

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ  
КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 902.01, 543.062

МИКРОАНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ СТАТЕРОВ  
ТЕЙРАНА 276/7–278/9 ГГ. Н.Э.: ТЕХНИКА СЕРЕБРЕНИЯ

© 2022 г. М. Г. Абрамзон<sup>1,2,\*</sup>, Ю. Ю. Ефимова<sup>2,\*\*</sup>, Н. В. Копцева<sup>2</sup>, И. А. Сапрыкина<sup>1,\*\*\*</sup>,  
Т. Н. Смекалова<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Институт археологии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

<sup>3</sup> Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

<sup>4</sup> Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

\*E-mail: abramzon-m@mail.ru

\*\*E-mail: jefimova78@mail.ru

\*\*\*E-mail: dolmen200@mail.ru

Поступила в редакцию 18.02.2022 г.

После доработки 14.03.2022 г.

Принята к публикации 14.03.2022 г.

Рассмотрены результаты изучения химического состава поверхности статеров боспорского царя Тейрана 276/7–278/9 гг. н.э. Металлографическое исследование и рентгеноспектральный микроанализ позволили впервые установить факт серебрения поверхности статеров, изготовленных из сплава на основе меди с небольшим количеством серебра, иногда олова и свинца. Также впервые в поверхностном слое серебра этих монет выявлено присутствие хлора, кальция, натрия и магния. Это говорит о возможном применении для серебрения поздних боспорских статеров с 275 г. н.э. специальных паст, содержащих хлориды серебра, натрия, аммония и ртути, гидротартрат калия и мел.

DOI: 10.56304/S1992722322050028

## ВВЕДЕНИЕ

В 267/8 г. н.э. на Боспоре прекратилась чеканка билонных статеров Рескупорида V (242/243–276/277 гг.). Эти монеты отличает серебряный блеск, приобретенный в результате применения специальной техники обогащения серебром поверхности монетных бланков еще до операции чеканки; использование такой техники (*the depletion-silvering*) в монетном деле Римской империи и Боспора стало обычной практикой [1–5]. Осенью 275 г. н.э. чеканка возродилась, но вместо билонных монет выпускаются посеребренные медные, технология серебрения поверхности которых принципиально отличается от блестящего биллона Рескупорида V и близка к римским монетам того времени. Согласно [6] после 275 г. н.э. в боспорской и римской чеканках применялись близкие пропорции серебра в монетных сплавах и, возможно, общие технические приемы серебрения поверхности монет уже после операции чеканки. Такие боспорские и римские “серебряные” монеты изготавливались из сплава на основе меди примерно с одинаковой присадкой серебра (в среднем 4–5%). Их поверхность покрывал тонкий слой драгоценного металла, который постепенно истирался в процессе обра-

ния, и спустя какое-то время монеты выглядели как абсолютно медные [6].

В 275 г. н.э. сразу три боспорских царя чеканят посеребренные статоры: Рескупорид V, Савромат IV (275 г.) и Тейран (275/276–278/279 гг.). Монеты последнего стали предметом специального исследования, результаты которого впервые публикуются в настоящей работе.

Элементный состав медных статеров этих правителей был слабо изучен до открытия Фанагорийского клада в 2011 г. [7], а о серебрении не было даже предположений. Результаты рентгенофазового анализа (РФА) дали информацию только о содержании небольшой доли серебра в их сплаве [8]. Металлографическое исследование статора Тейрана № 2240 из данного клада также показало, что на его поверхности отсутствует обогащенный серебром слой, а в толще самой монеты серебро распространено крайне дисперсно (его реальное содержание в металле монеты гораздо меньше: на поверхности этой монеты по данным РФА оно составляет 4.98–10.5%). Между тем во время чистки и реставрации монет из упомянутого выше клада впервые было визуально отмечено, что многие статоры Тейрана частично сохранили посеребренную поверхность.

**Таблица 1.** Выборка монет Тейрана из Фанагорийского клада 2011 г.

Номер статера	Год б.э.	Год н.э.	Масса, г
2237	ГЭФ	276/7	7.48
2264	ГОФ	276/7	7.50
2268	ГОФ	276/7	7.67
2269	ГОФ	276/7	7.27
2343	ΔОФ	277/8	7.42
2344	ЕОФ	278/9	7.71
2346	ЕОФ	278/9	7.65
2362	ЕОФ	278/9	7.77

Примечание. Таблица составлена по данным [7].

Однако для окончательного решения вопроса о присутствии серебряного покрытия и предполагаемой техники серебрения потребовались новые исследования. Дополнительную серию анализов провели в ЦКП НИИ “Наностали” МГТУ им. Г.И. Носова на выборке из восьми статеров Тейрана эмиссий 276/7–278/9 гг. н.э. (табл. 1) из Фанагорийского клада 2011 г. (хранится в ГИАМЗ “Фанагория”).

Следует особо отметить присутствие в данной выборке очень редкого статера № 2237 с ошибочной датой ГЭФ – 563 г. б.э. = 266/267 г. н.э. Недавно проведенные штемпельный анализ и РФА фанагорийского экземпляра подтверждают, что статеры ГЭФ были выпущены в 276/277 г. н.э. [9]. Кроме того, рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) выявил наличие остатков серебряного покрытия поверхности монеты, не фиксируемого визуально.

## МЕТОДЫ

На первой стадии исследование статеров Тейрана выполняли на РФА-спектрометре M1 Mistral (Bruker), позволяющем проводить измерения поверхности на глубину до 10 мк, а также выполнять анализ на наличие покрытий. Стандартное время измерения составило 30 с, напряжение – 50 кВ; методика исследования монетного серебра опубликована [10].

Для анализа поверхности статеров Тейрана кроме оптической (световой) микроскопии применяли методы сканирующей электронной микроскопии, преимущество которых состоит в неразрушающих методах исследования археологических артефактов.

Металлографический анализ проводили на стереомикроскопе Meiji Techno RZ-B при увеличении в 7.5 раз с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO. Изображение микроструктуры с помощью цифровой камеры вводили в компьютер и затем ана-

лизировали с применением специализированных программ.

Микроструктуру поверхности монет исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV во вторичных электродах. РСМА проводили с использованием специальной приставки к сканирующему микроскопу – системы INCA Energy. Качественный и количественный анализ проводили в локальной области, а также строили карту распределения элементов по поверхности монеты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Визуальный анализ статеров Тейрана показывает, что их поверхность имеет темный медный цвет с отдельными локальными участками характерного серебристого цвета, которые наблюдаются преимущественно во впадинах чеканного рельефа и на плоских участках поля монеты. Кроме того, имеются участки красновато-медного цвета и с оттенками зеленого цвета.

Это наблюдение подтвердили результаты картирования элементов на поверхности монет, выполненного при РСМА, показавшие те же различия в распределении меди и серебра по поверхности статеров. Кроме того, картирование элементов свидетельствует о присутствии хлора в участках локализации серебра (рис. 2), что говорит об особенностях использованной техники серебрения. На картах отчетливо видно, что при равномерном распределении меди в локальных местах обнаруживаются участки с высоким содержанием серебра. При этом медь в таких участках может не обнаруживаться или присутствовать по крайней мере в меньших количествах, чем на остальной поверхности.

Результаты РФА показывают стабильно низкое содержание серебра в пределах 5–7% для монет всех годов чеканки Тейрана; примерно такое же количество серебра содержат статеры Рескупорида V и Савромата IV 275 г. н.э. Процентное содержание серебра в статерах этих царей в целом коррелирует с данными, полученными при анализе поверхности римских монет III–IV вв. н.э., для которых фиксируется частичное истирание верхнего слоя, следствием чего было более низкое процентное содержание серебра на поверхности истертых монет, приобретающей красноватый оттенок, и более высокое содержание серебра и яркий серебристый внешний вид монет лучшей сохранности [11]. Однако имеются отдельные монеты Тейрана, для которых фиксируется заметная вариативность в содержании серебра, например от 5.16 до 18.46% (№ 2285). Как отмечено выше, металлографическое исследование таких монет выявило, что на их поверхности сохраня-



Рис. 1. Статеры Тейрана из Фанагорийского клада 2011 г.

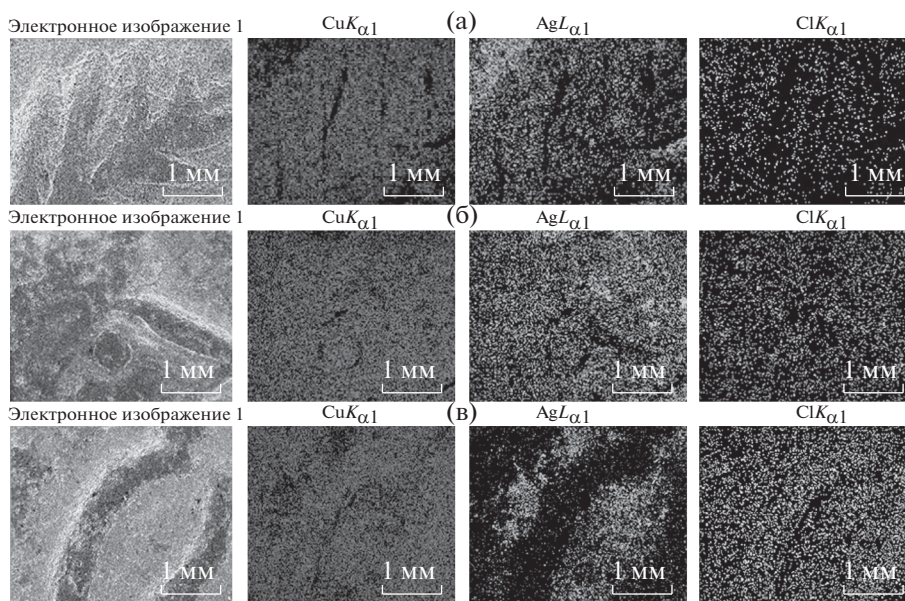


Рис. 2. Результаты картирования пары Cu–Ag и Cl на поверхности реверса статеров № 2264 (а), 2343 (б), 2346 (в).

ются небольшие по площади участки, отличающиеся сероватым цветом.

РСМА выявил, что в спектрах, полученных с разных участков поверхности исследуемых монет, а также в суммарных спектрах присутствуют пики, характерные для серебра, меди и кислорода, а также свинца, олова, хлора, кальция, натрия и магния (рис. 3). Отметим, что в спектрах статеров № 2269 и 2362 пики олова отсутствуют, а в спектрах статеров № 2264 и 2268 присутствуют пики свинца.

Количественный анализ показал, что на выпуклых участках рельефа поверхности монет присутствуют 3–20% Ag и 43–79% Cu (при 7–25% кислорода), во впадинах рельефа – 6–84% Ag и 8–86% Cu (при 4–28% кислорода), на поле моне-

ты – 2–70% Ag и 17–80% Cu (при 8–25% кислорода). Количество хлора при этом составляет от 0.46 до 2.29%, натрия – 4–14%, кальция – 0.6–0.9% и магния – 0.19–0.21%.

Сопоставление интенсивностей пиков спектров обнаруженных элементов в статерах Тейрана № 2237, 2344 и 2269 показало одинаковый характер распределения серебра и меди на поверхности этих монет. При этом максимальное количество серебра содержится во впадинах рельефа, а минимальное – на выпуклых частях рельефа монеты, что связано с естественным стиранием серебряного поверхностного слоя в процессе обращения.

Результаты количественного анализа химического состава на поверхности монет представлены в табл. 2. Среднее содержание меди на поверх-

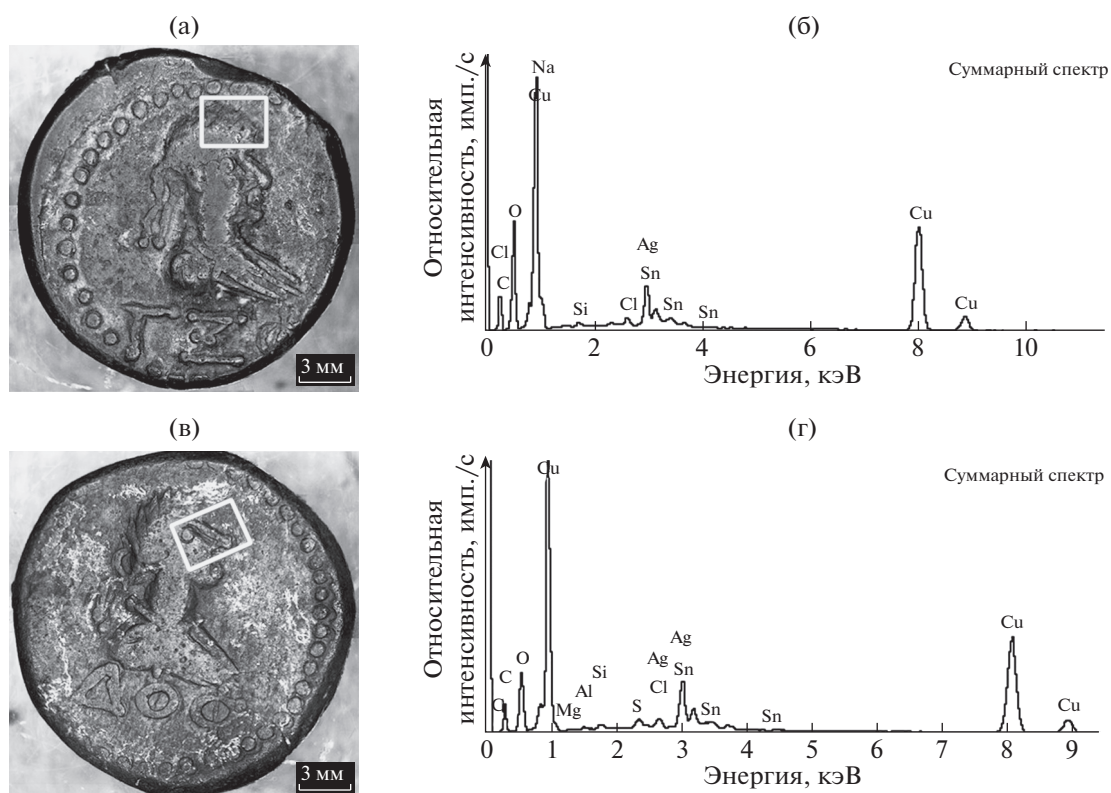


Рис. 3. Исследуемые участки поверхности статеров Тейрана и их характеристические спектры: а, б – № 2237, в, г – № 2343.

ности статеров Тейрана составляет от 51.58 до 65.07%. Эту вариативность можно объяснить разной степенью окисления меди, что подтверждается разным содержанием кислорода – от 23.3 до 11.65%. Среднее содержание серебра на поверхности разных монет варьируется от 8.6 до 22.41%, олова – от 2.31 до 3.58%. В металле монет № 2237, 2343 и 2346 обнаружены в небольших количествах, в основном не превышающих 1%, различные примеси: алюминий, сера, железо.

Результаты РСМА показали, что на поверхности всех монет присутствует хлор (0.52–1.44%), статеров № 2237 и 2343 – кальций (0.58–0.83%), № 2237 и 2268 – натрий (7.82%), № 2343 и 2346 –

магний (0.19–0.21%). Присутствие этих элементов указывает на то, что техника серебрения монет Тейрана аналогична той, что применялась для статеров Фарсанза и Савромата, а также Фофорса 286/7 г. н.э. Вероятно, серебряное покрытие всех этих монет достигалось путем применения специальных серебрящих паст, компонентами которых являлись хлорид серебра, хлорид натрия, хлорид аммония, гидротартрат калия, хлорид ртути и мел в качестве загустителя [12, 13].

Рентгеноструктурный анализ показал, что на поверхности статера Тейрана № 2237 (ГЭФ) обнаруживаются следующие фазы: твердый раствор олова в меди ( $\text{Cu}_2\text{Sn}_8$ ); твердый раствор серебра в

Таблица 2. Результаты количественного РСМА химического состава поверхности статеров

Номер статера	Cu	Ag	O	Cl	Ca	Sn	Pb	Na	Mg	Прочие элементы
2237	51.58	8.6	23.3	1.20	0.58	2.34		7.82		4.58
2264	63.47	19.76	10.18	1.24			5.35			
2268	53.37	14.38	16.26	0.52		3.58	4.07	7.82		
2269	59.64	22.14	13.39	1.44		3.39				
2343	56.83	19.54	18.5	0.99	0.83	2.31			0.21	0.79
2344	59.76	15.63	18.41	1.22		3.39				
2346	59.71	18.42	16.32	1.19					0.19	1.59
2362	65.07	22.41	11.65	0.87						

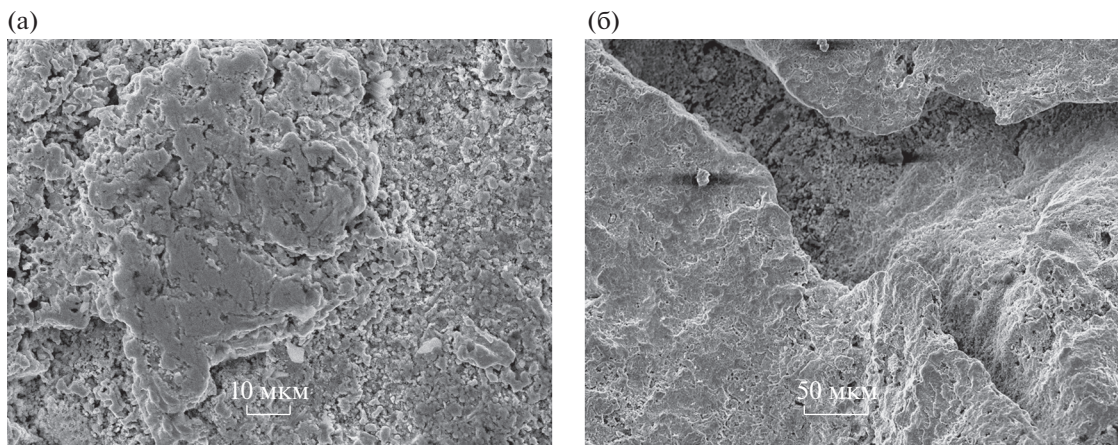


Рис. 4. Чешуйки серебра на поверхности статеров Тейрана: а – № 2269, б – № 2346.

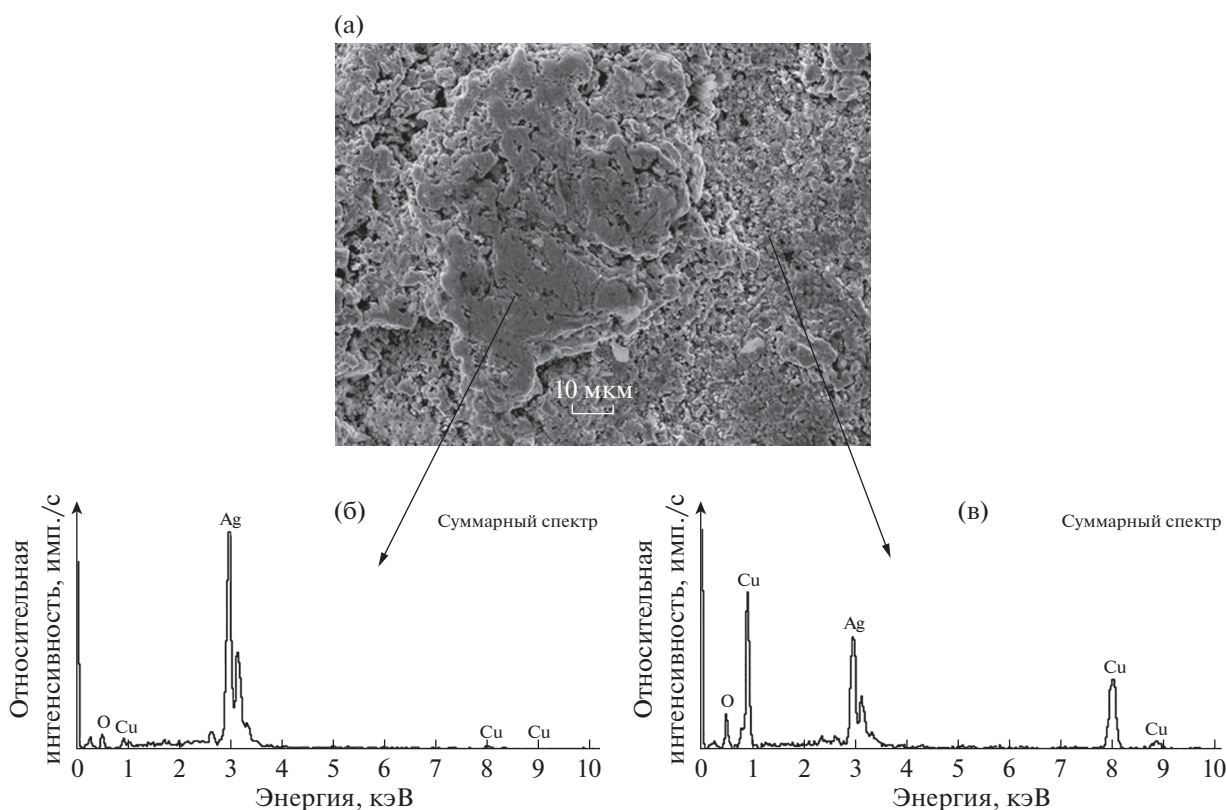


Рис. 5. Статер № 2269. Распределение меди и серебра по поверхности исследуемого участка с чешуйкой (а) и характеристические рентгеновские спектры с указанных участков (б, в).

меди ( $\text{AgCu}_{99}$  или 1% Ag и 99% Cu), чистое серебро (Ag) и закись меди ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ). Так же, как и на поверхности монет Фарсанза, Рескупорида V (275/6 г.) и Савромата IV, обнаружены хлорид серебра ( $\text{AgCl}$ ) и  $\text{CaCO}_3$ , присутствие которых объясняется особенностями технологии серебрения.

Тем не менее результаты анализа химического состава участков поверхности тех монет, на которых визуально остатки серебряного покрытия не фиксируются, показали, что в этих участках присут-

ствует серебро в количестве 4.97–5.94%. В сплаве также содержится до 3.58% олова и 4.07% свинца.

Впервые на поверхности монет Тейрана были обнаружены относительно гладкие чешуйки серебра размером 60–100 мкм и более (рис. 4). РСМА показал, что в чешуйках присутствует до 80% серебра, а медь практически отсутствует – менее 2.5% (рис. 5). Таким образом, фиксация чешуек и их химический состав служат доказатель-

ством поверхностного серебряного слоя на статерах Тейрана.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование небольшой выборки статеров Тейрана из Фанагорийского клада позволило сделать несколько важных выводов. Во-первых, установлено, что статеры Тейрана чеканились из сплава на медной основе Cu–Ag, в котором содержалось до 4.97–5.94% серебра, трехкомпонентного сплава Cu–Ag–Sn с содержанием олова в количестве 2.31–3.39% и четырехкомпонентного сплава Cu–Ag–Sn–Pb, в котором содержание олова и свинца составляло соответственно 3.58 и 4.07%. Во-вторых, на поверхности статеров зафиксировано серебряное покрытие, нанесенное, по-видимому, с применением специальных паст, компонентами которых являлись хлориды серебра, натрия, аммония, гидротартрат калия, хлорид ртути и мел в качестве загустителя. Полагаем, что в условиях крупномасштабного производства монет после чеканки они могли массой погружаться в контейнеры с пастой.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-18-00193П).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Metallurgy of Roman Silver Coinage. From the Reform of Nero to the Reform of Trajan / Eds. Butcher K., Ponting M. Cambridge: Cambridge University Press. 2015. P. 78.
2. Cope L.H. // Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage. A Symposium held by the Royal Numismatic Society at Burlington House, London, December 9–11, 1972 / Eds. Hall E.T., Metcalf D.M. London: Royal Numismatic Society (Royal Numismatic Society Special Publication, V. 8). 1972. P. 261.
3. Beck L., Bosonnet S., Révellion S. et al. // Nucl. Instrum. Methods. B. 2004. V. 226. P. 153.
4. Абрамзон М.Г., Ефимова Ю.Ю., Концева Н.В. и др. Последнее серебро Боспора: мультианалитический подход к исследованию боспорской серебряной чеканки III в. н.э. М.: Институт археологии РАН, 2021. (Археометрия Причерноморья. Вып. 4). С. 43.
5. Zwicky-Sobczyk C.N., Stern W.B. // Archaeometry. 1997. V. 39. № 2. P. 393.
6. Абрамзон М.Г., Ефимова Ю.Ю., Концева Н.В. и др. Последнее серебро Боспора: мультианалитический подход к исследованию боспорской серебряной чеканки III в. н.э. М.: Институт археологии РАН, 2021. (Археометрия Причерноморья. Вып. 4). С. 94.
7. Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. Клад позднебоспорских статеров из Фанагории. М.: Институт археологии РАН, 2017. (Фанагория. Т. 5). 748 с.
8. Сапрыкина И.А., Гунчина О.Л. // Клад позднебоспорских статеров из Фанагории / Ред. Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. М.: Институт археологии РАН, 2017. (Фанагория. Т. 5). С. 420, 422–438. № 2132, 2149–2396.
9. Абрамзон М.Г., Ефимова Ю.Ю., Концева Н.В. и др. Последнее серебро Боспора: мультианалитический подход к исследованию боспорской серебряной чеканки III в. н.э. М.: Институт археологии РАН, 2021. (Археометрия Причерноморья. Вып. 4). С. 91.
10. Сапрыкина И.А., Гунчина О.Л. // Клад позднебоспорских статеров из Фанагории / Ред. Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. М.: Институт археологии РАН, 2017. (Фанагория. Т. 5). С. 272.
11. Klockenkamper R., Bubert H., Hasler K. // Archaeometry. 1991. V. 41. № 2. P. 311.
12. Abramzon M.G., Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V. et al. // J. Surf. Inves.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech. 2022 (в печати).
13. Abramzon M.G., Baryshnikov M.P., Efimova Yu.Yu. et al. // J. Surf. Inves.: X-ray, Synchrotron Neutron Tech. 2020. V. 14. № 3. P. 529.