheva O. S. X-ray Fluorescence Analysis of Metal Arrowheads of the Arzhan-Mayemir Period from the Borovoe-III Settlement (Upper Ob Region). *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2014;10(2):96–111. (*In Russ.*)

Chernykh E. N., Lunkov V. Yu. Method of X-ray Fluorescence Analysis of Copper and Bronze in the Laboratory of the Institute of Archaeology. In: Analytical Research of the Laboratory of Natural Science Methods. Issue 1. Moscow : IA RAN, 2009. Pp. 78–83. (*In Russ.*)

Chernykh E. N., Lunkov V. Yu. X-ray Fluorescence Method for Analyzing the Chemical Composition of Ancient Non-Ferrous Metal Products. In: Interdisciplinary Integration in Archaeology (Based on Lectures for Graduate Students and Young Scientists). Moscow : IA RAN, 2016. Pp. 244–251. (*In Russ.*)

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Блинов И. А.: идея публикации, формирование структуры статьи, проведение анализов и их интерпретация.

I. A. Blinov: the idea of publication, the formation of the structure of the article, the conduct of analyzes and their interpretation.

Таиров А. Д.: предоставление информации о раскопках и обнаруженных артефактах, описание археологического контекста, фотосъемка, научное редактирование текста.

A. D. Tairov: providing information about excavations and discovered artifacts, describing the archaeological context, photography, scientific editing of the text

Конфликт интересов отсутствует / There is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Блинов Иван Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории минералогии рудогенеза Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, Миасс, Россия.

Ivan Aleksandrovich Blinov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher, Laboratory of Mineralogy of Ore Genesis, Science South Urals Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russia.

Таиров Александр Дмитриевич, доктор исторических наук, директор Научно-образовательного центра евразийских исследований, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Aleksandr Dmitrievich Tairov, Doctor of Sciences (History), Director of the Scientific and Educational Center Eurasian Studies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 08.06.2022;

одобрена после рецензирования 27.10.2022;

принята к публикации 02.11.2022.

The article was submitted 08.06.2022;

approved after reviewing 27.10.2022;

accepted for publication 02.11.2022.