

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ

УДК 904, 673.1, 620.179.15, 616-073.75, 543.51, 543.427.4

СЕРПЫ ПОЗДНЕГО БРОНЗОВОГО ВЕКА ИЗ КРЫМА И ТАМАНИ:
ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

© 2022 г. Т. Н. Смекалова^{1,2,*}, А. В. Антипенко¹, А. Ю. Лобода^{2,3}, П. В. Гурьева²,
Е. С. Коваленко², М. М. Мурашев², А. М. Исмагулов³, Е. Ю. Терещенко^{2,3,4,**}, Е. Б. Яцишина^{2,3}

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

² Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

³ Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ

Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”, Москва, Россия

⁴ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия

*E-mail: tnsmek@mail.ru

**E-mail: elenatereschenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.02.2022 г.

После доработки 16.02.2022 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.

Представлены результаты исследования состава сплава и технологических особенностей производства важнейших и наиболее распространенных орудий труда эпохи поздней бронзы – серпов, происходящих с территории равнинного Крыма и Таманского п-ова. Рентгенофлуоресцентный анализ состава сплава 13 серпов, найденных в этом регионе, показал, что большинство изученных изделий отлиты из низколегированной медно-мышьяковистой бронзы с небольшим содержанием мышьяка – традиционного кавказского типа “рабочих” сплавов (прикубанская металлургическая группа). Исключение составил серп из поселения Чорелек 1 (на юго-востоке Керченского п-ова), изготовленный из меди с небольшой присадкой олова, что характерно для Европейской (Карпатской) металлургической провинции. Впервые с помощью рентгеновской и нейтронной томографии визуализированы особенности технологической обработки серпа. По характерной картине распределения пор, сформировавшейся в результате направленной проковки, литейным дефектам и другим следам обработки сделано предположение, что серп отливался в каменную или глиняную литейную форму через рукоять, после чего лезвие изделия были тщательно прокованы. Тем самым удалось добиться максимальной твердости лезвия и, соответственно, наибольшей производительности этого сельскохозяйственного орудия. Остальные части серпа, включая рукоять, либо подверглись значительно менее интенсивной проковке, либо не были прокованы. Высокое мастерство изготовителя серпа указывает на то, что в позднем бронзовом веке качественные жатвенные орудия были востребованы населением Таврики, что косвенно может свидетельствовать об ориентации его хозяйственной деятельности на выращивание злаковых культур.

DOI: 10.31857/S0023476122060224

ВВЕДЕНИЕ

Металл, важнейший материал древности, дал особенно мощный толчок в развитии народов, населявших Крым и Тамань в период позднего бронзового и раннего железного века, способствовал становлению производящего сельского хозяйства, развитию торговых и культурных связей внутри Средиземноморско-Причерноморского региона, Северного Кавказа, Закавказья и Урало-Поволжских степей.

Объектом данного исследования были наиболее распространенные орудия труда эпохи поздней бронзы – серпы, происходящие с территории равнинного Крыма и Тамани [1, 2]. Серпы, датируемые эпохой поздней бронзы и происходящие

из разных регионов, в разное время изучал ряд исследователей [3–5], элементный состав подобных орудий анализировали Е.Н. Черных, В.А. Трифонов и др. [4, 5].

Цель представленного исследования – изучение состава сплава и технологических особенностей начала массового производства серпов для соотнесения с характеристиками известных металлургических провинций, выявления оригинальных крымских черт и трансфера технологий и взаимовлияний в области обработки цветных металлов позднего бронзового века в таврических степях. Акцент на эту категорию вещевых инвентаря сделан с учетом того, что основными технологическими приемами металлургии на террито-

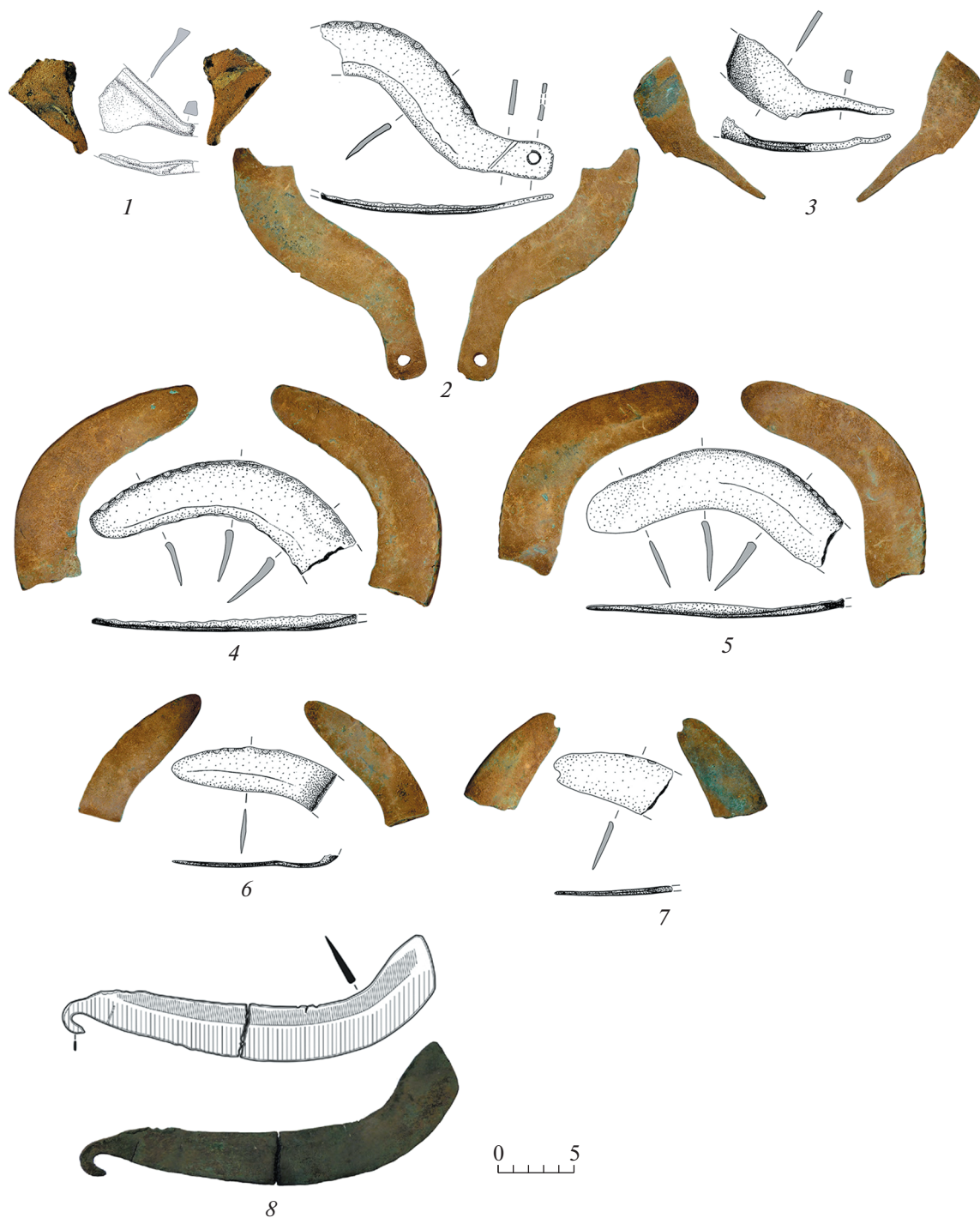


Рис. 1. Серпы позднего бронзового века с территории Крымского полуострова.

рии Евразии в позднем бронзовом веке быликовка и плоское литье ножей и серпов. Крым и все Северное Причерноморье в этот период представляли собой контактную зону Европейской (Трансильвания, бассейн Среднего Подунавья и Тисы, области Южной Румынии и северной Болгарии) и Евразийской (от Поднепровья на западе до Енисея на Востоке, от предкавказских степей

на юге до таежной зоны Евразии на севере) металлургических провинций [6, с. 71–76].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего было исследовано 13 экземпляров серпов или их фрагментов эпохи поздней бронзы, найденных на Керченском п-ове (1–7 на рис. 1),



Рис. 2. Серпы из Курчанского клада (Темрюкский район Краснодарского края).

в центральном Крыму (Красногвардейский р-н) (8 на рис. 1) и в Темрюкском районе Краснодарского края (рис. 2). Изучаемые серпы происходят из случайных находок и из Курчанского клада [1]. Точное место обнаружения, привязанное к соответствующему поселению, известно только для фрагмента серпа, поднятого А.С. Ермолиным в 2008 г. с распаханной поверхности многослойного памятника Чорелек 1 на юго-востоке Керченского п-ова в 6 км к северу от с. Яковенково [2]. Сохранившаяся часть серпа представляет собой место перехода режущей части в рукоять (рис. 1.1). Сечение клиновидное, рукоять – в форме стержня, трапециевидного в сечении. Длина – 5.5 см, ширина лезвия – 3.5 см. По небольшому фрагменту серпа не удастся отнести рассматриваемое орудие к определенному типу, поэтому он не может быть датирован уже, чем периодом позднего бронзового века. Наиболее вероятным представляется отнесение находки к Северо-Кавказской

(Кубанской) серии, отличительной чертой которой является стержневой способ соединения орудия с рукоятью. Также нельзя исключить, что этот серп принадлежит к Волго-Уральской группе, включающей в себя серпы с крюком и серпы с выделенным стержнем [3].

Элементный состав сплава всех исследуемых серпов, найденных в Крыму и на Тамани, изучали методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре Мистраль М1 (Bruker). Состав сплава серпов из Курчанского клада (Темрюк, Краснодарский край) был дополнительно исследован с помощью РФА-спектрометра Tracer 5i (Bruker).

Для детального исследования особенностей технологии производства серпов в бронзовом веке находка из поселения Чорелек 1 была передана для изучения в НИЦ «Курчатовский институт». При визуализации внутреннего строения фрагмента бронзового серпа, в частности для изуче-

ния изменения плотности металла режущего края орудия под действием ударной нагрузки при ковке, применялись методы нейтронной и рентгеновской томографии.

Нейтронную томографию фрагмента серпа проводили на установке с полихроматическим спектром нейтронов, расположенной на горизонтальном экспериментальном канале № 76 реактора ИР-8. Максимум спектра соответствовал длине волны $\sim 1 \text{ \AA}$. Нейтронные проекции регистрировали с помощью позиционно-чувствительного детектора, состоящего из сцинтилляционного экрана на основе смеси ZnS(Ag) и ${}^6\text{LiF}$ толщиной 100 мкм, зеркала, объектива и ПЗС-матрицы (прибор с зарядовой связью) размерностью 2048×2048 пикселей, динамический диапазон – 16 бит. Время экспозиции одного кадра – 190 с. Объект вращали относительно вертикальной оси с шагом 0.5° . Пространственное разрешение полученных изображений составило ~ 170 мкм при размере пикселя 65×65 мкм. При обработке данных нейтронной томографии для корректировки изображений на фоновые шумы и нормализации на падающий пучок использовали программный пакет ImageJ [7]. Томографическую реконструкцию трехмерных изображений из набора угловых проекций методом свертки и обратного проецирования и последующее объемное моделирование осуществляли с помощью программного комплекса Octopus Imaging [8].

Эксперимент по рентгеновской томографии проводили на промышленном рентгеновском томографе NSI X5000 на трубке закрытого типа при напряжении 400 кВ, токе 1100 мкА. При этом размер фокального пятна составил 400 мкм. Для формирования спектра трубки использовали два медных фильтра суммарной толщиной 15.7 мм. Теневые проекции объекта регистрировали с помощью позиционно-чувствительного детектора рентгеновского излучения Perkin Elmer, оснащенного сцинтилляционным экраном на основе CsI:Tl с размером матрицы 2048×2048 пикселей, размером пикселя 200×200 мкм и динамическим диапазоном 16 бит. Время экспозиции одного кадра составило 1 с. Объект вращали относительно вертикальной оси с шагом 0.18° . Пространственное разрешение полученных изображений составило ~ 200 мкм при размере пикселя 134×134 мкм. Измерения на рентгеновском томографе осуществляли с помощью программного пакета efX-DR. Для реконструкции томографических срезов применяли программный пакет efX-ST. Визуализацию данных и расчет пористости осуществляли с помощью программного пакета Volume Graphics studio 3.5.1.

Исследование микропримесного состава сплава фрагмента серпа из пос. Чорелек 1 выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связан-

ной плазмой (МС-ИСП) совместно с атомно-эмиссионной спектрометрией (АЭС-ИСП). Измерения проводили на установке Elan DRC-e, Perkin Elmer с программным обеспечением (ПО) Elan Version 3.4 Hotfix 1 (Build 3.4.57.1103) и iCAP6300 Duo, Thermo Fisher Scientific, ПО – iTEVA, версия 2.5.0.84 в ЦКП НИЦ “Курчатовский институт” – ИРЕА.

При анализе МС-ИСП использовали многоэлементный градуировочный стандартный образец для ИСП-спектроскопии ICP-MS-3-10 (5% HNO_3): Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Sr, Tl, U, V, Zn-10 мкг/мл (производитель High-Purity Standards, США) с применением метода TotalQuant.

При анализе АЭС-ИСП использовали стандарты (High-Purity Standards, США):

ICP-MS-68B-100 Solution A (ICP-MS-68B-A-10) (2% HNO_3) (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, Re, Sc, Se, Sm, Sr, Tb, Tl, Th, Tm, U, V, Y, Yb, Zn – 10 мкг/мл).

ICP-MS-68B-100 Solution B (ICP-MS-68B-B-10) (2% HNO_3) (Ag, Ge, Hf, Mo, Nb, Sb, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W, Zr – 10 мкг/мл).

Навеску образца для исследования (~ 25 мг) растворяли в полипропиленовой пробирке в смеси соляной (1 мл) и азотной (0.5 мл) кислот с применением системы HotBlock 200 Series при температуре 105°C . После остывания раствор пробы доводили до объема 20–25 мл 2%-ным раствором азотной кислоты. Использованные реактивы: кислоты особой чистоты – соляная (марки ос. ч. 7-4, ГОСТ 14261) и азотная (марки ос. ч. 33-5, ГОСТ 11125), вода деионизованная с удельным сопротивлением 15–18 МОм·см (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Элементный состав серпов. РФЛА состава сплава показал, что все исследованные серпы, найденные в Крыму, кроме находки из поселения Чорелек 1 (ЮВ Керченского п-ова), отлиты из одинаковой низколегированной медно-мышьяковистой бронзы с небольшим содержанием мышьяка без примеси олова (табл. 2).

Серпы из Курчанского клада (табл. 3) по элементному составу аналогичны серпам из Керченской коллекции. Их материал можно охарактеризовать как низкомышьяковистую бронзу (As до 3%) и отнести к прикубанскому очагу металлургии.

Искусственные мышьяковые бронзы – традиционный со времен IV тысячелетия до н.э. кавказский тип сплавов [6]. Такой же сплав характерен для серпов, ножей, тёсел из двух кладов (Таманского и Ахметовского), найденных в

Таблица 1. Элементный состав серпов бронзового века из крымских находок по данным РФЛА

Образец	Содержание, мас. %									
	Cu	Pb	Sn	Zn	Fe	Ag	As	Au	Mn	Sb
Серп из поселения Чорелек 1										
1	96.43	0.21	2.12	0.00	0.43	0.06	0.56	0.00	0.00	0.18
Серпы из случайных находок на Керченском полуострове										
2	94.53	0.40	0.00	0.00	2.00	0.06	2.97	0.00	0.02	0.02
3	95.90	0.57	0.00	0.00	0.81	0.02	2.67	0.00	0.00	0.02
4	97.62	0.28	0.00	0.00	1.44	0.05	0.57	0.00	0.00	0.03
5	97.13	0.44	0.00	0.00	0.41	0.04	1.99	0.00	0.00	0.00
6	96.93	0.27	0.00	0.00	0.61	0.00	2.19	0.00	0.00	0.00
7	98.13	0.24	0.00	0.00	1.30	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
Серп из Красногвардейского района РК										
8	98.44	0.00	0.48	0.00	0.84	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00

Таблица 2. Элементный состав сплава серпов из Курчанского клада (Темрюк, Тамань) по данным РФЛА

Образец	Содержание, мас. %									
	Cu	Pb	Sn	Zn	Fe	As	Mn	Sb	Ni	
1	98.74	0.25	0.00	0.00	0.63	1.20	0.00	0.00	0.00	
2	97.30	0.14	0.00	0.00	0.98	1.58	0.00	0.00	0.00	
3	98.23	0.00	0.00	0.00	0.11	1.44	0.00	0.00	0.19	
4	98.59	0.29	0.00	0.00	0.18	0.86	0.00	0.02	0.06	
5	96.76	0.35	0.00	0.00	0.09	2.69	0.00	0.00	0.11	

Краснодарском крае, и для предметов из Самарского клада (Ростовская обл.), но мышьяка в составе бронз этих кладов несколько больше (от 1 до 5.5%) [5, 9]. Таким образом, близость качественного состава сплава не противоречит отнесению исследованных серпов из Крыма и Курчанского клада к прикубанскому очагу металлургии и металлообработки. Практически полное отсутствие олова в их сплаве подтверждает мнение Е.Н. Черных о том, что прикубанский очаг «оставался островком архаичной технологии, где фактически не знали оловянных бронз – этого почти повсеместного нововведения позднего бронзового века» [5, 6].

Состав сплава серпа из поселения Чорелек 1 отличается от всех остальных исследованных крымских и таманских серпов. Установлено, что этот серп изготовлен из меди с небольшой добавкой олова (2.2%). Несмотря на небольшое содержание олова, этот результат обращает на себя внимание, так как ни в одном другом из исследованных серпов олова не содержится в количествах больше сотой доли процента. Олово начинает широко употребляться в составе сплавов на медной основе только в позднем бронзовом веке [5, 6]. Согласно мнению Е.Н. Черных, оловянные

бронзы были, как правило, единственным видом сплавов в пределах Европейской (Карпатской) металлургической провинции [6]. Это подтверждается и новейшими исследованиями, в частности большой подборкой анализов сплавов позднебронзовых (сабашиновских) изделий из Молдавии [10]. Оловянные бронзы также были распространены в Закавказье и на Северном Кавказе наряду с многокомпонентными As–Sb–Sn-бронзами [6]. Поэтому однозначного ответа, какой из металлургических провинций, Европейской или Северокавказской, принадлежит чорелекский серп, на основании рассмотрения только рецептурных добавок дать невозможно. Географически место находки серпа тяготеет скорее всего к Кавказу.

Таким образом, изучение основного элементного состава металла 13 серпов позволило разделить их на две группы. К первой было отнесено 12 серпов и их фрагментов, изготовленных из медно-мышьяковистого сплава, а ко второй – один фрагмент серпа (из пос. Чорелек 1), выделяющийся присутствием в сплаве примеси олова (табл. 1 и 2).

Для более подробного изучения фрагмента серпа из поселения Чорелек (микроэлементный

Таблица 3. Микроэлементный состав металла фрагмента серпа из пос. Чорелек 1 по данным МС-ИСП

Li	0.3	Se	48.0	Eu	<0.1
Be	<0.1	Rb	<0.1	Gd	<0.1
B	<0.1	Sr	0.3	Tb	<0.1
Na	155	Y	<0.1	Dy	<0.1
Mg	1.1	Zr	<0.1	Ho	<0.1
Al	46.3	Nb	<0.1	Er	<0.1
Si	65.9	Mo	0.1	Tm	<0.1
S	1555	Ru	0.2	Yb	<0.1
K	8.8	Rh	13.5	Lu	<0.1
Ca	3.3	Pd	<0.1	Hf	<0.1
Sc	<0.1	Ag	359	Ta	<0.1
Ti	<0.1	Cd	1.1	W	<0.1
V	<0.1	In	30.9	Re	<0.1
Cr	<0.1	Sn	11852	Os	<0.1
Mn	0.2	Sb	542	Ir	<0.1
Fe	60.6	Te	32.3	Pt	<0.1
Co	266	Cs	<0.1	Au	29.5
Ni	823	Ba	2.8	Hg	<0.1
Cu	Основа	La	<0.1	Tl	<0.1
Zn	11.9	Ce	0.1	Pb	963
Ga	<0.1	Pr	<0.1	Bi	41.4
Ge	<0.1	Nd	0.1	Th	<0.1
As	4213	Sm	0.6	U	<0.1

Примечание. Концентрация элементов, мг/кг.

состав и технологические особенности) было проведено его комплексное исследование в НИЦ “Курчатовский институт”.

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и атомно-эмиссионная спектрометрия. Исследования микропримесного состава сплава фрагмента серпа из поселения Чорелек 1 выполняли с помощью МС-ИСП и АЭС-ИСП (табл. 3).

Основными микропримесями, обнаруженными в металле серпа, были As – 0.42, Sn – 1.19, S – 0.16, Pb – 0.1%. Следовые примеси в сплаве: Ni – 0.08, Co – 0.03, Ag – 0.04, Sb – 0.05%.

Для установления происхождения серпа из поселения Чорелек 1 было проведено сравнение комбинации микропримесей в исследуемом фрагменте серпа и в металлических предметах позднего бронзового века из Северного Причерноморья по опубликованным данным РФЛА. В количественном отношении примеси сурьмы (0.18%) и мышьяка (0.56%) в исследуемом серпе из поселения Чорелек 1 почти полностью соответствуют примесям сплава серпов из Парутинского клада (Николаевская обл., Очаковский р-н) [11]. Учитывая географическое положение обоих

местонахождений, можно сделать вывод, что вероятнее всего серп, найденный на поселении Чорелек 1, относится к Европейской (Карпатской) металлургической провинции.

К сожалению, практически нет опубликованных данных по полным спектрам микропримесей в сплаве металлических предметов позднего бронзового века с территории Северного Причерноморья. Поэтому фактически нет сравнительного материала для изучения происхождения металла чорелекского серпа. Тем не менее считаем необходимым привести полученный результат (табл. 3) для того, чтобы внести вклад в создание базы данных по микропримесям в материале изделий бронзового века в исследуемом регионе.

Результаты визуализации фрагмента серпа из поселения Чорелек 1. Фрагмент серпа из поселения Чорелек 1 был покрыт значительным слоем коррозии, что не позволяло оптически выявить его какие-либо производственные или конструктивные особенности. Исследование фрагмента серпа из поселения Чорелек 1 методами нейтронной и рентгеновской томографии позволило неразрушающими методами, не затрагивая целостность слоя коррозии, выявить ряд технологических приемов, примененных для изготовления этого орудия.

Нейтронная томография. Методом нейтронной томографии в теле серпа были определены множественные округлые поры размером до 1.6 мм, диаметр и количество которых убывает от рукояти к тонкой части лезвия (рис. 3а–3в). Вблизи окончания рукояти крупные поры имеют вытянутую форму. Поры занимают ~5% от общего объема серпа. Объект имеет хорошую сохранность, трещины и иные крупномасштабные дефекты не выявляются. Практически по всей поверхности серпа наблюдается слой коррозии толщиной до 850 мкм (рис. 3г).

Рентгеновская томография. С помощью рентгеновской томографии выявлена область повышенной пористости вне режущего края фрагмента серпа – в основной массе серпа было зарегистрировано скопление пор мелкого и среднего размера (рис. 3б). Преобладают поры объемом ~0.05 мм³. Ширина области в зоне лезвия, не содержащей пор, составляет 5–10 мм вдоль тонкого края серпа. Крупные единичные поры и конгломераты пор сосредоточены в наиболее толстой части рукояти серпа.

Медь с малым количеством примесей – очень вязкий металл, который в расплавленном виде поглощает газы. В процессе затвердевания расплава поглощенные газы выделяются и делают массу металла пористой [12]. Это объясняет значительное количество пор в металле серпа. Можно предположить, что зона металла без пор, идущая по краю лезвия серпа, представляет собой

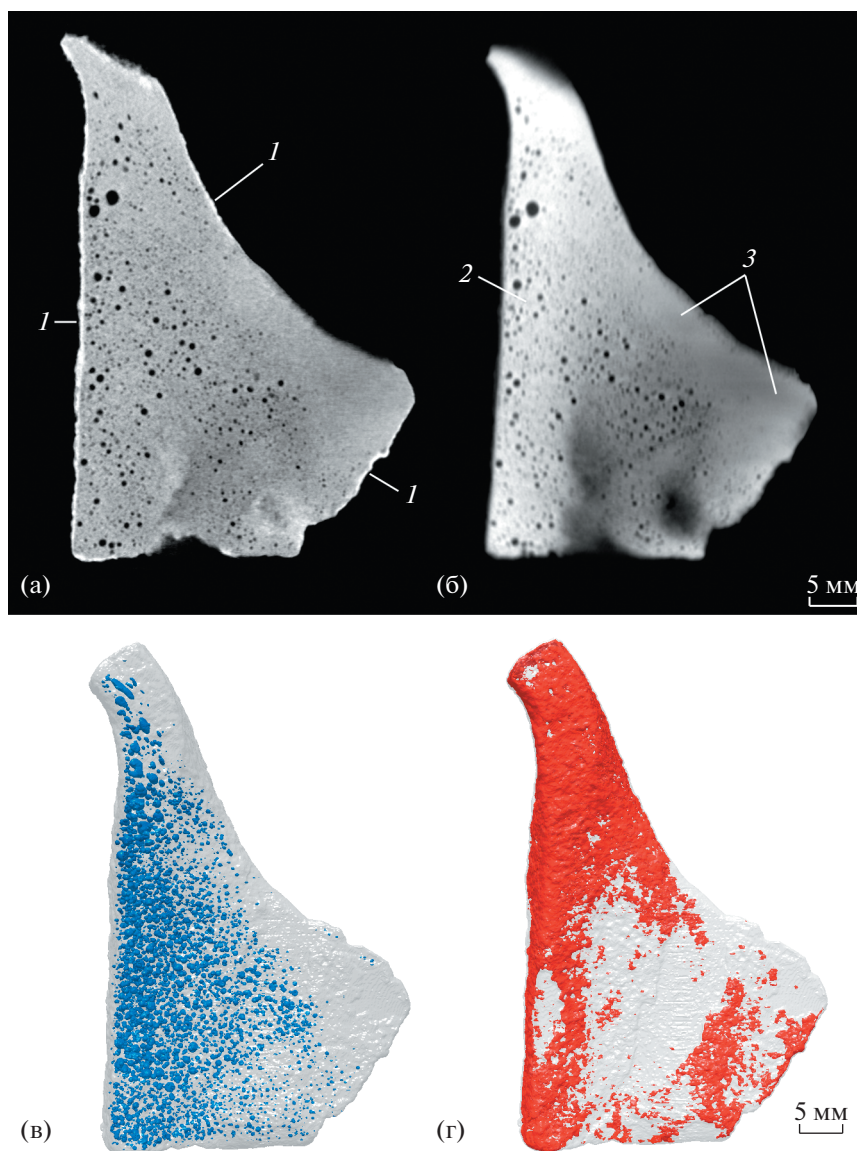


Рис. 3. Особенности внутреннего строения серпа из поселения Чорелек 1: нейтронное (а) и рентгеновское (б) томографические сечения, на которых видны поверхностная коррозия (1), области пористости (2) и предполагаемая зона проковки (3), не содержащая крупных пор; объемные модели, построенные по нейтронным данным, с распределением пор (в) и поверхностной коррозии (г).

тщательно прокованный металл. Целью этой проковки были максимально возможное уплотнение и упрочнение изделия. Скопление вытянутых крупных пор в обломке рукояти серпа, вероятно, является следствием легкой проковки рукояти для ее вытягивания и утонения.

Принято считать, что серпы отливали в каменных или, возможно, глиняных формах [3]. После отливки изделия подвергали значительной доработке. Литники отрубали, поверхность очищали от затеков и наплывов металла, лезвийную часть отковывали и затачивали. Заднюю рукояточную часть серпа расковывали и вытягивали в стержень [3], имеющий прямоугольные очертания. Полу-

ченные томографические данные позволяют предположить, что именно таким образом был обработан серп из поселения Чорелек 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью метода РФЛА установлено, что все исследованные серпы, сделанные из мышьяковой бронзы и датирующиеся эпохой поздней бронзы, относятся к прикубанской металлургической группе. Исключение составляет серп, найденный в поселении Чорелек 1 в юго-восточной части Керченского п-ова. Он изготовлен из оловянной бронзы и по составу сплава тяготеет к

изделиям европейской металлургической традиции. Исследование фрагмента серпа методами нейтронной и рентгеновской томографии позволило выявить ряд технологических особенностей изготовления этого орудия труда. Предположительно, серп был отлит в каменную или глиняную литейную форму через рукоять. Визуализация внутреннего строения впервые наглядно продемонстрировала наличие условных трех областей на изделии с разной степенью постлитейной обработки. Первая — это область с большим количеством недеформированных пор. На ней дополнительные технологические операции не проводили. Вторая область — рукоять, где вытянутые поры указывают на дополнительную проковку после литья с целью вытягивания ее в стержень. Третья — зона режущего края (рабочая или функциональная), полностью лишенная пор, что свидетельствует об интенсивной проковке. Томографическими методами определены количество и расположение пор в объекте, а также оценены интенсивность и локализация областей коррозии на серпе. Таким образом, методы нейтронной и рентгеновской томографии позволили выявить особенности внутреннего строения металла серпа и специфику его кузнечной обработки, которые не могут быть изучены оптическими методами исследования поверхности, покрытой слоем оксидов.

По мнению исследователей, металлические серпы позднего бронзового века, к числу которых относятся исследованные в настоящей работе, представляли собой достаточно эффективные жатвенные орудия и использовались как для сбора урожая зерновых культур, так и для заготовки сена для зимнего или стойлового содержания скота [3: с. 121–187; 13: с. 208]. Такими серпами удобно срезать стебли злаков близко к земле, что позволяло сохранять урожай в снопах и скирдах, и в дальнейшем после обмолота зерна использовать солому [14: с. 76].

Наличие в равнинном Крыму и на Таманском п-ове в период конца эпохи средней и поздней бронзы развитой поселенческой структуры с оседлым земледельческим населением каменской, сабашиновской и белозерской культур объясняет концентрацию здесь находок металлических жатвенных орудий. Появление в сельскохозяйственном инструментарии металлических серпов было по-настоящему революционным событием, определившим успешное развитие экономики и демографический рост древнего населения таврических степей [15].

Исследование состава сплава серпов выполнено в Центре коллективного пользования научным оборудованием для археометрических исследований (Si Tracer) при Институте археологии РАН (г. Москва), аналитик — И.А. Сапрыкина.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии № 075-11-2021-087 от 22 декабря 2021 года (проект 15.СИН.21.0013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новичихин А.М., Смекалова Т.Н., Демченко А.А. // XXII Боспорские чтения. Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Новые открытия, новые проекты. Материалы международной научной конференции. Симферополь–Керчь, 2021. С. 291.
2. Смекалова Т.Н., Куликов А.В., Бейлин Д.В. и др. // История и археология Крыма. 2020. Вып. XIII. С. 373.
3. Дергачев В.А., Бочкарев В.С. Металлические серпы поздней бронзы Восточной Европы. Кишинев: Высшая антропологическая школа, 2002. 348 с.
4. Трифонов В.А., Хоммель П., Брай П. и др. // Древности восточной Европы, центральной Азии и южной Сибири в контексте связей и взаимодействий в евразийском культурном пространстве (новые данные и концепции) Материалы Международной конференции. 2019. С. 183.
5. Черных Е.Н. // Советская археология. 1980. № 2. С. 150.
6. Черных Е.Н. // Советская археология. 1978. № 4. С. 53.
7. Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. // Nature Methods. 2012. V. 9. № 7. P. 671. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
8. Dierick M., Masschaele B., Van Hoorebeke L. // Measurement Sci. Technol. 2004. V. 15. № 7. P. 1366. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/15/7/020>
9. Марковин В.И., Глебов А.И. // Советская археология. 1979. № 2. С. 239.
10. Sirbu M., Topal D., Sava E. et al. // Revista Arheologică. 2021. V. 2 (18). P. 37.
11. Клочко В.И., Козыменко А.В. Древний металл Украины. Киев, 2017. 366 с.
12. Иоффе М.А. Теория литейных процессов. Т. 1. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. 166 с.
13. Бочкарев В.С. // Российский археологический ежегодник. 2012. № 2. С. 194.
14. Блаватская Т.В. Ахейская Греция во втором тысячелетии до н.э. М.: Наука, 1966. 255 с.
15. Новичихин А.М., Смекалова Т.Н., Сапрыкина И.А. и др. // Проблемы истории, филологии и культуры. 2022 г. (В печати).