

## ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРАКОТОВОЙ ГОЛОВЫ ИЗ КЕРЧЕНСКОЙ БУХТЫ

© 2020 г. М. В. Ковальчук<sup>1,3</sup>, Е. Б. Яцишина<sup>1</sup>, Н. А. Макаров<sup>2</sup>, Э. А. Грешников<sup>1,\*</sup>,  
А. А. Анциферова<sup>1,3</sup>, О. Л. Гунчина<sup>4</sup>, П. К. Кашкаров<sup>1,3,5</sup>, Е. С. Коваленко<sup>1</sup>, М. М. Мурашев<sup>1</sup>,  
С. В. Ольховский<sup>2</sup>, К. М. Подурец<sup>1</sup>, В. Б. Тимеркаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт археологии РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

<sup>4</sup> Государственный музей-заповедник “Фанагория”, пос. Сенной, Россия

<sup>5</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*E-mail: levkon1963@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.12.2019 г.

После доработки 12.03.2020 г.

Принята к публикации 14.03.2020 г.

Представлены результаты томографического исследования в НИЦ “Курчатовский институт” античной терракоты, изготовленной в виде головы бородатого мужчины и найденной при строительстве опор Крымского моста при подводных работах Института археологии РАН. С помощью методов нейтронной и рентгеновской томографии на основании анализа выявленных технологических швов установлено, что изделие изготовлено преимущественно методом скульптурной лепки с последовательным добавлением профильных деталей (слоя прически, носа, век, глаз, ушей, носогубной складки, бороды) к глиняной основе. Изделие, вероятно, крепилось нижней частью к утраченной опоре или основанию с помощью свинцовой стяжки. Все исследования проводили неразрушающими методами, позволившими провести мониторинг скрытых полостей, которые в дальнейшем могут представлять угрозу для сохранности ценного объекта культурного наследия.

DOI: 10.31857/S0023476120050124

### ВВЕДЕНИЕ

В 2017 г. в ходе подводных археологических раскопок на участках дна Керченской бухты, выполненных специалистами Института археологии РАН перед строительством опор Крымского моста, найден крупный фрагмент терракоты, изображающей бородатую мужскую голову [1]. Размеры терракоты составляют  $24.68 \times 13.70 \times 26.48$  см<sup>3</sup>. Предварительное визуальное изучение глины в соответствии с существующей археологической классификацией [2] позволяет предполагать, что терракота могла быть изготовлена вблизи Синопы. Установить функциональное назначение объекта (фрагмент статуи, навершие колонны, украшение корабля и пр.) не удалось из-за отсутствия аналогий в каких-либо музейных собраниях. В этих обстоятельствах предприняты попытки получить часть необходимой для идентификации информации с помощью комплексного применения современных аналитических методик и инструментария. Первые исследования показали, что в области волос, бороды и усов терракота была осмолена и окрашена железоманганцевым пигментом, а в области губ покрыта охрой [3].

марганцевым пигментом, а в области губ покрыта охрой [3].

Задачей настоящего исследования стало изучение технологии изготовления терракоты с помощью нейтронной и рентгеновской томографии. Рентгеновская компьютерная томография (КТ) широко применяется в медицине в качестве диагностического инструмента. Известны примеры использования медицинских томографов для исследования объектов культурного наследия [4, 5], в том числе керамических изделий [6]. Важной особенностью этого метода является его неразрушающий характер. Как правило, задачей КТ при исследовании керамики является уточнение технологии ее изготовления: выявление пустот и технологических швов (участков, где при лепке или формовке добавлялись порции глины), определение пористости глиняного теста, включений и дефектов (трещин). Нейтронная томография также применяется в исследованиях объектов культурного наследия [7]. Нейтронная и рентгеновская томография являются взаимодополняющими методами. Основное различие рентгенов-

ской и нейтронной томографии заключается в разной природе взаимодействия излучения с веществом. Нейтроны по сравнению с рентгеновским излучением имеют большую проникающую способность [8]. Эффективность комплексного подхода, включающего рентгеновские и нейтронные исследования объектов культурного наследия, продемонстрирована на практике [9].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Томографическое исследование основано на просвечивании исследуемого объекта пучком проникающего излучения и одновременной регистрации при помощи соответствующего детектора распределения потока излучения за объектом. За счет неодинакового ослабления пучка при прохождении через образец, имеющий неоднородный химический состав и/или распределение плотностей, формируется радиограмма объекта. При наборе серии радиограмм, полученных при повороте объекта относительно пучка, и их последующей математической обработке получается томографическое или трехмерное изображение объекта. Яркость томографического изображения в каждой его точке пропорциональна линейному коэффициенту ослабления излучения. Трехмерное изображение представляет собой набор срезов, перпендикулярных оси поворота объекта или детектора. Имея трехмерное изображение, можно с помощью соответствующего программного обеспечения получить любое желаемое сечение объекта, наилучшим образом отображающее взаимное расположение частей объекта. Также трехмерное изображение может быть использовано для построения наглядных 3D-моделей объектов.

Рентгеновская томография выполнялась на мультиспиральном компьютерном томографе ViograpH mCT s40 3R ресурсного центра ККНБИКС природоподобных технологий НИЦ “Курчатовский институт”. При КТ-исследовании рентгеновская трубка и электронные детекторы вращаются вокруг объекта, движущегося равномерно. Напряжение на трубке составляло 140 кВ, детектирующая система обеспечивала размеры вокселя 0.6 мм в направлении движения объекта и 0.4 мм в перпендикулярных направлениях. Продолжительность КТ-исследования – 20 с. Длина сканирования составляла 250–300 мм. Реконструированные изображения имели размерность 512 × 512 и 12-битную разрядность (шкала Хаунсфилда).

Нейтронная томография выполнена на установке для нейтронной визуализации “Дракон”, расположенной на исследовательском реакторе ИР-8 в НИЦ “Курчатовский институт” [10]. Пучок нейтронов формировался двойным монохроматором с кристаллами пиролитического графита

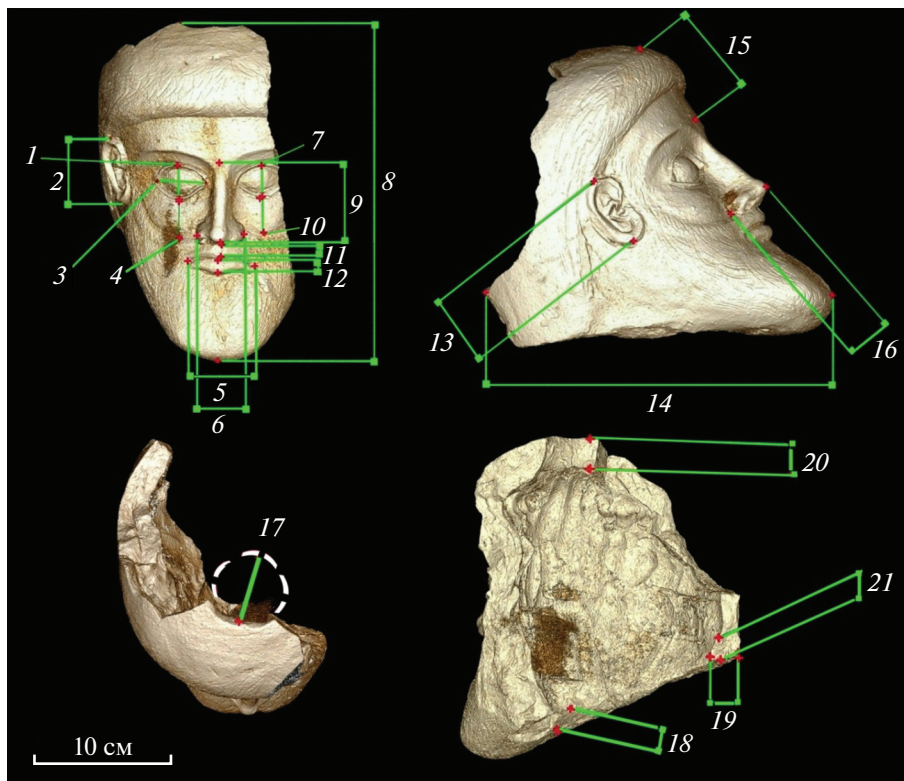
та в отражении (002), длина волны нейтронов составляла  $\lambda = 1.75 \text{ \AA}$ . Время экспозиции одного кадра – 60 с. Пространственное разрешение – около 230 мкм при размерах вокселя 65 мкм во взаимно перпендикулярных направлениях. Размеры керамической терракоты превосходили размеры нейтронного пучка –  $75 \times 75 \text{ мм}^2$ . По этой причине каждая проекция была составлена из 17 кадров, снятых при перемещении объекта с шагом 60 мм по вертикали и 27 мм по горизонтали.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

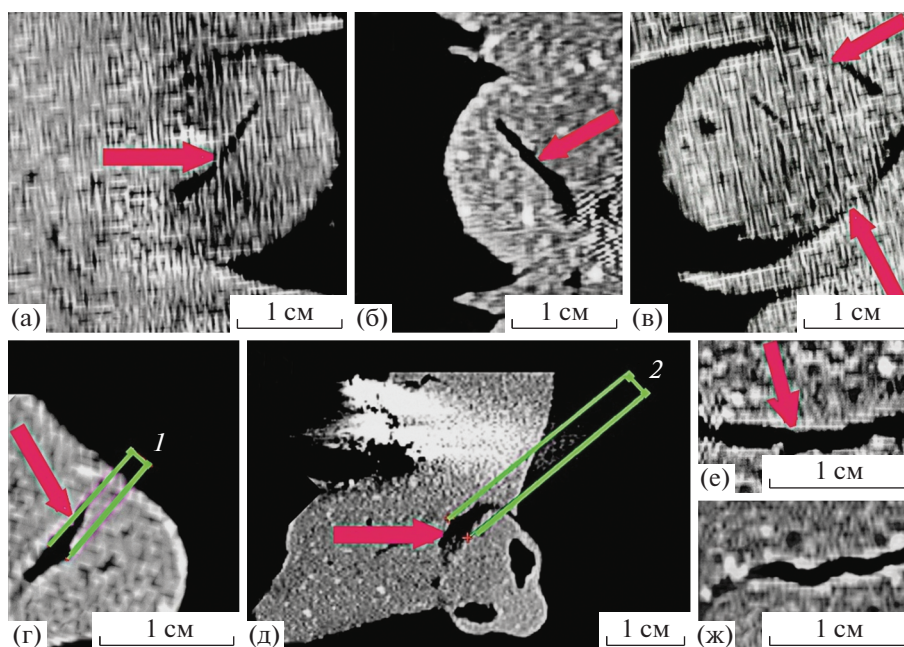
По материалам КТ построена трехмерная модель изучаемого изделия и определены размеры его рельефных деталей (рис. 1). Подробный искусствоведческий анализ представленных измерений и вытекающих из них пропорций не входит в задачи настоящего исследования. Основное внимание уделено вопросам технологии изготовления изделия, о которой можно судить по форме и расположению многочисленных пустот, обнаруженных в глиняном тесте (рис. 2–6). Также на томографических срезах заметен свинцовый наплыв (рис. 6а, рис. 7а, 7в, 7г), расположенный на внутренней поверхности изделия, и наблюдаются отдельные свинцовые капли (рис. 7б). Идентификация материала выполнена методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре Mistral M1 Bruker в реставрационной лаборатории Государственного музея-заповедника “Фанагория”. Форма этого наплыва определена с помощью нейтронной томографии. Этим же методом на поверхности изделия выявлено водородсодержащее вещество – смола, следы которой сохранились в волосах, усах, бороде, ноздрях и межгубной щели (рис. 6а, рис. 7д).

Известно, что античные мастера иногда использовали формы для изготовления терракот [11–13]. Н. Букидис, описывая изготовление голов крупных керамических статуй, указывает на факты их отдельного от остальных частей скульптур изготовления, либо с применением комбинированной техники (ручная лепка плюс использование матриц), либо без применения матриц [14].

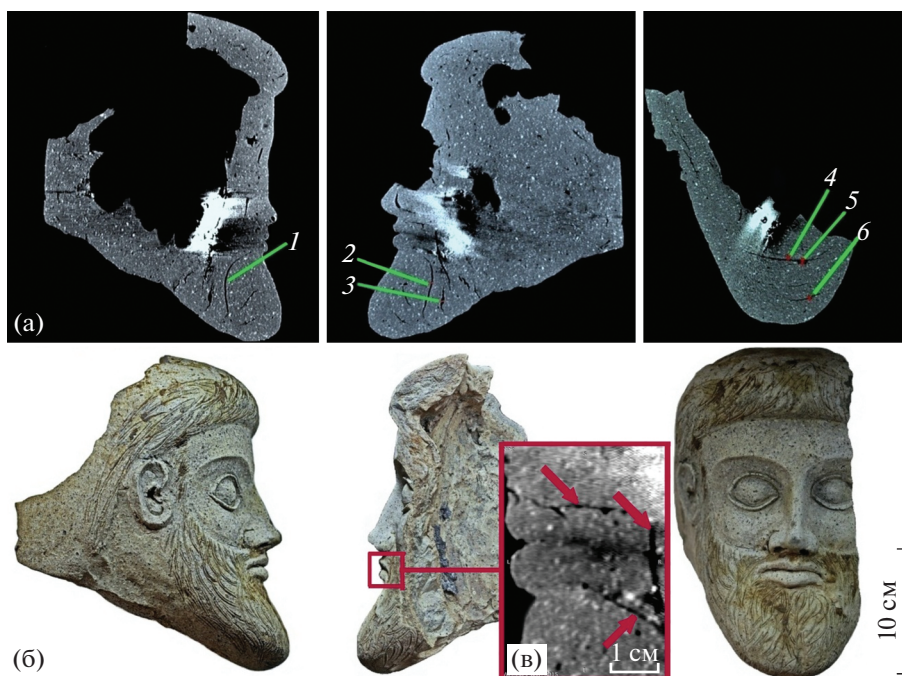
Поскольку на томографических изображениях бороды наблюдаются два технологических шва (рис. 3), можно заключить, что борода лепилась в два приема. Максимальная ширина протяженных полостей в местах соединения фрагментов теста изменяется от 1.3 до 2.7 мм. Их расположение повторяет изгибы подбородка, что исключает их идентификацию как трещин, образовавшихся из-за усадки глины, неравномерного нагрева или механических нагрузок. Толщина бороды достигает 8 см, ее сечение – 10 см у основания и около 5 см у окончания. Это является еще одним аргументом в пользу отдельного изготовления указан-



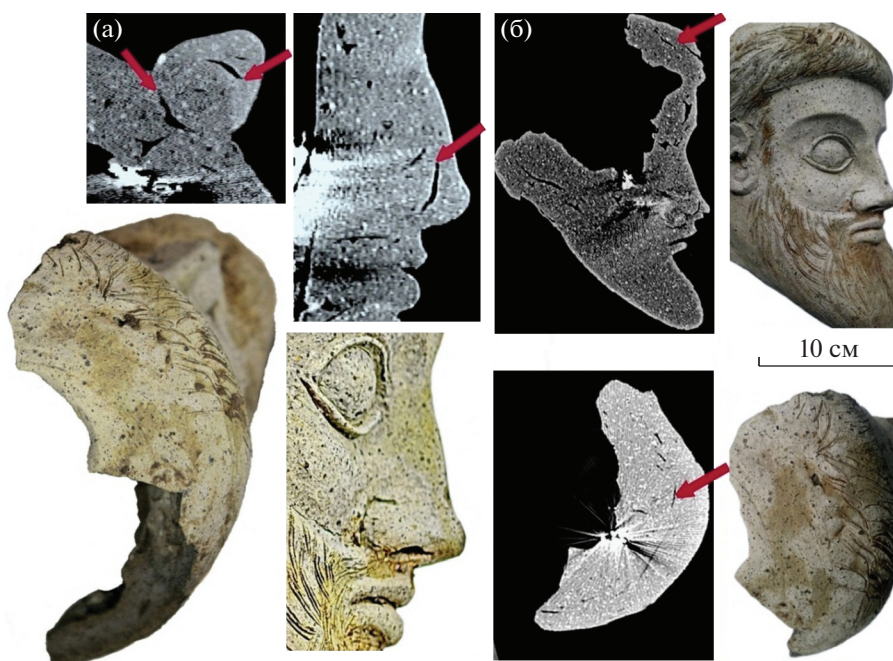
**Рис. 1.** 3D-модель терракоты, построенная по данным компьютерной томографии. Размеры скульптурных деталей: 1 – 2.38, 2 – 4.99, 3 – 3.86, 4 – 2.97, 5 – 5.25, 6 – 3.74, 7 – 2.13, 8 – 26.48, 9 – 6.20, 10 – 2.79, 11 – 9.54, 12 – 9.17, 13 – 4.79, 14 – 24.68, 15 – 6.38, 16 – 3.08, 17 – 4.74, 18 – 1.59, 19 – 2.19–2.12, 20 – 2.54, 21 – 1.94 см.



**Рис. 2.** Выявленные технологические швы (указаны стрелками): а – в правом глазном яблоке; б – в левом глазном яблоке; в – швы, появившиеся при установке глазных яблок в глазницы (боковой срез левого глаза); г – на кончике носа (боковой срез), 1 – ширина шва 2.1 мм; д – на срезе у основания носа (вид снизу, со стороны ноздрей), 2 – ширина шва 6.8 мм; е – в районе бороды (противоположные края полости не комплементарны); ж – трещина, образовавшаяся в результате усадки глины или механического воздействия (противоположные края полости комплементарны).



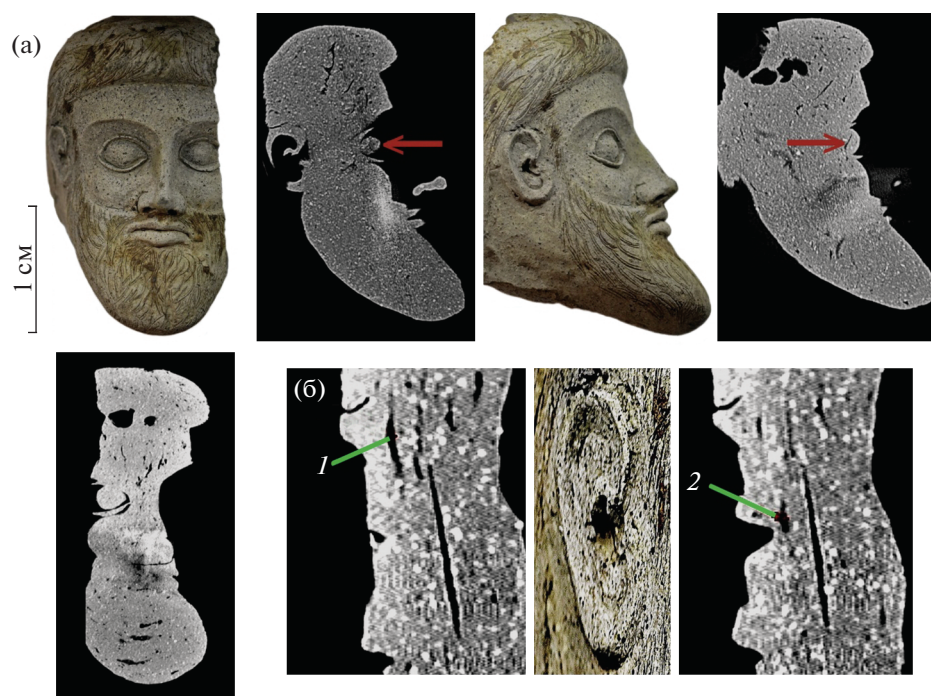
**Рис. 3.** Томографические (КТ) профильные срезы, демонстрирующие технологические швы: а – в глиняном тесте бороды; линиями отмечены точки измерения ширины технологических швов: 1 – 1.3, 2 – 1.7, 3 – 2.4, 4 – 1.8, 5 – 2.7, 6 – 1.3 мм; б – фронтальный и боковые виды изделия; в – профиль губ; технологические швы указаны стрелками.



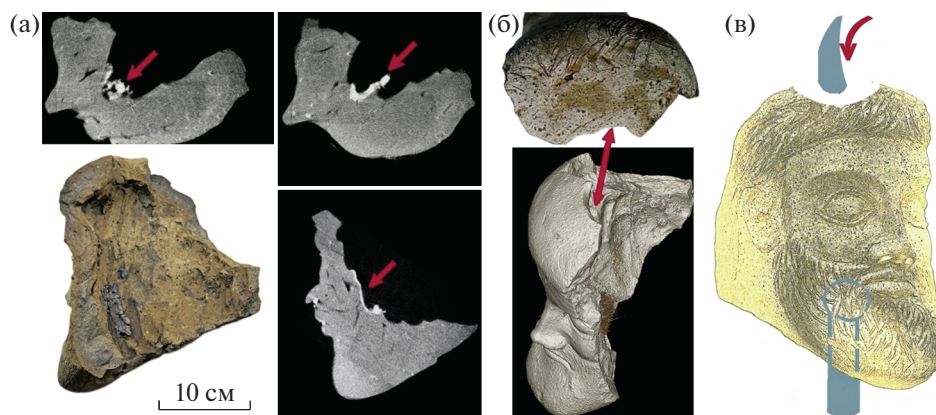
**Рис. 4.** Фото и томографические срезы носа (а): слева – фото и срез КТ, вид сверху со стороны темени, справа – фото со стороны правой щеки и соответствующий срез КТ. Фото прически и соответствующие срезы КТ (б): верх – вид сбоку со стороны правой щеки, низ – вид сверху со стороны темени.

ной рельефной детали, поскольку для качественного оттиска в матрице такого массивного фрагмента необходимо приложить большое усилие,

но глубина пальцевых следов с внутренней поверхности бороды не выделяется среди аналогичных следов, выявленных на других участках по-



**Рис. 5.** Фото и соответствующие срезы КТ глаз (а) и ушных раковин (б). Стрелками отмечены области глазного яблока и век (слева) и технологический шов глазной накладки (справа). Цифрами обозначены технологические швы правого уха: 1 – 1.4, 2 – 1.7 мм.



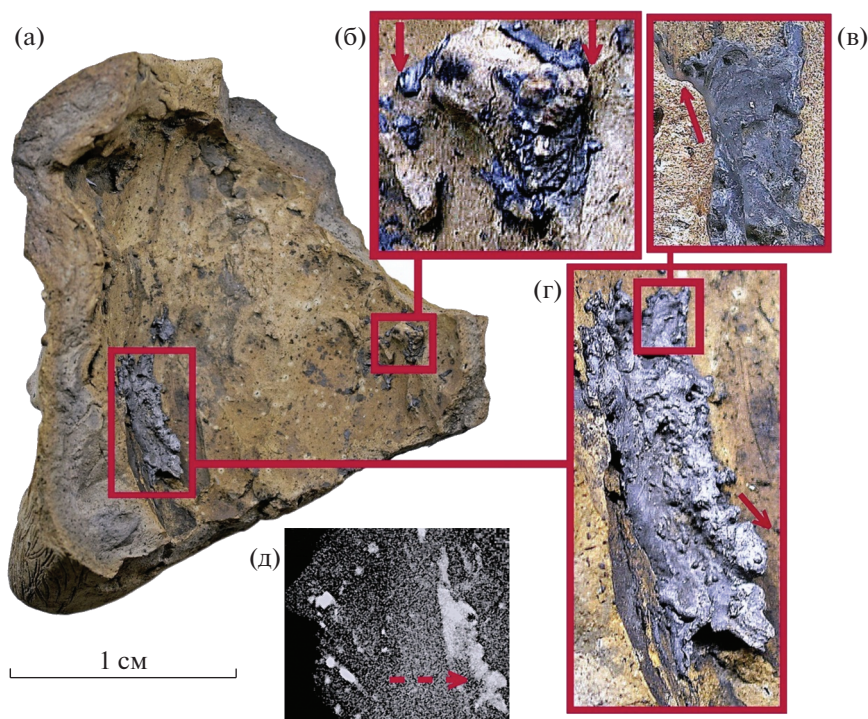
**Рис. 6.** Фото и томографические нейтронные срезы фрагментов свинца, стрелками обозначен свинцовый натек (а); на нейтронных томографических срезах свинец и смола выделяются светлым цветом; фото фрагмента теменного отверстия, стрелкой обозначено округлое отверстие на фото и на 3D-модели терракоты (б); реконструкция крепления терракоты: предполагаемая свинцовая стяжка (серый цвет) и процесс ее заливки через теменное отверстие (в).

верхности. Это свидетельствует о том, что дополнительных усилий для формовки бороды не прилагалось.

Верхняя и нижняя губы на томографических срезах выглядят как единая деталь (рис. 3в), а в области крепления губ наблюдается расслоение глины. Максимальная ширина двух технологических швов в местах соединения порций глины при лепке носа составляет 1.4–6.8 мм. Это свидетельствует о том, что формирование носа выполнено в два приема: сначала прикреплена основа с крыльями и ноздрями, затем из отдельной порции глины долеплен кончик (рис. 2г, 2д, рис. 4а).

Очень большие размеры полости (6.8 мм), локализованной у основания носа на уровне ноздрей в месте его соединения с основой головы (рис. 2д), исключают его интерпретацию в качестве усадочной трещины.

На томограммах зафиксированы полости, повторяющие профиль лба на расстоянии, равном выступу прически (рис. 4б). Это свидетельствует о присутствии двух слоев глины разной толщины: внешнего, с “волосяным покровом”, и внутреннего, составляющего основу головы. Вероятно, прическа образована путем накладки дополнительного слоя глины на поверхность лба.



**Рис. 7.** Направление свинцового наплыва и отдельных капель (обозначено стрелками): а – расположение деталей свинцовой заливки; б – свинцовые капли, направленные к шее; в – волнообразный натек; г – увеличенное изображение свинцового слитка, застывшего на внутренней поверхности терракоты; стрелкой обозначен каплевидный натек, направленный в сторону шеи; д – фрагмент 3D-изображения свинцового наплыва (полость, заполненная свинцом, обозначена пунктирной стрелкой).

Два технологических шва в середине и основании глазных яблок (рис. 2а–2в, рис. 5а) показывают сложную конфигурацию области глаз: глазные впадины заполнялись глиной в два приема. Веки имеют острые выступающие края, хорошо заметные на фотографиях и томографических (КТ) профильных срезах (рис. 2б). Это позволяет предположить, что они проработаны инструментом с режущей кромкой (стеком).

Ширина щелей в месте крепления ушей к голове составляет 1.4–1.7 мм (рис. 5б), что говорит о формировании ушных раковин наклепами. Уши выполнены схематично и имеют очень низкий рельеф.

Отметим, что для всех описанных пустот противоположные края полостей, образовавшихся в месте добавления порций глины, имеют индивидуальный рисунок и могут не совпадать, что позволяет считать их технологическими швами (рис. 2а–2е). Это отличает их от трещин, в которых разошедшиеся края повторяют рельеф друг друга (рис. 2ж).

Одной из задач томографических исследований стало изучение формы и расположения фрагментов свинца, сохранившихся на внутренней поверхности изделия. На значительной площади свинец присутствует в виде мелких капель, а на внутренней поверхности изделия, напротив носа, сохра-

нился в форме наплыва размером  $6.09 \times 1.46 \text{ см}^2$ . В античную эпоху практиковалось крепление отдельных фрагментов статуй, каменных блоков и т.д. с помощью залитых в подготовленные отверстия свинцовых скреп (скоб и разного вида штырей). Согласно одной из предварительных гипотез, этот наплыв представлялся обломком свинцовой скрепы, фиксировавшей изделие на заданном участке скульптурной композиции. В этом случае при изготовлении терракоты на ее внутренней поверхности должна была быть подготовлена технологическая полость для заливки свинца, обеспечивающая его надежное закрепление в теле изделия. В результате томографических исследований технологическая полость не выявлена: наплыв с максимальной толщиной 7 мм заполняет один из пальцевых следов, выдавленных скульптором при формовке изделия (рис. 6а, рис. 7д). При этом средняя глубина всех остальных отпечатков пальцев составляет 5 мм. Учитывая незначительные размеры и малую глубину наплыва, а также значительный вес терракотового изделия (с учетом утраченной части – от 3 до 5 кг), следует признать свинцовый наплыв побочным результатом технологической операции по заливке крепления, при этом однозначно реконструировать его тип и размеры не представляется возможным.

На теменной части изделия сохранился край дуги с заглаженными краями (рис. 1, рис. 6б). Вероятно, он являлся фрагментом округлого отверстия диаметром около 5 см, которое могло использоваться как технологический ход для заливки свинца внутрь изделия. На это указывает форма отдельных застывших капель, всегда направленных утолщенной частью вниз (рис. 7б–7г). Местоположение и форма свинцового наплыва позволяют предположить, что при заливке свинца терракота находилась в слегка наклонном или вертикальном положении. Такой способ заливки свинца вероятен в том случае, если в области шеи было специальное выходное отверстие для предполагаемой стяжки (рис. 6в), которой изделие могло крепиться нижней частью к опоре или основе, имеющей ответное соосное углубление.

## ВЫВОДЫ

Результаты томографических исследований позволяют предположить, что изделие является скульптурой, изготовленной преимущественно методом скульптурной лепки, с ручной проработкой некоторых мелких деталей инструментом с режущей кромкой (стеком) и последующим заглаживанием швов и неровностей. Можно допустить, что первоначально уплощенная порция (или порции) глины могла быть оттиснута в какую-то общую форму, чтобы придать изделию основные контуры. Но практически все рельефные детали (уши, нос, борода, прическа, глаза, губы, веки) изготавливались, добавлялись и прорабатывались мастером вручную. Во всех местах крепления деталей отмечено расслаивание глины, что наиболее вероятно при их механическом соединении с основой головы. Об этом свидетельствуют многочисленные технологические швы в местах соединения частей глины, соответствующие контуру различных рельефных деталей изделия. Известны случаи [14] изготовления деталей античных терракот (рук, ног, крыльев и т.д.) в отдельных матрицах. Их отличает тонкая проработка рельефа. В изучаемой скульптуре наблюдается схематичность исполнения некоторых профилированных частей. Особенно это заметно при сравнении с другими известными античными произведениями. Например, края ушной раковины терракоты сливаются с основой головы (рис. 5б). Это не позволяет уверенно принять технологическую версию формовки в матрицах.

Выполненные томографические исследования не позволяют достоверно определить, была ли основа изделия сформирована из одной порции глины или путем порционного добавления, но на срезах КТ заметны пустоты и щели, не соответствующие рельефу профильных частей. Отметим, что технологические швы, так же как и трещины,

представляют собой зоны повышенного риска для сохранности объекта культурного наследия.

Наличие на внутренней поверхности терракоты свинцового наплыва позволяет предположить, что в скульптуре существовала свинцовая стяжка для крепления изделия к неизвестной основе, расположенной под головой. Анализ направления свинцового наплыва и отдельных распределенных по внутренней поверхности металлических фрагментов показывает, что свинец заливался со стороны темени. Несмотря на указанные наблюдения, достоверно установить, являлось ли изделие частью скульптуры или отдельным элементом, пока не удалось. Поэтому высказанное предположение о том, что терракотовая голова могла быть одной из скульптурных деталей, гипотетично.

Авторы выражают благодарность руководству Восточно-Крымского историко-культурного музея-заповедника за предоставленную возможность работы с музейным предметом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-0001094 КОМФИ).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ольховский С.В.* // Таврические студии, Симферополь, 2017. № 12. С. 118.
2. *Зеест И.Б.* // Материалы и исследования по археологии СССР. № 83. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 178 с.
3. *Грешиников Э.А., Анциферова А.А., Дороватовский П.В. и др.* // Кристаллография. 2019. Т. 64. № 6. С. 999.
4. *Яцишина Е.Б., Ковальчук М.В., Лошак М.Д. и др.* // Кристаллография. 2018. Т. 63. № 3. С. 479.
5. *Яцишина Е.Б., Васильев С.В., Боруцкая С.Б. и др.* // Археология, этнография и антропология Евразии. 2019. Т. 47. № 3. С. 136.
6. *Applbaum N., Applbaum Y.H.* // X-rays for Archaeology / Eds. Uda M. et al. Dordrecht: Springer, 2005. P. 231.
7. *Глазков В.П., Коваленко Е.С., Мурашев М.М. и др.* // Кристаллография. 2018. Т. 63. № 4. С. 670.
8. *Калоян А.А., Коваленко Е.С., Пахневич А.В., Подурец К.К.* // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 11. С. 1805.
9. *Говор Л.И., Грешиников Э.А., Зайцева И.Е. и др.* // Краткие сообщения Института археологии. 2017. Вып. 249. Ч. II. С. 348.
10. *Соменков В.А., Глазков В.П., Эм В.Т. и др.* // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтр. исслед. 2019. № 9. С. 93.
11. *Catling H.W.* // Classical Rev. 1992. V. 42. № 2. P. 402.
12. *Grandjouan C., Markson E., Rotroff S.I.* // American School of Classical Studies at Athens. 1989. V. 23. P. 71.
13. *Serwint N.* // Archaeologia Cypria. 1994. V. III. P. 75.
14. *Bookidis N.* // American School of Classical Studies at Athens, Princeton, 2010. Corinth, V. 18[5]. P. 315.