

DOI: 10.31857/S0321039124020119

## АМФОРНЫЕ КЛЕЙМА. ПРОБЛЕМЫ ДОКУМЕНТИРОВАНИЯ, ПУБЛИКАЦИИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Ю. М. Свойский<sup>1</sup>, С. В. Ольховский<sup>2</sup>, Е. В. Романенко<sup>3</sup>,  
А. В. Зайцев<sup>4</sup>, А. П. Гирич<sup>5</sup>, А. П. Глотова<sup>6</sup>

<sup>1, 3, 4, 5, 6</sup>Лаборатория RSSDA, Москва, Россия

<sup>1, 4, 5, 6</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

<sup>2, 4, 5</sup>Институт археологии Российской Академии наук, Москва, Россия

<sup>1</sup>E-mail: rutil28@gmail.com

<sup>2</sup>E-mail: uwiaran@gmail.com

<sup>3</sup>E-mail: eromanenko@yandex.ru

<sup>4</sup>E-mail: antinanqo@gmail.com

<sup>5</sup>E-mail: girichap20@gmail.com

<sup>6</sup>E-mail: anastasia.pavlovna.g@gmail.com

<sup>1</sup>ORCID: 0000-0001-6256-4299

<sup>2</sup>ORCID: 0000-0001-8729-1880

<sup>3</sup>ORCID: 0000-0001-5138-9202

<sup>4</sup>ORCID: 0000-0003-4653-4174

<sup>5</sup>ORCID: 0000-0003-3916-0733

<sup>6</sup>ORCID: 0000-0003-2770-3657

Клейменные сосуды, изготовленные в Средиземноморье и Причерноморье в V–I вв. до н.э., являются одной из наиболее информативных категорий археологических находок и при этом широко представлены на памятниках Северного Причерноморья. Однако значительную часть найденных амфорных клейм не удастся использовать для датировки археологических комплексов вследствие плохой сохранности, затрудняющей их прочтение и идентификацию. Описанный в статье комплекс методов позволяет существенно улучшить достоверность идентификации амфорных клейм путем внедрения цифрового документирования и применения математических алгоритмов визуализации поверхности для создания контрастных изображений. Кроме того, в статье изложены подходы к созданию современного цифрового корпуса амфорных клейм, который способен существенно упростить идентификацию и введение клейм в научный оборот, их полиграфическую и электронную публикацию, а в перспективе – стать инструментом для массовой статистической обработки.

*Данные об авторах.* Юрий Михайлович Свойский – руководитель лаборатории RSSDA, инженер Института классического Востока и античности НИУ ВШЭ; Сергей Валерьевич Ольховский – заведующий Центром подводного археологического наследия ИА РАН; Екатерина Васильевна Романенко – руководитель лаборатории RSSDA; Антон Витальевич Зайцев – младший научный сотрудник Института цифровых гуманитарных инициатив ФГН НИУ ВШЭ, лаборант Центра подводного археологического наследия ИА РАН, сотрудник лаборатории RSSDA; Анна Павловна Гирич – лаборант Центра подводного археологического наследия ИА РАН, сотрудник лаборатории RSSDA; Анастасия Павловна Глотова – сотрудник лаборатории RSSDA, лаборант Школы лингвистики НИУ ВШЭ.

Статья подготовлена в рамках проекта РНФ № 22-28-02058.

*Ключевые слова:* амфорные клейма, база данных, цифровое документирование, фотограмметрия, мультимасштабный интегральный инвариант, корпус амфорных клейм

## AMPHORA STAMPS: PROBLEMS OF DOCUMENTATION, PUBLICATION, DIGITISATION

Yurii M. Svoiskiy<sup>1</sup>, Sergey V. Olkhovskiy<sup>2</sup>, Ekaterina V. Romanenko<sup>3</sup>,  
Anton V. Zaytsev<sup>4</sup>, Anna P. Girich<sup>5</sup>, Anastasia P. Glotova<sup>6</sup>

<sup>1, 3, 4, 5, 6</sup> *RSSDA Laboratory, Moscow, Russia*

<sup>1, 4, 5, 6</sup> *HSE University, Moscow, Russia*

<sup>2, 4, 5</sup> *Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>1</sup> *E-mail:* rutil28@gmail.com

<sup>2</sup> *E-mail:* uwiaran@gmail.com

<sup>3</sup> *E-mail:* eromanenko@yandex.ru

<sup>4</sup> *E-mail:* antinanqo@gmail.com

<sup>5</sup> *E-mail:* girichap20@gmail.com

<sup>6</sup> *E-mail:* anastasia.pavlovna.g@gmail.com

*Acknowledgements:* Russian Science Foundation, project no. 22-28-02058

Stamped vessels made in the Mediterranean and Asia Minor in the first millennium BC are one of the most informative categories of archaeological finds and are widely represented at the sites of the Northern Black Sea region. However, a significant part of the amphora stamps found in excavations cannot be used for dating archaeological compounds due to the state of preservation, which makes them difficult to read and identify. The sequence of methods described in the article can significantly improve the reliability of identification of amphora stamps by introducing digital documentation and using mathematical surface visualization algorithms to create contrasting images. In addition, the article details approaches to creating a modern digital corpus of amphora stamps, which can significantly simplify the identification and introduction of stamps into scholarly use, their publication in print and online, and in the future become a tool for mass statistical analysis.

*Keywords:* amphora stamp, database, digital documentation, photogrammetry, multi scale integral invariant (MSII), corpus of amphora stamps

*...хотя в области греческой амфорной эпиграфики имеются серьезные достижения, осуществленные группой специалистов в течение последних десятилетий, ее настоящее положение не может считаться удовлетворительным, как в количественном, так и в качественном отношениях.*

*И. Гарлан, Н. Баду, 2011 г.*

**П**рактика клеймения керамической тары, широко распространенная в Средиземноморье и Причерноморье в V–I вв. до н.э., предоставила современным исследователям широкие возможности для изучения торговых связей между полисами Ойкумены. На протяжении не менее 500 лет сотни тысяч клейменных сосудов привозились даже в весьма отдаленные регионы и оказывались в составе археологических комплексов различных культур и периодов. При этом клейменные амфоры являются одной из наиболее информативных категорий археологических предметов: существующие классификации определяют регион

их производства, а также датировку с точностью до 10–20 лет. Так как продолжительность бытования керамических сосудов, в отличие от монет, в большинстве случаев не превышала нескольких лет, уверенно идентифицированное клеймо имеет относительно узкую дату и является убедительным аргументом для датировки всего сопутствующего материала. Повсеместное использование клейменных сосудов в качестве весьма точного хронологического маркера осложнено рядом обстоятельств: многие клейма сложно прочесть частично или полностью из-за затертости, сколов и дефектов производства; прочтением и дешифровкой клейм занимается очень мало специалистов; опубликованные иллюстрации клейм, особенно поврежденных, не дают достаточного представления о предмете и нередко становятся темой научных споров; общедоступной эталонной базы амфорных клейм пока еще не существует.

Вышеуказанные обстоятельства привели к тому, что значительную часть найденных в ходе археологических раскопок амфорных клейм не удастся идентифицировать методом визуального осмотра и использовать в качестве хронологического маркера изучаемых комплексов, а также и ввести в научный оборот ввиду затруднительности воспроизведения в публикации. Кроме того, идентификации существенной части даже опубликованных клейм нередко становятся предметом дискуссии ввиду сомнений в корректности их прочтения при крайней затрудненности внешней верификации.

Принципиально изменить эту ситуацию возможно путем внедрения современной методики цифрового документирования амфорных клейм и разработки базы данных, содержащей аналитический инструментарий и набор информативных иллюстраций для каждого клейма. Подобная база данных предоставит исследователю удаленный доступ к полной информации о клейме, в том числе и той, которую невозможно получить при визуальном осмотре оригинала клейма.

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Более десяти лет назад Ивон Гарлан и Натан Баду опубликовали статью «Греческие амфорные клейма: от сбора материала к публикации»<sup>1</sup>. В этой работе они обобщили состояние дел в области изучения амфорных клейм, обозначили основные проблемы этой специальной дисциплины и предложили ряд практических шагов для их преодоления. Эта статья и по сей день не утратила своей актуальности, если не сказать злободневности.

И. Гарлан и Н. Баду преимущественно сосредоточились на двух проблемах: на качестве иллюстративных материалов (и вообще документирования) и на доступе к этим материалам (в том числе на создании корпусов амфорных клейм и, в частности, на информатизации этого процесса).

Рассматривая проблему качества иллюстративных материалов, авторы детально описали существующие практики документирования, подробно изучив технику создания рисунков, графитовых протирок и фотографий наилучшего возможного качества. Они справедливо отметили архаичность рисунка, ограниченность

---

<sup>1</sup>Garlan, Badoud 2011. В транскрипции фамилии второго автора в этой статье, опубликованной в переводе с французского, допущена ошибка — «Боду» вместо правильного «Баду».

возможностей графитовой протирки на некоторых сериях клейм, сложность получения качественных фотографий, и предложили ряд мер по улучшению этих методов. Кроме того, они отметили «появление относительно недавно сканеров, способных преобразовывать объекты в цифровую форму в трех измерениях» и предположили перспективу «получения вполне стандартизированных изображений» и «возможность автоматизировать процесс идентификации штампов и гравиров»<sup>2</sup>. Эта перспектива не стала реальностью: из-за недостаточной детальности моделирования сканеры так и не вошли в практику документирования амфорных клейм, и стандартными методами так и остались рисунок, графитовая протирка и фотография. Таким образом, в последние десятилетия методы документирования амфорных клейм оставались в состоянии стагнации.

При этом несовершенство традиционных методов публикации амфорных клейм является «узким местом», мешающим их полноценному использованию для датировки археологических комплексов. Желая избежать ошибок, вызванных неточным воспроизведением изображения в публикации, специалисты предпочитают работать с оригиналами клейм в музейных фондах, что подразумевает осмотр клейма и собственноручную подготовку иллюстрации одним из традиционных методов — фотофиксацией, рисунком, графитовой протиркой. На практике многие клейма могут быть полноценно идентифицированы лишь после передачи в музей, нередко — лишь спустя много лет после поступления в фонды. Соответственно потенциал клейм зачастую не удается своевременно использовать при подготовке научных отчетов и публикаций об исследованных археологических памятниках.

Это вполне соответствует ситуации, описанной И. Гарланом и Н. Баду: «На сегодняшний день лишь меньшая часть обнаруженных клейм (мы осмелимся сказать — одна десятая) хорошо или плохо опубликована. К тому же эти публикации столь рассеяны по множеству изданий и столь разнородны, что легко ускользают от библиографических описаний и плохо согласуются между собой. Отсюда явный дефицит информации, связанный не только с нехваткой специалистов или отказом некоторых музейных бюрократов и некомпетентных раскопщиков разрешить доступ к тому, что они рассматривают в качестве «своего» материала, но и из-за отсутствия методологической рефлексии и издательской политики»<sup>3</sup>.

В этой же работе И. Гарлан и Н. Баду отметили, что большие надежды на улучшение ситуации связаны с информатикой, однако пока они не оправдываются:

Дело в том, что информатика остается средством того же качества, что чернила и бумага, она подчинена научному проекту, в котором не участвует. <...> Весьма досадно, что в нашей дисциплине столь часто смешиваются цели и средства, представляя информатизацию как самоцель: информатизация служит ширмой для тех, кто обещает то, чего никогда не сделает. Если более четверти века различные размышления по этому поводу не дали ощутимых результатов, то это говорит о том, что настоящие, систематически упускаемые из виду проблемы лежат в другой плоскости. Они касаются главным образом трех факторов:

<sup>2</sup>Garlan, Badoud 2011, 423.

<sup>3</sup>Garlan, Badoud 2011, 411–412.

- объективные трудности в организации корпуса большого объема в плане юридическом (право публикации), экономическом (финансирование проекта) и научном (утверждение специалистами результатов проведенных исследований над выборкой в десятки, а то и сотни тысяч экземпляров);
- процесс накопления материала из раскопок некоторых поселений, длящийся порою более века, разлагает дисциплину и естественным образом становится предметом обсуждения некоторых «певцов» информатизации;
- университетская практика, придающая большое значение индивидуальным публикациям в ущерб участию в интернетных проектах<sup>4</sup>.

Эти формулировки по-прежнему остаются вполне точным описанием положения, сохраняющегося по сей день. Конечно, И. Гарлан и Н. Баду рассматривали информатизацию только как средство хранения накапливаемого материала и его трансляции посредством компьютерных сетей, а в отношении систематизации продолжали опираться на традиционные картотеки. Но они верно определили информатизацию как средство, а не как цель.

Следует отметить, что только в области систематизации данных за последние десять лет можно наблюдать существенный прогресс. Абсолютное большинство исследователей отказалось от картотек в пользу электронных таблиц, появились первые базы данных керамической эпиграфики. Эти базы данных, однако, по-прежнему основываются на иллюстративных материалах, полученных традиционными способами, что снижает их ценность и как базы эталонов, и как инструмента внешней верификации и идентификации.

#### ОБЩИЕ КОНТУРЫ РЕШЕНИЯ

Мы полагаем, что нам удалось найти решения для большинства *технических* проблем, сформулированных в 2011 г. И. Гарланом и Н. Баду, опираясь на результаты экспериментального исследования, выполненного на материале подводных раскопок в Керченском проливе. Эти проблемы в целом можно разделить на четыре группы:

1) проблемы документирования: как обеспечить воспроизведение амфорного клейма способом, обеспечивающим дискретность и точность копии, необходимой для исследования и публикации;

2) проблемы визуализации: как обеспечить надежное прочтение клейма, а также его воспроизведение таким образом, чтобы снизить субъективность интерпретации и одновременно создать возможность для верификации этой интерпретации;

3) проблемы систематизации: как обеспечить хранение данных о клеймах в настолько упорядоченном виде, чтобы поиск аналогий и эталонов в большинстве

---

<sup>4</sup>Garlan, Badoud 2011, 424–425. Следует добавить еще один институциональный фактор. Многие цифровые эпиграфические базы, созданные в последнее десятилетие, к настоящему времени прекратили свое существование из-за кончины их инициаторов, потери интереса к проекту или прекращения финансирования. По-видимому, стабильность существования подобного ресурса может быть обеспечена только в случае его развития на базе государственного научного учреждения и при условии постоянной его поддержки этим учреждением.

случаев не требовал существенного времени и не подразумевал сплошного просмотра публикаций;

4) проблемы доступа: как обеспечить исследователям доступ к массиву данных, ныне рассеянному во множестве публикаций и отчетов.

Развитие цифровых методов, недоступных еще десятилетие назад, позволяет достаточно просто решить большую часть названных проблем. На наш взгляд решение, в техническом смысле, заключается в комбинировании трехмерного моделирования, алгоритмической визуализации геометрии поверхности и управлении накапливающимся материалом посредством реляционной базы данных с веб-интерфейсом. В ходе обработки массива из 359 амфорных клейм, происходящих из подводных раскопок в Керченском проливе, этот подход был нами последовательно отработан на достаточно представительной выборке клейм преимущественно средней и плохой сохранности. Это позволило выявить и решить ряд ключевых проблем работы с материалом, в первую очередь связанных со спецификой обеспечения высокой точности и дискретности моделирования. Затем были исследованы различные методы визуализации геометрии поверхности и выполнен подбор оптимальных параметров математических преобразований. Это, в свою очередь, позволило определить набор рендеров (изображений, полученных на основе моделей), наиболее удобных как для прочтения легенды клейма, так и для полиграфической и электронной публикации клейма в целом. Одновременно с изучением способов документирования, визуализации и публикации клейма была начата работа по разработке способов цифровой систематизации данных, в том числе трехмерных, завершившаяся созданием пилотной версии базы данных. Возможность удаленного доступа к этой базе данных обеспечивает веб-интерфейс.

#### ЦИФРОВОЙ ОБРАЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕЙМА

Современные технологии позволяют создать цифровой образ клейма в виде трехмерной модели, геометрически точно воспроизводящей оригинал и не имеющей недостатков, обычных при традиционных методах документирования. Трехмерность при этом не является самоцелью: цифровой образ нужен для создания объемной копии клейма, к которой можно применить математические инструменты визуализации геометрии поверхности и тем самым улучшить его «читаемость» и «публикуемость». Этот же цифровой образ является основой для создания изображений (растровых рендеров), различным образом представляющих клеймо и суммарно формирующих основу для публикации и внешней верификации прочтения и идентификации.

Этим требованиям удовлетворяет не любая трехмерная модель. Успешность всех последующих операций может быть обеспечена только при высоком качестве моделирования. Так, в частности, трехмерная модель должна удовлетворять следующим базовым требованиям:

- быть размерной, т.е. допускать возможность выполнения измерений;
- иметь достаточно высокую дискретность;
- иметь достаточно высокую точность;
- корректно воспроизводить цвет поверхности.

Точность и особенно дискретность моделирования критически важны при работе с плохо сохранившимися клеймами, так как корректное воспроизведение геометрии клейма дает возможность использовать цифровые аналитические инструменты. Недостаточно детальная модель для этого непригодна: сглаживание рельефа поверхности приводит к тому, что анализировать становится нечего. Эмпирический опыт работы с клеймами из подводных раскопок в Керченском проливе показал, что для хорошо сохранившихся клейм дискретность (выраженная через средний размер полигона модели) в 0,02–0,01 мм в целом достаточна. Но для клейм плохой сохранности, в особенности подвергшихся внешним воздействиям механической, химической и биологической природы, наилучший результат достигается при дискретности  $\approx 0,005$  мм. Дальнейшее увеличение дискретности не только увеличивает трудозатраты и затраты машинного времени при моделировании, но и ухудшает конечный результат, так как поверхность получается более «шумной» за счет воспроизведения геометрии зерен твердых минералов и деградации геометрии на зернах прозрачных и просвечивающих минералов, а также на чешуйках слюд. Допустимая погрешность в точности моделирования определена нами в 1%, т.е. приемлемой считается погрешность в 1 мм на 1 м размера объекта, что соответствует 0,05 мм для 5-сантиметрового клейма. При использовании автоматически распознаваемого масштабного базиса такая точность выдерживается без особых затруднений и для большинства практических задач является избыточной. Цвет поверхности менее важен, однако его корректное воспроизведение представляется крайне желательным для публикационных целей, так как позволяет представить клеймо в привычном виде.

Сумма этих минимальных требований определяет выбор способа документирования клейм и соответствующее оборудование. Вышеописанные требования к точности блокируют, по крайней мере на современном этапе, возможность использования сканирующих систем, как лазерных, так и использующих подсветку структурированным светом. Причины заключаются в недостаточной точности и дискретности моделирования (для сканеров с подсветкой структурированным светом), плохом (и не корректируемом) воспроизведении цвета (для всех сканеров) и сильном «шуме» на фрагментах керамики, формовочная масса которых содержит прозрачные и просвечивающие минеральные зерна и чешуйки слюд. Поэтому оптимальным способом представляется моделирование фотограмметрическим способом – на основе цифровых фотоснимков. При фотографировании амфорного клейма эти фотоснимки располагаются в плоскости, субпараллельной плоскости клейма, центры фотографирования располагаются по сети  $1 \times 1$  см. Для документирования одного клейма необходимо обычно 30–60 фотоснимков, в зависимости от его размера и сложности формы; наиболее трудоемки для съемки клейма, располагающиеся на криволинейных поверхностях, например на ручках синопских амфор. Высокая четкость исходных фотографий достигается применением корректно сконфигурированного и настроенного качественного фотооборудования, а также приемов съемки, обеспечивающих хорошую глубину резкости и стабильность камеры в момент срабатывания затвора. При документировании амфорных клейм мы использовали системную беззеркальную камеру Sony A7RIVA с полнокадровой матрицей высокого разрешения и макрообъектив Sony

SEL90M28G с фокусным расстоянием 90 мм и накамерным кольцевым осветителем. Эта конфигурация оборудования обеспечивает масштаб фотографирования 1:1,2–1:1,3. Камера устанавливалась на двухкоординатных макрорельсах, смонтированных на элевационном штативе. Управление срабатыванием затвора осуществлялось с компьютера, что существенно снижало вибрацию. Керамический фрагмент с клеймом при этом монтировался на элевационном столике. Дальнейшее развитие установки для документирования амфорных клейм предполагает роботизацию съемки (применение автоматизированных макрорельсов для перемещения камеры в горизонтальном направлении) с одновременным улучшением стабильности установки (применения тяжелого геодезического элевационного штатива, более устойчивого в сравнении с фотографическими).

Обычной проблемой большинства публикаций, как электронных, так и полиграфических, является «плавающий» от фотографии к фотографии баланс белого цвета, вследствие чего отдельные фотографии приобретают желтоватые или синеватые оттенки. Причина заключается в том, что клейма снимаются на разные фотоаппараты с различными настройками цветовой температуры (баланса белого), особенно плохие результаты получаются при съемке с включенной настройкой автоматического определения баланса белого. Проблема эта решается достаточно просто, посредством съемки в «сыром» формате камеры и последующей цветокоррекции по калибровочной мишени. Цветокоррекция исходных фотографий помогает также компенсировать до приемлемого уровня и проблему «шума», возникающего на прозрачных и просвечивающих минеральных зернах и чешуйках слюд, содержащихся в формовочной массе. Настройки фотографирования эволюционировали в ходе выполнения проекта, наилучшие результаты в съемках последних серий клейм были достигнуты при диафрагме  $f/11$ , чувствительности матрицы ISO 250 и выдержке  $1/80$ . Недостаток света (большая часть съемок выполнялась в плохо освещенных помещениях) компенсировался применением кольцевого осветителя.

Обработка результатов фотосъемки представляет собой достаточно сложный технологический процесс, требующий тщательного и последовательного выполнения всех операций и неукоснительного контроля качества на всех этапах, в первую очередь – на этапе проверки полноты и качества фотосъемки. Он состоит из одиннадцати операций, восемь из них автоматизированы:

- увязка фотоснимков (автоматизированная);
- масштабирование (автоматизированная);
- моделирование (автоматизированная);
- выравнивание модели;
- предварительная обрезка;
- экспортирование в обменный формат (автоматизированная);
- очистка (автоматизированная);
- окончательная обрезка;
- текстурирование (автоматизированная);
- колорирование (автоматизированная);
- формирование веб-модели (автоматизированная).

Результатом этого технологического процесса является цифровой образ амфорного клейма, состоящий из мастер-модели в формате фотограмметрического

программного обеспечения, текстурированной модели в формате OBJ с текстурой в формате JPG, колорированной модели в формате PLY и веб-модели в формате NXZ. Этот набор данных, удовлетворяющий указанным выше критериям в отношении свойств и характеристик точности и детальности, в настоящее время представляется достаточным для решения практических задач идентификации и публикации амфорного клейма<sup>5</sup>.

Следует отметить, что цифровой образ не только является исходным материалом для идентификации и публикации амфорного клейма, но и может быть применен для решения ряда частных задач его изучения. Так, например, две модели могут быть сопоставлены математически, с визуализацией различий между ними. Это позволяет, в частности, доказательно выявлять случаи внесения изменений в штамп или подтверждать принадлежность двух оттисков к одному и тому же штампу. Наиболее перспективным представляется применение этого метода на плохо сохранившихся клеймах.

#### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ

Как указывалось выше, цифровой образ амфорного клейма воспроизводит объект с детальностью и точностью, достаточной для применения математических алгоритмов визуализации геометрии поверхности. Общая цель применения этих алгоритмов — сделать элементы клейма (легенда и/или эмблема) более контрастными по сравнению с фоном и, как следствие, более читаемыми. Эта цель может быть достигнута несколькими способами, часть из которых требует дополнительных преобразований исходной модели. В общем случае все способы математической визуализации геометрии поверхности основаны на принципе присвоения некоторого условного цвета элементу модели по определенному закону, применяемому одновременно ко всем элементам модели.

При выборе подхода к визуализации следует учитывать, что визуализация для исследовательских и для публикационных целей несколько отличается. При непосредственном изучении цифрового образа клейма (восстановление легенды, распознавание эмблемы) удобно использовать динамическую визуализацию, при которой исследователь может самостоятельно сформировать наиболее контрастное изображение, выбрав один из способов визуализации и настраивая его изменением одного или нескольких параметров. Публикация, напротив, традиционно строится на статических стандартизированных изображениях. Трехмерная полигональная модель вполне обеспечивает возможность формирования растровых рендеров — контрастных, точных и, в отличие от фотоснимка, не имеющих геометрических искажений. Подход к формированию рендеров для полиграфической и электронной публикации несколько различен. Ограничения полиграфического процесса требуют несколько более высокой контрастности изображения, некоторого снижения детальности (изображение полной детальности при печати становится «шумным»), а также некоторого осветления изображения (иначе при печати оно оказывается

<sup>5</sup> Подробнее о процедуре сбора и обработки данных при документировании амфорного клейма см. Svoyskiy *et al.* 2023, 370–383.

темным). Электронная публикация не имеет этих ограничений, поэтому при формировании рендеров вполне допустимо формировать изображение с настройками контрастности, детальности и яркости, оптимизированными таким же образом, как и при непосредственном изучении клейма. Кроме того, в электронной публикации возможна реализация (хотя и ограниченная) динамического иллюстрирования объекта — посредством использования упоминавшихся выше веб-моделей. Веб-модель позволяет удаленно использовать по крайней мере часть возможностей работы с трехмерным цифровым образом — отключение и включение цвета, эмуляцию «косого света», измерение размеров отдельных элементов клейма.

Способы (и группы способов) математической визуализации геометрии поверхности можно свести к трем подходам к решению этой задачи:

- работа с непреобразованной моделью;
- работа с моделью, преобразованной в матрицу высот;
- работа с моделью, преобразованной в карту кривизны.

Применительно к эпиграфике вообще и керамической в частности эти подходы могут применяться как независимо, так и в комплексе, как правило последовательно. В общем случае изучение клейма по цифровому образу начинается с работы с непреобразованной моделью путем эмуляции «косого света» с разных направлений. Эмуляция бокового освещения поверхности выполняется посредством математического алгоритма, вычисляющего яркость поверхности в зависимости от направления падения света. Перпендикулярные вектору освещения участки поверхности при этом окрашиваются в светлые тона, чем больше угол между поверхностью и направлением вектора освещения, тем в более темный цвет окрашивается поверхность. Непреобразованная модель также дает возможность просмотра модели в естественных цветах и без цвета (с отключенной фотографической текстурой).

Работа с матрицей высот требует несколько более сложных преобразований. Она строится на основе трехмерной полигональной модели и представляет собой регулярную сеть ячеек с шагом в диапазоне 0,01–0,005 мм, каждому узлу которой присваивается значение высоты относительно условной плоскости, построенной субпараллельно поверхности амфорного клейма. Математическая визуализация матрицы высот выполняется посредством присвоения условных цветов узлам сети ячеек в зависимости от геометрии поверхности, определяемой высотой угловых узлов этой ячейки. Этот цвет может быть определен (1) высотой поверхности относительно плоскости, субпараллельной этой поверхности, (2) углом наклона поверхности и (3) направлением наклона поверхности. Алгоритмы присвоения цвета могут быть тонко настроены, а читаемость легенды дополнительно улучшена эмуляцией изменения направления освещения поверхности. Кроме того, матрица высот является удобным инструментом для надежного измерения глубины штампа и при необходимости построения поперечных профилей отдельных гас литер легенды клейма.

Более перспективным, однако, представляется применение карт кривизны, получаемых благодаря присвоению условных псевдоцветов вогнутым и выпуклым участкам поверхности модели. Эксперименты с различными способами преобразования трехмерных моделей в карты кривизны показали, что наиболее

эффективным способом такого преобразования является алгоритм «мультимасштабного интегрального инварианта» (Multi Scale Integral Invariant, MSII), вычисляющий карту кривизны методом сферических сегментов. При этом для каждого узла модели рассчитывается вектор, элементы которого представляют собой значения кривизны для сфер разного радиуса, построенных с центром в каждом узле модели. Алгоритм требует рационального подбора параметров расчета, одновременно обеспечивающих достаточную контрастность изображения и приемлемые затраты машинного времени для преобразований. Опытным путем определено, что для типичного амфорного клейма средней и плохой сохранности наиболее универсальный результат дает преобразование с радиусом расчета 0,5 мм для 4 сфер.

Полученные векторы могут быть визуализированы различными способами. Применительно к керамической эпиграфике плохой сохранности наилучшие результаты обеспечивают три способа визуализации:

1) Расчет значения цвета по максимальному значению вектора, вне зависимости от того, для какой сферы он рассчитан (способ Feature Vector). В этом случае формируется усредненное (неоптимизированное) изображение, показывающее как более мелкие, так и более крупные детали. Такой способ расчета универсален и оптимален на первом этапе изучения клейма.

2) Расчет значения цвета относительно произвольно выбранного узла модели, расположенного рядом с литерами легенды и, одновременно, имеющего относительно низкое значение вектора кривизны (способ Feature Distance). В этом случае интенсивность цвета пересчитывается относительно наименее искривленной поверхности, что улучшает контрастность изображения на литерах легенды. Этот способ расчета представляет собой адаптацию к геометрии конкретного клейма и обеспечивает наилучшее прочтение литер.

3) Расчет значения цвета по максимальному значению вектора для одной сферы (способ Feature Element), при этом используется самая большая сфера. Такой вариант оптимален для визуализации относительно крупных форм рельефа поверхности. Мелкие детали (в основном связанные с разрушением менее стойких к выветриванию минералов формовочной массы) при этом теряются и при увеличении изображения относительно естественных размеров клейма рендер получается несколько размытым. Однако именно это изображение представляется оптимальным для публикации полиграфическим способом.

Для каждого из этих вариантов формируется нормальное и инвертированное изображения, так что в конечном итоге каждое клеймо получает 6 растровых рендеров карты кривизны<sup>6</sup>.

При подготовке публикации амфорных клейм оптимальным представляется применение двух подходов к подготовке иллюстративных материалов. Публикация единичного трудночитаемого клейма, важного для датировки конкретного слоя, либо сделанного ранее неизвестным штампом, совершенно индивидуальна и допускает (а часто и требует) применения обширного набора рендеров, сформированных различными способами. Массовая публикация (коллекция находок

<sup>6</sup>Подробнее о способах математической визуализации геометрии поверхности см. Svoyskiy *et al.* (forthcoming).

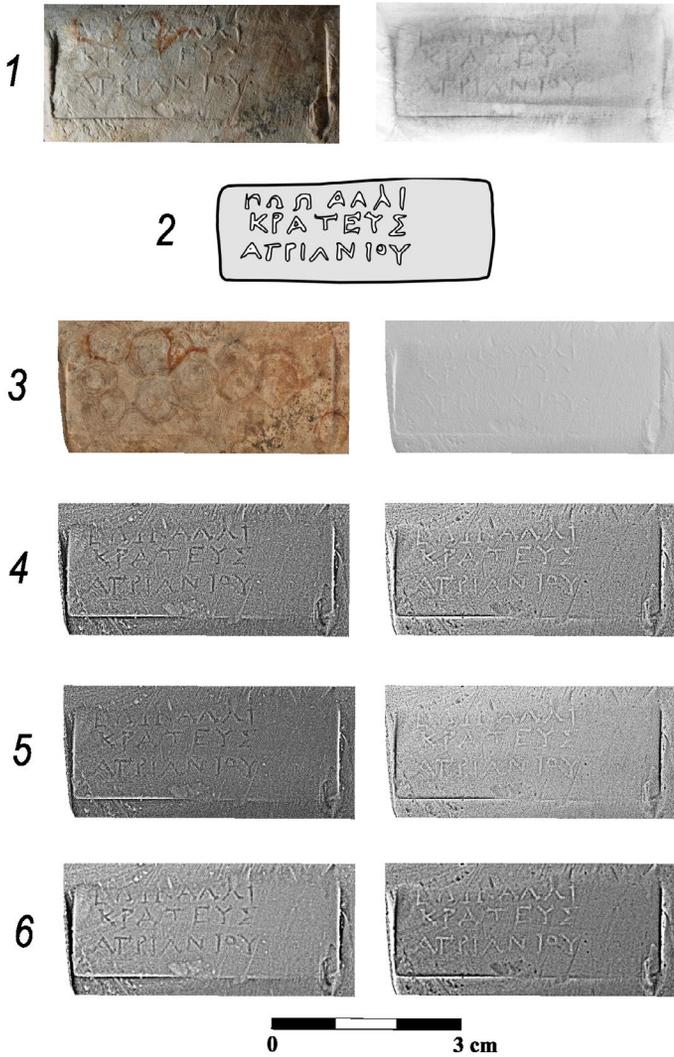


Рис. 1. Варианты визуализации и публикации на примере клейма ПАБ-17.279А.55.к.о.121 (модель SF0091, 18 млн. полигонов): (1) фотография (без цветокоррекции), графитовая протирка; (2) прорисовка; (3) поверхность модели клейма с текстурой и без текстуры. Шесть вариантов визуализации результатов расчета MSII, оптимизированных для публикации полиграфическим и электронным способами. Радиус расчета 0,5 мм, методы расчета Feature Vector (4), Feature Distance (5), Feature Element (6), нормальное (слева) и инвертированное (справа) представление © Ю.М. Свойский, С.В. Ольховский, Е.В. Романенко, А.В. Зайцев, А.П. Гирич, А.П. Глотова

из одного памятника, раскопа или слоя, массив эталонов) требует иного подхода, основанного на единообразном представлении клейм и быстром формировании большого количества иллюстраций. Это предопределяет определенную стандартизацию процесса подготовки изображений и универсализацию настроек формирования рендера увеличенной контрастности. Общие требования к массиву иллюстративных материалов мы формулируем следующим образом:

- иллюстрации должны быть как «естественными», так и «контрастными»;
- иллюстрации должны быть легко сопоставляемы с ранее опубликованными материалами, созданными традиционными способами (графитовая протирка, зарисовка, прорисовка по фотографии, монохромная фотография);
- иллюстрации для полиграфической публикации должны быть оптимизированы (увеличение контрастности, осветление);
- иллюстрации для электронной публикации должны обеспечивать возможность быстрой загрузки;
- веб-модель рассматривается как «динамическая» иллюстрация и является частью электронной публикации.

Опыт работы с массивом амфорных клейм из подводных раскопок в Керченском проливе позволил определить минимальный набор иллюстративных материалов для публикации. Базовый вариант состоит из трех рендеров: (1) рендер модели клейма в естественном виде (с включенной фотографической текстурой), (2) рендер модели клейма с отключенной фотографической текстурой (без цвета), (3) рендер модели клейма с усиленной «контрастностью», рассчитанный способом Feature Vector для электронной публикации и способом Feature Element для полиграфической публикации. Электронная публикация допускает более широкий набор иллюстраций, однако он не должен быть избыточным. Расширенный вариант состоит из 8 рендеров: (1) рендер модели клейма в естественном виде, (2) рендер модели клейма с отключенной фотографической текстурой, (3) рендеры модели клейма с усиленной «контрастностью», рассчитанные способами Feature Vector, Feature Distance, Feature Element нормальные, (4) рендеры модели клейма с усиленной «контрастностью», рассчитанные способами Feature Vector, Feature Distance, Feature Element инвертированные (см. рис. 1). Кроме того, в расширенный вариант входит веб-модель.

Рендеры модели клейма с усиленной контрастностью при публикации обширных массивов клейм формируются в стандартизированном монохромном исполнении, этим обеспечивается единообразие восприятия данных. Однако при индивидуальной публикации плохо читаемых клейм, важных для датировки конкретного слоя, и в особенности сделанных ранее неизвестными штампами, возможно использование полихромных визуализаций, позволяющих еще более ярко и контрастно показать плохо различимые элементы легенды и эмблемы<sup>7</sup>.

#### ИНФОРМАТИЗАЦИЯ, ИЛИ О КОРПУСЕ АМФОРНЫХ КЛЕЙМ БУДУЩЕГО

Логика развития эпиграфики, в том числе и керамической, в последние десятилетия позволяет предположить, что будущее – за динамически развивающимися цифровыми корпусами. Их главное преимущество по сравнению с традиционной печатной публикацией заключается в возможности постоянного пополнения и обновления. Это позволяет достаточно быстро вводить новые данные в научный оборот и одновременно оперативно исправлять ошибки, неточности

<sup>7</sup> Подробнее о формировании полихромных рендеров см. Svoyskiy *et al.* (forthcoming).

---

и некорректные идентификации. Это не означает отказа от полиграфической публикации, — она по-прежнему останется удобным (хотя и технически ограниченным) способом периодической фиксации суммы накопленных знаний об амфорных клеймах. По нашему мнению, оптимальным представляется одновременное существование пополняемого цифрового корпуса фактического материала и периодически публикуемого полиграфическим способом справочника штампов, формируемого на основе актуальной версии цифрового корпуса.

В первую очередь цифровой корпус амфорных клейм является постоянно пополняемым справочником, с помощью которого археолог, обнаруживший амфорное клеймо сколь-нибудь хорошей сохранности, может его самостоятельно идентифицировать и тем самым уточнить датировку изучаемого слоя. Одновременно цифровой корпус, содержащий массив качественных иллюстративных материалов, является удобным инструментом изучения амфорных клейм как таковых. Различные инструменты управления данными (фильтрация, сортировка, группировка) помогают быстро находить аналоги и, тем самым, достаточно легко уточнять идентификации клейм плохой сохранности, в том числе по отдельным фрагментам. Это, в свою очередь, позволяет уточнить датировки археологических комплексов, в составе которых были найдены эти клейма. Следует отметить, что вновь выявленные клейма целесообразно документировать и включать в массив фактического материала еще до их идентификации, что существенно ускорит и идентификацию, и введение нового материала в научный оборот.

В практическом смысле это означает, что база данных должна реализовывать два способа систематизации данных, условно именуемых здесь «по клеймам» и «по штампам». Способ визуализации «по клеймам» позволяет просматривать весь накопленный фактический материал с сопроводительными метаданными и группировать его различными способами. Способ визуализации «по штампам» фактически представляет собой базу эталонов и должен оптимизироваться таким образом, чтобы обеспечить быструю и удобную идентификацию конкретного изучаемого клейма.

Применительно к исследованиям античной археологии Причерноморья, перспективной представляется также статистическая обработка накопленного в цифровом корпусе массива фактических данных, позволяющая оценить динамику изменений торговых связей региона с производственными центрами Греции и Малой Азии.

Для создания цифрового корпуса амфорных клейм в первую очередь должны быть решены три практических задачи скорее технического, чем научного характера: (1) достаточно быстрое накопление массива фактических данных, (2) обеспечение доступа к фактическим данным и (3) упрощение управления данными.

*Накопление массива фактических данных.* Под фактическими данными подразумеваются сведения о всех доступных экземплярах клейм, хранящихся в музейных коллекциях и/или описанных в отчетах и публикациях. Эти сведения представляют собой как результаты оцифровки (трехмерные модели и полученные на их основе растровые рендеры), так и метаданные (сведения о месте обнаружения клейма, месте его хранения), их формальные описания по стандартизированному формуляру и результаты идентификации.

Насколько важно и возможно оцифровать весь массив амфорных клейм, хранящихся в музейных коллекциях? Как указывалось выше, под оцифровкой в широком смысле понимается создание цифрового образа амфорного клейма в виде трехмерной полигональной модели, преобразование его алгоритмом интегрального инварианта и формирование растровых рендеров. Опыт показывает, что при должной организации технологического процесса группа из 3–4 специалистов при наличии одного комплекта оборудования для документирования и трех достаточно мощных графических станций, оптимизированных для моделирования и расчетов по алгоритму интегрального инварианта, может без особых затруднений оцифровывать до 200–250 клейм в неделю и обрабатывать до 2500 моделей в год. Такой темп обеспечивается частичной роботизацией съемки и автоматизацией обработки.

Распространено мнение, что нет смысла документировать и описывать все амфорные клейма, хранящиеся в музейных коллекциях. На наш взгляд это не так: обширный массив оцифрованных клейм, при условии его точной идентификации, может быть подвергнут разнородной статистической обработке (подробнее об этом см. ниже), сопоставлению посредством различных инструментов анализа как трехмерных моделей, так и записей базы данных, что позволит исключить дублирование и увеличит надежность базы эталонов. Безусловно, огромное число найденных к настоящему времени клейм предполагает расстановку приоритетов при их документировании. В первую очередь оцифровке подлежат следующие группы клейм:

- клейма хорошей сохранности, отобранные в качестве эталонных образцов;
- клейма плохой сохранности, ранее однозначно не идентифицированные либо признанные нечитаемыми;
- клейма, вновь выявленные в ходе археологических раскопок;
- клейма с памятников с неясной датировкой.

При таком подходе будет одновременно происходить накопление фактического материала, создание опорной базы эталонов и оперативное введение в научный оборот вновь выявленных амфорных клейм. Кроме того, результаты оцифровки клейм могут быть переданы в музеи в качестве страховых копий оригиналов, для каталогизации, экспозиционных и прочих задач.

Несомненно, что часть клейм, сведения о которых приведены в отчетах и публикациях, к настоящему времени утрачены и не могут быть оцифрованы. Тем не менее всю имеющуюся информацию об этих клеймах также следует внести в общую базу данных.

*Обеспечение доступа к фактическим данным и упрощение управления данными.* Обеспечение удобного доступа к фактическим данным, а также управление ими (в первую очередь для формирования выборок и сопоставления изображений) представляется исключительно важной задачей. Современное состояние развития информационных технологий позволяет ее решить посредством реляционной базы данных с удаленным доступом через компьютерные сети. Такая база данных состоит из серверного компонента (системы таблиц) и пользовательского интерфейса, позволяющего формировать запросы и воспроизводить транслируемую текстовую и визуальную информацию, в том числе трехмерные модели. Залогом

---

успеха реализации такой базы данных является качественная систематизация и единообразие описания фактического материала.

К настоящему времени в режиме открытого (посредством веб-технологий) доступа функционирует несколько пополняемых баз данных, аккумулирующих материалы керамической эпиграфики. Среди них можно выделить три специализированных: французскую «Corpus des matrices des timbres des éponymes et fabricants rhodiens» (12744 клейма) (URL: <http://www.amphoralex.org/>; дата обращения: 01.04.2024), испанскую CEIPAC (53837 надписей, в основном амфорных клейм) (URL: <https://romanopendata.eu/>; дата обращения: 01.04.2024) и отечественную «Керамические клейма Северного Причерноморья» (1203 клейма) (URL: <http://stampsofbosphorus.ru/>; дата обращения: 01.04.2024).

Главным достоинством «Corpus des matrices des timbres des éponymes et fabricants rhodiens» является проработанная система фильтрации поисковых запросов. Фактически лишь эту базу данных можно считать не только инструментом накопления материала, но и базой эталонов, тем более что каждый штамп в ней имеет уникальный идентификатор. Некоторые интерфейсные решения, например формат вывода результатов фильтрации, представляются сомнительными, но тем не менее именно эту базу данных пока следует считать наиболее подходящей для практических задач изучения амфорных клейм.

В реализации CEIPAC заслуживают внимания ГИС-интерфейс, вариативность форм вывода выборки, способ демонстрации связи клейма с типом носителя (как правило амфоры). При этом описания клейм в CEIPAC весьма лаконичны, возможности фильтрации и поиска ограничены, и в целом этот инструмент является скорее специализированным библиографическим указателем, чем полноценной базой данных амфорных клейм.

База данных «Керамические клейма Северного Причерноморья» заслуживает особого внимания как инструмент достаточного быстрого и последовательного введения в научный оборот новых материалов из раскопок, в том числе еще не переданных на музейное хранение. К сожалению, аппарат фильтрации данных в этой базе пока недостаточно развит.

Следует отметить, что все известные нам базы данных керамической эпиграфики ориентированы на представление и анализ оттиска как такового, без должного внимания к сосуду, на который он нанесен, производственному центру и месту находки. Эти данные обычно содержатся в текстовых описаниях, однако в рамках баз данных практически никак не визуализируются. Между тем обширный массив информации об амфорных клеймах может стать прекрасной источниковой базой, динамическая визуализация которой посредством графов (в сочетании с инструментами пространственного анализа и фильтрацией по датировке) станет удобным инструментом для анализа динамики торговых связей. Не менее перспективной представляется и визуализация связей вида «клеймо – фрагмент – сосуд», которая также может быть реализована посредством трехмерного моделирования фрагментов клейменных сосудов<sup>8</sup> (рис. 2).

---

<sup>8</sup> Некоторые из авторов этой статьи разработали и практически применили «револьверную» методику документирования керамических фрагментов, обеспечивающую возможность быстрого моделирования большого числа небольших объектов в короткие сроки. Применение

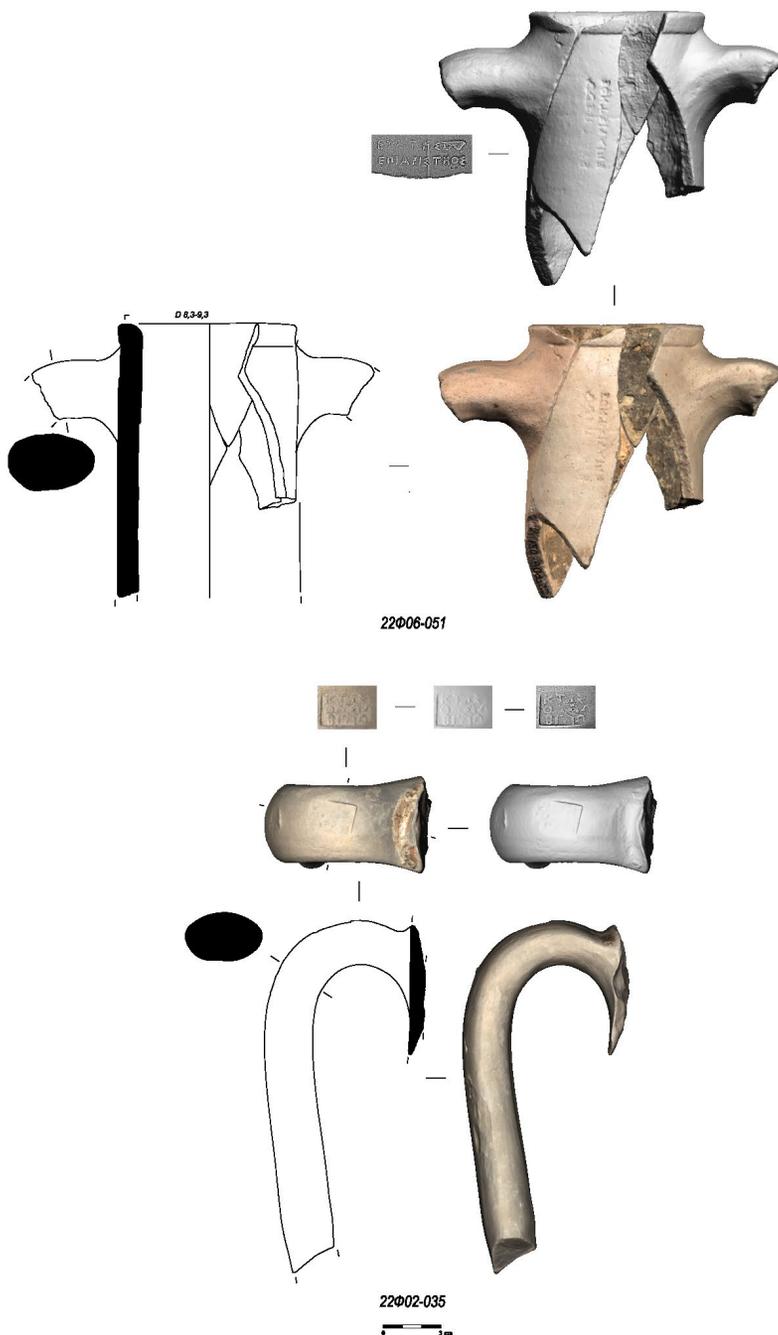


Рис. 2. Два фрагмента клейменных сосудов (22Φ06-051 и 22Φ02-035) из подводных раскопок в Керченском проливе. Чертежи построены по трехмерным моделям, сформированным при документировании сосудов револьверным способом и дополнены растровыми рендерами моделей клейм, преобразованными по алгоритму MSII. Способ визуализации Feature Element © Ю.М. Свойский, С.В. Ольховский, Е.В. Романенко, А.В. Зайцев, А.П. Гирич, А.П. Глотова

Еще одним общим недостатком всех вышеуказанных баз данных является способ формирования массива иллюстративных материалов, полностью основанный на традиционных технологиях (фотография, зарисовка, графитовая протирка). Именно эта проблема рассматривалась нами как ключевая при подготовке экспериментальной базы данных амфорных клейм<sup>9</sup> из подводных раскопок в Керченском проливе. Поэтому на первом этапе наших исследований основные усилия были направлены на проектирование интерфейсного решения, позволяющего показать амфорное клеймо способом, обеспечивающим внешнюю верификацию прочтения легенды и распознавания эмблемы, а также точное определение размеров. Мы пришли к выводу, что в большинстве случаев достаточно трех «видов» — рендера модели клейма в естественном виде, рендера модели клейма с отключенной фотографической текстурой (без цвета) и рендера модели клейма с усиленной «контрастностью», рассчитанного способом Feature Vector. Эти три изображения сопровождается трехмерная модель, которая может быть использована для динамического просмотра (с управлением эмуляцией освещенности) и для измерения размеров<sup>10</sup>. При наличии такого функционала вынос масштабной шкалы на рендеры представляется излишним. Трехмерная полигональная модель управляется посредством интегрированного в веб-интерфейс просмотрщика 3DНОР (3D Heritage Online Presenter)<sup>11</sup>.

Возможности электронной публикации позволяют расширить набор иллюстраций: базовая «карточка клейма» содержит 3 рендера, а при желании пользователь переходит на страницу, где приведены 8 рендеров — 2 базовых, на основе непреработанной модели (с текстурой и без), и 6 «контрастных», рассчитанных способами Feature Vector, Feature Distance, Feature Element, в нормальном и инвертированном виде. Сохраняется и возможность просмотра трехмерной модели клейма. Каждый рендер в репозитории базы данных хранится в двух вариантах: размером в 300 и 1000 пикселей по длинной стороне. По умолчанию на экран выводится малое изображение, но при нажатии на него загружается рендер высокого разрешения. Управление данными реализуется в двух режимах — визуальном (только изображения клейм в естественном виде) и табличном (реестр с изображениями). В обоих случаях возможно использование системы фильтрации данных.

## ВЫВОДЫ

Опыт работы с массивом амфорных клейм из подводных раскопок в Керченском проливе показывает, что все *технические* проблемы, сформулированные в 2011 г. И. Гарланом и Н. Боду (документирование, визуализация, систематизация, организация доступа) успешно решаются с помощью описанного нами комплекса

---

этой методики на фрагментах с клеймами позволяет с небольшими трудозатратами сформировать массив трехмерных моделей.

<sup>9</sup> Амфорные клейма, URL: <https://amphorastamps.rssda.su/>; дата обращения: 01.04.2024), в настоящее время база данных находится на стадии альфа-версии и продолжает дорабатываться.

<sup>10</sup> Отметим, что вследствие геометрических aberrаций фотоснимка любая линейка на фотографии обеспечивает не более чем «примерный» масштаб, особенно при использовании относительно короткофокусных (нормальных и широкоугольных) объективов.

<sup>11</sup> Подробнее см. 3Dhop, URL: <https://3dhop.net/>; дата обращения: 01.04.2024.

методов. Документирование амфорных клейм фотограмметрическим способом, формирование иллюстративных материалов на основе трехмерных моделей, дополнительно обработанных алгоритмами математической визуализации геометрии поверхности, накопление фактического материала (в том числе графического) в реляционной базе данных, обеспечение удаленного доступа посредством компьютерных сетей формируют инструментарий, достаточный для создания современного общедоступного цифрового корпуса керамической эпиграфики.

Полезность и, более того, целесообразность создания такого корпуса вполне очевидны: он обеспечит накопление единообразно документированного и описанного фактического материала, станет постоянно пополняемым справочником и эталонной базой штампов, с помощью которого идентификация вновь найденных амфорных клейм (а значит, и датирование слоев, где они обнаружены) станет достаточно простой и быстро решаемой задачей. Цифровой корпус станет удобным инструментом и для исследователей амфорных клейм, а также снизит нагрузку на музейных сотрудников вследствие сокращения потребностей исследователей в доступе к оригиналам клейм, что также снизит риск их повреждения.

Таким образом, *технические* проблемы формирования цифрового корпуса амфорных клейм на сегодня можно считать решенными. Оставшиеся препятствия относятся к иным областям – институциональной, юридической, организационной, финансовой, отчасти психологической.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

В документировании, фотограмметрической обработке, трехмерном моделировании, преобразовании моделей методом MSII, формировании растровых рендеров моделей, подготовке иллюстраций, помимо авторов статьи, принимали участие А.Н. Уральская, П.А. Мосалева, М.Д. Дынин, Д.В. Тронин, А.А. Зиганшина, А.А. Чернухина, М.А. Никитина, Е.Р. Бирюкова и А.В. Смокотина.

Авторы выражают благодарность А.Б. Колесникову, а также руководству и сотрудникам ГБУ РК «Восточно-Крымский историко-культурный музей-заповедник» Т.В. Умрихиной, Н.В. Быковской, Е.В. Болонкиной.

#### Литература / References

- Garlan, Y., Badoud, N. 2011: [De la collecte à la publication des timbres amphoriques grecs]. In: S.Yu. Monakhov (ed.), *Antichnyy mir i arkheologiya* [*Ancient World and Archaeology*]. Issue 15. Saratov, 411–425.
- Гарлан, И., Боду, Н. Греческие амфорные клейма. В сб.: С.Ю. Монахов (отв. ред.), *Античный мир и археология*. Вып. 15. Саратов, 411–425.
- Svoyskiy, Yu.M., Olkhovskiy, S.V., Romanenko, E.V., Zaytsev, A.V. 2023: [The Methodology of Large-scale Contactless Documentation of Amphora Stamps]. *Kratkie soobshcheniya Instituta arkheologii* [*Brief Communications of the Institute of Archaeology*] 270, 370–383.
- Свойский, Ю.М., Ольховский, С.В., Романенко, Е.В., Зайцев, А.В. О методике массового бесконтактного документирования амфорных клейм. *КСИА* 270, 370–383.
- Svoyskiy, Yu.M., Olkhovskiy, S.V., Romanenko, E.V., Zaytsev, A.V., Girich, A.P. 2024: [Application of the Multi Scale Integral Invariant in the Study of Amphora Stamps]. *Arkheologiya evraziyskikh stepey* [*Archaeology of the Eurasian Steppes*], (forthcoming).
- Свойский, Ю.М., Ольховский, С.В., Романенко, Е.В., Зайцев, А.В., Гирич, А.П. Применение алгоритма мультимасштабного интегрального инварианта при исследовании амфорных клейм. *Археология евразийских степей*, (в печати).