

**ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ
ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**

УДК 904, 623.444.1, 616-073.756.8, 778.33

**РЕНТГЕНОВСКАЯ, СИНХРОТРОННАЯ И НЕЙТРОННАЯ
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ АРТЕФАКТОВ
ИЗ КУРГАНА ЧЕРНАЯ МОГИЛА**

© 2020 г. Е. С. Коваленко^{1,*}, К. М. Подурец¹, М. М. Мурашев¹, В. П. Глазков¹,
С. И. Карташов¹, И. А. Чичаев¹, С. Ю. Каинов², В. В. Мурашева², Е. Ю. Терещенко^{1,3,**},
Е. Б. Яцишина¹, М. В. Ковальчук^{1,3}

¹ Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

² Государственный исторический музей, Москва, Россия

³ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия

*E-mail: kovalenko_es@mail.ru

**E-mail: elenatereschenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.10.2020 г.

После доработки 17.11.2020 г.

Принята к публикации 17.11.2020 г.

Представлены результаты неразрушающих исследований металлических артефактов из кургана Черная могила (X в., Чернигов) из собрания Исторического музея – шлема, наконечника копья, фрагмента меча, конгломерата спекшегося оружия. Для анализа внутренней структуры артефактов, оценки их сохранности, уточнения технологии изготовления и локализации возможного декоративного орнамента использовался комплекс методов визуализации, включавший в себя рентгеновскую компьютерную томографию, синхротронную радиографию и томографию, выполненную на источнике синхротронного излучения “КИСИ-Курчатов”, и нейтронную томографию, выполненную на источнике нейтронов – исследовательском реакторе ИР-8. Полученные данные позволили выявить неразрушающими методами конструктивные, орнаментальные и технологические особенности фрагментов вооружения.

DOI: 10.1134/S1992722320050076

ВВЕДЕНИЕ

Курган Черная могила, расположенный на территории современного Чернигова, был раскопан профессором Д.Я. Самоквасовым в 1872–1873 гг. Черная могила – самый грандиозный погребальный памятник эпохи образования Древнерусского государства, его насыпь достигала высоты около 10 м, а длина окружности – 125 м. Несмотря на хрестоматийность и известность комплекса, он до сих пор остается одним из самых неизученных комплексов периода заката язычества, когда погребальный обряд становится особенно пышным.

Курган был раскопан в соответствии с методикой своей эпохи – верхняя часть насыпи была снята целиком, а нижняя раскопана колодцем площадью более 400 м². В верхней части насыпи был обнаружен комплекс предметов, помещенных в процессе совершения погребального ритуала на вершину первоначальной насыпи, после чего курган был досыпан. Весьма примечателен состав этого комплекса: два шлема, две кольчуги,

две византийские золотые монеты, два ритона (рога тура с серебряными оковками), плохо сохранившаяся антропоморфная фигурка и сосуд с пережженными костями. Парность “статусных” вещей характерна и для груды предметов, помещенной непосредственно на кострище, там находились два меча и две сабли [1, с. 20–22].

Поскольку кострище представляло собой плотный конгломерат спекшихся предметов, исследовать его было чрезвычайно сложно. Как пишет Д.Я. Самоквасов, “зола, уголь, пережженные кости и бытовые предметы из кости, глины, стекла, железа, бронзы, серебра и золота превратились в одну массу или глыбу, которую можно было резать или распиливать на куски” [1, с. 15–16]. При попытке разобрать спекшиеся куски пришлось иногда “жертвовать одной вещью, чтобы получить соседнюю в сохранившейся форме, казавшуюся более интересной” [1, с. 16, 19].

Наиболее полным анализом материалов из Черной могилы до сих пор остается публикация Б.А. Рыбакова [2]. Основываясь исключительно на анализе состава погребального инвентаря, он

предположил, что в кургане были похоронены двое мужчин – взрослый и юноша, что объясняет парность предметов вооружения и доспехов. На разный возраст погребенных указывает различный размер шлемов, двух мечей [3, с. 128] и ритонов. Наличие женских украшений свидетельствует о том, что на погребальном костре была и женщина.

Сложные процессы этнокультурных взаимодействий эпохи образования Древнерусского государства нашли свое отражение в составе погребального инвентаря Черной могилы. Формирующаяся полиэтничная древнерусская элита была открыта для восприятия чужеземных влияний, особенно это касалось социально значимых элементов культуры. Наряду со славянскими трехбусинными височными кольцами в состав комплекса входили, например, две сабли, относящиеся к системе вооружения степных воинов-номадов. С всадническими культурами также можно связать оба боевых шлема и стремяна. Некоторые предметы, такие как игральные кости, серпы, не имеют этнической окраски, в то же время вопрос о том, кто изготовил самые знаменитые предметы из кургана – туры рога с серебряными оковками, остается открытым.

Скандинавская составляющая “статусного набора” артефактов в Черной могиле представлена прежде всего двумя мечами и несколькими наконечниками копий с инкрустированными втулками [4]. К скандинавским предметам благодаря работе Т.А. Пушкиной отнесена и небольшая антропоморфная фигурка (“идол”), интерпретированная ей как изображение бога Тора [5].

Сохранность большинства предметов погребального инвентаря не дает возможности их полноценного изучения без значительных предварительных реставрационных работ и применения разрушающих естественно-научных методов. Это обстоятельство, а также высокая востребованность предметов из захоронения в музейных экспозициях стали причиной того, что самый известный погребальный комплекс Древней Руси остается пока одним из наименее исследованных. В последние годы ситуация начала меняться и сведения об артефактах из Черной могилы постепенно дополняются, в частности благодаря проведению естественно-научных исследований в НИЦ “Курчатовский институт” [3, 6–9].

Эффективными инструментами для неразрушающего исследования строения металлических артефактов являются методы визуализации с использованием проникающего излучения – рентгеновского (синхротронного) и нейтронов. Разные механизмы взаимодействия с веществом и, следовательно, различный контраст к элементам, составляющим металлические предметы, высокая проникающая способность, возможность ва-

рирования длины волны излучения в широком диапазоне, обеспечивают взаимодополняющий характер рентгеновской и нейтронной томографии [10, 11].

Цель данной работы – демонстрация результатов изучения нескольких артефактов из Черной могилы методами рентгеновской, синхротронной и нейтронной визуализации.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были предметы из собрания Исторического музея различной степени сохранности.

Шлем из кургана Черная могила (ГИМ 76990, Оп. В 1539/1). В собрании Исторического музея находится один из двух шлемов, найденных в кургане Черная могила. К настоящему времени шлем сохранился в виде двух частей (рис. 1) – корпуса с прикрепленной к венцу кольчужной бармицей и отдельного фрагмента навершия. Корпус шлема, склепанный из четырех железных пластин близкой к треугольной формы, обтянутых листом из медного сплава, сохранился не полностью – отсутствуют фрагмент в месте соединения налобной и одной из боковых пластин и большая часть налобной накладки в виде своеобразного трезубца. Утраты, по всей видимости в середине XX столетия, были дополнены мастикообразным составом.

В 2010 г. шлем был частично расчищен, в результате чего были выявлены особенности формы и орнаментации венца и одной из боковых накладных блях. Также на внешней поверхности нижней части навершия были обнаружены канавки, формирующие “чешуйчатый” орнамент. Тем не менее значительная часть деталей шлема оставалась скрытой под слоями оксидов и реставрационного состава (рис. 1).

Фрагмент меча из кургана Черная могила (ГИМ 76990, Оп. В 1539/2). Оба найденных в кургане меча хранятся в собрании Исторического музея. Различная длина мечей (около 102 и 80 см) позволяет предполагать, что “большой” меч принадлежал взрослому человеку, а “малый” – подростку [3, с. 128]. При извлечении мечей из груды предметов они распались на части, и в настоящее время рукояти обоих мечей экспонируются отдельно от клинков. Рукоять одного из мечей и часть клинка, примыкающая к перекрестию (рис. 2), были частично отреставрированы в 2010 г. В ходе реставрации на одной стороне клинка было вскрыто клеймо, представляющее собой слабо различимые буквы или знаки, вваренные в дол клинка. Плохая сохранность клейма оставляет вопросы в правильности его прочтения. Клеймо с обратной стороны клинка покрыто толстым слоем коррозии.

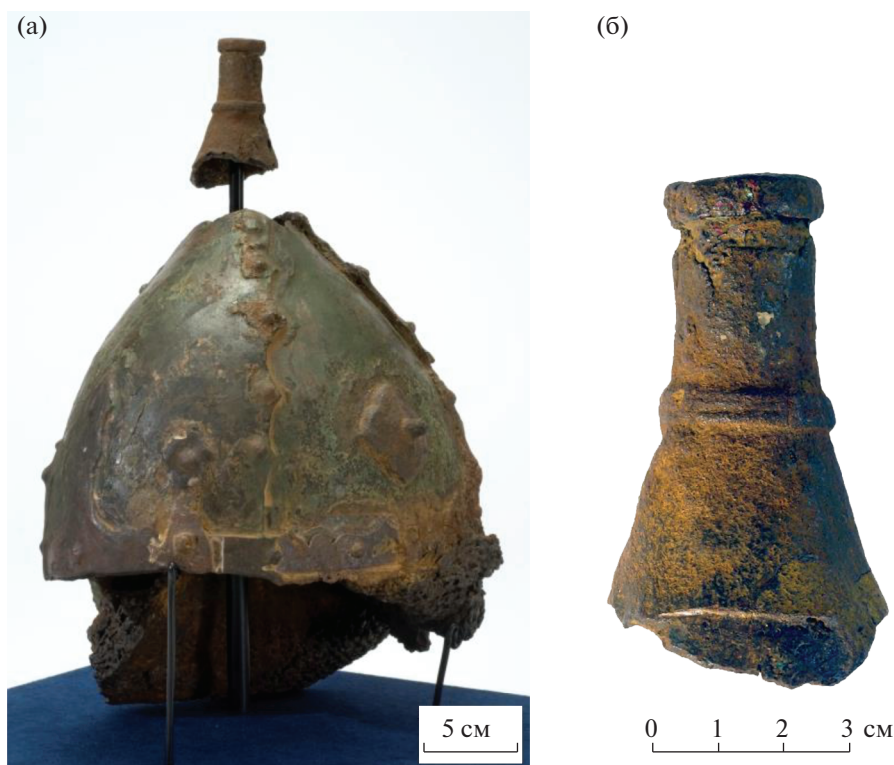


Рис. 1. Шлем – общая фотография (а) и навершие (б) (ГИМ 76990/186, Оп. В 1539/1).



Рис. 2. Фрагмент меча (ГИМ 76990/187, Оп. В 1539/2).

Фрагмент наконечника копья из трех фрагментов – двух фрагментов пера и втулки (ГИМ 76990/195, Оп. В 1539/10). По описанию Д.Я. Самоквасова в Черной могиле было найдено несколько наконечников копий. Два из них находились в груди оружия, остальные найдены по отдельности в западной части погребального кострища. При извлечении из слоя кострища наконечники были сильно фрагментированы. По всей видимости в середине XX в., часть фрагментов была склеена в два наконечника копья для экспозиционных целей. Один из них выделяется наличием с двух сторон пера инкрустированных про-

волокой медного сплава изображений крестов [12, с. 87]. Сохранность наконечника плохая – отсутствует верхняя часть пера, поверхность сильно повреждена коррозией и покрыта оксидами. При склейке разных частей наконечника края сломов не совмещались, а недостающие фрагменты заполнялись реставрационной мастикой. На втулке наконечника хорошо просматривается инкрустация, выполненная горизонтально расположенными проволочками цветного металла, вбитыми в канавки, предварительно насеченные в железе. Проволочки разного цвета уложены таким образом, чтобы сформировать геометрический орна-



Рис. 3. Наконечник копья, состоящий из трех отдельных фрагментов: часть пера (а), часть пера и верхней части втулки (б), втулка (в) (ГИМ 76990/195, Оп. В 1539/10).

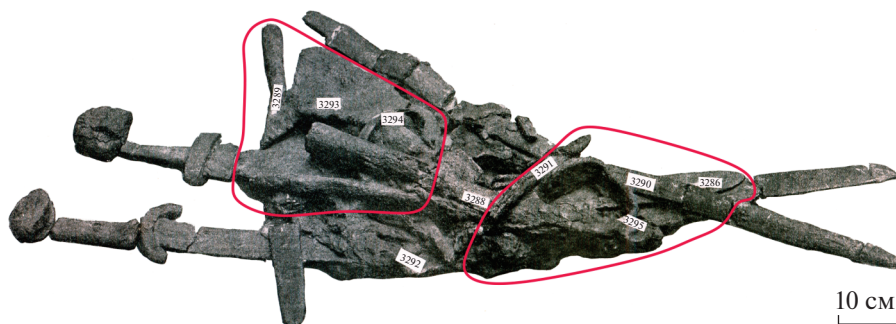


Рис. 4. Фотография конгломерата предметов [1, с. 20, рис. 23] (ГИМ Оп. 1539 В 46/1 и ГИМ Оп. 1539 В /47). Исследованные фрагменты конгломерата выделены линиями.

мент. Основной задачей при изучении этого предмета являлось определение корректности соединения фрагментов в один предмет, а также более полное выявление инкрустации, покрывающей втулку и частично закрытой реставрационной мастикой.

На момент проведения исследований наконечник копья представлял собой три фрагмента, разделенные по местам склейки (рис. 3).

Фрагменты конгломерата спекшегося оружия (ГИМ Оп. 1539 В 46/1 и ГИМ Оп. 1539 В/47). В северной части кострища кургана Черная могила находилась груда предметов, сложенная после прогорания погребального костра. Значительная часть погребального инвентаря в настоящее время представляет собой конгломераты спекшихся артефактов, вырезанных Д.Я. Самоквасовым из слоя кострища. По его описанию эта “железная груда, при очистке распавшаяся на части, состояла из двух мечей, сабли, двух наконечников копий, дротика, двух ножей, фрагментов кольчужного полотна, стремян и шпоры” [1, с. 20–22]. На рис. 4 представлено фото конгломерата начала XX в. В настоящее время конгломерат предметов представляет собой несколько фрагментов различного размера. Визуальное изучение фрагментов позволяет утверждать, что в груде находились

два меча, две сабли, два наконечника копий, фрагмент кольчужного полотна, стремя, скобель и неопределимый предмет вытянутой формы. Плотная корка оксидов и перекрытие спекшихся предметов не позволяют изучить их в полной мере.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения внутренней структуры металлических артефактов использовали методы синхротронной и нейтронной визуализации, которые за счет различных механизмов взаимодействия излучения с веществом позволяют получать взаимодополняющую информацию о расположении составных частей объектов, наличии реставрационной мастики и коррозии металла. Фрагменты конгломерата спекшегося оружия были исследованы с помощью рентгеновской компьютерной томографии (КТ).

Рентгеновские исследования проводили на томографической станции на канале К6.3 источника синхротронного излучения (СИ) “КИСИ-Курчатов”. Применялось фильтрованное СИ из поворотного магнита (фильтр Cu 1.5 мм) с максимумом спектра около 56 кэВ, размер пучка составлял $3 \times 50 \text{ мм}^2$. Пространственное разрешение

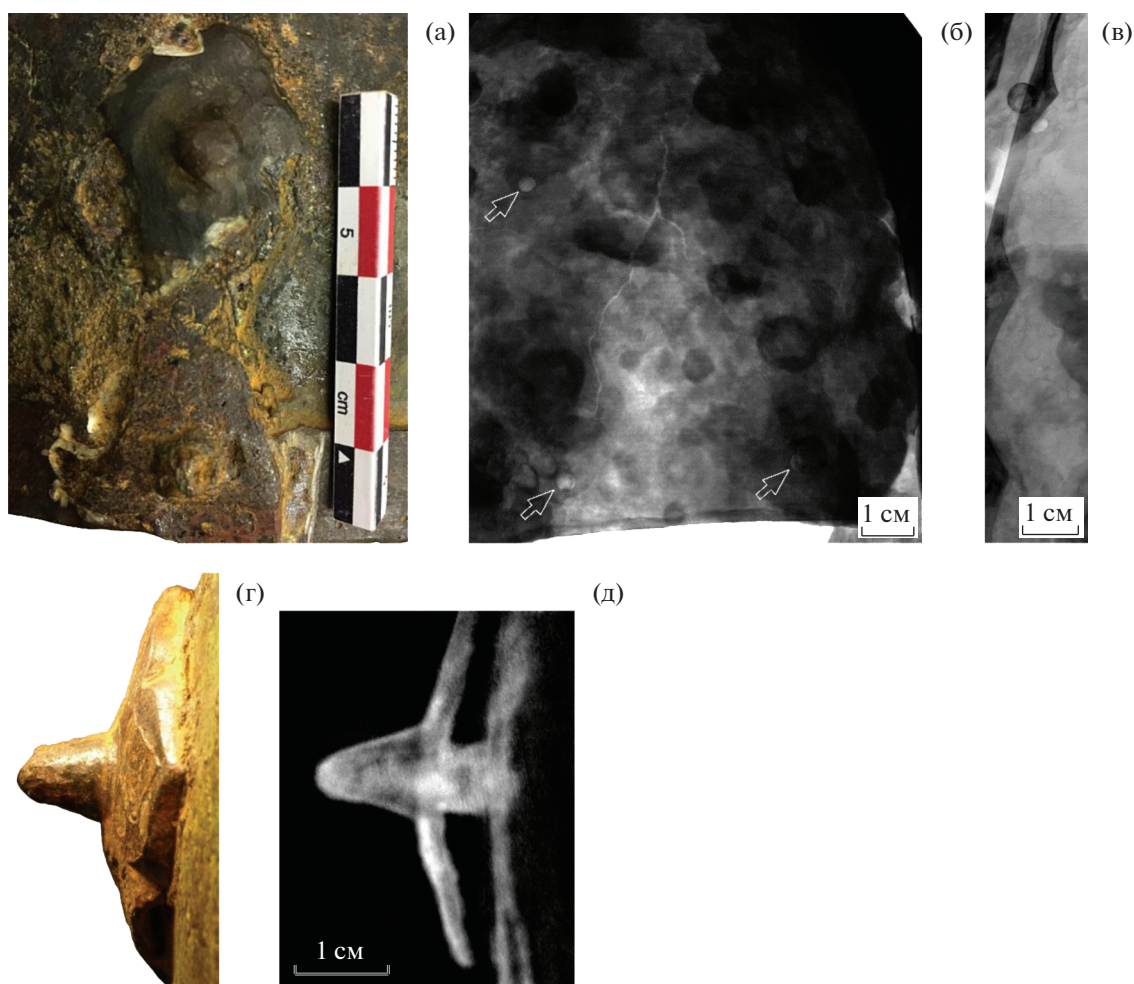


Рис. 5. Декоративные элементы шлема. Фотография (а) и радиографическое изображение фрагмента шлема с боковым лепестком декоративной налобной накладки (б); отверстия под заклепки для крепления накладки отмечены стрелками; радиографическое изображение фигурного края налобной пластины шлема (в); фотография (г) и продольное томографическое сечение накладной бляхи на боковой пластине шлема (д).

ние составляло 75 мкм при размере пикселя 25×25 мкм. Поскольку высота пучка СИ мала, проекции составляли из серии изображений, снятых со сдвигом по высоте с шагом 1 мм. Синхротронная томография была выполнена для фрагмента наконечника копья (фрагмент В – втулка, ГИМ 76990/195, Оп. В 1539/10, рис. 3). Для остальных предметов (рис. 1–3) была проведена синхротронная радиография.

Нейтронные исследования проводили на установке “ДРАКОН” на реакторе ИР-8 [13]. Пучок нейтронов формировался двойным монохроматором с кристаллами пиrolитического графита в отражении (002), длина волны нейтронов для разных объектов составляла от 1.00 до 2.00 Å. Размер пучка составлял 7×7 см². Пространственное разрешение полученных изображений составляло около 230 мкм при размере пикселя 65×65 мкм. Нейтронная томография выполнена для фраг-

мента меча (ГИМ 76990, Оп. В 1539/2), трех фрагментов наконечника копья (ГИМ 76990/195, Оп. В 1539/10), частично для шлема и наконечника шлема (ГИМ 76990, Оп. В 1539/1).

Первичную обработку синхротронных и нейтронных изображений и представление результатов проводили с использованием программного комплекса ImageJ [14], восстановление трехмерных изображений – с помощью программы Ostopus Reconstruction.

Рентгеновскую КТ проводили на ПЭТ-КТ томографе Biograph mCT40 (Siemens) с рентгеновской трубкой с технологией z-sharp (двухфокальное пятно). Пространственное разрешение толщины среза при измерениях – 0.6 мм, инкремент при реконструкции – 0.6 мм, пространственное разрешение в плоскости томографии при реконструкции 0.88×0.88 мм. КТ фрагментов конгломерата (ГИМ Оп. В 1539/46/1 и ГИМ Оп. 1539

В/47), размер которых не позволял провести синхротронную или нейтронную томографию, выполняли при напряжении на рентгеновской трубке 140 кВ и токе 80 мА. При реконструкции изображений использовали фильтр В60F. Для лучшего распознавания деталей, КТ фрагмента меча (ГИМ 76990, Оп. В 1539/2) проводили при трех режимах для изменения контрастности между материалом основы и слоем коррозии: 140 кВ/150 мА; 140 кВ/50 мА; 120 кВ/20 мА. Для реконструкции изображений также использовали фильтр В60F.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Корпус шлема (ГИМ 76990, Оп. В 1539/1). Полное изучение таких крупных металлических объектов, как шлем, лежит за пределами возможностей синхротронной томографии, поэтому для него была выполнена синхротронная радиография в различных проекциях. Неоднородность синхротронных радиографических изображений шлема (рис. 5б, 5в) свидетельствует о неравномерной сохранности металла (наличии полостей, трещин, участков сильной коррозии) и позволяет выявить зоны, требующие особого внимания и, возможно, специальных мер по их укреплению. Обнаружены места расположения отверстий под заклепки для крепления центрального и одного из боковых зубцов декоративной налобной накладки, диаметр отверстий около 3.5 мм (рис. 5б). Также выявлена форма завершения бокового зубца декоративной накладки (рис. 6) в виде трилистника. Кроме того, регистрируются следы насечек, расположенных регулярными рядами на сохранившемся боковом зубце декоративной налобной накладки. Насечки, вероятно, служили для закрепления декоративного покрытия, предположительно, из листа цветного металла. Налобная и затыльная пластины шлема имеют сложной формы фигурный край в виде равномерных волнообразных выступов с шагом около 35 мм (рис. 5в).

Нейтронная томография шлема (без бармицы) с навершием позволила восстановить их объемное строение. Накладные блихи на боковых пластинах шлема, имеющие форму “четырёхлистников”, закреплены на корпусе шлема с помощью сквозных штифтов (рис. 5г, 5д), внешняя часть которых представляет собой округлый в сечении шип, выступающий из центра накладной блихи.

Навершие шлема (ГИМ 76990, Оп. В 1539/1). Нейтронная томография навершия шлема показала, что оно изготовлено из двух основных частей: верхней части в виде цилиндрической втулки, немного расширяющейся к низу (от 17 до 20 мм в диаметре), и нижней – в виде усеченного конуса (рис. 7а). Цилиндрическая часть свернута



Рис. 6. Реконструкция формы бокового лепестка декоративной накладки шлема по сохранившимся границам.

из тонкого железного листа толщиной около 1 мм и высотой 32 мм, один край которого заходит на другой (рис. 7б): в верхней части перекрытие составляет порядка 11 мм и постепенно уменьшается к низу втулки. Сверху втулка закрыта “заглушкой” в виде плоской пластины восьмиугольной формы толщиной около 1 мм, к краю которой прикреплено кольцо (вероятно, припаяно) толщиной ~2 мм (рис. 7в, 7г). В “заглушке” наверху, вероятно, есть отверстие размером около 4.0 × 9.2 мм, скрытое слоями коррозии. Оно образовано двумя округлыми отверстиями диаметром около 4 мм и проточкой между ними (рис. 7в). В центральной части втулки выявлены два диаметрально противоположных отверстия диаметром около 2.6 мм (рис. 7а). Втулка нижней расширенной частью надета на нижнюю конусообразную часть навершия, перекрытие этих деталей варьирует от 5 до 7 мм. Место соединения усилено надетым сверху кольцом шириной около 4 мм, орнаментированным тремя валиками. Кольцо свернуто из листа металла толщиной около 1.5 мм (рис. 7д). Изнутри соединение верхней и нижней частей навершия дополнительно усилено вставкой, свернутой из листового металла, высота вставки около 30 мм. Реконструкция технологи-

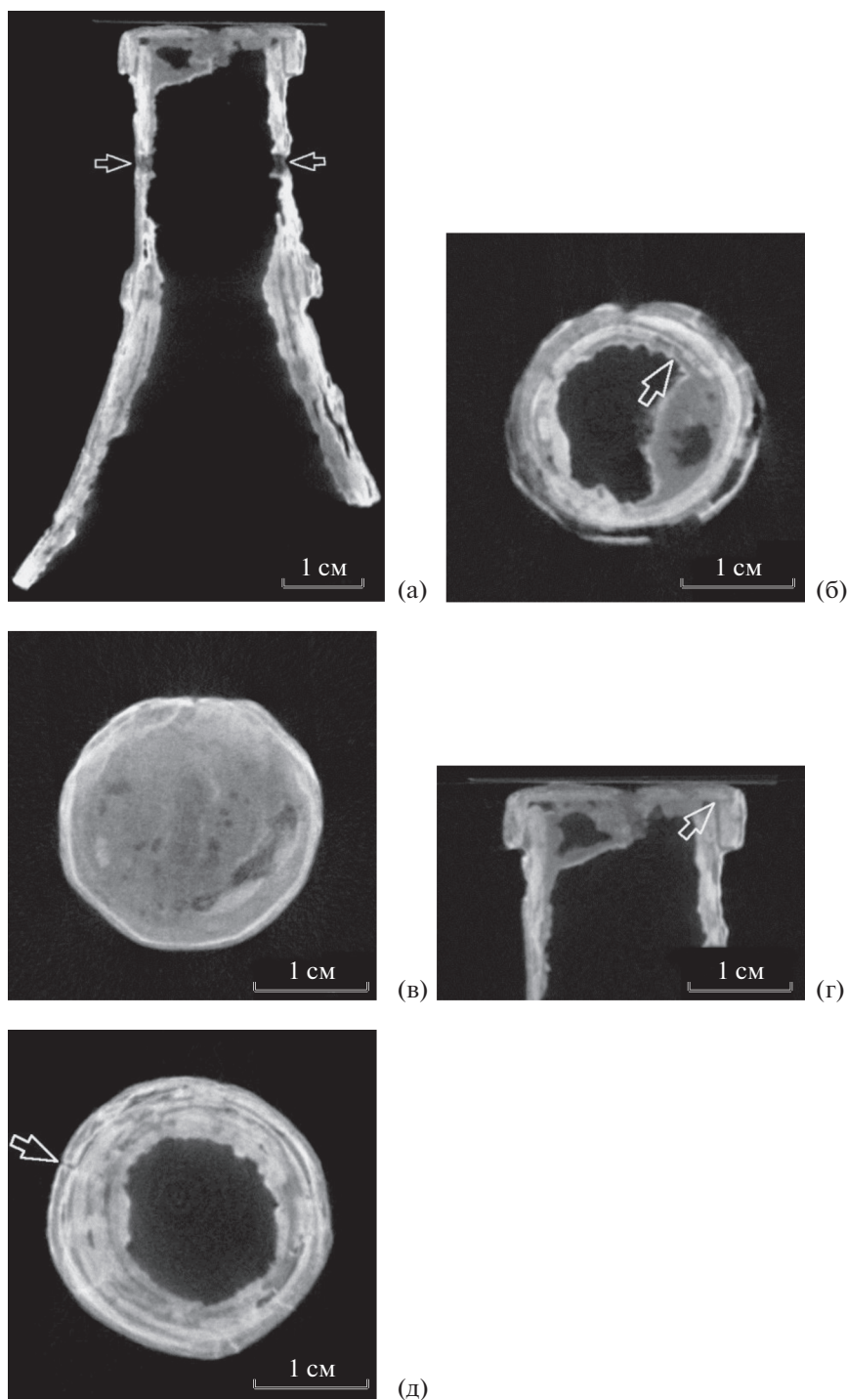


Рис. 7. Особенности конструкции наверхия по данным нейтронной томографии. Продольное сечение наверхия шлема — в верхней трети изображения наблюдаются диаметрально противоположные отверстия в центральной части втулки (а). Поперечное сечение, проходящее под “заглушкой”, отображающее перекрытие листа металла, из которого изготовлена втулка (б). Формы плоской пластины, которой закрыта втулка, и отверстия в ней (в). Промежуток между пластиной и кольцом в “заглушке” наверхия (г). Стык листа металла, из которого изготовлено фиксирующее кольцо на наверхии шлема (д).

ческих элементов наверхия показана на рис. 8. На глубине 500–600 мкм (без учета участка, скрытого фиксирующим кольцом) под поверхностью

наверхия (и цилиндрической втулки, и конусообразной нижней части) регистрируется слой толщиной ~150 мкм, на ~40% сильнее ослабляю-

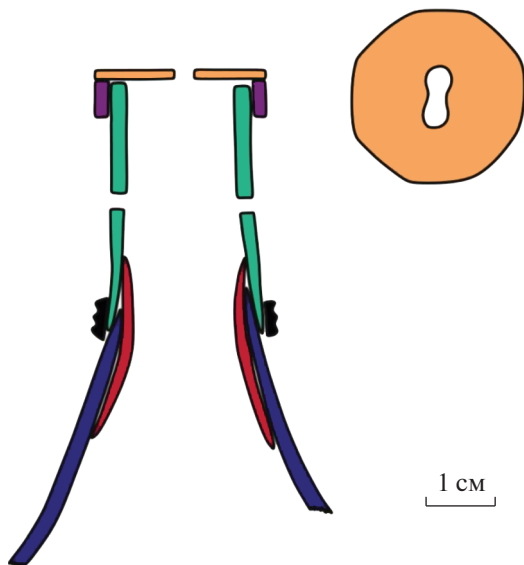


Рис. 8. Реконструкция конструктивных элементов навершия шлема. Оранжевым цветом обозначена пластина “заглушки”, фиолетовым – кольцо “заглушки”, зеленым – цилиндрическая втулка, синим – нижняя конусообразная часть навершия, красным – упрочняющая конструкция вставка, черным – фиксирующее кольцо.

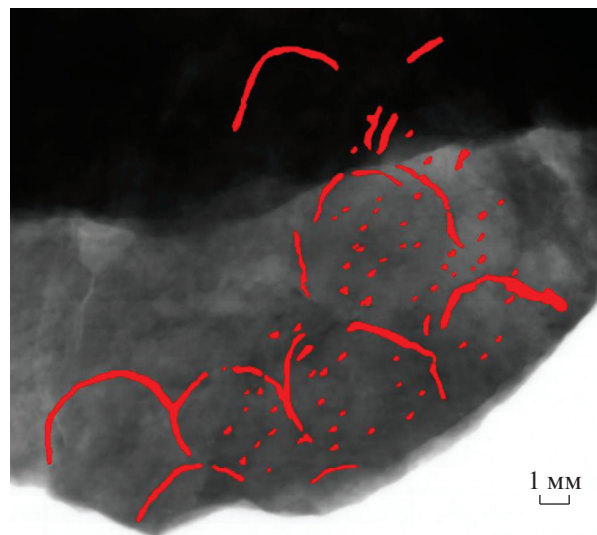


Рис. 9. Прорисовка орнамента на основании навершия шлема по данным синхротронной радиографии.

ший нейтроны, чем металл, из которого изготовлена втулка. Этот слой может являться тонкой металлической фольгой, подвергшейся коррозии.

На нижней части навершия подтверждено существование “чешуйчатого” орнамента (рис. 9), сформированного дугообразными канавками, выявленного ранее при реставрационной расчистке. Канавки имеют неровные края и переменную толщину, изменяющуюся в пределах от 100 до 300 мкм. Пространство внутри дугообразных канавок заполнено мелкими точечными насечками “каплевидной” формы размером около 100 × 250 мкм. Подобная проработка поверхности характерна для шлемов этого типа и предназначалась для укладки сверху декоративного листа из цветного металла. Схожий “чешуйчатый” орнамент известен на навершии шлема из Русских палат [15, рис. 9–10].

Фрагмент меча (ГИМ 76990, оп. В 1539/2). Ранее в результате реставрационных работ были обнаружены символы на одной стороне клинка меча. Для выявления клейма на другой стороне, определения взаимного расположения символов и их принадлежности к той или иной стороне артефакта провели нейтронную томографию и КТ.

Установлено, что символы нанесены на обе стороны лезвия и различаются на разных сторонах. По результатам КТ (рис. 10а, 10б) и нейтронной томографии выполнено объемное моделирование для идентификации символов: на одной из

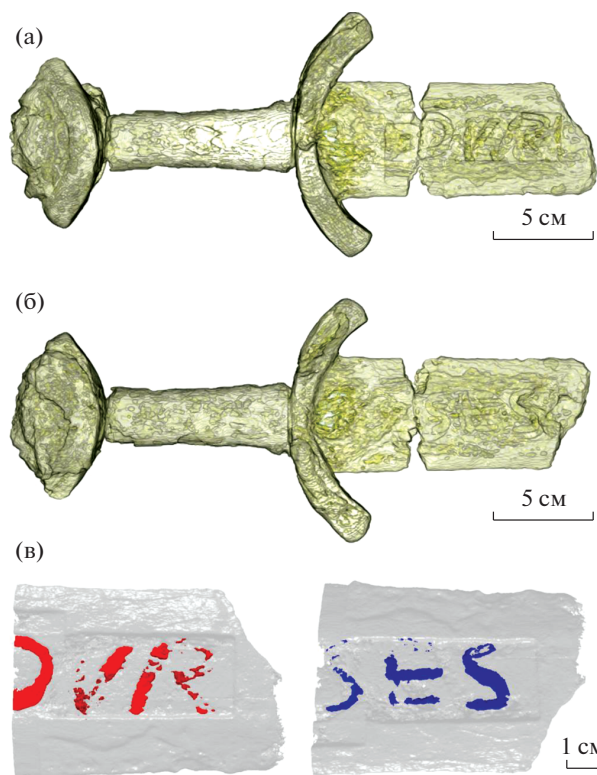


Рис. 10. Трехмерное представление символов на обеих сторонах клинка меча, распознанных разными методами: а, б – КТ, в – нейтронной томографией.

сторон лезвия выявлены латинские буквы *D V R*, на другой – *S E S* (рис. 10в).

Наконечник копья (ГИМ 76990/195, Оп. В 1539/10). В ходе исследования фрагментированного наконечника копья (рис. 11) определено, что

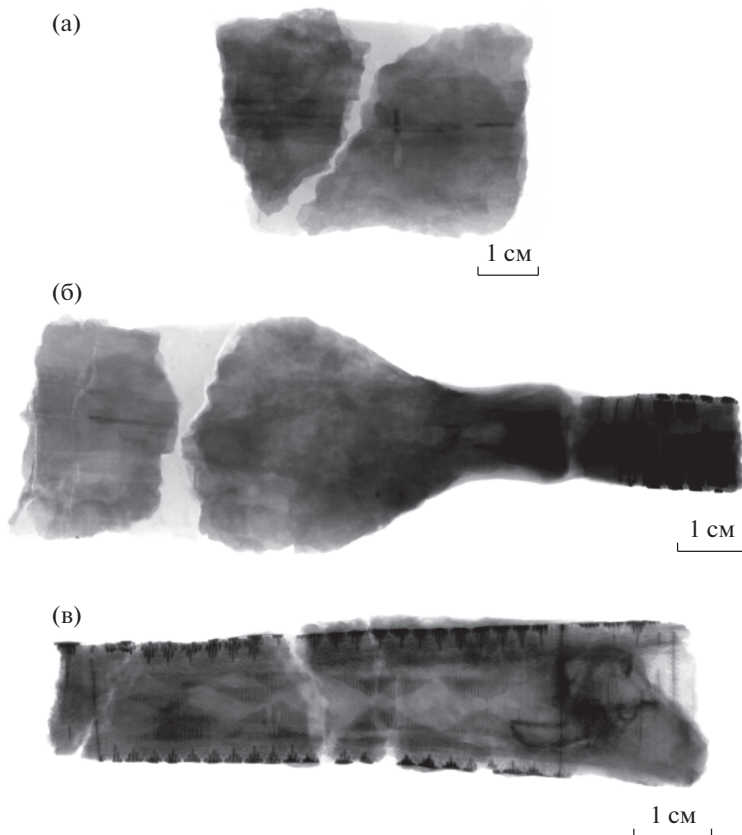


Рис. 11. Радиографические изображения фрагментов (а), (б) и (в) наконечника копья.

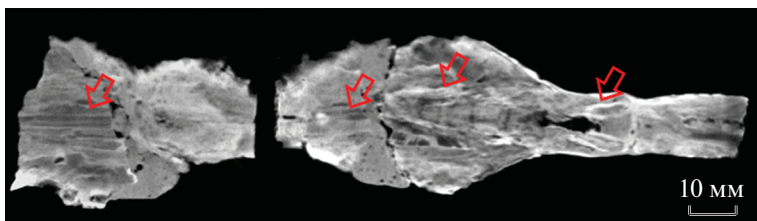


Рис. 12. Нейтронно-томографическое сечение в плоскости пера наконечника копья (фрагменты (а) и (б)), на котором наблюдаются характерные неоднородности (помечены стрелками).

в нынешнем состоянии предмет склеен из фрагментов двух или трех различных наконечников копий. К наконечнику 1 относится основная часть фрагмента (б). Верхняя часть пера на этом фрагменте, приклеенная на мастику, может относиться как к другому наконечнику, так и быть неправильно установленной частью пера наконечника 1. Судя по выявленному с помощью синхротронной радиографии схожему внутреннему строению (рис. 11б), второй вариант более вероятен.

Нижняя часть фрагмента (б) представляет собой втулку, составленную из двух фрагментов. Причем различие диаметров в месте стыковки, неодинаковость внутреннего строения, а также

отсутствие инкрустации на верхнем фрагменте втулки позволяют однозначно утверждать, что нижний фрагмент втулки относится к наконечнику 2. К нему же относится фрагмент (в) (рис. 11в), представляющий собой продолжение втулки, приклеенной в нижней части фрагмента (б). Втулка склеена из четырех частей не совсем корректно, со смещением в горизонтальной плоскости. Фрагмент (а), как и верхняя часть пера фрагмента (б), судя по инкрустированным в железную основу крестам, относятся к одному наконечнику и могут являться частями пера наконечника 1 (что более вероятно) либо представляют собой обломки третьего наконечника копья.

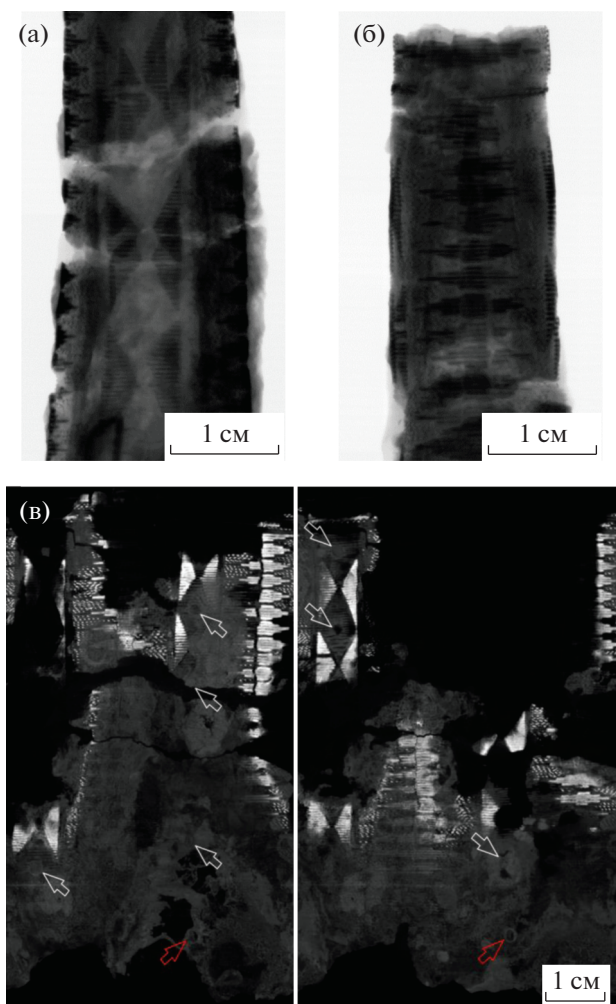


Рис. 13. Элементы орнамента наконечника копья (а–в) и их трехмерное представление (г). Белыми стрелками обозначены отверстия для размещения стерженьков, красной стрелкой – отверстие, в котором сохранилась внутренняя часть стерженька.

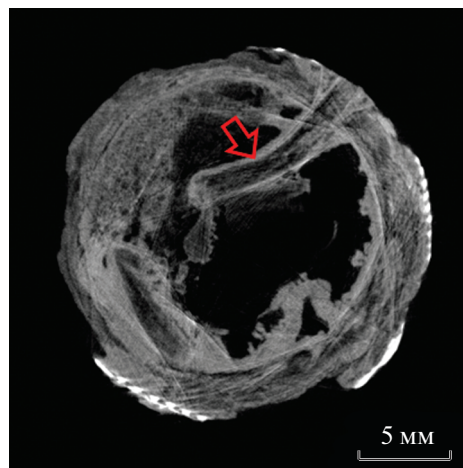


Рис. 14. Стерженьки внутри фрагмента В наконечника копья, крепивший наконечник на деревянной древке (помечен стрелкой).

Выявленные при нейтронно-томографическом исследовании пера и верхней части втулки неоднородности (фрагменты (а) и (б), рис. 12) дают косвенную информацию о технологии изготовления наконечника копья. Можно предположить, что основа наконечника 1 сформирована из листа железа, свернутого в высокий конус, верхняя часть которого была раскована в острие, формирующее сердечник пера, к которому затем приваривались боковые стороны пера. Из нижней части этого конуса формировалась втулка наконечника.

На фрагментах (а) и (б) подтверждены визуально прослеживаемые кресты, расположенные на обеих сторонах пера, инкрустированные проволокой цветного металла в железную основу наконечника. Часть вертикальной перекладки одного из крестов наблюдается на неправильно приклеенной к фрагменту (б) части пера (рис. 11).

Внешняя поверхность втулки наконечника 2 (фрагмент (в) и нижняя часть фрагмента (б)) полностью покрыта геометрическим орнаментом (рис. 13), выполненной инкрустацией проволокой цветного металла диаметром около 300 мкм. В основе композиции – две вертикально расположенные панели, составленные из вертикально ориентированных ромбов и треугольников (рис. 13а). Пространство между панелями занято сильно вытянутыми ромбами со ступенчатыми сторонами (рис. 13б), расположенными в горизонтальной развертке, и ступенчатыми треугольниками. По данным элементного анализа, выполненного в Историческом музее на микро-рентгенофлуоресцентном спектрометре М1 (Bruker, Rh-анод, 50 кВ, коллиматор 1.2 мм, время накопления спектра – 60 с), определено, что для

треугольников в вертикальных панелях и для ступенчатых ромбов использовалась серебряная проволока, а для заполнения ромбов в вертикальных панелях и ступенчатых треугольников — медь (медный сплав) или сочетание серебра и медного сплава (жгутики, скрученные из серебряной и медносплавной проволок). В результате нейтронной и синхротронной томографии выявлена часть узора (рис. 13в), выполненная полностью из серебряных проволок (треугольники и вытянутые ступенчатые ромбы) и из перевитых серебряной и медносплавной проволок (ступенчатые треугольники), поскольку и при нейтронных, и при синхротронных исследованиях, проволока из медного сплава не контрастна относительно металла втулки.

Во фрагменте (в) выявлены округлые отверстия диаметром около 2 мм, скрытые слоями коррозии. Они расположены двумя рядами с диаметрально противоположенных сторон втулки и размещаются в центрах ромбов (рис. 13в, отмечены стрелками). Шаг по вертикали между центрами отверстий составляет около 12 мм. Элементный анализ заполнения отверстий выявил присутствие меди — следы медносплавных вставок в отверстия. Орнаментация втулки и наличие в ромбах отверстий с остатками вставок подтверждают атрибуцию части наконечника копья (фрагмента (в) и нижней части фрагмента (б)) как принадлежащей к редкой группе североевропейских наконечников — типу I по типологии Я. Петерсена [12, с. 86]. Этот тип наконечников выделяется наличием стерженьков, вставленных в центры ромбов и выступающих с противоположных сторон втулки на 5–10 мм. В нижнем отверстии сохранился стерженек длиной около 15 мм (рис. 13в, красная стрелка; рис. 14), крепивший наконечник на деревянном древке копья. Расстояние от нижнего обломанного края втулки до оси стерженька составляет около 9 мм.

Конгломерат спекшегося оружия (ГИМ Оп. 1539 В 46/1 и ГИМ Оп. 1539 В/47). С помощью рентгеновской КТ получены трехмерные изображения двух фрагментов конгломерата спекшегося оружия.

В процессе анализа полученных КТ-изображений выявлен ряд предметов (рис. 15). Во фрагменте К1 (рис. 15а, 15б) различимы восемь предметов, для семи из которых идентифицировано назначение: 1 — наконечник копья, 2 — втулка наконечника копья, 3 — фрагмент клинка меча (меч 1), 4 — фрагмент скобеля, 5 — фрагмент клинка сабли, 6 — стремя, 7 — фрагмент кольчужного плетения. Во фрагменте К2 (рис. 15в) также различимы восемь предметов, пять из которых были идентифицированы: 10 — фрагмент пера наконечника копья, 11 — стремя, 13 и 14 — фрагмен-

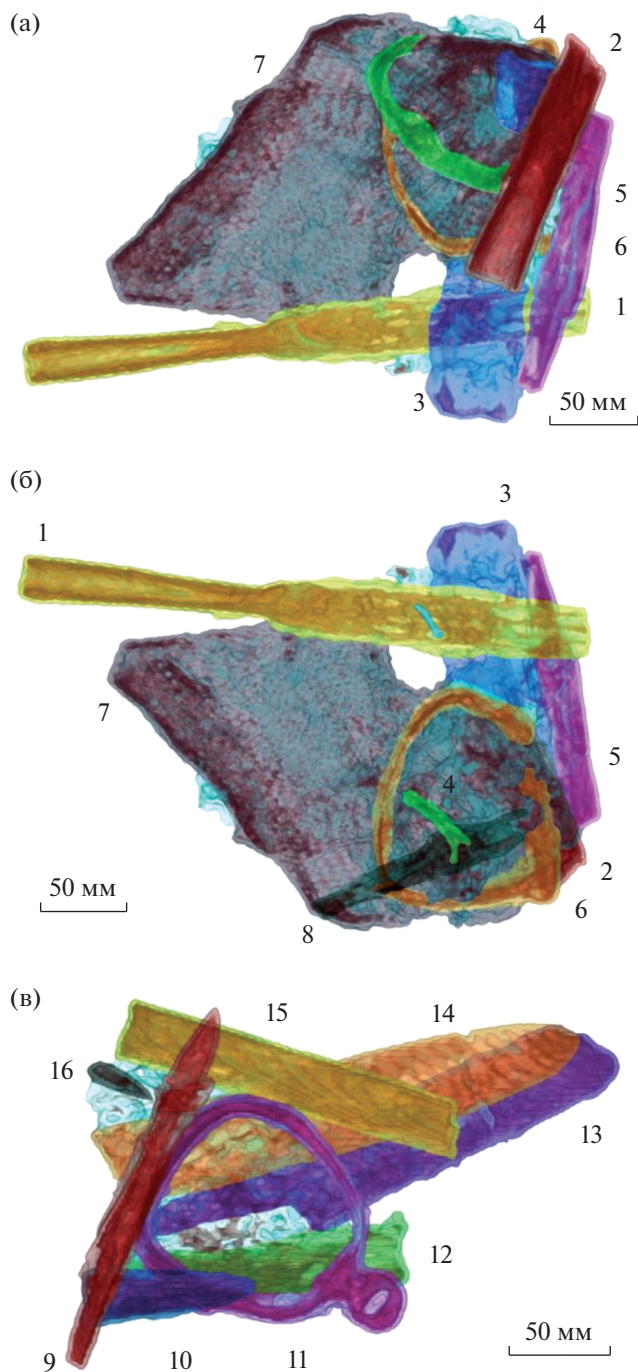


Рис. 15. Трехмерная реконструкция изученных фрагментов конгломерата спекшегося оружия: а, б — фрагмент К1, в — фрагмент К2. Цветом выделены отдельные предметы: 1 — наконечник копья; 2 — втулка наконечника копья; 3, 13, 14 — фрагменты клинков мечей; 4 — фрагмент скобеля; 5, 15 — фрагменты клинков сабель; 6, 11 — стремя; 7 — фрагмент кольчужного плетения; 8, 9, 12, 16 — фрагменты предметов неясного предназначения; 10 — фрагмент пера наконечника копья.

ты клинков мечей (мечи 2 и 1, соответственно), 15 — фрагмент клинка сабли. Назначение предметов 8, 9, 12, 16 не установлено.

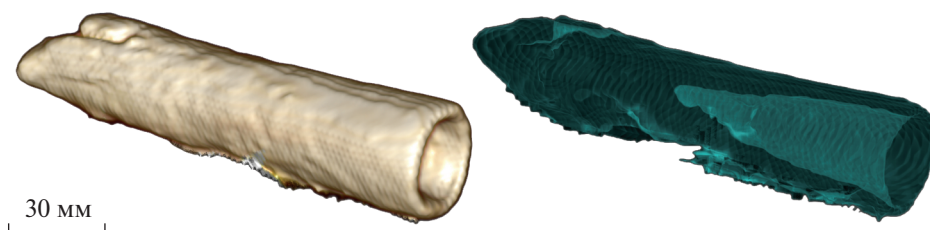


Рис. 16. Трехмерная реконструкция поверхности и продольный срез втулки копья (предмет 2 на рис. 15а, 15б).

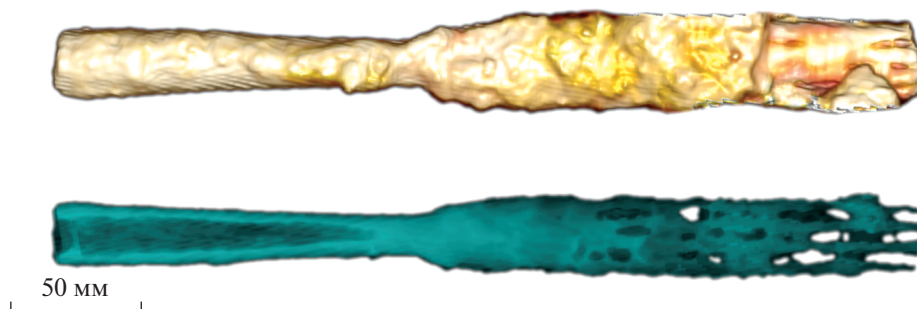


Рис. 17. Трехмерная реконструкция поверхности и внутреннего строения наконечника копья (предмет 1 на рис. 15а, 15б).

Некоторые предметы, находящиеся на внешних участках конгломерата, были изучены подробнее. К сожалению, пространственное разрешение КТ не позволяет выявлять орнамент, поэтому невозможно сделать выводы о наличии или отсутствии декора.

Втулка наконечника копья (предмет 2 на рис. 15а, 15б) в центральной полости имеет коническое углубление (рис. 16). В пере наконечника копья (предмет 1 на рис. 15а, 15б) шириной 3,5 см наблюдаются четыре уплотненных зоны почти круглого сечения (рис. 17), сохранившиеся, вероятно, вследствие меньшей коррозии в этих зонах. По всей видимости, выявленная структура отражает технологию изготовления пера наконечника посредством сварки нескольких прутков, что является характерной технологией изготовления наконечников копий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов современного материаловедения при изучении старых и, казалось бы, хорошо известных музейных коллекций часто приводит к совершенно новым результатам.

Так, естественно-научные исследования предметов погребального инвентаря самого известного кургана Древней Руси — Черной могилы (X в.), выполненные в НИЦ «Курчаговский институт» с помощью взаимодополняющих рентгеновских, синхротронных и нейтронных методов визуализации внутренней структуры, привели к выявлению

конструктивных, орнаментальных и технологических особенностей предметов вооружения:

- для корпуса шлема определена форма некоторых декоративных элементов и методы их закрепления;

- для навершия шлема проведена реконструкция конструктивных элементов и особенностей их соединения, найдены следы декоративной проработки поверхности;

- для обломка меча получены изображения фрагментов клейм на обеих сторонах клинка;

- исследование фрагментированного наконечника копья показало, что в нем были соединены обломки как минимум двух различных изделий, выявлены следы геометрического орнамента из нескольких видов проволоки — крученой и сплошной, на основе выявленных рядов отверстий на втулке уточнена атрибуция фрагмента наконечника копья как редко встречающегося типа I;

- в двух частях спекшегося конгломерата выявлено 16 деталей артефактов различной степени фрагментации, у нескольких предметов с внешних участков конгломерата изучено внутреннее строение.

В настоящее время большинство этих деталей скрыто под толстыми слоями коррозии и недоступно для изучения без трудоемких реставрационных работ. Но применение визуализации с использованием проникающего излучения позволило провести детальное изучение предметов из уникального памятника, выявляя особенности их конструкции, декора и состояния сохранности.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (грант № 17-18-01399) в части исследования артефактов из кургана Черная могила и госзадания НИЦ “Курчатовский институт” в части развития естественно-научных методов в изучении объектов культурного наследия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самоквасов Д.Я.* Могильные древности Северянской Черниговщины. М.: Синодальная типография, 1916. 101 с.
2. *Рыбаков Б.А.* Древности Чернигова // Материалы и исследования по археологии древнерусских городов. Т. 1. М.; Л., 1949. 248 с.
3. *Каинов С.Ю.* // Земля наша велика и обильна... СПб.: Книжная типография, 2019. С. 125.
4. *Кирпичников А.Н.* Древнерусское оружие. Вып. 1. Мечи и сабли IX–XIII вв. // “Свод археологических источников.” под общ. ред. Рыбакова Б.А. М.; Л.: Наука, 1966. 143 с.
5. *Пушкина Т.А.* // Вестник МГУ. Сер. 8: История. 1984. № 3. С. 86.
6. *Шишлина Н.И., ван дер Плихт Й., Севастьянов В.С. и др.* // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2017. Т. 19. № 3 (2). С. 398.
7. *Зозуля С.С., Клещенко Е.А.* // Вестн. МГУ. Сер. 23. Антропология. 2019. № 1. С. 117.
8. *Мурашева В.В., Орфинская О.В., Лобода А.Ю.* // Российская археология. 2019. № 1. С. 73.
9. *Лобода А.Ю., Колобылина Н.Н., Терещенко Е.Ю. и др.* // Кристаллография. 2018. Т. 63. № 6. С. 992.
10. *Ковальчук М.В., Яцишина Е.Б., Благов А.Е. и др.* // Кристаллография. 2016. Т. 61. № 5. С. 681.
11. *Подурец К.М., Кичанов С.Е., Глазков В.П. и др.* // Кристаллография. 2021. Т. 66. № 2. С. 254.
12. *Каинов С.Ю., Щавелев А.С.* // Древнейшие государства Восточной Европы. 2003 год. Мнимые реальности в античных и средневековых текстах. М.: Восточная литература РАН. 2005. С. 83.
13. *Соменков В.А., Глазков В.П., Эм В.Т. и др.* // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтр. исследования. 2019. № 9. С. 93.
14. *Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W.* // Nature Methods. 2012. 9. P. 671.
15. *Кирпичников А.Н.* Раннесредневековые золоченые шлемы. Новые находки и наблюдения. СПб.: ИПК “Вести”, 2009. 68 с.