

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРХЕОЛОГИИ

Научная статья / Research Article

УДК 903.222

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(2\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(2).-01)

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИОННОЙ ПРЕЗЕНТАЦИИ КЕРАМИЧЕСКИХ СОСУДОВ ПАЗЫРЫКСКОЙ КУЛЬТУРЫ

**Алексей Алексеевич Тишкин^{1*}, Сергей Юрьевич Бондаренко²,
Петр Константинович Дашковский³, Цзиньшань Му⁴**

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;
tishkin210@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7769-136X>

²Алтайский государственный университет,
Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия;
bonsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4295-4120>

³Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;
dashkovskiy@fpn.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4933-8809>

⁴Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;
mujinshan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7463-9638>

*Автор, ответственный за переписку

Резюме. При рассмотрении публикаций, в которых отражены находки керамических сосудов пазырыкской культуры, а также при работе с музейными коллекциями и изучении указанной категории древних предметов обозначилась проблема адекватной фиксации и демонстрации имеющихся материалов. Для ее решения привлекались современные цифровые технологии, адаптированные для выполнения необходимых задач. В статье детально представлен алгоритм осуществленной работы и полученные результаты, а также предложены варианты иллюстративной презентации орнаментированного глиняного горшка. В качестве образца использовался сосуд из кургана №23 памятника Ханкаринский Дол, который находится на территории Северо-Западного Алтая и был исследован экспедицией Алтайского государственного университета под руководством одного из авторов статьи. В ходе всесторонней фиксации и дальнейшего моделирования выявлен один из технологических приемов изготовления пазырыкской посуды без гончарного круга. Этот факт позволяет обратить внимание на другие аналогичные находки, которых в формируемой базе данных уже насчитывается более 400 экземпляров. Реализованный опыт будет использован в дальнейшей работе при изучении таких массовых археологических источников скифо-сакского времени, как керамические сосуды.

Ключевые слова: Алтай, пазырыкская культура, скифо-сакское время, керамические сосуды, фотограмметрия, 3D модель, цифровые технологии

Благодарности: статья подготовлена при частичной финансовой поддержке РФФ (проект №22-18-00470 «Мир древних кочевников Внутренней Азии: междисциплинарные исследования материальной культуры, изваяний и хозяйства»; А. А. Тишкин, С. Ю. Бондаренко), а также в рамках реализации проекта РФФИ №20-39-90022 («Керамическая посуда из памятников пазырыкской культуры скифо-сакского времени: комплексные исследования и реконструкции»; Ц. Му).

Для цитирования: Тишкин А. А., Бондаренко С. Ю., Дашковский П. К., Му Ц. Новые возможности для публикационной презентации керамических сосудов пазырыкской культуры // Теория и практика археологических исследований. 2022. Т. 34, №2. С. 9–24. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(2\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(2).-01)

NEW OPPORTUNITIES FOR THE PUBLICATION PRESENTATION OF CERAMIC VESSELS OF THE PAZYRYK CULTURE

Alexey A. Tishkin^{1*}, Sergey Yu. Bondarenko², Petr K. Dashkovskiy³, J. Mu⁴

¹Altai State University, Barnaul, Russia;
tishkin210@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7769-136X>

²Altai State University, Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia;
bonsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4295-4120>

³Altai State University, Barnaul, Russia;
dashkovskiy@fpm.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4933-8809>

⁴Altai State University, Barnaul, Russia;
mujinshan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7463-9638>

*Corresponding Author

Abstract. Reviewing the publications, that reflect the finds of the Pazyryk culture ceramic vessels, and work with museum collections along with studying this category of ancient objects revealed the problem of adequate fixation and demonstration of available materials. To solve it, modern digital technologies, adapted to perform the necessary tasks, were involved. The article presents in detail the algorithm of the work performed along with the obtained results and suggests variants of illustrative presentation of an ornamented clay pot. As a sample a vessel from burial mound No. 23 of the Khankarinsky Dol site located in the territory of the North-Western Altai and investigated by the expedition of the Altai State University under the leadership of one of the authors of the article was used. During a comprehensive recording and further modelling, one of the technological methods of Pazyryk pottery manufacturing without a potter's wheel was revealed. This fact allows paying attention to other similar finds, which amount more than 400 specimens in the database under formation. The implemented experience will be used in further work in the study of such massive archaeological sources of the Scythian-Saka time as ceramic vessels.

Key words: Altai, Pazyryk culture, Scythian-Saka time, ceramic vessels, photogrammetry, 3D model, digital technology

Acknowledgments: the article was prepared with partial financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 22-18-00470 “The World of Ancient Nomads of Inner Asia: Interdisciplinary Studies of Material Culture, Sculptures and Economy”; A. A. Tishkin, S.Y. Bondarenko) and within the framework of the project No. 20-39-90022 (“Pottery form the Sites of the Pazyryk Culture in the Scythians-Saka Time: Comprehensive Research and Reconstruction”; J. Mu).

For citation: Tishkin A. A., Bondarenko S. Yu., Dashkovskiy P. K., Mu J. New Opportunities for the Publication Presentation of Ceramic Vessels of the Pazyryk Culture. *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2022; 34(2):9–24. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2022\)34\(2\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2022)34(2).-01)

Введение

Научные исследования в археологии уже трудно представить без привлечения цифровых технологий, спектр применения которых с каждым годом расширяется. Особую роль они выполняют в областях, связанных с реконструкциями и экспериментами, а также при объективной визуализации конкретных объектов и находок. Всесторонней демонстрации натуральных реалий уделяется большое внимание, так как она обеспечивает достоверность при подтверждении научных заключений. Однако имеют место проблемы для такой реализации. Например, исследователи нередко сталкиваются с ситуациями, когда возможности работы с артефактами отсутствуют или существенно ограничены. Причем это касается не только важнейших или уникальных изделий, состоящих на специальном хранении или располагающихся в тщательно закрытых музейных экспозициях, но и серийных категорий древних предметов, находящихся в малодоступных или удаленных местах. Часто исследователи не могут полностью и правильно описать находку, указать необходимые параметры и важные особенности, так как в публикациях отражены графические схемы или представлено фото общего вида. Еще хуже, когда публикуемые данные искажены, что негативно влияет на исследовательский процесс. С этими и другими обстоятельствами авторы столкнулись при изучении керамической посуды пазырыкской культуры. Одним из выходов, существенно позволяющих решить обозначенные и другие проблемы, является использование цифровых технологий. При этом стоит заметить, что это только один из эффективных «инструментов», помогающих ученым. Правильное применение его дает необходимую основу для решения каждой конкретной задачи или их совокупности.

В данной статье приводится опыт работы с керамическим сосудом пазырыкской культуры с целью представления алгоритма фиксации, изучения и предлагаемой публикационной презентации. Для этого использовалась технология оцифровки реального объекта, что позволило обеспечить высокое качество соответствия цифровой модели, а также провести необходимый анализ, получить ряд характеристик, в том числе без непосредственного контакта с археологически целой находкой.

Актуальность указанного подхода обусловлена еще и тем, что во многих случаях исследователи применяют и моделирующие системы, и системы прямых измерений, т.е. одновременно используются реальный объект, измерительный канал и компьютерная модель, что является трудоемкой и экономически не оправданной процедурой. В некоторых случаях этот комплекс действий даже реализовать трудно (например, когда объект изучения имеет большой размер и массу). Компьютерное моделирование позволяет не заменить, а расширить возможности натурального изучения объектов, в том числе тех, которые сложно получить для непосредственного «живого» и детального рассмотрения. Основной его особенностью является то, что моделируемые изделия должны быть приведены в строгое соответствие с оригиналом.

В настоящее время для создания релевантной математической модели активно используются возможности профессиональной трехмерной графики. Это довольно сложная задача. Одним из способов ее решения является фотограмметрия — получение 3D модели путем процесса записи, измерения и интерпретации фотографических изображений. Основная проблема заключается в установлении математической зависимости

между реальными координатами объекта и координатами этого же объекта на нескольких снимках, снятых из разных положений. К достоинствам фотограмметрии стоит отнести высокую точность измерений и степень автоматизации такого процесса, объективность результатов, возможность получения дистанционных параметров и т.д.

Рассмотрим алгоритм создания и возможности изучения математической модели на примере керамического сосуда. Следует отметить, что аналогичную процедуру можно проделать и с другими объектами, что позволяет рассматривать ее как обобщенные действия при современной исследовательской работе.

Материал для исследований

В качестве натурального объекта был взят глиняный горшок, обнаруженный в кургане №23 некрополя Ханкаринский Дол. Памятник пазырыкской культуры находится на террасе левого берега Ини (левый приток Чарыша), в 1,2–1,5 км к югу–юго-востоку от с. Чинета Краснощековского района Алтайского края (Россия). Курган располагался в 42 м к югу от основной цепочки, исследованной в центральной части могильника. Диаметр насыпи составлял 5,5 м, а высота — 0,5 м. По периметру объекта отмечена кольцевая выкладка (крепида) из более крупных камней. Могильная яма, выявленная под насыпью, имела размеры 3,2×2×1,8 м. Она была ориентирована длинной осью по линии ЮЗ–СВ. Внутри могилы обнаружены заплечики шириной до 0,3 м, на которых лежали восемь плит перекрытия. Под плитами находилось непо потревоженное погребение человека, уложенного на спину в вытянутом положении и ориентированного головой на восток. В могиле найдены железный нож, кости мелкого рогатого скота и керамический сосуд (рис. 1.-1, 2) (Дашковский, 2015), особенностью которого являлся орнамент, нанесенный краской на поверхности емкости. Этот объект стал основой для реализации намеченной программы исследовательского и прикладного характера.

С помощью электронного штангенциркуля получен следующий набор параметров, необходимых для анализа формообразования сосуда: диаметр венчика — 106,84 мм; диаметр шеи — 102,48 мм; диаметр плеча — 129,2 мм; диаметр тулова — 175,38 мм; диаметр дна — 114,99 мм; общая высота — 276,26 мм; высота шеи — 97,0 мм; высота плеча — 51,91 мм; высота тулова — 127,35 мм, толщина венчика — 6,68 мм. Поверхность кринки относительно гладкая, имеет коричневатый цвет с темными пятнами и следами оранжевого орнамента, нанесенного кистью (?). Просматривается песок и мелкий гравий. На внутренних стенках сосуда видны отдельные участки белого цвета. Находка хранится в Музее археологии и этнографии Алтая Алтайского государственного университета (г. Барнаул). Коллекционный номер — 641/2.

Оборудование и условия фотосъемки

Для фотограмметрии необходима камера, обеспечивающая получение четких снимков с высоким разрешением. Для намеченной исследовательской программы использовался фотоаппарат SONY ILCE-7RM2 с разрешением 35 Мрх¹. Снимки сохранялись в формате RAW, что позволяло после постпроцессинга с небольшим удалением шума и повышением резкости увеличить качество модели. Объектив имел постоянное фо-

¹ Фотосъемка керамического сосуда производилась указанным фотоаппаратом студентом Института истории и международных отношений АлтГУ А. Тишкиным (мл.) по методике, изложенной ниже.

кусное расстояние и хорошую четкость². Необходимо было учитывать, что ISO нужно устанавливать как можно ниже (предпочтительно не выше 400), чтобы уменьшить шум. А вот скорость работы затвора должна быть быстрее (предпочтительно не ниже 1/125). Значение диафрагмы можно установить на отметке f/8 и более. После расчета необходимого освещения от используемой кольцевой фотовспышки съемка осуществлялась при таких параметрах: ISO-200, 1/125, f/13. Баланс белого цвета устанавливался вручную и не менялся на протяжении всей сессии. С помощью калибровочной мишени, размещенной прямо у объекта и освещенной равномерно (так, чтобы на нее не попадали резкие тени и белый квадратик не был пересвечен), устанавливались начальные позиции, необходимые при последующей обработке для передачи реальных цветов.

После проведенных исследований и для дальнейших работ дополнительно использовалась технология CPL (кросс-поляризационная фотография). Это полезная в предлагаемом алгоритме техника, состоящая из прикрепления поляризованного фильтра к источнику света и объективу камеры для освещения модели без образования ярких участков, что помогает в создании более целостных качественных текстур.

Для определения точного масштаба и правильного сопоставления изображений, помогающего при регулировке камеры, использовалась масштабная линейка с кодированными мишенями. Она располагалась у объекта до начала съемки и применялась в качестве опорных точек для системы координат, что необходимо при ручном выстраивании фотоснимков, которые не удалось упорядочить программным способом (при недостаточности наложения между изображениями).

Поскольку в качестве объекта изучения использовался керамический сосуд не очень большого размера, то целесообразным было использование поворотного стола, позволяющего вращать сам объект относительно неподвижной камеры, установленной на штативе, упрощая автоматизированный процесс фотосъемки. Следует отметить еще такой момент. В случае если объект будет иметь черные или блестящие, а также полностью прозрачные поверхности, то необходима обработка их специальным спреем с последующим удалением водой после фотосъемки. В качестве замены дорогостоящих препаратов подойдет двуокись титана, которую можно нанести либо непосредственно кисточкой на объект, либо как раствор в изопропанол.

Методика съемки

Основной принцип съемки заключается в том, чтобы каждая точка поверхности объекта была четко видна, по крайней мере, на двух высококачественных изображениях. При этом работает такое правило: «Чем больше снимков, тем лучше». Достаточно получить три изображения, содержащих одну и ту же точку объекта, потому что для качественной 3D модели большинство программ использует расчет триангуляции. Увеличение количества фотоснимков, хотя и повышает вероятность правильного расчета координат точки, сильно влияет на время обработки (причем не только машинного времени, но и ручного).

² Если у камеры объектив с переменным фокусным расстоянием, то придется использовать верхний или нижний предел и сохранять его на протяжении всей съемки. Однако подавляющее большинство объективов с переменным фокусным расстоянием дает на «концах» нечеткую или искаженную картинку.

Одной из задач математического планирования намечаемого эксперимента является определение оптимального количества точек съемки исходя из геометрии объекта. При фотограмметрии одиночных изделий это не столь актуально. Однако с увеличением «поточности» работ данный критерий становится в какой-то момент критичным. Также до начала реализации заданного алгоритма следует определиться с целевым разрешением. На самом деле оно зависит от параметров обработки, качества изображений и количества фотоснимков. Это просто нужно иметь в виду.

С учетом диаметра сосуда, расстояния от него до камеры и вышесказанных условий (если проводить расчеты по сфере с необходимым коэффициентом перекрытия) предельные значения покажут, что нельзя менять точку обзора больше чем на 30 градусов. Хотя это предельно возможное значение, но необходимо иметь коэффициент запаса около 20%, обеспечивающий дублирование информации. Такой подход даст оптимальное соотношение между трудоемкостью и качеством результата. Надо отметить, что данный результат вычислений применим не только к соотношению «размер объекта / объектив / расстояние до объекта», а остается постоянным в довольно широком диапазоне действий. Продемонстрируем одну плоскость расположения точек съемки для выбранного объекта (рис. 1.-1). Вся совокупность точек представляет собой 12 подобных орбит, повернутых вокруг вертикальной оси на одинаковый угол. При съемке важно завершать оборот керамического или другого изделия с небольшим перекрытием.

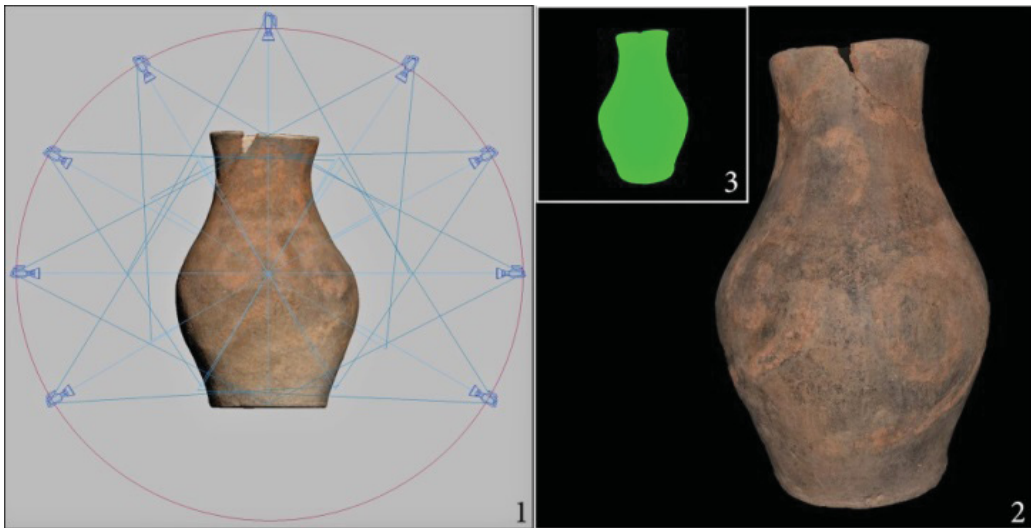


Рис. 1. Точки съемки керамического сосуда, лежащие на одной орбите (1).
Объект, отделенный от фона (2), и его маска (3)

Fig. 1. Points of a ceramic vessel survey lying in the same orbit (1).
Object separated from the background (2) and its mask (3)

Реализацию фотограмметрического процесса необходимо начинать со съемки всего объекта, фокусируясь затем на деталях. Приближаться к нему необходимо не рез-

ко, а постепенно, что обеспечит последующую корректную обработку. Чем более мелкие детали содержит археологическая находка, тем больше внимания им нужно уделить и тем более крупно отснять данные точки. Для того чтобы получить фотоснимки днища керамического сосуда, после съемок в обычном положении его придется перевернуть и повторить процесс. Количество точек съемок уже может быть меньше и необходимо сосредоточиться именно на указанном участке. В результате осуществленной сессии получилось около 200 снимков для последующей обработки.

Создание 3D-модели объекта

Постпроцессинг фотоснимков в общем виде представляет собой две основные крупные операции: удаление шума с повышением резкости и создание маски объекта. Первая операция призвана увеличить качество модели. Создание маски, хотя и помогает уменьшить время последующей обработки, но в данном случае необходимо для того, чтобы дезориентировать программу построения 3D модели объекта. Дело в том, что при фотографировании перевернутого сосуда программное обеспечение воспринимает его в качестве другого объекта, так как ориентируется кроме него еще и на окружающий фон. Тот же принцип работы программы не позволяет построить модель, вращая объект на поворотном столике. Создание маски объекта позволяет решить обозначенную проблему (рис. 1.-3).

После постпроцессинга подготовленные фотоснимки загружаются в программу, которая строит математическую модель объекта. Создание модели проходит в несколько этапов, выделение которых весьма условно, так как окончание одного является началом другого и возможен возврат к началу этапов для внесения правок в модель. Надо отметить, что корректировки необходимы постоянно. Пока компьютерные технологии не способны получать адекватный результат без оценки действий и настраивания процесса специалистом.

На каждом этапе построения математической модели осуществляется формирование определенной модели. Вернее идет преобразование одного вида модели в другой, все более и более подробный, т.е. от построения облака точек до высокополигональной модели с сохранением всех координат и закономерностей оригинала. В итоге 3D модель объекта, состоящая из более чем 100 млн полигонов³, позволяет судить о ее высокой достоверности и подробности. Полученная модель может являться конечным результатом, но не достаточна для непосредственного изучения и должна подвергаться дальнейшим преобразованиям.

В настоящее время полный процесс создания модели недостаточно структурирован. Как и на всех этапах математического моделирования, необходимо, руководствуясь своими знаниями, опытом, интуицией и оценочными расчетами, а также мнением экспертов, принимать решения о введении отдельных элементов и связей либо изъятии из рассмотрения малозначащих факторов. Вместе с тем разные компоненты могут потребовать большей детализации, что обозначит необходимость возвращения к начальному этапу построения модели (Воронов, 2010, с. 30).

Обработка результатов

После построения математической 3D модели появляется возможность загрузки ее в профессиональную программу для последующего изучения. В ходе проделанной работы использовалось семейство продуктов Autodesk.

³ При размере одного полигона около 0,65 мм.

Полученные способом фотограмметрии цифровые копии представляют собой единый 3D объект, сформированный высокополигональной сеткой (*high-poly mesh*), точно передающей только геометрию объекта. Она не содержит дополнительных физических свойств. Количество этих свойств может быть у объекта сколь угодно большим, поэтому выбор конкретного их пула для последующего изучения цифровой копии и ввода их в программное обеспечение производится в зависимости от поставленной задачи и на взгляд исследователя. В итоге полученная компьютерная модель должна содержать в себе необходимый для данного исследования набор характеристик (как герметических, так и физических) и максимально приближаться к оригиналу.

В нашем случае остановимся на дополнительном измерении массы сосуда. Было бы важным установление твердости материала, из которого он изготовлен, пористости и определение состава покрытия. Суммарные знания позволили бы определить множество геометрических характеристик. По сути, наличие 3D модели гарантирует однозначное определение любой геометрической характеристики объекта:

- размеров (причем любых);
- объема (как самого объекта, так и только использованного материала);
- площади поверхности;
- моментов инерции относительно выбранных координат;
- наличия оси вращения;
- точки центра масс;
- отклонения от округлости (при необходимости определения тел вращения);
- наличия осей и/или плоскостей симметрии;
- любых сечений (причем можно четко утверждать, что они сделаны ортогонально выбранной оси и не вызовут искажения).

Можно сформировать рендер или напечатать на 3D принтере геометрическую копию для изучения. При наличии дополнительных данных можно получить другие сведения. Например, определить плотность материала; провести моделирование напряжений и разрушающих нагрузок; смоделировать технологию изготовления для проверки гипотезы; сравнить несколько изделий по критическим параметрам сходности и т.п.

Данные, полученные в ходе изучения 3D модели, свидетельствуют о том, что рассматриваемый сосуд не мог являться телом вращения и быть получен вращением, например, на гончарном круге. Хотя он сделан с довольно хорошей точностью и, на первый взгляд, технология его изготовления может вызывать разногласия. Однако если проанализировать компьютерные сечения сосуда в целом (рис. 2), то можно однозначно сделать вывод о том, что емкость изготовлена ручным способом. Это объясняется сдвигом координат оси вращения для каждого из сечений, что невозможно для объекта вращения и возможно только для сегментарного изготовления объекта. Поэтому стоит обратить внимание на данные разреза 6-6 (рис. 2), на котором хорошо заметна неровность внутренней стенки. Данное обстоятельство потребовало не только дополнительного изучения 3D модели сосуда, но и обратиться к оригиналу, у которого четко просматривалась линия стыка верхней и нижней частей горшка. В результате стало ясно, что для создания целой емкости отдельно были сделаны две качественные заготовки, которые затем соединили вместе. С наружной стороны стык был заглажен,

а внутрь рука мастера не проходила, поэтому не удалось так же тщательно ликвидировать образовавшийся оплыв стыка (см. разрезы 5-5, 6-6, 7-7 на рис. 2). По всей видимости, гончар предпринял попытку убрать такое образование каким-то приспособлением, но полностью это сделать не удалось. Зафиксированный факт заставил обратиться к рассмотрению других сосудов пазырыкской культуры. Оказалось, что аналогичные следы имеются и на отдельных изделиях. Причем фиксировались ситуации, когда горшок, возможно, формировался из трех частей. Сложнее всего было исследовать кувшины с узкой и длинной горловиной. Для этого использовалась фотограмметрия, позволявшая детально увидеть следы стыков и других технологических особенностей. Однако не всегда это удавалось сделать качественно из-за недоступности фотофиксации. Для решения данной проблемы использовался несколько иной механизм компьютерной реконструкции.

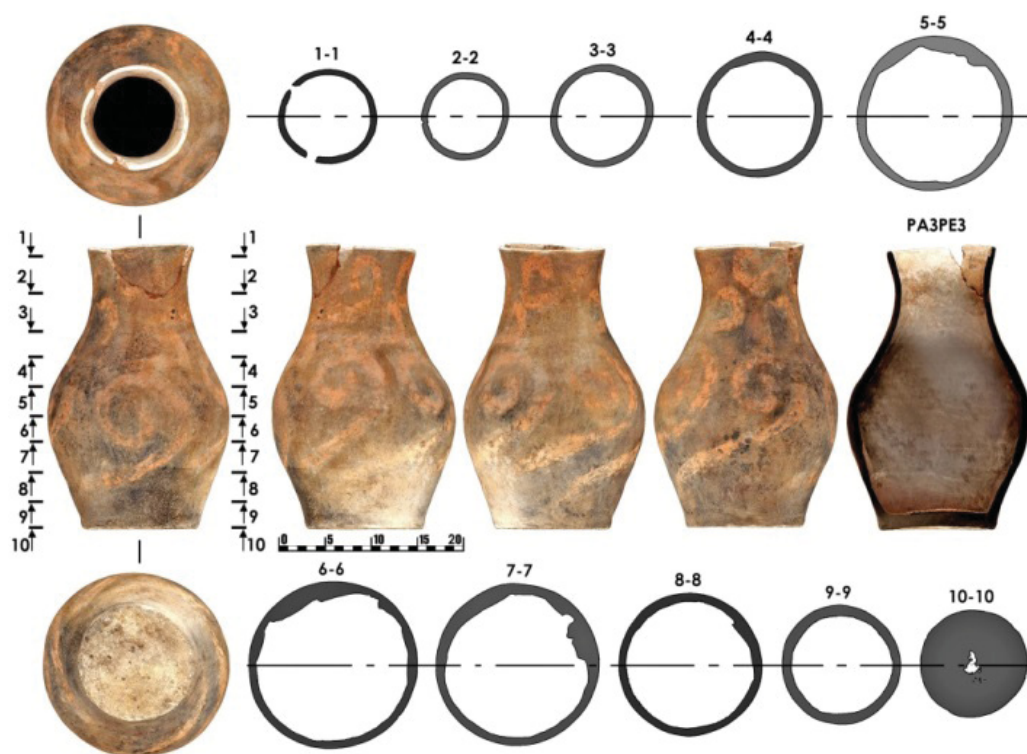


Рис. 2. Рендер ортогональных видов модели и разрезы

Fig. 2. Render of orthogonal model views and sections

Определена плотность материала, из которого сделан сосуд. Она относительно невысока: $\approx 1,575 \text{ г/см}^3$. Данный показатель намного ниже, чем у известных видов керамики. И даже меньше, чем плотность обезвоженных глин. Это может свидетельствовать о сильной пористости материала (минимум 15–20%).

Наличие у исследователя адекватной 3D модели дает ему довольно мощный инструмент изучения, неплохо дополняющий работу непосредственно с оригиналом и позволяющий рассмотреть проблему всесторонне не только с получением дополнительных характеристик, но и с установлением их взаимосвязи. Эта дополнительная информация, возможно, позволит найти ответы на вопросы, касающиеся структуры, процесса изготовления и функционирования объекта, не говоря уже о таких традиционных задачах, как определение значений характеристик и исследования прогнозного характера (Воронов, 2010, с. 35).

Однако не менее важной является объективная презентация керамического сосуда при его публикации. Исходя из реализованного алгоритма и при наличии 3D модели предлагается детальная схема демонстрации археологически целой находки (рис. 2), которая состоит из всех видов сосуда с внешней стороны, а также из серии разрезов, позволяющих оценить внутреннее оформление. Подобные иллюстрации позволяют совершенно по-иному изучать глиняную посуду пазырыкской культуры, а также другую схожую утварь древних кочевников.

Возможности преобразования модели

Кроме изучения объекта путем рассмотрения его цифровой копии, имеются другие возможности, связанные с преобразованиями построенной 3D модели. И вот тут преимущества работы именно с моделями становятся особенно существенными. Из субъективного описания, как правило, сложно понять основные допущения, при которых высказанная исследователем гипотеза остается справедливой. Как следствие, характерной чертой исследователей являются постоянные дискуссии, порой становящиеся более значимыми, чем само обсуждение предмета исследования. Субъективное описание объекта строится на основе цепочки более или менее логичных утверждений, основанных зачастую на личном опыте, и не способно привести к четким и однозначным выводам. Причиной неоднозначной интерпретации субъективного описания является и сравнительно частая (по сравнению с математикой) смена аксиоматики археологии. Математические же формализмы позволяют выявить скрытую информацию, поскольку дают возможность вычислить проверяемые параметры и величины и получить новые данные. Введение моделей обеспечивает строгую формулировку как используемых понятий, так и логики изучения, что приводит к более четкой постановке проблемы и выступает в дальнейшем информационно-технологическим инструментом разрешения споров (Воронов, 2010, с. 34–35).

В качестве примера рассмотрим задачу создания развертки внешней поверхности керамического сосуда для изучения имеющегося орнамента. Так как вполне очевидно, что для его изучения развертка должна представлять собой цельное плоское полотно, без вырезов и дискретностей, то необходимо создать алгоритм развертывания объектов в геометрически простую форму типа прямоугольника или сектора. Именно такая форма наиболее удобна для восприятия человеческим мозгом, он может умозрительно спроецировать ее на видимый им сосуд.

Однако керамический сосуд, как и большинство тел, не является телом, которое можно развернуть в плоскость без определенных искажений. Это приводит к введению понятия «адекватность результата», основанного на анализе искажений, и принятию

решения об их допустимости в рамках данного исследования. Критерии адекватности в данном случае не могут быть построены на степени соответствия оригиналу, ввиду отсутствия эталона для сравнения, так как развертки объекта не существует в оригинале, а также в отсутствие объективных понятий точности, правильности и др. В нашем случае за данный критерий можно принять только интегральную характеристику искажений. Для ее определения необходимо разделить объект на большое количество очень тонких полос, которые развернутся соответственно без искажения (в виде растягивания или сжатия) и независимо от формы объекта. Дальнейшая работа будет направлена на определение общей длины развертки. Она должна быть такой, чтобы обеспечить минимальную величину погрешности для каждой из полос. Данная задача крайне сложна, требует сложных логических и математических выкладок, большой вычислительной мощности, так что механизмов ее решения не так много.

Основные принципы расчета и построения развертки заключаются в вычислении относительных размеров сторон произвольного небольшого элемента трехмерного пространства с последующим интегрированием по всей поверхности. Эта задача очень непростая и содержит довольно много взаимозависящих компонентов. Для визуализации процесса можно рассматривать керамический сосуд как совокупность некоего количества квадратных элементов (рис. 3), где любое отклонение от квадратности является искажением. Идея заключалась в том, что количество таких квадратов по окружности сосуда всегда одинаково на любом уровне. Но, поскольку длина окружности сосуда разная в разных местах, квадраты претерпевают искажение, которое можно как наблюдать визуально, так и рассчитать математически. На рисунке 3 видно, какие части сосуда будут искажены, и даже можно представить, насколько и в какую сторону они растянуты или сжаты.

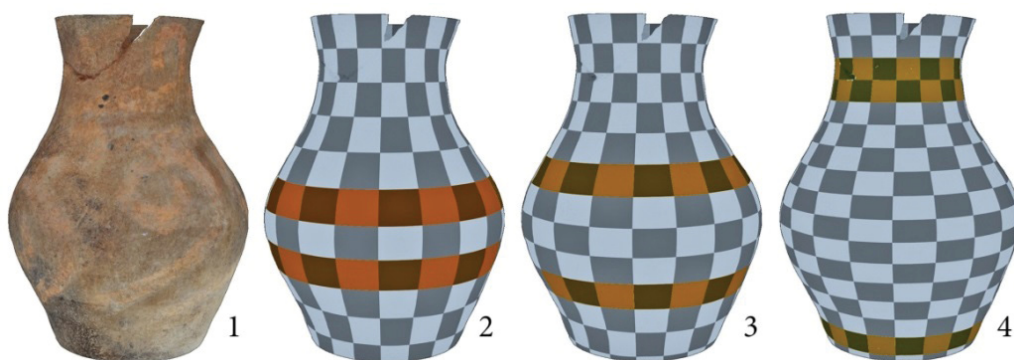


Рис. 3. Схема искажений на сосуде (цветом выделены условные зоны без искажений)

Fig. 3. Diagram of distortion on the vessel (colour shows the conventional areas without distortion)

Однако нахождение точного решения полученных интегралов, показывающих суммарные минимальные искажения в развертке, в большинстве случаев геометрических форм невозможно. Поэтому для их нахождения применялся метод Монте-Карло, по-

зволяющий вычислить значение интеграла как сумму небольшого количества значений подынтегральных функций, выбранных случайным образом. Нахождение решения такого интеграла позволило построить развертку объекта с минимально возможными искажениями, т.е. максимально адекватную (рис. 4).

Разработанный алгоритм можно считать обобщенным и работающим в очень широком диапазоне топологий. Правда, хотелось бы отметить, что результат вычислений будет разным, и он сводится (в зависимости от исходного объекта) либо к цилиндру и его развертке (прямоугольнику), либо к усеченному конусу и его развертке (сектору). Важно отметить, что абсолютное соответствие, к которому необходимо стремиться и которое предполагает соответствие точности исходных данных точности решения задачи и точности, предъявляемой к искомому решению для практики, часто иллюзорно.

Графическая обработка

Дальнейшие исследования предполагают работу уже с разверткой, и здесь возникает следующая задача — графическое представление объекта и возможности реконструкции. Информация, представленная на развертке (рис. 4), достоверна, но, к сожалению, не является исчерпывающей и требует дальнейшей обработки (компьютерной реставрации). Несомненно, такая реконструкция — это в значительной мере творческий процесс. Каждый автор в той или иной мере вносит свое видение в состав тех принципов, которые он заложит в данный процесс, исходя из своего практического опыта. Конечно, нет смысла обсуждать очевидные вещи, видимые исследователем и однозначно им трактуемые. Речь пойдет как раз о спорных моментах, при которых нет однозначного ответа. В этом случае, по нашему мнению, целесообразно придерживаться относительно объективных данных, которые выдает математическое моделирование.



Рис. 4. Развертка внешней орнаментированной поверхности керамического сосуда (1).
Прорисовка орнамента с вероятностью более 75% (2)

Fig. 4. Outline of the exterior ornamented surface of a ceramic vessel (1).
Drawing of the ornament with more than 75% probability (2)

Рассмотрим возможность моделирования процесса создания орнамента на керамическом сосуде. В качестве базового положения моделирования принимается то, что рисунок достаточно монохромен (т.е. имеет в своей структуре один цвет). В основном узор виден глазу. Однако в некоторых местах он слабо отличается от общего фона, и исследователь не сможет однозначно утверждать его наличие, исходя только из данных собственного зрения. Но оптическое разрешение по цветам у компьютерных систем во много раз выше, чем у человеческого зрения. Специализированное программное обеспечение прекрасно различает разный цвет пикселей. Вопрос стоит только в том, насколько различным должен быть цвет, чтобы отнести его к орнаменту или фону. В работе установлена вероятность, что данный пиксель является элементом орнамента в более чем 75%. Необходимо отметить, что основная площадь узора имеет абсолютную вероятность существования, которая падает в основном только по краям и обрывается при вероятности в 75%. Если ввести другое значение вероятности, то картина несколько меняется. В зависимости от ее увеличения или уменьшения данные исчезают или появляются, что в принципе позволит исследователю выбрать наиболее приемлемый для себя вариант, который будет согласовываться с его целями и задачами.

Представленная технология помогает исследователю в изучении, но не отвергает необходимости проверки и оценки выдаваемого компьютером результата. Более того, такая проверка необходима! Компьютерные технологии жестко следуют введенному алгоритму и со своим формализмом не способны понять исследователя или оценить полученный результат. Они могут только предоставить исследователю новые данные, сделать их более удобными для его восприятия и принятия решения.

После обработки возможности 3D моделирования можно нанести полученную прорисовку орнамента обратно на керамический сосуд в те же координаты и посмотреть визуально результат на объемном объекте (рис. 5).



Рис. 5. Графическое представление сосуда с линиями орнамента

Fig. 5. Graphic representation of the vessel with the lines of the ornament

Организация виртуального доступа

Результаты работы исследователя часто остаются только у него. Имеются определенные трудности транслирования информации для других. Обычно для этого использу-

ют возможности фотографирования и описания. Но этого часто недостаточно. Даже та информация, которая представлена в данной статье, дана в урезанном виде. Возможности буквенного описания не позволяют визуализировать результат работы и полученные эффекты, заставляя ограничиться лишь заключениями. Поэтому необходим и актуален подход, транслирующий возможность изучения объекта в максимально полном объеме, где каждый исследователь будет иметь право на свое видение ситуации и получение дополнительных данных на основе своего опыта и знаний. И здесь математическая модель зачастую является единственным оптимальным вариантом решения проблемы. Поскольку модель объекта является, по сути своей, файлом, то ее можно передавать просто посредством любой инфокоммуникационной технологии, как сейчас делается с книгами и фото- и видеоинформацией. Наличие такого файла модели с необходимой степенью соответствия объекту-оригиналу и где все требования адекватности выполнены в той мере, которая в данных условиях достаточна для достижения преследуемой цели, даст исследователю возможность самостоятельного изучения без непосредственного присутствия самого объекта.

Развитие онлайн-технологий, в том числе технологии WebGL, позволяющей работать с 3D графикой в браузере, дало возможность размещать модели на сервер с возможностью удаленного запуска без установки на свой компьютер профессионального программного обеспечения. Такой подход обеспечил, хотя и сильно упрощенный и урезанный по функционалу, но вполне качественный механизм удаленной работы с моделями любому пользователю. Для того чтобы поместить модель в онлайн-доступ, сначала необходимо решить задачу оптимизации модели, так как ресурсов онлайн-сервиса может не хватить. Основную решаемую задачу оптимизации виртуальной модели можно условно разделить на два направления. Первое — это нахождение баланса репологии (уменьшения количества полигонов) с необходимой адекватностью (подробностью представления геометрии). Второе — нахождение того же баланса в подробности отображения текстур. В результате работ по созданию оптимизированных виртуальных моделей удалось уменьшить количество полигонов до 1 млн, т.е. в 100 раз «облегчить» модель без видимой потери качества. Стоит отметить, что модели на уже существующих ресурсах содержат 0,1–0,2 млн полигонов, что считается достаточным, однако связано с падением качества модели. Развитие интернет-коммуникаций и увеличение мощности персональной техники в настоящее время позволяют легко обрабатывать и более обширные массивы данных. Для этого создается тестовый сервис, где можно будет в первоначальном приближении познакомиться с возможностями изучения виртуальных моделей. Программная оболочка позволяет: зуммировать и вращать объект; добавлять и убирать источники света с динамическим изменением освещенности; проводить измерения расстояния между двумя выбранными точками поверхности предмета; снимать координаты точки поверхности относительно выбранного нуля координат (в нашем случае ее центра тяжести); устанавливать ортогональные плоскости сечения и рассматривать сечения предмета; выделять грани сечения; включать-выключать отображение текстуры для изучения только рельефа поверхности объекта; сохранять на компьютер скриншоты. Скорее всего, в ближайшее время возможности программы для работы с виртуальными моделями будут расширены. Сейчас идет актив-

ное развитие технологий виртуализации, и можно полагать, что с появлением в широком доступе очередной технологии она будет внедрена и использована, в том числе и для подобных исследований.

Заключение

В заключение следует отметить, что с развитием компьютерных технологий и разработки все более совершенных алгоритмов, с распространением и совершенствованием нейронных сетей исследования, проводимые не только с их помощью, но и при переносе реальности в виртуальную зону, станут более распространенными и эффективными. Использование моделей в этом случае позволяет обойтись без сложного и дорогостоящего оборудования, дает возможность реализовать индивидуальный подход к изучению объекта и какого-либо явления, а также к решению экспериментальных задач проблемного характера. Представленный опыт — лишь малая демонстрация имеющихся возможностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Дашковский П. К. Исследование погребальных памятников в Краснощековском районе Алтайского края в 2010–2013 гг. // Археологические открытия 2010–2013 гг. М. : ИА РАН, 2015. С. 630–633.

Воронов М. В. Моделирование слабоструктурированных проблем. М. : Изд-во СГУ, 2010. 332 с.

REFERENCES

Dashkovskiy P. K. Investigation of Funerary Sites in the Krasnoschekovsky District of Altai Krai in 2010–2013 // Archaeological Discoveries 2010–2013. M. : IA RAN, 2015. Pp. 630–633. (*In Russ.*)

Voronov M. V. Modeling of Weakly Structured Problems. Moscow : Izd-vo SGU, 2010. 332 p. (*In Russ.*)

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Тишкин А. А.: организация и проведение фотосъемки, идея публикации, формирование структуры статьи, разработка схемы презентации сосудов, обсуждение результатов, научное редактирование текста.

Бондаренко С. Ю.: обработка результатов фотограмметрии, описание использованного оборудования и методики съемки, анализ сформированной информации, подготовка иллюстраций.

Дашковский П. К.: предоставление информации о раскопках и обнаруженном сосуде, обсуждение полученных результатов.

Му Ц.: описание сосуда, предоставление для анализа базы данных о керамической посуде пазырыкской культуры, обсуждение результатов.

A. A. Tishkin: organisation and conduct of the photo shoot, idea for the publication, formation of the structure of the article, development of the presentation scheme for the vessels, discussion of the results, scientific editing of the text.

S. Y. Bondarenko: processing of photogrammetry results, description of equipment used and survey methodology, analysis of generated information, preparation of illustrations.

P. K. Dashkovskiy: providing information on the excavation and the vessel discovered, discussing the findings.

J. Mu.: description of the vessel, provision of a database on Pazyryk pottery for analysis, discussion of the results.

Конфликт интересов отсутствует / There is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тишкин Алексей Алексеевич, доктор исторических наук, профессор; Алтайский государственный университет, заведующий кафедрой археологии, этнографии и музеологии, Барнаул, Россия.

Alexey Alexeevich Tishkin, Doctor of History, Professor; Altai State University, Head of Department of Archaeology, Ethnography and Museology, Barnaul, Russia.

Бондаренко Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент; Алтайский государственный университет, научный сотрудник; Алтайский государственный аграрный университет, директор центра информационных технологий, Барнаул, Россия.

Sergey Yurievich Bondarenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor; Altai State University, Research Officer; Altai State Agricultural University, Director of the Information Technology Center, Barnaul, Russia.

Дашковский Петр Константинович, доктор исторических наук, профессор; Алтайский государственный университет, заведующий кафедрой регионоведения России, национальных и государственно-конфессиональных отношений, Барнаул, Россия.

Petr Konstantinovich Dashkovskiy, Doctor of History, Professor, Altai State University, Head of Department of Regional Studies of Russia, National and State-Confessional Relations, Barnaul, Russia.

Му Цзиньшань, Алтайский государственный университет, аспирант кафедры археологии, этнографии и музеологии, Барнаул, Россия.

Jinshan Mu, Altai State University, Department of Archaeology, Ethnography and Museology, Research Student, Barnaul, Russia.

Статья поступила в редакцию 06.05.2022;

одобрена после рецензирования 30.05.2022;

принята к публикации 06.06.2022.

The article was submitted 06.05.2022;

approved after reviewing 30.05.2022;

accepted for publication 06.06.2022.