
ИССЛЕДОВАНИЯ БРОНЗОВЫХ ЗЕРКАЛ КОНЦА VI – КОНЦА V В. ДО Н.Э. ИЗ ГРУНТОВОГО МОГИЛЬНИКА ВОЛНА 1 НА АЗИАТСКОМ БОСПОРЕ

Ирина Анатольевна Сапрыкина

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
dolmen200@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>*

Булат Айратович Бакиров

*Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия
bulatbakirov4795@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8526-7091>*

Лидия Николаевна Гриценко (Соловьева)

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
lidia77-77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5079-0755>*

Роман Алексеевич Мимоход

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
mimokhod@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4584-4747>*

Татьяна Юрьевна Шведчикова

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
tashved@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0882-654X>*

Николай Игоревич Сударев

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
sudarev@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8827-9656>*

Сергей Евгеньевич Кичанов

*Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия
ekich@nf.jinr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2324-3051>*

Павел Сергеевич Успенский

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия
uspenskiy07@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5366-8526>*

Аннотация. В публикации представлены результаты исследования химического состава металла 40 зеркал, происходящих из погребений некрополя Волна 1, датированных концом VI – концом V вв. до н.э. Анализ выполнялся методом безталонного РФА, рентгеновской и нейтронной дифракцией. Кроме того, была проведена оценка объема коррозии металла методом нейтронной томографии, что позволит планировать структурный анализ зеркал. В выборке представлены импортные зеркала (3 ед.) и 22 зеркала со следами ремонтных работ (подгруппа 1-3), где была выполнена замена рукоятей на накладные из самшита. Эти зеркала выполнены из оловянной бронзы (CuSn); крепление для самшитовых ручек в большинстве случаев изготовлено из чистой меди. Остальные 15 зеркал (подгруппа 4) не имеют следов такого ремонта, они выполнены из оловянной (CuSn), оловянно-свинцовой (CuSnPb) и оловянно-мышьяковой (CuSnAs) бронзы и, в основном, датируются второй половиной V – началом IV вв. до н.э.

Ключевые слова: Азиатский Боспор, некрополь Волна 1, зеркала, оловянная бронза, самшит, РФА, дифракция, нейтронная томография, оптическая микроскопия

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-18-00196 «Комплексные исследования нового городского некрополя архаического и классического времени Волна 1 на территории Азиатского Боспора».

STUDIES OF THE LATE SIXTH TO LATE FIFTH CENTURY BC BRONZE MIRRORS FROM THE CEMETERY OF VOLNA 1 IN THE ASIATIC BOSPOROS

Irina A. Saprykina

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
dolmen200@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>*

Bulat A. Bakirov

*Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russia
dolmen200@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8526-7091>*

Lidia N. Gritsenko (Solovyeva)

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
lidia77-77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5079-0755>*

Roman A. Mimokhod

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
mimokhod@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4584-4747>*

Tatiana Y. Shvedchikova

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
tashved@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0882-654X>*

Nikolai I. Sudarev

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
sudarev@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8827-9656>*

Sergei E. Kichanov

*Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russia
ekich@nf.jinr.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2324-3051>*

Pavel S. Uspenskii

*Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
uspenskiy07@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5366-8526>*

Abstract. This publication presents the results of the research of the chemical composition of metal of 40 mirrors originating from the burials of the cemetery of Volna 1, dated from the late sixth to the late fifth centuries BC. The analysis was performed using standard-free XRF, X-ray and neutron diffraction. In addition, the volume of metal corrosion was assessed using neutron tomography, which will allow planning a structural analysis of the mirrors. The analyzed sample includes imported mirrors (3 items) and 22 mirrors with traces of repair work (subgroup 1–3), where the handles were replaced with boxwood attachments. These mirrors are made of tin bronze (CuSn); the fastening for boxwood handles is in most cases made of pure copper. The remaining 15 mirrors (subgroup 4) do not have traces of such repairs; they are made of tin (CuSn), tin-lead (CuSnPb) and tin-arsenic (CuSnAs) bronze and mainly date back to the second half of the 5th – early 4th centuries BC.

Keywords: Asiatic Bosphoros, cemetery of Volna 1, mirrors, tin bronze, boxwood, XRF, diffraction, neutron tomography, optical microscopy.

Acknowledgements: This study was funded by the Russian Science Foundation, project no. 23-18-00196 “Integrated Studies of the New Urban Cemetery of Volna 1 from the Archaic and Classical Periods in the Asiatic Bosphoros.”

Введение. Грунтовый могильник Волна 1 расположен на территории Азиатского Боспора, в юго-западной части Таманского полуострова, у подножия северного склона г. Зеленская, в 4,5 км к северо-западу от п. Волна Темрюкского района Краснодарского края. Название могильник получил от поселения Волна 1, которое расположено в 400 м к югу от него; некрополь находится на перекрёстке важнейших древних дорог, ведущих из Левобережья Кубани и Предгорий Западного Кавказа к древней переправе через Керченский пролив. В настоящее время некрополь Волна 1 является одним из самых представительных некрополей второй четверти/середины VI – начала III в. до н.э. из исследованных на территории Причерноморья.

Археологические исследования некрополя проводились Сочинской экспедицией Института археологии РАН в 2016–2018 гг. (руководители работ – Р. А. Мимоход, П. С. Успенский) [1]. В ходе археологических работ, проводившихся ИА РАН на северной, ранней части могильника, был получен представительный и значимый для истории и археологии Северного Причерноморья археологический материал, в числе которого присутствует значительная выборка бронзовых зеркал.

В рамках данной статьи публикуются результаты аналитического исследования серии зеркал из 40 погребений, датирующихся периодом от конца VI до конца V в. до н.э., выполненных методами РФА, нейтронной томографии и радиографии, рентгеновской дифракции¹. Методом оптической микроскопии были проведены исследования нескольких сохранившихся мелких фрагментов деревянных рукоятей.

Характеристика аналитической выборки. Зеркала из раскопок северной части некрополя Волна 1, составляющие аналитическую выборку из 40 предметов, имеют разную степень сохранности, у некоторых из них металл сильно расслоился и деформировался в результате воздействия процессов коррозии, многолетнего влияния химически активных удобрений (территорию некрополя занимал виноградник). Зеркала из выборки практически все были найдены с утраченными рукоятями; только у одного зеркала из погр. 380 сохранилась родная металлическая рукоять, сломанная и соединенная с диском с помощью четырёх крупных штифтов с расклёпанной головкой (рис. 1,а), что позволяет отнести его к пелопонесскому типу зеркал, плоскому, с круглым завершением на рукояти²; хронологические рамки их изготовления относятся исследователями к концу VI – V в. до н.э. [2, с. 121].

У двух зеркал из выборки на дисках сохранились крупные бортики (погр. 537, 629) и насадки для крепления на деревянную (?) рукоять (у зеркала из погр. 629 насадка почти полностью утрачена; рис. 1,б,в), зеркало из погр. 537 имеет Y-образный выступ под диском и «стопор» для насадки. По аналогиям, эти зеркала могут быть отнесены к аттическим, оборотная сторона диска зеркала из погр. 537 украшена гравированным растительным орнаментом. Схожие по типу зеркала происходят из раскопок Нимфейского некрополя и датируются концом VI – серединой V в. до н.э. (табл. 1) [3, с. 270–271, 283, рис. 1,1].

37 зеркал из аналитической выборки относятся к двум видам – зеркала с плоским диском и с диском с бортиком (погр. 163, 207, 284, 292, 328, 362, 377, 539, 589, 598, 604, 656, 658), все они имеют накладные рукояти и происходят из погребений, датирующихся концом VI – последней четвертью V в. до н.э., лишь два зеркала из выборки происходят из погребений, датированных IV в. до н.э.³ (табл. 1). Исследованные зеркала имеют аналогии в нимфейском некрополе [3], в некрополе Артюшенко-2 [4, с. 230, рис. 5,2], других таманских некрополях. Большинство зеркал из некрополя Волна 1 имеют следы замены родных рукоятей на накладные крепления (т.н. «коробочка» на штифтах⁴), как правило, выполненных из согнутых полос металла и крепившихся с помощью двух штифтов. По наличию и характеру следов вторичного использования или ремонта (замены рукоятей) выделяется несколько условных подгрупп (за исключением зеркал, сохранившихся частично):

1) с остатками цельнолитой боковой металлической рукояти, с заменой на крепление в виде накладной «коробочки» на штифтах. Это зеркала из погр. 186, 207, 278, 284, 376, 377, 505 (рис. 2,а–в). Диск зеркала из погр. 284 (датируется концом VI – первой половиной V в. до н.э.) украшен «жемчужным» орнаментом, нанесённым по краю. В литературе высказывалось предположение, что такие зеркала имели своей основой зеркала пелопонесского типа [3, с. 271];

2) зеркала с боковым вырезом прямоугольной формы (утрата металлической боковой рукояти?) – они происходят из погр. 301, 360, 609, 630. Над этим вырезом расположены следы крепления «коробочки» на штифтах (рис. 2,з);

3) зеркала с боковыми следами слома/среза родной рукояти, имеют вырезы полукруглой, овальной или треугольной формы (рис. 3). Они происходят из погр. 315, 328, 334, 342, 362, 378, 391, 583, 598, 649, из траншеи 7. Нередко слом частично закрыт креплением («коробочкой» на штифтах), что интерпретируется нами как следы ремонта. На зеркалах из погр.

¹ Анализ техники изготовления зеркал запланирован на следующем этапе исследования, с учетом данных по сохранности металла зеркал.

² Орнамент удалось проследить только на нескольких зеркалах из выборки до процесса их реставрации.

³ В настоящее время обработка материала из некрополя Волна 1 не завершена, датировки могут быть уточнены впоследствии.

⁴ Аналогии подобным креплениям для вставки накладных рукоятей найдены нами в материалах из раскопок кургана 8 Брилевка, датированного второй четвертью IV в. до н.э. [5, с. 241, рис. 2,8].

315, 328, 362, 378 также отмечаются следы опилования бортиков, особенно на участках, где размещено новое крепление для накладных рукоятей.

4) зеркала без следов их вторичного использования или ремонта (погр. 163, 208, 235, 273, 292, 404, 497, 539, 563, 589, 597, 600, 604, 656, 658 и др.); они также снабжены креплением в виде «коробочки» на штифтах (рис. 4).

У некоторых зеркал имеются документированные следы использования деревянных рукоятей (остатки дерева), вставлявшихся в крепления (погр. 278, 284, 292, 497, 563, 589, 598). На некоторых зеркалах отмечены невысокие бордюры по краю диска (валики); характер их не вполне ясен, т.к. их высота часто не превышает 0,15 см (ширина может достигать 0,3 см). Можно отметить высокую степень стандартизации в изготовлении зеркал, происходящих из некрополя Волна 1: диаметр диска, в основном, варьирует от 14 до 15,9 см; редкие исключения – зеркала из погр. 334, 539 – имели диаметр диска ок. 17 см, а диаметр диска зеркала из погр. 600 составлял всего 11,4 см (табл. 1).

Зеркала литые, толщина диска составляет в среднем 0,06–0,09 см по краевой зоне (исключая валики и бортики), в центре достигает 0,04 см; такая толщина литого изделия достигается с помощью послелитейной обработки (лощения, шлифовки), выполнявшейся с целью достижения максимального отражающего эффекта поверхности. Часть зеркал из подгрупп 3 и 4 имеют небольшую деформацию (изгибание) диска, возникшую, скорее всего, в результате их кузнечной доработки. На отдельных зеркалах из выборки некрополя Волна 1 фиксируются недоливы, возникающие при нарушении температурного режима литья (зеркало из погр. 563), дефекты послелитейной доработки (зеркало из погр. 377: облои не опилены). Часть зеркал дошла до нас с утратами и деформацией, однако их характер не позволяет говорить о намеренной порче.

Картографирование погребений с находками зеркал на участке раскопок 2017–2018 гг. показало, что эти захоронения образуют по хронологии и планиграфии две локальные группы: расположенная в центре раскопа датируется концом VI – серединой V в. до н.э., на северо-западном участке раскопа – второй половиной V – началом IV в. до н.э. (рис. 5). Находки греческих зеркал и зеркал подгруппы 1 локализируются в центральной группе погребений, зеркала подгрупп 2–4 встречаются в погребениях обеих групп. Зеркала сопровождают, в основном, женские погребения (табл. 2). Исключение составляют зеркала из парных и индивидуальных погр. 208, 328, 404, 539, 589, 597, 629, где, по антропологическим определениям, были захоронены мужчины, преимущественно, среднего и пожилого возраста.

Методика аналитического исследования. Химический состав металла зеркал, учтённых в публикуемой выборке, был исследован методом РФА на приборной базе Центра коллективного пользования при ИА РАН (г. Москва) с использованием спектрометров M1 Mistral, 5i Tracer (Bruker, Германия). Методика анализа и обработки спектров стандартная. Анализ выполнялся на «чистом» металле, очищенном от патины [6] (результаты сведены в общую таблицу 3).

Эксперименты по нейтронной томографии [7] проводились на установке TITAN [8] на 1-м горизонтальном канале исследовательского реактора ВВР-К в Институте ядерной физики (г. Алматы, Казахстан). Для получения нейтронных изображений использовался детектор со съёмными сцинтилляционными пластинами и специальной высокочувствительной видеокамерой. Характеристический параметр отношения диаметра коллиматора нейтронного пучка (D) к расстоянию от апертуры коллиматорной системы до исследуемого образца (L) составлял 350. При этом параметре L/D и расстоянии от образца до сцинтиллятора детектора $l=35$ мм, размытие или пространственное разрешение нейтронных изображений составляет 120 мкм. Для реконструкции трехмерных (3D) томографических моделей исследуемых фрагментов использовались данные из 360-и угловых нейтронных проекций. Типичное время экспозиции для получения одной нейтронной угловой проекции составляло 20 с, а общее время эксперимента по нейтронной томографии для одного исследуемого фрагмента не превышало 2,5 часов.

Трехмерные томографические данные восстанавливались из угловых проекций с помощью программного комплекса SYRMEP Tomo Project [9]. Визуальное представление и анализ реконструированных данных выполнялись с использованием программного обеспечения VGStudio MAX 2.2 (Volume Graphics, г. Гейдельберг, Германия).

Фазовый состав исследуемых фрагментов бронзового зеркала исследовался на установке нейтронной порошковой дифрактометрии ДИСК [10] на шестом экспериментальном канале реактора ИР-8 (НИЦ «Курчатовский институт, г. Москва). Анализ дифракционных данных производился методом Ритвельда с помощью программы FullProf [11]. Дополнительно проводились эксперименты по рентгеновской дифракции на специализированной станции рентгеновского рассеяния Xeuss 3.0 производства французской компании XENOXS в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка в Объединённом институте ядерных исследований (г. Дубна).

Микроскопическое исследование остатков дерева из рукояти зеркала проводилось в трёх взаимоперпендикулярных направлениях: поперечном, радиальном и тангенциальном; соответственно, с образца было взято три среза. Анализ строения древесины осуществлялся по подготовленным препаратам при помощи бинокулярного микроскопа ADF, с проходящим светом, с увеличением в 100х, 200х, 400х и 600х. Здесь различают ядро, заболонь, годовичные слои, сосуды и их величину (у лиственных пород), сердцевинные лучи, смоляные ходы (у некоторых хвойных), а также ряд других анатомических признаков, являющихся постоянными для рода. Описание микроскопических признаков древесины, а также анатомическая терминология приводится в соответствии со словарём терминов, разработанным Международной ассоциацией анатомов древесины.

Обсуждение результатов. Как отмечалось выше, металл зеркал из некрополя Волна 1 имеет достаточно плохую сохранность из-за многолетнего воздействия на территорию расположения памятника плантажной распашки и удобрения почвы химикатами [12, с. 141]. Нами было проведено предварительное исследование степени сохранности металла на фрагменте зеркала из погр. 629 методом нейтронной томографии; восстановленная из данных нейтронной томографии 3D модель рукояти бронзового зеркала из погр. 629 представлена на рисунке (рис. 6). Из данных нейтронной томографии рассчитан общий объём фрагмента – 1036 мм³. Причём, металлическая бронзовая компонента без корродированного объёма составляет всего 68 мм³, что соответствует 6,5% от всего объёма фрагмента. Фотография и восстановленная из данных нейтронной томографии трехмерная модель второго фрагмента этого зеркала (бортик) представлены на рис. 7. Объём восстановленной модели (рис. 7,б) формируется 12910499 вокселями, что соответствует 1815 мм³. В этом исследуемом фрагменте обнаружены скрытые внутренние полости, вероятно, связанные с процессами неравномерного распространения коррозии и, как следствие, пространственной сепарации фазовых компонент фрагмента зеркала. Из данных нейтронной томографии рассчитано, что объём этих полостей составляет 8 мм³.

Химический состав металла зеркал из выборки был исследован неразрушающим методом безэталонного рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), анализ проводился на площадках, предварительно максимально очищенных от грязи и патины механическим способом. Полученные данные сведены в таблицу (табл. 3); как видно из таблицы, три пробы относятся к раннему периоду функционирования могильника (табл. 3,1,4,5), пробы №№ 27–40 – ко второй половине V – началу IV в. до н.э., а основная масса проб, полученных для зеркал (табл. 3,2–3,6–26), датируется первой половиной – серединой V в. до н.э. Гистограммы, построенные для выборки, демонстрируют некоторые различия в рецептуре бронз, использовавшихся для изготовления зеркал в период конца VI – середины V в. до н.э. и в период второй половины V – начала IV в. до н.э. (рис. 8).

Ранняя группа зеркал из некрополя Волна 1 выполнена из оловянной бронзы (CuSn), олово варьирует в пределах от 4,03 до 14,84%, усреднённое значение – 10,29%. Железо, кобальт, никель, цинк, серебро, сурьма, свинец и мышьяк – микропримеси, их содер-

жание фиксируется на уровне сотых процента, и только содержание примесей железа и мышьяка достигает относительно высоких значений (до 0,8–1,49%; табл. 3, 9, 21, 23).

Зеркала второй хронологической группы выполнены из двух типов сплавов – оловянной и оловянно-свинцовой бронзы. Оловянная (CuSn) бронза имеет ту же рецептуру, что и у зеркал первой хронологической группы: содержание олова варьирует в пределах 6,5–13,15%, усреднённое значение – 10,4%, низкое содержание микропримесей, за исключением железа и мышьяка. Оловянно-свинцовая бронза (CuSnPb), из которой изготовлены зеркала, имеет следующие характеристики: содержание олова в пределах 3,5–10,9% (усреднённое значение – 7,3%), содержание свинца в пределах от 1,13 до 5,4% (усреднённое значение – 3,2%); содержание микропримесей также низкое.

Дополнительно был проведен фазовый анализ металла методом рентгеновской дифракции для зеркал из погр. 597, 600, 604, 630, 639, 649, для проверки данных, полученных методом РФА. Спектры, полученные для зеркал, показали лишь небольшие рефлексы меди; продукты коррозии представлены купритом и атакамитом как и для двух крупных фрагментов (рис. 9). Для зеркала из погр. 629 исследование фазового состава было выполнено с помощью метода нейтронной дифракции. На дифракционных данных фрагмента ручки зеркала (рис. 10, а, б) были обнаружены рефлексы, соответствующие трем основным фазам: кубическая медь, куприт Cu₂O и атакамит Cu₂Cl(OH)3. Интенсивность дифракционных пиков фазы меди коррелирует с локальной точкой накопления данных: низкая интенсивность соответствует краям фрагмента, а высокая – средней части рукояти (рис. 10, а). Это хорошо согласуется с результатами нейтронной томографии. Для кубической фазы меди с пространственной группой Fm $\bar{3}$ m рассчитан параметр элементарной ячейки $a=3.683(2)$ Å, что позволяет оценить содержание олова в бронзовом сплаве, как ~6 мас. %. Сравнение этих данных с результатами, полученными по методу РФА (табл. 3, № 2), документирует процесс выпадения олова на поверхность зеркала под воздействием коррозионных процессов и обеднение этим элементом ядра зеркала.

Итоговое ранжирование полученных данных по химическому составу металла показало, что для изготовления зеркал аттического и пелопонесского типа, большой серии составных зеркал с накладными рукоятями, происходящих из погребений конца VI – начала IV в. до н.э., использовалась, преимущественно, оловянная бронза. Содержание легирующего компонента (олова) в сплаве показывает разброс у зеркал подгруппы 3 – от 4,03 до 12%, и у зеркал подгруппы 4 – от 5,99 до 14,66%; бронза зеркал подгрупп 1 и 2 такого разброса показателей по содержанию олова не демонстрирует. Отметим, что для отливки зеркал из подгруппы 4 (погр. 589, 656, 658) использовалась также оловянно-свинцовая бронза. Важной характеристикой сплава зеркал из некрополя Волна 1 является низкое содержание микропримесей; на общем фоне выделяются сплавы зеркал, отнесенных нами к условной подгруппе 4: сплав зеркала из погр. 163 содержит железо (1,49%), бронза зеркал из погр. 235 и 404 содержит мышьяк (0,8; 1,31%) и может быть отнесена к оловянно-мышьяковым сплавам, характерным для прикубанского / северокавказского / североказахстанского очагов цветной металлообработки [13, с. 23, рис. 11].

Для некоторых креплений, там, где это оказалось возможным, был выполнен анализ химического состава сплава по методу РФА (зеркала из погр. 315, 583, 600, 604, 630). Только у зеркала из погр. 604, не имеющего следов его вторичного использования или ремонта, состав сплава крепления был аналогичен составу сплава диска (табл. 3, 25), что говорит об одновременном изготовлении этих элементов; у остальных зеркал крепление было выполнено из меди (табл. 3, 28, 29, 39, 40), что косвенно указывает или на замену родной рукояти зеркала, или на ремонт крепления⁵.

Выше указывалось, что на части зеркал сохранились следы использования деревянных накладных рукоятей; практически все эти зеркала относятся к условно выделенной подгруппе 4. Определение породы древесины, проводившееся для наиболее сохранившегося

⁵ В некрополе Волна 1 присутствует серия бронзовых кияфов со следами ремонта, также выполненного с помощью медных пластин (заплаток) [14].

фрагмента деревянной рукояти зеркала из погр. 589 (размер фрагмента 0,4х1,8 см, образец сухой, хорошей сохранности, структура древесины не деформирована), позволили установить, что рукоять была вырезана из самшита (*Vuxus*). Это заболонная порода, обладающая довольно плотной, однородного строения, крепкой и твёрдой древесиной матового жёлтого цвета. Древесина рассеянно-сосудистая, сосуды многочисленные, по большей части одиночные, равномерно распределены по годичному слою. Переход от ранней древесины к поздней постепенный. Сердцевинные лучи многочисленные, одно-, двухрядные; трёхрядные лучи встречаются редко. При встрече с сосудами лучи не изгибаются (рис. 11,а,б), членики сосудов короткие. Все перфорации лестничные, в 6–15 перекалин высотой. Межсосудовая поровость очередная, поры мелкие; спиральных утолщений нет, сердцевинные лучи гетерогенные. Крайние клетки лучей палисадные, неправильной формы (рис. 11,в,г). В тангенциальном направлении сердцевинные лучи 1–3 рядные; однорядные лучи линейные, а многорядные – веретеновидные. У многорядных лучей внутренние клетки округлые, а крайние высокие, вытянутые вдоль волокон; лучи низкие, не более 25 клеток в высоту (рис. 11,д,е).

Наиболее близко расположенные к Таманскому полуострову ареалы произрастания самшита – это Крым и Северный Кавказ, вечнозеленый (в т.ч., колхидский) самшит можно рассматривать как один из наиболее вероятных источников сырья, использовавшегося для изготовления деревянных накладных рукоятей для зеркал из некрополя Волна 1. Изделия из колхидского самшита, по крайней мере, в эллинистическое время, не редки в слоях поселений равнинных областей Северного Кавказа [15, с. 186, рис. 3]. Самшит в греческой материальной культуре считался ценной породой, не уступающей эбеновому (черному) дереву (самшитовое ядро в сцене выкупа Приамом тела Гектора [16]; самшитовые таблички, использовавшиеся Аристофаном [17]; упоминание Аристотелем понтийского самшитового мёда [18]) [19, с. 300].

Заключение. Исследования зеркал конца VI – конца V в. до н.э. из некрополя Волна 1 позволили определить, что три зеркала из 40, учтённых в аналитической выборке, отнесённые к импортным, были отлиты из оловянной бронзы с содержанием олова 13,5–14,8% (аттические зеркала) и 12,6–12,9% (зеркало пелопонесского типа).

Выборка из 22 зеркал из некрополя Волна 1 (подгруппы 1–3) оказалась представлена зеркалами, родные рукояти у которых были заменены на самшитовые накладные с креплением в виде «коробочки» с двумя штифтами, выполненными из меди. Сами зеркала этих подгрупп отлиты из оловянной бронзы (лишь одно зеркало выполнено из тройной бронзы). Диски на части этих зеркал несут следы слома/срезания рукояти, опилования бортиков, некоторые по всему диаметру, другие – на участке крепления накладной рукояти. Выборка из 15 зеркал, также снабжённых накладными самшитовыми рукоятями, вставленными в крепления в виде «коробочки» с двумя штифтами, не имеют следов ремонта – они были изготовлены уже в таком виде.

Зеркала (подгруппы 1–4) отлиты из оловянной бронзы с большим разбросом по содержанию олова (усредненное значение 10,29–10,4%). В целом, рецептура оловянной бронзы, из которой были выполнены исследуемые зеркала из некрополя Волна 1, сопоставима с данными, полученными при исследовании греческой, скифской и боспорской цветной металлообработки [22; 23; 24; 25; 26, с. 92–93, 113; 13; 27] и, в частности, анализа состава металла зеркал VI–V вв. до н.э. [13, с. 65–72; 28, р. 54, tab. II; 29, с. 202]. Для зеркал подгруппы 4 использовалась оловянно-свинцовая и оловянно-мышьяковистая бронза, где разброс по содержанию легирующих компонентов является, скорее, маркером использования лома цветного металла [20, р. 8].

Центр изготовления основной массы зеркал из некрополя Волна 1 пока не ясен; ремонт (замена) их рукоятей могли производиться на месте. Традиция замены бронзовых рукоятей греческих зеркал на изготовленные из других материалов, на которую указывает Т. М. Кузнецова [21, р. 63], по крайней мере, для некрополя Волна 1, могла являться вынужденной мерой, возникшей при попытке сохранить свои погребальные традиции [14].

Табл. 1. Каталог зеркал из анализируемой выборки
Table 1. Catalog of mirrors from the sample under analysis

№ п/п	Погр.	№ оп.	Датировка	Размер диска	Тип крепления рукояти
1	537	1	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	19,6х10,5 см; бортик по краю	
2	629	4	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	d–20 см (реконстр.); высокий бортик по краю	
3	380	5	вт. четв. 5 в. до н.э.	17,5х16,5 см	
Зеркала составные с накладными рукоятями					
4	284	1	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	d–14 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
5	186	1	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	d–15 см, деформировано	«коробочка» на штифтах
6	Тр. 7		п.п. 5 в. до н.э.	13,9х13,3 см	«коробочка» на штифтах
7	207	1	п.п. 5 в. до н.э.	d–14,5 см; бордюр по краю	два штифта
8	391	4	п.п. 5 в. до н.э.	15х14,5 см (сохр. часть)	
9	163	1	п.п. 5 в. до н.э.	14,9 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах
10	273	8	к. пер. – вт. четв. 5 в. до н.э.	11,6х14 см	«коробочка» на штифтах
11	328	4	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,9х14 см; бортики опилены	
12	334	6	вт. чет. 5 в. до н.э.	16,8х15,3-15,6 см (сохр. часть)	«коробочка» на штифтах
13	378	10	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,5х13,6 см (сохр. часть)	«коробочка» на штифтах
14	539	22	вт. чет. 5 в. до н.э.	d–17 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах
15	376	24	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,7х14,4 см	«коробочка» на штифтах
16	505	3	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,7х14,8 см	«коробочка» на штифтах
17	377	1	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,7х14,5 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах
18	342	4	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,7х14 см	
19	360	11	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,4х14 см	
20	301	4	вт. чет. 5 в. до н.э.	14,3х14 см	4 штифта
21	235	8	вт. чет. 5 в. до н.э.	-	
22	278	1	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	14,9-15х14,8 см, реконструировано	«коробочка» на штифтах, остатки дерева

Окончание Табл. 1.

№ п/п	Погр.	№ оп.	Датировка	Размер диска	Тип крепления рукояти
23	404	25	вт. чет. – сер. 5 в. до н.э.	15х14,5 см	один штифт
24	362	9	вт.-трет.четв. 5 в. до н.э.	14,2х13,5-12,7 см (сохр. часть); бортики опилены	
25	604	4	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	реконструируемые размеры 15,5 см; бордюр по краю	следы крепления поперечные
26	208	6	вт. чет. – сер. 5 в. до н.э.	14,5х13 см (сохр. часть)	«коробочка» на штифтах
27	598	2	вт. пол. 5 в. до н.э.	14,4х14 см; ровные бордюры по краю	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
28	315	2	вт. пол. 5 в. до н.э.	14,6х14,5 см, деформировано	«коробочка» на штифтах
29	630	2	вт. пол. 5 в. до н.э.	14,5 см	«коробочка» на штифтах
30	658	15	вт. пол. 5 в. до н.э.	15,9х15,5 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах
31	497	6	сер. – трет. четв. 5 в. до н.э.	15,3х15,5 см, утраты	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
32	597	23	сер. – трет. четв. 5 в. до н.э.	–	
33	609	1	сер. – трет. четв. 5 в. до н.э.	реконструируемые размеры d–14,5 см	
34	589	10	трет. четв. 5 в. до н.э.	15,7х15,4 см; бордюр по краю опилен	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
35	563	4	трет. четв. 5 в. до н.э.	15,5х15 см	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
36	649	1	трет. четв. 5 в. до н.э.	12х11 см, с утратами	«коробочка» на штифтах
37	292	1	четв. четв. 5 в. до н.э.	d–14,7 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах, остатки дерева
38	656	23	четв. четв. 5 в. до н.э.	15,9х15,5 см; бордюр по краю	«коробочка» на штифтах
39	583	2	посл. треть 5 – нач. 4 в. до н.э.	15,5х14,3 см (сохр. часть)	«коробочка» на штифтах
40	600	2	4 в. до н.э.	реконструируемые размеры d–11,4 см	

Табл. 2. Антропологические определения погребений
с зеркалами из анализируемой выборки

Table 2. Paleoanthropological attributions of mirror burials from the sample under analysis

<i>Погребение</i>	<i>Инд.</i>	<i>Пол</i>	<i>Возраст</i>	<i>Примечание</i>
163	1	Женщина	20-35	
	2	Мужчина	25-39	
186		Женщина	20-39	
207		Подросток	15-19	
208	1	Мужчина	45-55	Прижизненная утрата зубов, сильная и неравномерная стертость зубного ряда (более 1/2 коронки), остеофитоз на первых шейных позвонках
	2	Мужчина (?)	25-40	Функциональные сколы на зубах, среди костей человека кость животного
235		Подросток	12-15	
273		Женщина (?)	20-29	
278		Женщина (?)	30-39	
284	1	Женщина (?)	30-39	
	2	Ребенок	10-11	
292		Подросток	15-19	
301		Не определен	25-45	
315	1	Женщина	Senilis (старше 55 лет)	
	2	Мужчина	Maturus II (45-55 лет)	Гипердонтия
328	1	Мужчина	Maturus I (35-45 лет)	
	2	Мужчина	Maturus I (35-45 лет)	
334		Не определен	Maturus I (35-45 лет)	
342		Женщина (?)	Adultus (25-35 лет)	
360		Подросток	Juvenilis I (10-15 лет)	
362	1	Женщина	Juvenilis I (15-20 лет)	
	2	Мужчина	Maturus II (45-55 лет)	
376		Подросток	Juvenilis I (10-14 лет)	
377		Ребенок	Infantilis II (9-12 лет)	
378		Женщина	Adultus (25-35 лет)	
380	1	Мужчина	Maturus I (35-45 лет)	
	2	Женщина	Adultus (25-35 лет)	
391		Женщина	Maturus I (35-45 лет)	
404		Мужчина	Senilis (старше 55 лет)	Сросшийся перелом 2-го правого ребра
497		Не определен	Adultus	
505		Женщина (?)	Adultus (25-35 лет)	
537		Женщина	Maturus I (35-45 лет)	
539		Мужчина	Adultus (25-35 лет)	

Окончание Табл. 2.

Погребение	Инд.	Пол	Возраст	Примечание
563	1	Мужчина	Maturus II (45-55 лет)	
	2	Женщина	Maturus II (45-55 лет)	
	3	Женщина	Maturus II (45-55 лет)	
	4	Ребенок	Infantilis (5-9 лет)	
	5	Ребенок	Infantilis I (3-5 лет)	
583	1	Женщина (?)	Maturus II (45-55)	
	2	Мужчина	Maturus I (35-45)	Краевые разрастания на поясничных позвонках
589	1	Мужчина	Senilis (старше 55 лет)	Полная облитерация швов черепа. На лобной кости заросший след от рубленой раны
	2	Мужчина	Maturus I (35-45 лет)	
597	1	Мужчина	Senilis (старше 55 лет)	Полная облитерация швов черепа
	2	Мужчина	Senilis (старше 55 лет)	
598		Нет данных	Нет данных	
600		Женщина	Adultus (25-35 лет)	
604		Женщина	Adultus (25-35 лет)	
609		Женщина	Adultus (25-35 лет)	
629		Мужчина	Maturus I (35-45 лет)	
630		Не определим	Не определим	
631	1	Женщина	Maturus I (35-45 лет)	
	2	Ребенок	Infantilis II (7-10 лет)	
	3	Мужчина	Juvenilis II (20-24 года)	
	4	Мужчина	Senilis (старше 55 лет)	
	5	Женщина (?)	Adultus (25-35 лет)	
	6	Мужчина	Maturus II (45-55 лет)	
	7	Женщина	Adultus (25-35 лет)	
	8	Мужчина	Adultus (25-35 лет)	
	9	Мужчина (?)	Juvenilis II (20-24 года)	
	10	Ребенок	Infantilis II (10-14 лет)	
	11	плод	Fetus (7-8 лунных месяцев)	
649		Женщина	Adultus (25-35 лет)	
656	1	Женщина	Adultus (20-25 лет)	
	2	Мужчина	Maturus II (45-55 лет)	
658	1	Женщина	Juvenilis II (20-25 лет)	
	2	Не определено	Juvenilis I (12-20 лет)	
680	1	Мужчина	Adultus	
	2	Женщина	Maturus I (35-45 лет)	
* Определения до п. 301 – Т.Ю. Шведчикова, Н.Г. Свиркина, с п. 325 – А.Н. Абрамова				

Табл. 3. Результаты исследования химического состава металла зеркал из анализируемой выборки методом РФА

Table 3. The results of the research of the chemical composition of metal of the mirrors from the sample under analysis with the XRF method

№ п/п	№ погр.	№ оп.	Наименование предмета	Датировка	Cu	Fe	Co	Ni	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
1	537	1	зеркало аттическое	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	85.979	0.07	0.000	0.02	0.001	0.21	0.000	13.58	0.000	0.14
2	629	4	зеркало аттическое	вт. – тр. четв. 5 в. до н.э.	84.845	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.840	0.047	0.156
3	380	5	зеркало пелопонес- ского типа	вт. четв. 5 в. до н.э.	86.259	0.45	0.000	0.000	0.001	0.42	0.04	12.65	0.1	0.08
			ручка		86.049	0.44	0.000	0.000	0.001	0.44	0.000	12.97	0.000	0.1
4	284	1	зеркало составное с утраченной ручкой	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	89.868	0.13	0.03	0.04	0.001	0.16	0.000	9.77	0.000	0.001
5	186	1	зеркало составное с утраченной ручкой	к. 6 – п.п. 5 в. до н.э.	91.569	0.19	0.000	0.000	0.001	0.13	0.000	8.03	0.000	0.08
6	тр 7		зеркало составное с утраченной ручкой	п.п. 5 в. до н.э.	89.149	0.07	0.000	0.000	0.001	0.32	0.000	10.41	0.000	0.05
7	207	1	зеркало составное с утраченной ручкой	п.п. 5 в. до н.э.	91.05	0.1	0.03	0.04	0.000	0.22	0.03	8.49	0.000	0.04
8	391	4	зеркало составное с утраченной ручкой	п.п. 5 в. до н.э.	87.649	0.24	0.000	0.06	0.001	0.31	0.07	11.61	0.000	0.06
9	163	1	зеркало составное с утраченной ручкой	п.п. 5 в. до н.э.	86.267	1.49	0.000	0.000	0.001	0.13	0.000	12.11	0.001	0.001
10	273	8	зеркало составное с утраченной ручкой	к. пер. – вт. четв. 5 в. до н.э.	91.619	0.15	0.000	0.000	0.001	0.1	0.000	8.1	0.000	0.03
11	328	4	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	95.809	0.12	0.000	0.02	0.001	0.02	0.000	4.03	0.000	
12	334	6	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	87.459	0.15	0.000	0.04	0.001	0.26	0.000	12	0.000	0.09
13	378	10	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	90.728	0.08	0.03	0.04	0.001	0.23	0.000	8.89	0.000	0.001

№ п/п	№ погр.	№ оп.	Наименование предмета	Датировка	Cu	Fe	Co	Ni	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
14	539	22	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	93.709	0.12	0.02	0.04	0.001	0.12	0.000	5.99	0.000	
15	376	24	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	91.028	0.1	0.02	0.04	0.001	0.13	0.000	8.68	0.000	0.001
16	505	3	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	88.259	0.09	0.000	0.05	0.001	0.65	0.1	10.52	0.16	0.17
17	377	1	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	88.069	0.03	0.02	0.07	0.001	0.28	0.000	11.48	0.000	0.05
18	342	4	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	88.739	0.08	0.000	0.000	0.001	0.16	0.000	10.83	0.000	0.19
19	360	11	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	90.699	0.05	0.02	0.08	0.001	0.22	0.07	8.79	0.000	0.07
20	301	4	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	93.579	0.02	0.02	0.04	0.001	0.34	0.000	5.95	0.000	0.05
21	235	8	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. 5 в. до н.э.	83.708	0.001	0.01	0.02	0.001	1.31	0.09	14.66	0.14	0.06
22	278	1	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	86.798	0.82	0.000	0.03	0.001	0.14	0.05	12.16	0.000	0.001
23	404	25	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. – сер. 5 в. до н.э.	89.132	0.014	0.000	0.000	0.000	0.807	0.107	9.663	0.096	0.181
24	362	9	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	87.839	0.09	0.03	0.03	0.001	0.14	0.000	11.68	0.12	0.07
25	604	4/4a	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. – трет. четв. 5 в. до н.э.	90.057	0.098	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.845	0.000	0.000
			крепление		90.358	0.180	0.000	0.000	0.001	0.050	0.000	9.410	0.000	0.001
26	208	6	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. четв. – сер. 5 в. до н.э.	86.209	0.05	0.06	0.05	0.001	0.35	0.000	12.98	0.17	0.13
27	598	2/2a	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. пол. 5 в. до н. э.	89.618	0.000	0.000	0.000	0.000	0.323	0.000	9.874	0.027	0.157
28	315	2	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. пол. 5 в. до н.э.	83.299	0.16	0.000	0.000	0.001	0.52	0.000	10.96	0.12	4.94
			крепление		97.789	1.03	0.000	0.05	0.000	0.2	0.2	0.001	0.44	0.29

Окончание Табл. 3.

№ п/п	№ погр.	№ оп.	Наименование предмета	Датировка	Cu	Fe	Co	Ni	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb
29	630	2	зеркало составное с утраченной ручкой крепление	вт. пол. 5 в. до н. э.	86.944 99.120	0.251 0.280	0.000 0.000	0.000 0.040	0.000 0.000	0.246 0.430	0.000 0.000	12.390 0.090	0.039 0.000	0.129 0.040
30	658	15	зеркало составное с утраченной ручкой	вт. пол. 5 в. до н. э.	92.550	0.000	0.193	0.000	0.000	0.235	0.000	5.870	0.013	1.139
31	497	6	зеркало составное с утраченной ручкой	сер. – нач. трет. четв. 5 в. до н.э.	87.769	0.18	0.000	0.000	0.001	0.2	0.08	11.72	0.000	0.05
32	597	23/23 а	зеркало составное с утраченной ручкой	сер.–трет. четв. 5 в. до н.э.	90.222	0.000	0.000	0.000	0.000	0.425	0.000	9.127	0.066	0.159
33	609	1а	зеркало составное с утраченной ручкой	сер.–трет. четв. 5 в. до н.э.	87.669	0.111	0.000	0.000	0.000	0.687	0.000	11.493	0.040	0.000
34	589	10	зеркало составное с утраченной ручкой	трет. четв. 5 в. до н.э.	89.146	0.162	0.000	0.000	0.000	0.367	0.000	8.905	0.000	1.420
35	563	4	зеркало составное с утраченной ручкой	трет. четв. 5 в. до н.э.	88.839	0.06	0.09	0.000	0.001	0.21	0.000	10.69	0.000	0.11
36	649	1	зеркало составное с утраченной ручкой	трет. четв. 5 в. до н. э.	93.252	0.000	0.042	0.056	0.000	0.000	0.000	6.650	0.000	0.000
37	292	1	зеркало составное с утраченной ручкой	четв. четв. 5 в. до н.э.	88.139	0.03	0.04	0.05	0.001	0.28	0.000	11.43	0.000	0.03
38	656	23	зеркало составное с утраченной ручкой	четв. четв. 5 в. до н.э.	90.637	0.000	0.000	0.000	0.000	0.294	0.000	3.522	0.066	5.481
39	583	2/26	зеркало составное с утраченной ручкой крепление	посл. треть 5 – самое нач. 4 (?) в. до н. э.	91.358 99.399	0.077 0.260	0.000 0.000	0.000 0.070	0.000 0.001	0.241 0.270	0.055 0.000	7.525 0.000	0.047 0.000	0.695 0.000
40	600	2с	зеркало составное с утраченной ручкой крепление	4 в. до н.э.	86.616 98.798	0.000 0.55	0.000 0.000	0.000 0.03	0.000 0.001	0.225 0.390	0.000 0.05	13.159 0.001	0.000 0.000	0.000 0.18



Рис. 1. Греческие зеркала из раскопок некрополя Волна 1:
a – погр. 380; *б* – погр. 537; *в* – погр. 629

Fig. 1. Greek mirrors excavated from the cemetery of Volna 1:
a – burial 380; *b* – burial 537; *c* – burial 629



Рис. 2. Зеркала из подгрупп 1–2 некрополя Волна 1. Подгруппа 1:
a – погр. 186; *б* – погр. 278; *в* – погр. 284. Подгруппа 2: *з* – погр. 360

Fig. 2. Mirrors from subgroups 1–2 of the cemetery of Volna 1. Subgroup 1:
a – burial 186; *b* – burial 278; *c* – burial 284. Subgroup 2: *d* – burial 360



Рис. 3. Зеркала из подгруппы 3 некрополя Волна 1:
a – погр. 315; *б* – погр. 362; *в* – погр. 378; *г* – погр. 649

Fig. 3. Mirrors from subgroup 3 of the cemetery of Volna 1:
a – burial 315; *b* – burial 362; *c* – burial 378; *d* – burial 649



Рис. 4. Зеркала из подгруппы 4 некрополя Волна 1:
a – погр. 292; *б* – погр. 404; *в* – погр. 497; *г* – погр. 563

Fig. 4. Mirrors from subgroup 4 of the cemetery of Volna 1:
a – burial 292; *b* – burial 404; *c* – burial 497; *d* – burial 563

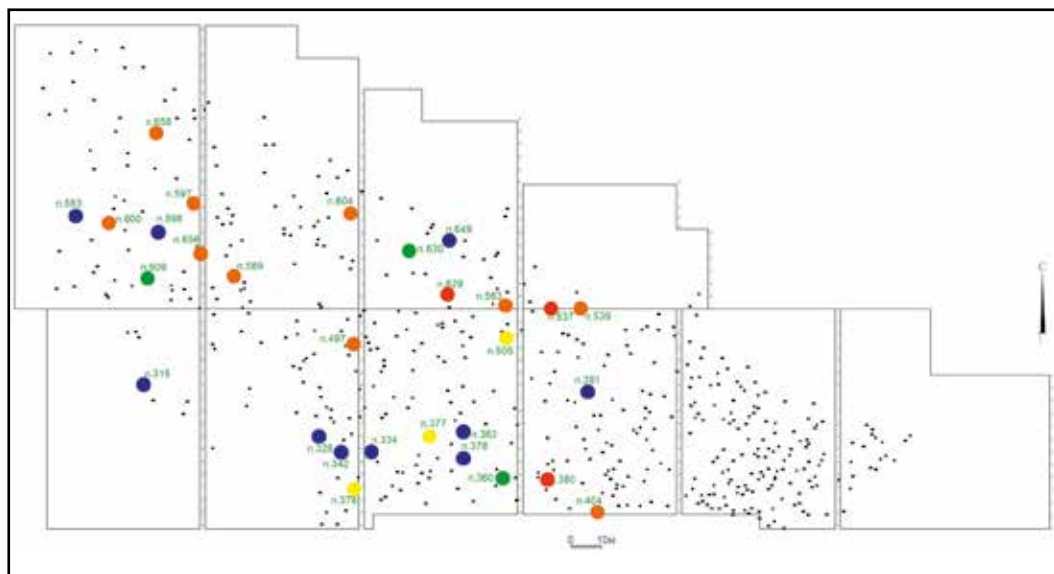


Рис. 5. Планиграфия погребений с зеркалами на северном участке некрополя Волна 1 (раскопки 2017–2018 гг. Р. А. Мимохода): красный – греческие зеркала; желтый – зеркала подгруппы 1; зеленый – зеркала подгруппы 2; синий – зеркала подгруппы 3; оранжевый – зеркала подгруппы 4

Fig. 5. Spatial distribution of mirror burials in the northern area of the cemetery of Volna 1 (R. A. Mimokhod's excavations in 2017–2018): red – Greek mirrors; yellow – mirrors of subgroup 1; green – mirrors of subgroup 2; blue – mirrors of subgroup 3; orange – mirrors of subgroup 4

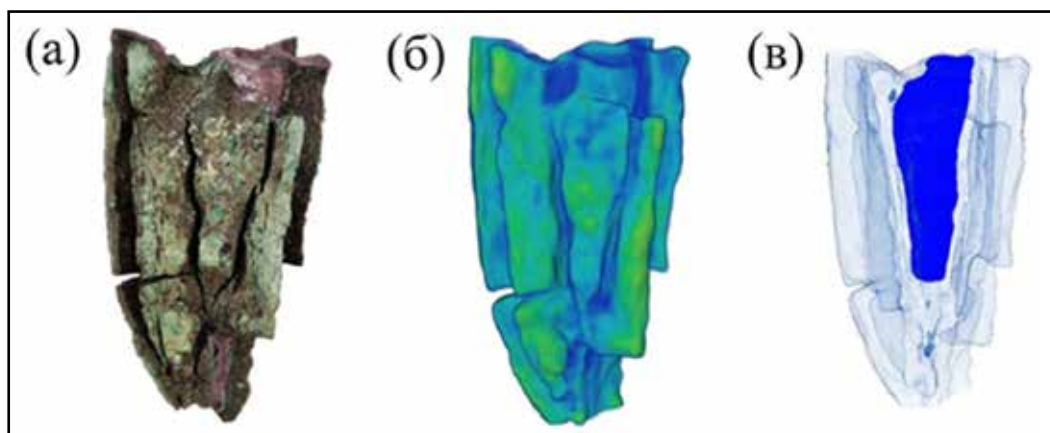


Рис. 6. Фотография (а) и восстановленная из нейтронных данных трехмерная модель (б) фрагмента рукояти бронзового зеркала из погр. 629. Представлена сегментированная металлическая компонента без учета фаз коррозии (в)

Fig. 6. Photograph (a) and a three-dimensional model (b) reconstructed from neutron data of a bronze mirror handle fragment from burial 629. A segmented metal component is presented without taking into account corrosion phases (c)

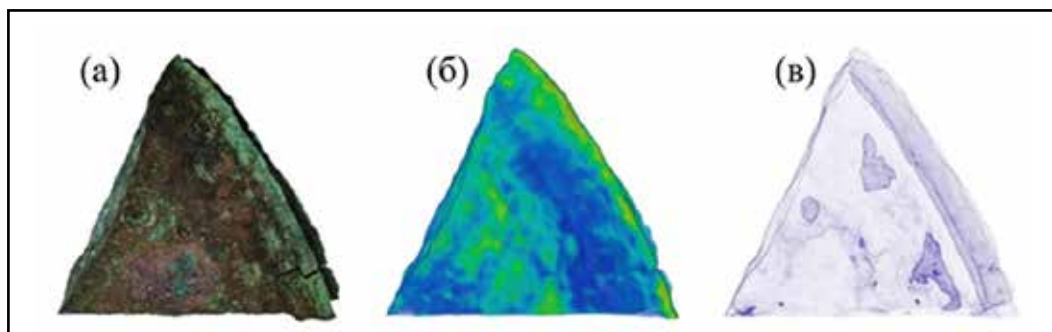


Рис. 7. Фотография (а) и восстановленная из нейтронных данных трехмерная модель (б) фрагмента бронзового зеркала из погр. 629. Представлена трехмерная модель зеркала с сегментированными внутренними полостями (в)

Fig. 7. Photograph (a) and a three-dimensional model (b) reconstructed from neutron data of a bronze mirror fragment from burial 629. A three-dimensional model of a mirror with segmented internal cavities is presented (c)

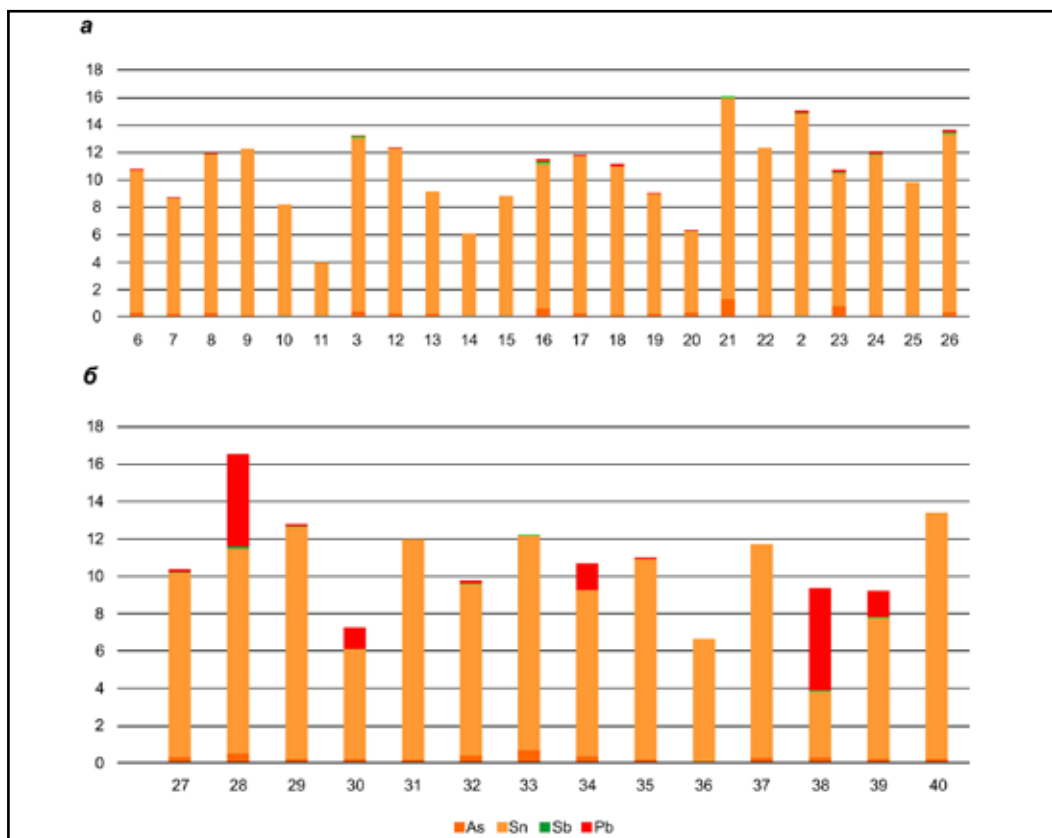


Рис. 8. Гистограммы по содержанию олова в бронзах зеркалах первой (а) и второй (б) хронологических групп погребений некрополя Волна 1

Fig. 8. Histograms of tin content in bronze mirrors of the first (a) and second (b) chronological groups of burials from the cemetery of Volna 1

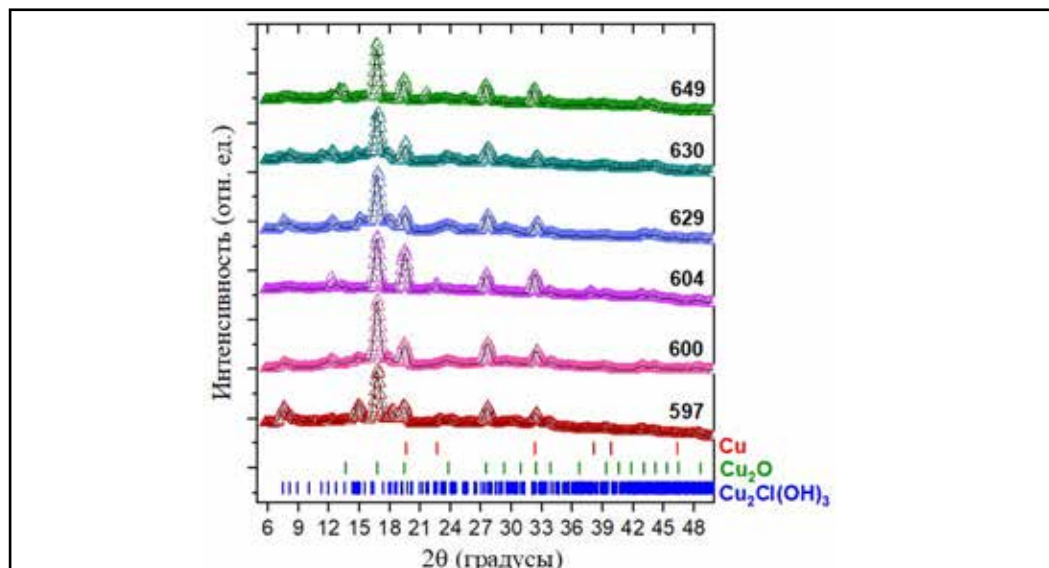


Рис. 9. Рентгеновские дифракционные спектры небольших фрагментов бронзовых зеркал

Fig. 9. X-ray diffraction spectra of small bronze mirror fragments

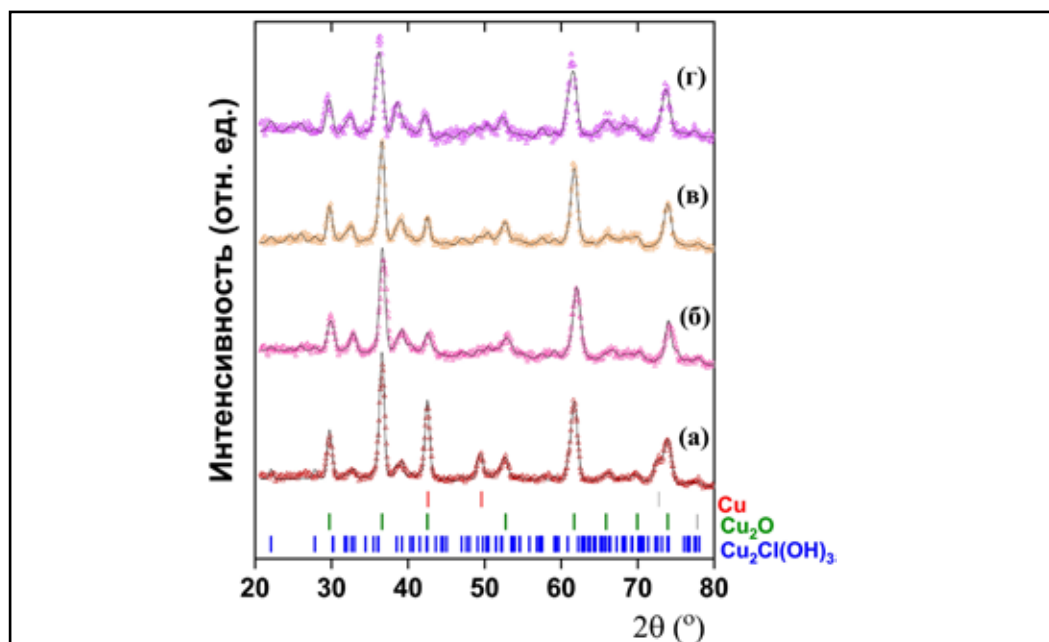


Рис. 10. Данные нейтронной дифракции для фрагментов рукоятки (а, б) и диска (в, г) бронзового зеркала. Представлены экспериментальные точки, рассчитанный методом Ритвелда профиль и положение дифракционных пиков для трех фазовых компонентов

Fig. 10. Neutron diffraction data for the fragments of bronze mirror handle (a, b) and disk (c, d). Experimental points, the profile calculated by the Rietveld method, and the position of diffraction peaks for three phase components are presented

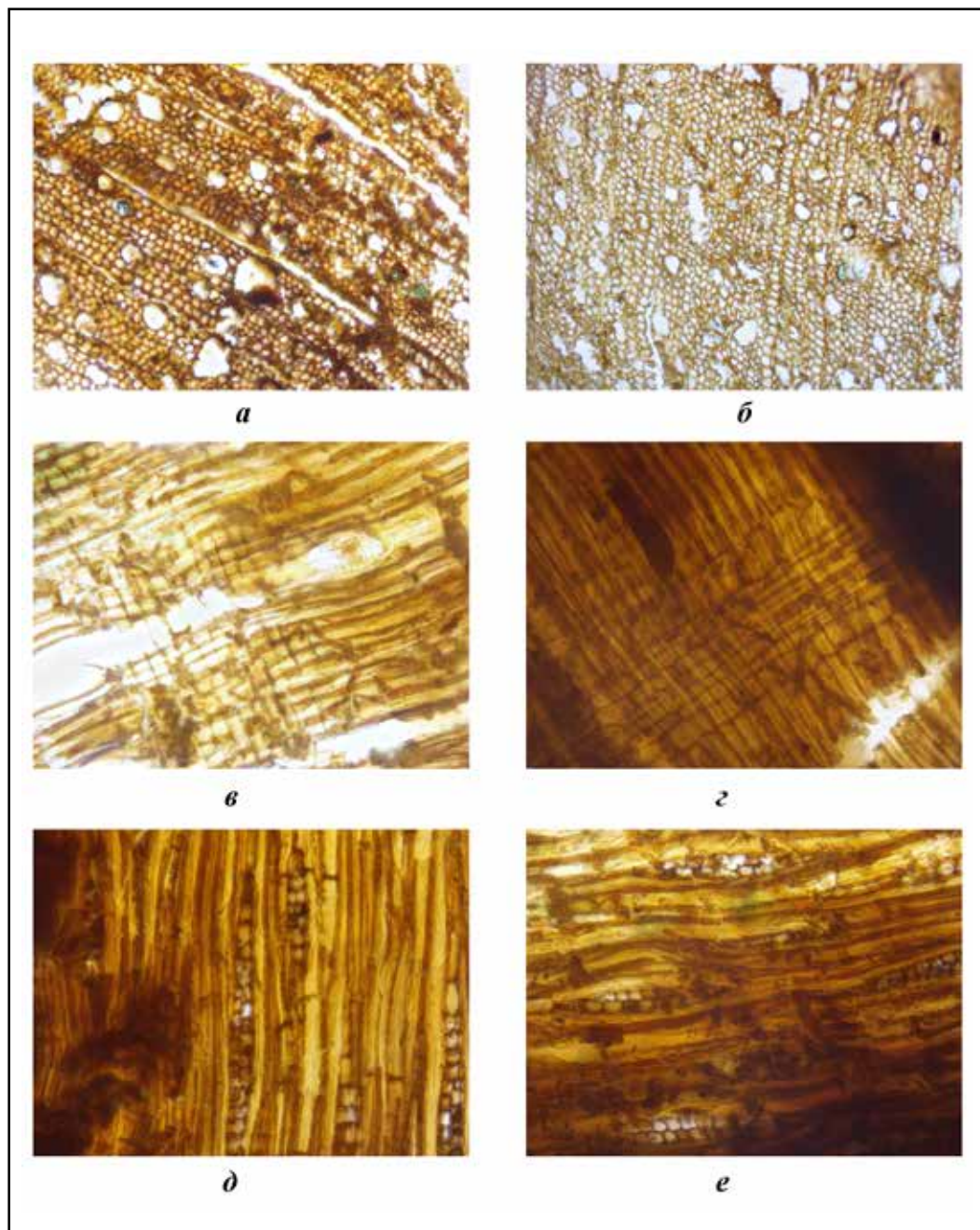


Рис. 11. Микроскопическое исследование фрагментов деревянной рукояти зеркала из погр. 589:
a – поперечный срез, ув. 200х; *б* – поперечный срез, ув. 200х; *в* – радиальный срез, ув. 400х;
г – радиальный срез, ув. 400х; *д* – тангенциальный срез, ув. 400х;
е – тангенциальный срез, ув. 400х

Fig. 11. Microscopic examination of the fragments of wooden mirror handle from burial 589:
a – cross-section, 200x; *b* – cross-section, 200x; *c* – radial section, 400x; *d* – radial section, 400x;
e – tangential section, 400x; *f* – tangential section, 400x

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мимоход Р.А., Сударев Н.И., Успенский П.С. Некрополь Волна-1 (2017 г.) (Краснодарский край, Таманский полуостров) // Города, селища, могильники. Раскопки 2017. Материалы спасательных археологических исследований. Том 25. М.: ИА РАН, 2018. С. 220–231.
2. Кузнецова Т.М. Зеркала Скифии VI–III века до н.э. Т. I. М.: Индрик, 2002. 352 с.
3. Соколова О.Ю. Бронзовые зеркала из раскопок Нимфея в коллекции Государственного Эрмитажа // Боспорские исследования. 2017. Вып. XXXV. С. 269–284.
4. Кашаев С.В. Некрополь Артющенко-2 // Боспорские исследования. 2009. Вып. XXII. С. 188–267.
5. Полин С.В., Дараган М.Н. Зеркала в погребениях Геродотовых скифов Северного Причерноморья второй половины V – IV вв. до н.э. // Античный мир и археология. 2019. Вып. 19. С. 213–253.
6. Robotti S., Rizzi P., Soffritti C., Garagnani G.L., Greco Ch., Facchetti F., Borla M., Operti L., Agostino A. Reliability of portable X-ray Fluorescence for the chemical characterisation of ancient corroded copper tin alloys // Spectro-chimica Acta. 2018. Part B 146. P. 41–49.
7. Podurets K.M., Kichanov S.E., Glazkov V.P., Kovalenko E.S., Murashev M.M., Kozlenko D.P., Lukin E.V., Yatsishina E.B. Modern Methods of Neutron Radiography and Tomography in Studies of the Internal Structure of Objects // Crystallography Reports. 2021. Vol. 66. P. 254–266.
8. Nazarov K.M., Muhametuly B., Kenzhin E.A., Kichanov S.E., Kozlenko D.P., Lukin E.V., Shaimerdenov A.A. New neutron radiography and tomography facility TITAN at the WWR-K reactor // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2020. Vol. 982. Article 164572. DOI: 10.1016/j.nima.2020.164572.
9. Brun F., Massimi L., Fratini M., Dreossi D., Billé F., Accardo A., Pugliese R., Cedola A. SYRMEP Tomo Project: A Graphical User Interface for Customizing CT Reconstruction Workflows // Advanced Structural and Chemical Imaging. 2017. Vol. 3. Article 4. DOI: 10.1186/s40679-016-0036-8.
10. Glazkov V.P., Naumov I.V., Somenkov V.A., Shil'shtein S.Sh. Superpositional many-detector systems and neutron diffraction of microsamples // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 1988. Vol. 264, Iss. 2–3. P. 367–374. DOI: 10.1016/0168-9002(88)90925-4.
11. Rodríguez-Carvajal J. Recent advances in magnetic structure determination by neutron powder diffraction // Physica B: Condensed Matter. 1993. Vol. 192 (1–2). P. 55–69. DOI: 10.1016/0921-4526(93)90108-I.
12. Абрамова А.Н. Новые остеометрические данные по античному населению Таманского полуострова (по материалам могильника Волна 1) // «В этой связи...»: Сборник статей к юбилею Маргариты Михайловны Герасимовой. М.: Буки Веди, 2019. С. 141–153.
13. Барцева Т.Б. Цветная металлообработка скифского времени. Лесостепное Днепроовское Левобережье. М.: Наука, 1981. 124 с.
14. Сударев И.Н., Сапрыкина И.А., Смирнова В.С., Мимоход Р.А., Кичанов С.Е. Предварительные результаты исследования киафов V–IV вв. до н.э. из погребений могильника Волна-1 // КСИА. 2023. (в печати).
15. Гольева А.А. Использование древесины на полуострове Абрау в древности // Abrau Antiqua. Результаты комплексных исследований древностей полуострова Абрау. М.: Гриф и К., 2009. С. 181–193.
16. Loeb Classical Library. https://www.loebclassics.com/view/homer-iliad/1924/pb_LCL171.583.xml?rskey=zSnWiz&result=1&mainRsKey=1Z5ory
17. Loeb Classical Library. https://www.loebclassics.com/view/aristophanes-unattributed_fragments/2008/pb_LCL502.507.xml?rskey=ztBBnA&result=1&mainRsKey=8tPmLA
18. Loeb Classical Library. https://www.loebclassics.com/view/aristotle-marvellous_things_heard/1936/pb_LCL307.245.xml?rskey=SmhGwN&result=1&mainRsKey=8tPmLA
19. Хайрединова Э.А. Деревянные гребни из Эски-Кермена // МАИЭТ. 2020. Вып. XXV. С. 295–312.
20. Fulminante F., Unavane M. “Community practices” and “community of practice” in smelting technology by XRF analysis of Archaic bronze votive figurines in central Italy (6th–5th centuries BC) // Journal of Archaeological Science: Reports. 2020. Vol. 31. Article 102266. DOI: 10.1016/j.jasrep.2020.102266
21. Kuznetsova T.M. On the Time and Context of the Earliest Bronze Mirrors in the Northern Pontic Region // Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia. 2018. Vol. 46. No. 4. P. 59–66. DOI: 10.17746/1563-0110.2018.46.4.059-066.
22. Craddock P.T. The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations: 2. The Archaic, Classical and Hellenistic Greeks // Journal of Archaeological Science. 1977. Vol. 4(2). P. 103–123.

23. Craddock P.T. The Metallurgy and Composition of Etruscan Bronze // *Studi Etruschi*. 1984. Vol. 52. P. 211–271.
24. Lefferts K.C., Majewski T., Sayre E.V., Meyers P. Technical Examination of the Classical Bronze Horse from the Metropolitan Museum of Art // *Journal of American Institute for Conservation*. 1981. Vol. 21 (1). P. 1–42.
25. Klaudori N.K., Karydas A.G., Orfanou V., Kantarelou V., Zacharias N. Bronze votive pins from the sanctuary of Athena Alea at Tegea, Arcadia, Greece, ca. 9th–7th BCE: A microscopic and compositional study using portable micro X-ray fluorescence spectrometry (micro-XRF) // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2021. Vol. 37. Article 102975. DOI:10.1016/j.jasrep.2021.102975.
26. Онайко Н.А. Архаический Торик – античный город на северо-востоке Понта. М.: Наука, 1980. 180 с.
27. Трейстер М.Ю. Бронзолитейное ремесло Боспора // *Сообщения ГМИИ им. А.С. Пушкина*. 1992. Вып. X. С. 66–110.
28. Panseri C., Leoni M. The Manufacturing Technique of Etruscan Mirrors // *Studies in Conservation*. 1957. Vol. 3 (2). P. 49–63.
29. Равич И.Г., Розанова Л.С., Терехова Н.Н. Производственная культура населения юго-восточной периферии Боспорского государства (черный и цветной металлы) // *Abrau Antiqua. Результаты комплексных исследований древностей полуострова Абрау*. М.: Гриф и К., 2009. С. 194–211.

REFERENCES

1. Mimokhod R.A., Sudarev N.I., Uspensky P.S., 2018. Necropolis Volna-1 (2017) (Krasnodar Territory, Taman Peninsula). *Goroda, selishcha, mogil'niki. Raskopki 2017. Materialy spasatel'nykh arkheologicheskikh issledovaniy* [Cities, villages, burial grounds. Excavations 2017. Materials of rescue archaeological research], vol. 25, Moscow, IA RAS Publ., pp. 220–231.
2. Kuznetsova T.M. *Zerkala Skifii VI–III veka do n.e.* [Mirrors of Scythia 6th–3rd centuries BC]. T. I. Moscow, Indrik Publ., 2002, 352 p.
3. Sokolova O.Yu. Bronze mirrors from the Nymphaeum excavations in the collection of the State Hermitage. *Bosporskie issledovaniia* [Bosporos Studies], 2017, vol. 35, pp. 269 – 284.
4. Kashaev S.V. Necropolis of Artyushchenko-2. *Bosporskie issledovaniia* [Bosporos Studies], 2009, vol. 22, pp. 188–267.
5. Polin S.V., Daragan M.N., Mirrors in the burials of the Herodotus Scythians of the Northern Black Sea region of the second half of the 5th–4th centuries BC. *Antichnyi mir i arkheologiya* [Ancient world and archeology], 2019, vol. 19, pp. 213–253.
6. Robotti S., Rizzi P., Soffritti C., Garagnani G.L., Greco Ch., Facchetti F., Borla M., Oprti L., Agostino A. Reliability of portable X-ray Fluorescence for the chemical characterisation of ancient corroded copper tin alloys. *Spectrochimica Acta*, 2018, part B 146, pp. 41–49.
7. Podurets K.M., Kichanov S.E., Glazkov V.P., Kovalenko E.S., Murashev M.M., Kozlenko D.P., Lukin E.V., Yatsishina E.B. Modern Methods of Neutron Radiography and Tomography in Studies of the Internal Structure of Objects. *Crystallography Reports*, 2021, vol. 66, pp. 254–266.
8. Nazarov K.M., Muhametuly B., Kenzhin E.A., Kichanov S.E., Kozlenko D.P., Lukin E.V., Shaimerdenov A.A. New neutron radiography and tomography facility TITAN at the WWR-K reactor. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2020, vol. 982, article 164572. DOI: 10.1016/j.nima.2020.164572.
9. Brun F., Massimi L., Fratini M., Dreossi D., Billé F., Accardo A., Pugliese R., Cedola A. SYRMEP Tomo Project: A Graphical User Interface for Customizing CT Reconstruction Workflows. *Advanced Structural and Chemical Imaging*, 2017, vol. 3, article 4. DOI: 10.1186/s40679-016-0036-8.
10. Glazkov V.P., Naumov I.V., Somenkov V.A., Shil'shtein S.Sh. Superpositional many-detector systems and neutron diffraction of microsamples. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1988, vol. 264, iss. 2–3, pp. 367–374. DOI: 10.1016/0168-9002(88)90925-4.
11. Rodríguez-Carvajal J. Recent advances in magnetic structure determination by neutron powder diffraction. *Physica B: Condensed Matter*, 1993, vol. 192 (1–2), pp. 55–69. DOI: 10.1016/0921-4526(93)90108-I.
12. Abramova A.N. New osteometric data on the ancient population of the Taman Peninsula (based on materials from the Volna 1 burial ground). *«V etoi svyazi...»: Sbornik statei k iubileiu Margarity Mikhailovny*

- Gerasimovoi* ["In this regard...": Collection of articles for the anniversary of Margarita Mikhailovna Gerasimova], Moscow, Buki Vedi Publ., 2019, pp. 141–153.
13. Bartseva T.B. Tsvetnaia metalloobrabotka skifskogo vremeni. *Lesostepnoe Dneprovskoe Levoberezh'e* [Non-ferrous metalworking of Scythian times. Forest-steppe Dnieper left bank]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 124 p.
 14. Sudarev I.N., Saprykina I.A., Smirnova V.S., Mimokhod R.A., Kichanov S.E., Preliminary results of the study of cyafs of the 5th–4th centuries BC from the burials of the Volna-1 burial ground. *Kratkie soobshcheniia Instituta arkheologii* [Brief communications of Institute of Archaeology], 2023, in press.
 15. Golyeva A.A. Use of wood on the Abrau Peninsula in antiquity. *Abrau Antiqua. Rezul'taty kompleksnykh issledovaniy drevnostei poluostrova Abrau* [Abrau Antiqua. Results of comprehensive research into the antiquities of the Abrau Peninsula], Moscow, Grif and K Publ., 2009, pp. 181–193.
 16. *Loeb Classical Library*. https://www.loebclassics.com/view/homer-iliad/1924/pb_LCL171.583.xml?rskey=zSnWiz&result=1&mainRsKey=1Z5ory
 17. *Loeb Classical Library*. https://www.loebclassics.com/view/aristophanes-unattributed_fragments/2008/pb_LCL502.507.xml?rskey=ztBBnA&result=1&mainRsKey=8tPmLA
 18. *Loeb Classical Library*. https://www.loebclassics.com/view/aristotle-marvellous_things_heard/1936/pb_LCL307.245.xml?rskey=SmhGwN&result=1&mainRsKey=8tPmLA
 19. Khairedinova E.A., Wooden combs from Eski-Kermen. *Materialy po arkheologii, istorii i etnografii Tavrii* [Materials on archaeology, history and ethnography of Tauria], 2020, vol. 25, pp. 295–312.
 20. Fulminante F., Unavane M. "Community practices" and "community of practice" in smelting technology by XRF analysis of Archaic bronze votive figurines in central Italy (6th–5th centuries BC). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2020, vol. 31, article 102266. DOI: 10.1016/j.jasrep.2020.102266
 21. Kuznetsova T.M. On the Time and Context of the Earliest Bronze Mirrors in the Northern Pontic Region. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2018, vol. 46, no. 4, pp. 59–66. DOI: 10.17746/1563-0110.2018.46.4.059-066.
 22. Craddock P.T. The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilizations: 2. The Archaic, Classical and Hellenistic Greeks. *Journal of Archaeological Science*, 1977, vol. 4(2), pp. 103–123.
 23. Craddock P.T. The Metallurgy and Composition of Etruscan Bronze. *Studi Etruschi*, 1984, vol. 52, pp. 211–271.
 24. Lefferts K.C., Majewski T., Sayre E.V., Meyers P. Technical Examination of the Classical Bronze Horse from the Metropolitan Museum of Art. *Journal of American Institute for Conservation*, 1981, vol. 21 (1), pp. 1–42.
 25. Klaudori N.K., Karydas A.G., Orfanou V., Kantarelou V., Zacharias N. Bronze votive pins from the sanctuary of Athena Alea at Tegea, Arcadia, Greece, ca. 9th–7th BCE: A microscopic and compositional study using portable micro X-ray fluorescence spectrometry (micro-XRF). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, vol. 37, article 102975. DOI:10.1016/j.jasrep.2021.102975.
 26. Onayko N.A. *Arkhaicheskii Torik – antichnyi gorod na severo-vostoke Ponta* [Archaic Toric is an ancient city in the northeast of Pontus]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 180 p.
 27. Traister M.Yu. Bronze casting craft of the Bosphorus. *Soobshcheniia GMII im. A.S. Pushkina* [Communications of the Pushkin Museum], 1992, vol. 10, pp. 66–110.
 28. Panseri C., Leoni M., The Manufacturing Technique of Etruscan Mirrors. *Studies in Conservation*, 1957, vol. 3 (2), pp. 49–63.
 29. Ravich I.G., Rozanova L.S., Terekhova N.N. Industrial culture of the population of the southeastern periphery of the Bosporan state (ferrous and non-ferrous metals). *Abrau Antiqua. Rezul'taty kompleksnykh issledovaniy drevnostei poluostrova Abrau* [Abrau Antiqua. Results of comprehensive research into the antiquities of the Abrau Peninsula], Moscow, Grif and K Publ., 2009, pp. 194–211.

Информация об авторах

Сапрыкина И. А. – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Отдела сохранения археологического наследия Института археологии РАН, Researcher ID: F-3875-2014, Scopus ID: 55513038300.

Бакиров Б. А. – аспирант кафедры Ядерно-физического материаловедения Института физики Казанского федерального университета; стажер-исследователь Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка,

Объединенный институт ядерных исследований, Researcher ID: ABE-3006-2021, Scopus ID: 57405760000.

Гриценко (Соловьева) Л. Н. – младший научный сотрудник Лаборатории естественнонаучных методов Института археологии РАН, Researcher ID: J-4958-2018.

Мимоход Р. А. – старший научный сотрудник Отдела археологии бронзового века Института археологии РАН, Researcher ID: JDD-6434-2023, Scopus ID: 57205439336.

Шведчикова Т. Ю. – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Отдела теории и методики (группа физической антропологии) Института археологии РАН, Researcher ID: J-3768-2018, Scopus ID: 57205221075, SPIN-код: 1544-4788.

Сударев Н. И. – кандидат исторических наук, научный сотрудник Отдела классической археологии Института археологии РАН, Researcher ID: W-8572-2018, Scopus ID: 56748068100.

Кичанов С. Е. – доктор технических наук, начальник группы ДН-12 Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований, Researcher ID: ACY-5783-2022, Scopus ID: 7801632882.

Успенский П. С. – кандидат исторических наук, научный сотрудник Отдела сохранения археологического наследия Института археологии РАН, Researcher ID: ABB-2503-2020, Scopus ID: 57208818867.

Authors information

Saprykina I. A. – Candidate of Science (History), Senior Researcher, Department of Archaeological Heritage Conservation of the Institute of Archaeology of RAS, Researcher ID: F-3875-2014, Scopus ID: 55513038300.

Bakirov B. A. – postgraduate at the Department of Nuclear-Physical Materials Science of the Institute of Physics of the Kazan Federal University; Trainee Researcher, Frank Laboratory of Neutron Physics, International Intergovernmental Organization Joint Institute for Nuclear Research, Researcher ID: ABE-3006-2021, Scopus ID: 57405760000

Gritsenko (Solovyeva) L. N. – Junior Researcher, Laboratory of Natural Science Methods of the Institute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Researcher ID: J-4958-2018.

Mimokhod R. A. – Senior Researcher, Department of Bronze Age Archaeology of the Institute of Archaeology of RAS, Researcher ID: JDD-6434-2023, Scopus ID: 57205439336.

Shvedchikova T. Y. – Candidate of Science (History), Senior Researcher, Department of Theory and Methods (Group of Physical Anthropology) of the Institute of Archaeology of RAS, Researcher ID: J-3768-2018, Scopus ID: 57205221075.

Sudarev N. I. – Candidate of Science (History), Researcher, Department of Classical Archeology of the Institute of Archaeology RAS, Researcher ID: W-8572-2018, Scopus ID: 56748068100.

Kichanov S. E. – Doctor of Science (Technical), Group Leader DN-12, Frank Laboratory of Neutron Physics, International Intergovernmental Organization Joint Institute for Nuclear Research, Researcher ID: ACY-5783-2022, Scopus ID: 7801632882.

Uspensky P. S. – Candidate of Science (History), Researcher, Department of Archaeological Heritage Conservation of the Institute of Archaeology of RAS, Researcher ID: ABB-2503-2020, Scopus ID: 57208818867.