

УДК 902.2, 904, 903.25, 666.112, 543.51, 616-073.75

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САРМАТСКИХ ЗЕРКАЛ-ПОДВЕСОК

© 2024 г. А. В. Антипенко^{1,2,*}, Т. Н. Смекалова^{1,3}, А. В. Куликов^{1,2}, С. К. Фридрихсон¹,
А. Ю. Лобода³, П. В. Гурьева³, Е. С. Коваленко³, Е. Ю. Терещенко³, Е. Б. Яцишина³

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

²Институт археологии Крыма РАН, Симферополь, Россия

³Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*E-mail: an.antipenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.09.2024 г.

После доработки 17.09.2024 г.

Принята к публикации 27.09.2024 г.

Рассматриваются элементный состав и технология изготовления зеркал так называемого сарматского типа. Исследуемые зеркала являются случайными находками, происходящими с территории Керченского полуострова. Все три объекта относятся к зеркалам-подвескам с радиально-лучевым орнаментом, появившимся на рубеже I–II вв. н.э. и бытующим до начала III в. н.э. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа состава сплава установлено, что зеркала выполнены из материала с одинаковыми качественными характеристиками – сплава меди, олова и свинца. Методом рентгеновской томографии уточнены детали рельефного орнамента, слабо выраженного на изделиях вследствие коррозионных процессов.

DOI: 10.31857/S0023476124060164, EDN: YGCTDA

ВВЕДЕНИЕ

Зеркала-подвески представляют собой небольшой диск (средний диаметр 4–5 см), имеющий подквадратный боковой выступ с отверстием для подвешивания [1].

Зеркала сарматского типа неоднократно привлекали внимание специалистов. Существует несколько разработанных типологий, которые учитывают морфологические и орнаментальные особенности зеркал, причем отдельным типом в них выступают зеркала-подвески с боковой петлей, распространенные на широкой территории от Поволжья до Подунавья. Одной из наиболее используемых является классификационная схема, разработанная А.М. Хазановым. В типологии А.М. Хазанова зеркала-подвески с боковой петлей обозначены как тип IX. Они встречаются с рубежа I–II вв. н.э. и до второй половины II–III вв. н.э. Неорнаментированные зеркала с коническим выступом в центре А.М. Хазанов датировал в основном I–II вв. н.э. Орнаментированные зеркала-подвески с боковой петлей из Поволжья, по мнению исследователя, бытовали во II–III вв. н.э., а их появление на Боспоре относится к концу I–II в. н.э. [2]. Эта типологическая схема позже была незначительно уточнена А.С. Скрипкиным [3].

На материалах некрополя Кобякова городища В.М. Косяненко выделил морфологические и орнаментальные детали зеркал-подвесок, характерные для определенного времени. В I в. н.э. зеркала-подвески имеют четко оформленную коническую выпуклость в центре диска, выполненного из массивной пластины со скошенным наружу краем. Ручка выполнена в виде прямоугольника, иногда сужающегося к диску. Зеркала орнаментированы розетками, кругами и лучами. Во II в. н.э. у кобяковских зеркал-подвесок становится тоньше пластина диска, уменьшаются размеры ручки, коническая выпуклость становится меньше или заменяется кружочком, изменяется и декоративная схема: круги дополняются “птичьими лапками”, гаммированными знаками или квадратами. На некоторых зеркалах сохраняются лучи [4].

В работах, касающихся изучения сарматских бронзовых зеркал, основными вопросами являются: типология и классификация сарматских зеркал; хронология и проблема генезиса; характер применения и роль металлических зеркал в погребальном обряде сарматов [5]. Реже исследователи обращаются к проблеме технологии производства и используемых материалов, хотя признается перспективность этого направления для получения информации о регионе производства [6–9].

На данном этапе изученности проблемы происхождения и распространения зеркал-подвесок считается, что наиболее ранние изделия, представленные неорнаментированными находками с коническим выступом в центре, появляются в Северном Причерноморье в первой половине I в. н.э., при этом отмечается их генетическая связь с более ранними сарматскими зеркалами с ручкой-штырем. Орнаментированные изделия, появившиеся в конце I или в начале II в. н.э., существуют на протяжении II–III вв. н.э. [10]. Появление этих предметов связывают с пребыванием сарматов в Крыму [11].

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы для исследования:

— фрагмент зеркала округлой формы с боковой петлей трапецевидной формы. Лицевая сторона украшена орнаментом. Размеры с учетом петли — 3.5×4.5 см, толщина диска — 0.3 см (шифр 3-1, рис. 1а);

— зеркало округлой формы с боковой петлей трапецевидной формы. Лицевая сторона украшена орнаментом из концентрических окружностей с выпуклостью в середине. Диаметр — 3.7 см, толщина диска — 0.3 см, размеры петли — 1.5×0.8 см, толщина петли 0.5 см (шифр 3-2, рис. 1б);

— зеркало округлой формы с боковой петлей трапецевидной формы. Лицевая сторона украшена орнаментом из концентрических окружностей с выпуклостью в середине. Петля обломана. Диаметр — 4.8 см, толщина диска — 0.3 см (шифр 3-3, рис. 1в).

Зеркала являются случайными находками, происходящими с территории Керченского полуострова. Все три объекта относятся к зеркалам с полусферическим выступом в центре, боковой петлей и радиально-лучевым орнаментом — вариант 3 по А.А. Труфанову. Зеркала этого варианта разделены на две подгруппы на основании сечения. Массивные зеркала, по мнению А.А. Труфанова, появляются на рубеже I–II вв. н.э. и постепенно сменяются тонкими в сечении зеркалами, которые бытуют до начала III в. н.э. [12].

Методы исследования. Элементный состав зеркал-подвесок изучали в отделе естественно-научных методов в археологии Крымского федерального университета. Измерения проводили с помощью энергодисперсионного рентгено-флуоресцентного спектрометра M1 Mistral (Bruker) с полупроводниковым кремний-дрейфовым детектором высокого разрешения (50 кэВ, мощность 50 Вт), программное обеспечение — XSpctPro. Диаметр коллиматора (изучаемая область) — 1.5 мм. Регистрацию флуоресцентного излучения проводили на воздухе, начиная с элементом с атомным номером выше 17 (Cl). Время измерения составляло 20 с. Исследование элементного состава проводили на неочищенных



Рис. 1. Зеркала-подвески с территории Керченского полуострова: а — зеркало шифр 3-1, б — зеркало шифр 3-2, в — зеркало шифр 3-3.

предметах. Предметы анализировали в двух–трех точках на лицевой и оборотной сторонах, а также на поверхности конструктивных деталей. Определяли концентрации следующих химических элементов: медь (Cu), никель (Ni), свинец (Pb), олово (Sn), цинк (Zn), железо (Fe), серебро (Ag), мышьяк (As), сурьма (Sb), марганец (Mn), золото (Au). Никеля, мышьяка и золота в сплаве зеркал не содержится в детектируемых количествах, поэтому эти элементы не внесены в результирующую таблицу.

Рентгеновскую томографию (РТ) зеркал проводили в НИЦ “Курчатовский институт” на промышленном рентгеновском томографе X5000 (NSI): для всех объектов напряжение составляло 200 кВ, ток — 300 мкА, размер фокального пятна — 60 мкм, медный фильтр толщиной 4.2 мм. Теневые проекции регистрировали позиционно-чувствительным детектором рентгеновского излучения Perkin Elmer с размером матрицы 2048×2048 пикселей, размером пикселя 200×200 мкм, динамическим диапазоном 16 бит и сцинтиллятором CsI:Ti.

Время экспозиции одной теневой проекции – 1 с, усиление – 0.25 пФ. Для зеркала 3-1 шаг поворота вокруг вертикальной оси – 0.24°, для зеркал 3-2 и 3-3 – 0.2°. Размер вокселя полученных 3D-изображений – 24 × 24 × 24 мкм. Обработку данных проводили с помощью программного пакета Volume Graphics studio 3.5 (VGS).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные анализа элементного состава зеркал сведены в табл. 1. По результатам работ установлено, что все три объекта выполнены из материалов с одинаковыми качественными характеристиками – оловянисто-свинцовой и свинцово-оловянистой бронз. Количественный состав зеркал различается. Наибольшее содержание олова в составе зеркала 3-1, средняя концентрация этого элемента составляет 34.5%, свинца – 8.4% (табл. 1, 1–3). Этот экземпляр, вероятно, благодаря высокому содержанию олова оказался наименее подвержен коррозии и сохранил серо-серебристый цвет поверхности, характерный для зеркальной бронзы. Использование высокооловянной бронзы обусловлено характером предмета. Зеркала должны были обладать высокой отражательной способностью, не тускнеющей со временем зеркальной поверхностью, цветом, имитирующим солнечный или лунный диск, и даже производить мелодичное звучание, поскольку зеркала могли использоваться не только в быту, но и при проведении определенных обрядов [13]. Лучше всего по физическим свойствам подходили именно оловянные бронзы, для которых характерны высокая коррозионная стойкость и значительная твердость, способность к полировке.

Содержание олова в зеркале 3-2 в среднем составляет 4.3% (максимальное значение – 9.28%), свинца 7.0% (табл. 1, 4–6). Материал зеркала 3-3 содержит 5.6% олова и 2.2% свинца. Также были

обнаружены следующие микропримеси: сурьма, цинк, железо и серебро. Подобный состав сплава характерен для недавно исследованного меото-сарматского зеркала из Восточного Закубанья [14].

Изучение зеркал-подвесок из могильников Центрального Кавказа, осуществленное Т.Б. Барцевой, демонстрирует, что они также изготовлены из сплава, содержащего медь, олово и свинец. Олово содержится в концентрациях от 3 до 30%, свинец – от 0.35 до 6.5%. В отдельных зеркалах в сплав помимо олова и свинца была введена сурьма. Согласно [15] центром производства этих зеркал, найденных в Поволжье, на Кубани и в Северном Причерноморье, является Северный Кавказ. Исследование зеркал различных типов, преимущественно происходящих из раскопок памятников Нижнего Дона и Северного Кавказа, демонстрирует, что орнаментированные зеркала-подвески содержат олово в концентрации 26–28%. В целом для изготовления миниатюрных сарматских зеркал использовали бронзы двух типов: двойные сплавы системы медь–олово и тройные, содержащие в качестве легирующей добавки свинец [16].

Отметим, что для материала зеркал важным критерием является содержание олова в сплаве, оно не должно быть больше 26% и меньше 18%. При соблюдении этих условий возможна горячаяковка оловянных бронз без предварительного гомогенизирующего отжига [17].

По данным РТ фрагмент зеркала 3-1 имеет хорошую сохранность. Толщина зеркала – от 0.4 до 1.5 мм, в зоне петли – от 1.6 до 2.8 мм. На поверхности зеркала идентифицируется слой коррозии толщиной 0.2–3 мм (рис. 2а, 1). В материале изделия наблюдаются множественные включения до 0.4 мм, сильно поглощающие рентгеновское излучение, размеры и количество которых максимальны в области петли (рис. 2а–2г, 2). В толще диска

Таблица 1. Элементный состав зеркал

№ пп	Шифр	Место измерения	Содержание элемента, мас. %						
			Cu	Zn	Fe	Ag	Pb	Sb	Sn
1	3-1	Поверхность	54.94	0.23	0.52	0.18	10.18	0.43	33.52
2		Поверхность	58.12	0.21	0.39	0.17	7.01	0.48	33.62
3		Петля	52.74	0.21	1.87	0.19	8.02	0.50	36.48
4	3-2	Поверхность	95.64	0.00	0.09	0.00	3.49	0.06	0.72
5		Поверхность	82.77	0.00	0.22	0.00	7.53	0.19	9.28
6		Петля	86.78	0.00	0.25	0.05	10.01	0.10	2.81
7	3-3	Поверхность	90.49	0.00	0.10	0.00	2.10	0.16	7.14
8		Поверхность	94.58	0.00	0.06	0.00	0.80	0.10	4.45
9		Петля	90.50	0.00	0.07	0.00	4.90	0.14	4.40
10		На месте слома	92.38	0.00	0.00	0.00	1.04	0.15	6.44

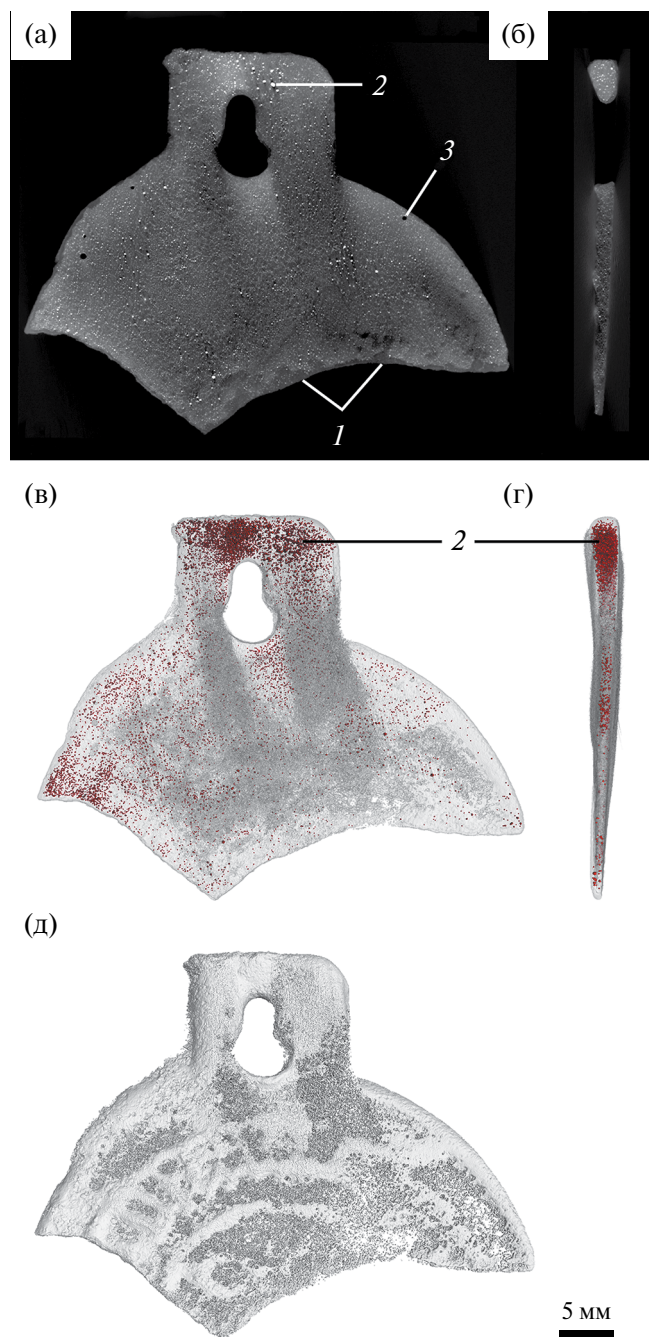


Рис. 2. Результаты рентгеновской томографии зеркала 3-1: а, б – взаимно перпендикулярные томографические сечения, близкие к центру объекта, в, г – объемная модель расположения включений, д – модель орнаментированной поверхности зеркала; 1 – слой, подвергшийся коррозии, 2 – включения в металле, сильно поглощающие рентгеновское излучение, 3 – пустоты.

регистрируются сферические пустоты диаметром до ~0.5 мм (рис. 2а, 3), характерные для метода отливки. Методом РТ уточнены детали рельефного орнамента, слабо выраженного на этом изделии (рис. 2д). По сохранившемуся фрагменту зеркала

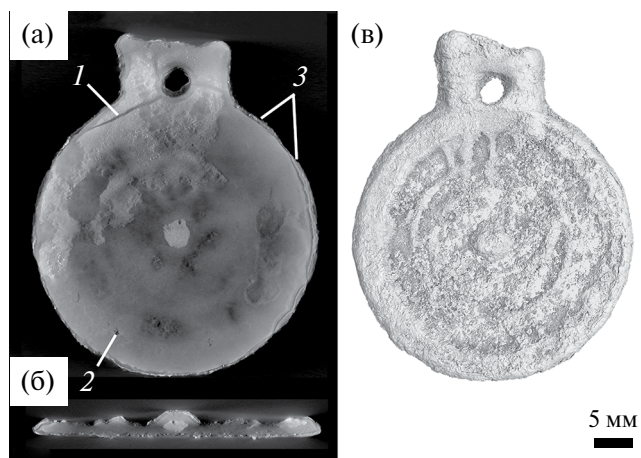


Рис. 3. Результаты рентгеновской томографии зеркала 3-3: а, б – взаимно перпендикулярные томографические сечения, близкие к центру объекта, в – модель орнаментированной поверхности зеркала; 1 – трещины, 2 – пустоты, 3 – слой, подвергшийся коррозии.

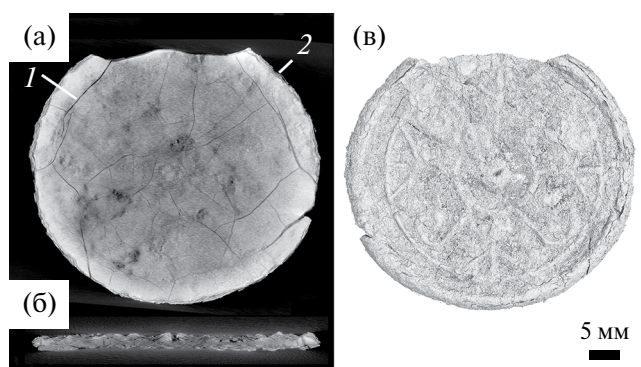


Рис. 4. Результаты рентгеновской томографии зеркала 3-3: а, б – взаимно перпендикулярные томографические сечения, близкие к центру объекта, в – модель орнаментированной поверхности зеркала; 1 – трещины, 2 – слой, подвергшийся коррозии.

с помощью программного пакета VGS оценены внешний диаметр диска, который составил ~50 мм (без учета петли), и размеры орнамента. На поверхности зеркала выявлены три концентрические окружности, диаметры которых по результатам моделирования – около 22, 26 и 38 мм. Пространство между внешней и средней окружностями заполнено радиально расходящимися лучами. Во внутренней окружности орнамент слабо выражен, идентифицировать его невозможно.

Анализ данных РТ зеркал 3-2 и 3-3 показал, что образцы подверглись значительной коррозии (рис. 3а, 3б, 3; 4а, 4б, 2). В области петли у зеркала 3-2 проходят несколько сквозных трещин (рис. 3а, 1). По данным РТ толщина зеркала – от 1.5 до 3.3 мм (в центре) с утолщением в области петли 4.7 мм. В материале металла обнаружены пустоты

неправильной формы до 0.9 мм (рис. 3а, 2). Зеркало 3-2 обладает наиболее высоким и детализированным рельефом, визуальная интерпретация которого осложнена ввиду коррозии (рис. 3а, 3б, 3). На поверхности зеркала на расстоянии ~10 и 15 мм от центра проходят две концентрические окружности, между которыми располагаются радиально расходящиеся лучи (рис. 3в).

У зеркала 3-3 наблюдается большое количество сквозных трещин (рис. 4а, 1). По данным РТ толщина зеркала — от 1.5 до 2.6 мм. В центральном выступе со стороны орнамента выявлена полость неправильной формы глубиной 1.4 мм. Так же как у зеркала 3-1, орнамент у 3-3 имеет слабовыпуклый рельеф (рис. 4б). Он представляет собой две концентрические окружности на расстоянии ~6 и 17 мм от центра, между которыми расположены радиально расходящиеся лучи и парные разнонаправленные отходящие от них линии (рис. 4в).

Зеркала позднесарматского времени отливали преимущественно из оловянной бронзы в односторонних каменных формах с плоской крышкой. Из результатов металлографического анализа зеркал, найденных на территории Тоболо-Ишимского междуречья, следует, что большинство варварских зеркал отливало по технологической схеме литье + горячая ковка + нагрев с закалкой в воде [18]. Согласно [19] повторный нагрев и закалка в воде являются заключительными операциями, обеспечивающими большую прочность изделий в процессе эксплуатации. В завершении поверхность зеркал полировалась мягким абразивным материалом [20].

Основная операция при изготовлении миниатюрных сарматских зеркал — литье в двустороннюю форму, одна сторона которой содержала орнамент, другая была плоской и соответствовала зеркальной поверхности. Характер структуры свидетельствует о медленной кристаллизации металла, т.е. о применении малотеплопроводной каменной или глиняной формы. При изготовлении зеркал-подвесок заливка металла в форму проводилась со стороны “ушка”, которое часто имеет неровное окончание, в этой же области наблюдается усадка металла [21].

Подтверждением того, что зеркала отливали в формы со слабой теплопроводностью, служат находки каменных форм при раскопках Танаиса [22, 23]. Все танаисские формы служили для отливки зеркал типа Хазанов X с петлей для подвешивания в центре, хотя орнамент на них очень близок зеркалам, исследуемым нами. Это окружности с концентрическими лучами. Отметим, что форма, обнаруженная в 2000 г., изготовлена из плотного камня, на противоположных плоскостях которого находятся негативы тыльной орнаментированной стороны зеркала. “Глубина” отливки от плоскости сторон формы 0.1 и 0.2 см, т.е. несмотря на абсолютную синхронность этих форм, они обладали

разной толщиной. Этот факт указывает на то, что разные по толщине изделия могли бытовать одновременно. Две формы из Танаиса происходят из хорошо датированных комплексов, разрушенных в середине III в. н.э. [24].

Еще одна форма для отливки зеркал происходит из раскопок Горгиппии. Находка представляет собой фрагмент (примерно четверть) каменной формы. На обеих широких сторонах фрагмента сохранились неполные секторы врезанных негативов круглых зеркал-подвесок, диаметр которых составлял ~4 см. Литейные углубления в результате воздействия расплавленного металла прокалены до черна. Оба зеркала имели аналогичный рельефный орнамент: концентрические окружности с отходящими от центра прямыми врезными лучами. Четыре луча были снабжены парными разнонаправленными завитками, образующими 3-образный знак. Четыре других луча были без завитков. На углу изделия проточен желобок, служивший, судя по всему, для скрепления формы, несущей негативы рельефной стороны зеркал, с теми ее частями, которые формировали плоскую, рабочую поверхность зеркала. Таким образом, форма была двухсторонней: к матрице, несущей с двух сторон негативы рельефных сторон изделий, прижимались еще две каменные плитки, формирующие плоскую поверхность зеркал. Несмотря на то что на дошедшем до нас фрагменте не сохранилось следов боковой петельки для подвешивания, на основании аналогий орнаменту сделан вывод, что в форме отливались рельефные зеркала-подвески, относящиеся к типу IX (“зеркала с боковым ушком”) по общей классификации А.М. Хазанова [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По составу сплава зеркала-подвески с территории Керченского полуострова аналогичны находкам из памятников Нижнего Дона, Северного и Центрального Кавказа. Они изготовлены из медного сплава, легированного оловом и свинцом. Только одно зеркало (3-1) можно отнести к категории высокооловянистых “белых бронз”, остальные не имеют значительных концентраций олова. Предположение о том, что местом производства этих зеркал является Северный Кавказ [26], может быть несколько скорректировано находками литейных форм в Танаисе и Горгиппии [27–29], которые указывают, что как минимум в некоторых античных городах отливали зеркала сарматских типов. Не исключено, что и на территории Боспора существовала мастерская для их изготовления.

Исследования зеркал методом рентгеновской томографии дополнили информацию о декоре и сохранности изделий. По изученному фрагменту зеркала 3-1 оценены исходный диаметр предмета и размеры основных элементов орнамента. Установлено, что зеркала 3-2 и 3-3 подверглись сильной

коррозии, кроме того, 3-3 имеет большое количество сквозных трещин, которые могут стать препятствием для реставрационных работ вплоть до полного разрушения изделия.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Минобрнауки России в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии № 075-15-2023-010 от 21.02.2023 (15.СИН.21.0024).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамова М.П.* // История и культура Восточной Европы по археологическим данным. М.: Советская Россия, 1971. С. 121.
2. *Хазанов А.М.* // Советская археология. 1963. № 4. С. 65.
3. *Скрипкин А.С.* Азиатская Сарматия. Проблема хронологии и ее исторический аспект. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1990. С. 153.
4. *Косыненко В.М.* // Историко-археологические исследования в Азове и на Нижнем Дону в 1993 году. 1994. Вып. 13. С. 46.
5. *Вагнер Е.В.* // Вестник ВолГУ. Сер. 4. История. 2012. № 1 (21). С. 168.
6. *Барцева Т.Б.* // История и культура Восточной Европы по археологическим данным. М.: Советская Россия, 1971. С. 137.
7. *Мошкова М.Г., Рындина Н.В.* // Очерки технологии древнейших производств. М.: Наука, 1975. С. 117.
8. *Равич И.Г.* // Советская археология. 1995. № 3. С. 157.
9. *Бейлин Д.В., Рукавишников И.В., Федосеев Н.Ф. и др.* // Российская археология. 2024. № 1. С. 75.
10. *Труфанов А.А.* // Древняя Таврика. Симферополь: Универсум, 2007. С. 173.
11. *Пуздровский А.Е.* Крымская Скифия II в. до н.э. – III в. н.э. Погребальные памятники. Симферополь: Бизнес-Информ, 2007. С. 153.
12. *Труфанов А.А.* // Древняя Таврика. Симферополь: Универсум, 2007. С. 177.
13. *Новичихин А.М., Смекалова Т.Н., Кокоулин А.Г.* // Проблемы истории, филологии, культуры. 2024. № 2. 75.
14. *Новичихин А.М., Смекалова Т.Н., Е.С. Коваленко и др.* // Российские нанотехнологии. 2024. Т. 19. № 5. в печати.
15. *Барцева Т.Б.* // История и культура Восточной Европы по археологическим данным. М.: Советская Россия, 1971. С. 134, 138.
16. *Равич И.Г.* // Российская археология. 1995. № 3. С. 161.
17. *Равич И.Г.* // Краткие сообщения Института археологии. 2006. Вып. 220. С. 43.
18. *Тигеева Е.В., Белоногова Л.Н.* // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2018. № 4 (43). С. 89.
19. *Равич И.Г.* // Художественное наследие. 1983. № 8 (38). С. 141.
20. *Тигеева Е.В., Белоногова Л.Н.* // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2018. № 4 (43). С. 89.
21. *Равич И.Г.* // Советская археология. 1995. № 3. С. 162.
22. *Арсеньева Т.М.* // Древности Евразии в скифо-сарматское время. М.: Наука, 1984. С. 20.
23. *Арсеньева Т.М., Форназир И.* // Проблемы истории, филологии, культуры. 2004. Вып. 14. С. 192.
24. *Арсеньева Т.М.* // Древности Евразии в скифо-сарматское время. М.: Наука, 1984. С. 20.
25. *Новичихин А.В.* // Tyragetia. Vol. XV (XXX). 2021. С. 339.
26. *Барцева Т.Б.* // История и культура Восточной Европы по археологическим данным. М.: Советская Россия, 1971. С. 138.
27. *Арсеньева Т.М.* // Древности Евразии в скифо-сарматское время. М.: Наука, 1984. С. 20.
28. *Арсеньева Т.М., Форназир И.* // Проблемы истории, филологии, культуры. 2004. Вып. 14. С. 192.
29. *Новичихин А.В.* // Tyragetia. Vol. XV (XXX). 2021. С. 339.

COMPREHENSIVE STUDIES OF SARMATIAN PENDANT MIRRORS

A. V. Antipenko^{a,b,*}, T. N. Smekalova^{a,c}, A. V. Kulikov^{a,b}, S. K. Fridrichson^a,
A. Yu. Loboda^c, P. V. Guryeva^c, E. S. Kovalenko^c, E. Yu. Tereschenko^c, E. B. Yatsishina^c

^a Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, 295007, Crimea, Russia

^b Institute of Crimean Archeology, Russian Academy of Sciences, Simferopol, Russia

^c National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

*e-mail: an.antipenko@yandex.ru

Abstract. This study considers the elemental composition and manufacturing technology of mirrors of the so-called Sarmatian type. The examined mirrors are fortuitous discoveries originating from the territory of the Kerch Peninsula. All three objects are pendant mirrors with radial-beam ornamentation, which appeared at the turn of the 1st and 2nd centuries AD and existed until the beginning of the 3rd century AD. The results of X-ray fluorescence analysis of the alloy composition indicate that the mirrors are made of an alloy of copper, tin and lead with similar qualitative characteristics. The method of X-ray tomography clarified the details of the relief ornamentation, which was poorly expressed on the items due to corrosion.