

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРХЕОЛОГИИ

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL PROBLEMS OF ARCHEOLOGY

Научная статья / Research Article

УДК 902.34:004.9

[https://doi.org/10.14258/tpai\(2026\)38\(1\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(1).-01)

EDN: GXFAI

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕСТАВРАЦИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СОСУДОВ ПАЗЫРЫКСКОЙ КУЛЬТУРЫ АЛТАЯ)

Сергей Юрьевич Бондаренко¹, Алексей Алексеевич Тишкин^{2*}

¹Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;
bonsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4295-4120>

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;
tishkin210@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7769-136X>

*Автор, ответственный за переписку

Резюме. В статье обсуждаются имеющиеся проблемы и трудности исследовательской деятельности в археологии, которые можно решить с помощью современных цифровых технологий. Рассматривается использование фотограмметрии для документирования, изучения и сохранения выявленных объектов и находок наряду с традиционными методами и приборами. Система создания пространственно-точных 3D-моделей позволяет осуществлять компьютерную реконструкцию разрушенного артефакта с утраченными частями и получить характеристики изделия в его первоначальном целом виде. На примере двух разбитых керамических сосудов из кургана № 80 памятника Тыткескень-VI и кургана № 1 некрополя Чобурак-II (Северный Алтай), которые относятся к пазырыкской культуре, показано, что разработанная авторская технология позволяет провести математически обоснованную реставрацию геометрии с четко определенной степенью ошибки. В результате получены цифровые модели целых изделий для их полноценного изучения, а также для публикационной визуализации.

Ключевые слова: фотограмметрия, 3D-моделирование, компьютерная реставрация, пазырыкская культура, керамические сосуды

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00470-П «Мир древних кочевников Внутренней Азии: междисциплинарные исследования материальной культуры, изваяний и хозяйства», <https://rscf.ru/project/22-18-00470/>; авторы статьи благодарны Владимиру Петровичу Семибратову за предоставленную возможность осуществить фотограмметрию частично склеенных керамических сосудов, полученных в ходе раскопок под его руководством.

Для цитирования: Бондаренко С.Ю., Тишкин А.А. Технология компьютерной реставрации археологических объектов (на примере керамических сосудов пазырыкской культуры Алтая) // Теория и практика археологических исследований. 2026. Т. 38, № 1. С. 9–24. [https://doi.org/10.14258/tpai\(2026\)38\(1\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(1).-01)

TECHNOLOGY OF COMPUTER RESTORATION OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS (USING CERAMIC VESSELS OF THE PAZYRYK CULTURE OF ALTAI AS AN EXAMPLE)

Sergey Yu. Bondarenko¹, Alexey A. Tishkin^{2*}

¹Altai State University, Barnaul, Russia;
bonsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4295-4120>

²Altai State University, Barnaul, Russia;
tishkin210@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7769-136X>

*Corresponding Author

Abstract. The article discusses existing problems and difficulties in archaeological research that can be addressed with modern digital technologies. It examines the use of photogrammetry for documenting, studying, and preserving identified sites and finds, alongside traditional methods and instruments. The system for creating spatially accurate 3D models allows for computer reconstruction of damaged artifacts with missing parts and obtaining the characteristics of the object in its original, complete form. Using the example of two broken ceramic vessels from Kurgan No. 80 of the Tyketsken-VI site and Kurgan No. 1 of the Choburak-II necropolis (Northern Altai), which belong to the Pazyryk culture, it is shown that the developed author's technology enables mathematically substantiated restoration of geometry with a clearly defined degree of error. As a result, digital models of complete artifacts are obtained for their comprehensive study, as well as for publication visualization.

Keywords: photogrammetry, 3D modeling, computer restoration, Pazyryk culture, ceramic vessels

Acknowledgments: the research was funded by the Russian Science Foundation, project No. 22-18-00470-П “The World of Ancient Nomads of Inner Asia: Interdisciplinary Research on Material Culture, Sculptures and Economy”, <https://rscf.ru/project/22-18-00470/>; the authors are grateful to Vladimir Petrovich Semibratov for providing the opportunity to conduct photogrammetry of partially joined ceramic vessels obtained during excavations under his supervision.

For citation: Bondarenko S. Yu., Tishkin A. A. Technology of Computer Restoration of Archaeological Objects (Using Ceramic Vessels of the Pazyryk Culture of Altai as an Example). *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2026;38(1):9–24. (In Russ.). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2026\)38\(1\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2026)38(1).-01)

Введение
В археологии изучение реальных объектов является базовой исследовательской основой, хотя в аналитическом процессе часто используются имеющиеся

описания, фотоснимки и графические иллюстрации того, с чем специалист сам лично не знаком. Данная ситуация порождает массу ситуаций (недопонимание, искажение, утрирование и т.д.), которые не способствуют научному продвижению к относительно объективной историко-культурной реконструкции. При этом получение доступа к оригиналам может сопровождаться серьезными трудностями, а порой это вообще сделать невозможно. Всестороннее документирование археологических памятников всегда было ключевой задачей, особенно в ходе обследований и раскопок. Основная проблема заключалась в нахождении баланса между степенью детализации и ограниченным количеством времени, которое можно провести на конкретном объекте. Нередко случается, когда записи и/или фотофиксации, осуществленные в момент обнаружения чего-либо, служат единственными свидетельствами и источниками информации. Во многих случаях археологические раскопки так или иначе, но разрушают объект исследования полностью или вносят в него существенные изменения. Поэтому процесс детального документирования имеет огромное значение, а полученные результаты влияют на достоверность последующих заключений. Другая сторона исследовательской практики заключается в необходимости сохранить памятник. Решение такой задачи связано еще с одним комплексом трудностей. При изучении археологических находок также имеется ряд частных и объективных препятствий. Исследовательский процесс в археологии имеет особенность неоднократного обращения к источникам, которые не всегда доступны по многим причинам. Одним из путей решения кратко перечисленных проблем может стать технология создания цифровых копий объектов с помощью фотограмметрии. Такой процесс обеспечивает получение пространственно-точных 3D моделей из обычных фотоснимков. В результате можно формировать ортофотопланы памятников, детально фиксировать стратиграфию, проводить измерения, визуализировать археологические находки, импортировать полученные данные и многое другое. Созданные цифровые копии позволяют осуществлять исследования, направленные на определение геометрических и физических параметров объекта (размеров, объемов, массы), а также выявлять оси вращения и демонстрировать разные сечения. Имеется возможность проводить имитационные эксперименты, вроде моделирования напряжений и разрушающих нагрузок, сравнения нескольких изделий по критическим параметрам сходности и определения предполагаемой технологии производства.

Кроме создания цифровых копий объектов для возможного их изучения специалистами, никуда не выезжая, фотограмметрия может использоваться для документирования и сохранения в компьютерном виде памятников или находок, подверженных риску утраты, или при невозможности вернуть им первоначальный вид.

Традиционная фотография, хотя и необходима для документирования, имеет ряд недостатков. Во-первых, объектив камеры, особенно если используется широкоугольный объектив, вносит значительные искажения в изображение. В результате по фотоснимкам, даже сделанным ортогонально, невозможно сделать достоверные измерения. Во-вторых, стандартные 2D-фотографии не содержат никаких пространственных координат. Наконец, в-третьих, фотография без дополнительных метаданных — это просто двумерное представление с ограниченным применением.

Фотограмметрия устраняет перечисленные недостатки и открывает разные перспективы. Можно предположить, что для более полного археологического документирования, кроме традиционного фотографирования и тахеометрической съемки, было бы актуальным еще применение фотограмметрических технологий. В итоге такая гибридная система более полно и точно отражала бы исходные данные на разных этапах полевых работ, которые будут востребованы при дальнейших исследованиях.

Помимо всего вышесказанного, цифровые копии в виде 3D-моделей могут быть использованы в качестве виртуальных артефактов, хранящихся в цифровых библиотеках. Доступ с помощью сети Интернет делает их доступными для изучения специалистами в любой точке мира. Хотя следует заметить, что модели, находящиеся на виртуальных площадках, не отличаются особой подробностью ввиду технических ограничений на скорость сети, трафика и мощности компьютера у исследователя. К тому же браузерные версии программного обеспечения имеют весьма урезанный функционал, дающий минимально необходимый инструментарий. Несмотря на это, надо понимать, что существует базовая модель, полученная фотограмметрией, которую можно запросить и передать по сети. Она бывает в тысячи раз детальнее, чем модель, выставленная для предварительного просмотра на сайте.

Цель данной статьи — расширить уже имеющиеся возможности применения фотограмметрии и продемонстрировать, как точная и детализированная 3D-модель позволяет получить новую ценную информацию об артефактах, не всегда доступную при традиционных подходах к документированию. Получив необходимые данные, можно провести геометрические преобразования и продемонстрировать развертку, а также осуществить компьютерную реставрацию разрушенного артефакта, даже с большим объемом утраченных частей, и получить характеристики изделия в его первоначальном целом виде. В качестве примера для реализации обозначенной цели были привлечены два частично склеенных керамических сосуда, обнаруженных в разбитом виде. Они относятся к пазырыкской культуре скифо-сакского времени.

Материалы, методы и результаты исследования

Первый горшок происходит из кургана № 80 памятника Тыткескень-VI, который ранее был опубликован (Кирюшин и др., 2020, с. 45, рис. 16, 18.-8, 19.-7). Второй обнаружен при раскопках ограбленного кургана № 1 на некрополе Чобурак-II. Информация об этом памятнике введена в научный оборот (Тишкин и др., 2022), но материалы указанного кургана еще не изданы. Исследования представленных археологических комплексов осуществлялись в Чемальском районе Республики Алтай (Россия).

У первого горшка оказалось утрачено около 15% поверхности. Это относительно небольшой объем, несмотря на то что он представляет собой единую нарушенную область. Вероятность восстановления его реальной геометрии довольно высока. 3D-модель, которая была получена с помощью фотограмметрии, представляет собой высокополигональный объект, образующийся с помощью точек-вершин, имеющих определенные координаты в 3D-пространстве. Эти точки соединены прямыми линиями (ребрами), образующими грани треугольников. Комбинация таких треугольников формирует сам объект, состоящий из нескольких десятков или даже сотен миллионов полигонов, что обеспечивает ему высокую точность построения геометрии и высокую степень соответствия оригиналу (рис. 1).

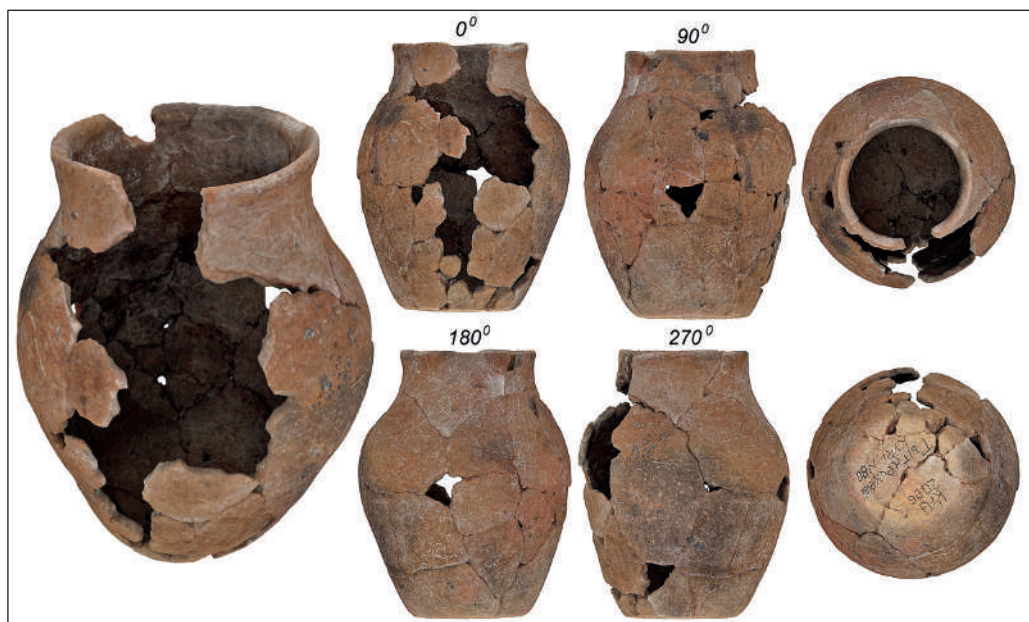


Рис. 1. Рендер исходного вид сосуда

Fig. 1. Render of the original vessel

Однако такая структура слабо поддается математическому анализу в плане описания соответствующими выражениями, что необходимо сделать, если мы хотим понять общие закономерности геометрии объекта для прогнозирования формы его недостающих частей. Поэтому при задании процесса и логики математического моделирования реставрирования гораздо удобнее использовать моделирование NURBS (неравномерный рациональный базисный сплайн), который лучше описывается математическими формализмами, обеспечивая необходимую гибкость и точность при обработке как аналитических, так и смоделированных форм. С помощью применения NURBS-поверхностей к тому же легче и менее затратно можно смоделировать высококачественную поверхность класса «А» и ускорить процесс в целом. Поэтому переведем полученную высокополигональную модель в модель, состоящую из NURBS-кривых. Данное действие похоже на плазмирование, но проведенное в виртуальном пространстве. Оно заключается в том, что объект разбивается на условные сечения, состоящие из замкнутых NURBS-кривых. Сечения проводятся в двух перпендикулярных плоскостях. Так как они имеют общие точки пересечения, потому что находятся на одной поверхности объекта, то визуально представляют собой сетку, повторяющую исходную форму.

На рисунке 2 показано, как сплайны повторяют форму сосуда. Для примера на изображениях «а» и «б» задан большой шаг между сплайнами, который позволяет визуально понять принцип построения. На самом деле шаг между сплайнами должен быть крайне мал и достигать точности первоначального построения, т.е. размера полигона,

чтобы скопировать объект максимально точно. Выбор шага и точности построения зависит от конечного необходимого результата и влияет на затраты времени при расчетах. Для первого рассматриваемого сосуда из кургана № 80 памятника Тыткескень-VI был выбран шаг в 0,5 мм. Такой выбор обоснован необходимостью «потерять» шероховатость поверхности, которая способна влиять на расчеты, усложняя их и даже делая в некоторых местах некорректными, но при этом сохраняется точная общая геометрия. На рисунке «в» представлен вид сосуда, состоящий из двух семейств NURBS-кривых с шагом 0,5 мм. Он выглядит как несколько заглаженная монолитная копия оригинала, хотя на самом деле состоит из сетки множества замкнутых сплайнов.

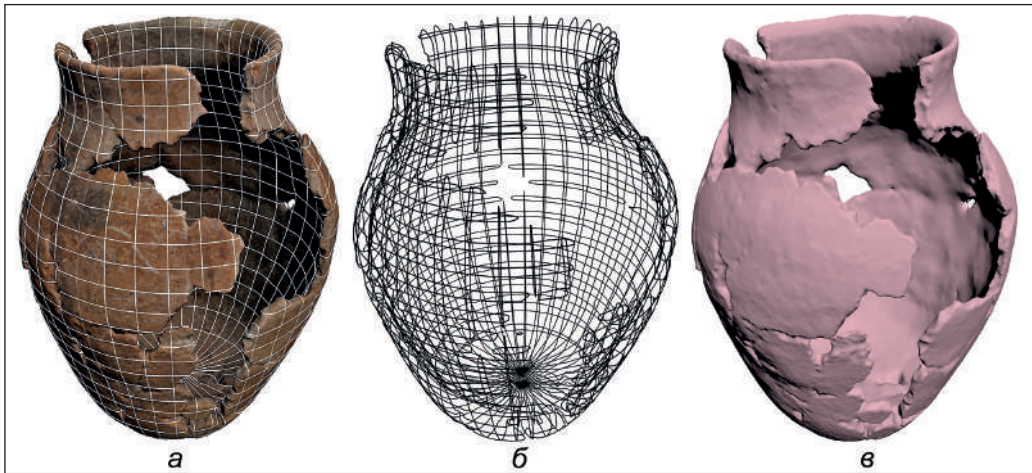


Рис. 2. Перевод полигонального объекта в семейство NURBS-кривых

Fig. 2. Converting a polygon object to a family of NURBS-curves

Теперь, когда объект переведен в более удобную для математических операций форму, необходимо поставить задачу и определить логику, согласно которой можно достроить утраченные части сосуда.

Первый шаг в разработанной нами технологии реставрации (Тишкин, Бондаренко, Му, 2021) для построения внешней поверхности сосуда заключается в вычислении радиусов в каждой точке NURBS-сплайнов, с помощью которых планируется восстановить поверхность.

Для начала необходимо провести компьютерный анализ и составить матрицу размеров и радиусов, уже существующих у данного предмета. Полученные параметры представляют собой базу данных, содержащую очень большое количество величин, но общая логика на очень небольшом числе сплайнов показана на рис. 3 и 4.

Анализ поперечных сечений (рис. 4) показывает следующее. Если вписывать все сечения в круг и проверять отклонения, то можно увидеть довольно ровную картину, а также то, что в поперечном сечении сосуд представляет собой почти правильную окружность с отклонениями, не превышающими 1,5%. Тут не учитываются недостающие зоны (как крупные, так и мелкие), которые придают поверхности шероховатость.

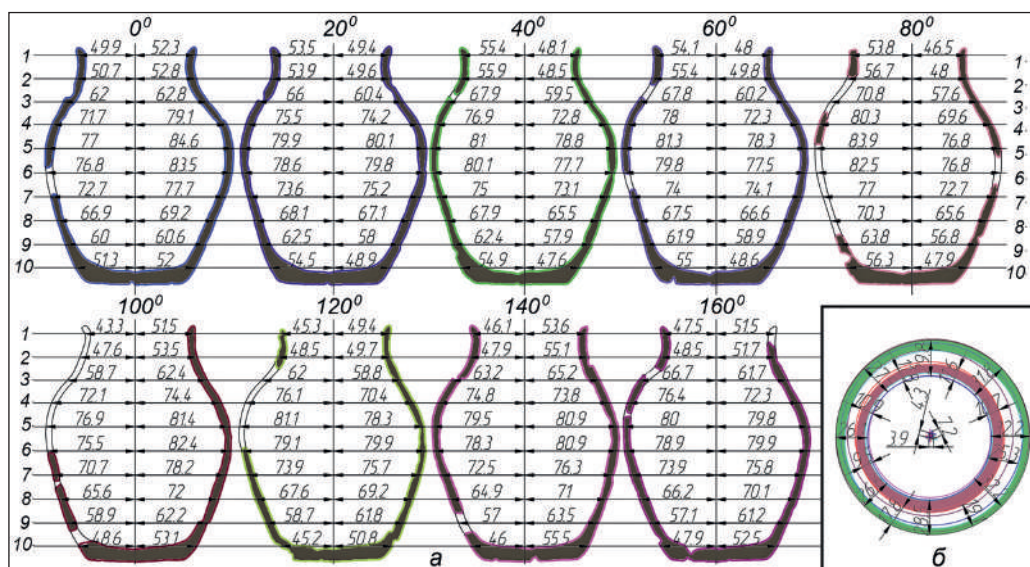


Рис. 3. Продольные сечения сосуда

Fig. 3. Longitudinal sections of the vessel

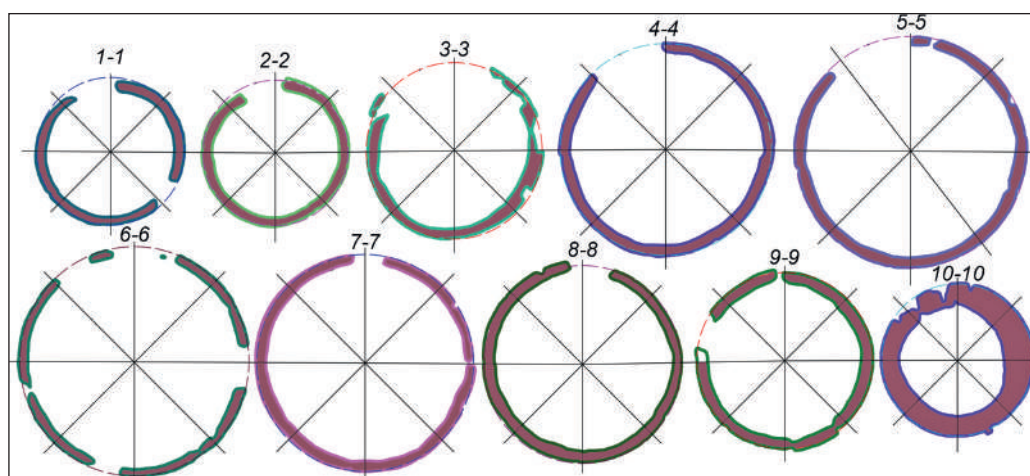


Рис. 4. Поперечные сечения сосуда

Fig. 4. Cross-sections of the vessel

Необходимо отметить, что такое небольшое отклонение во многих (но не во всех) сечениях может свидетельствовать о применении какого-то технологического приема, обеспечивающего округлую форму без существенных деформаций. Данный вывод следует из того, что величины отклонений, существующие в продольных сечениях, вдрут

резко, на порядок, падают в поперечных линиях. Хотя, очень вероятно, это является влиянием человека, склеивавшего части сосуда.

Анализ продольных сечений (рис. 3.-а) показывает, несмотря на то что поперечные сечения представляют собой почти ровные окружности, следующее: данное тело не имеет общей оси и, следовательно, не являлось телом вращения.

В ходе анализа смещения осей вращения было определено, что ось «плавает» в пределах 7,2 мм (рис. 3.-б), что довольно много для объекта такой величины и либо указывает на деформации до или в процессе обжига, либо говорит об изначальной технологии, подразумевавшей такую погрешность. Поскольку у объекта нет единой оси вращения, то за ось, указанную на рис. 3, относительно которой велись расчеты, была взята ось наименьшего момента инерции. При этом венчик сосуда, шейка, придонная часть и дно хорошо коррелируют друг с другом с небольшой погрешностью, а вот тулово сдвинуто относительно их в горизонтальной плоскости довольно сильно, при этом сохраняя свою округлую форму поперечных сечений.

Этот эффект в совокупности с формами сечений, как и полученные в результате компьютерного анализа другие данные, являются очень ценными и могут много указывать о предполагаемой технологии изготовления, но этот вопрос требует отдельного тщательного изучения.

Зафиксируем полученные результаты и, главное, рассчитанную погрешность, как жестко определенные для этого объекта и определяющие его форму. Теперь мы имеем матрицу данных, содержащую все параметры сосуда и рассчитанные функции зависимостей.

Для дальнейшей работы будем считать пределом расчетов идеальную форму, которой, вероятно, хотел достичь изготовитель, но введем в эту функцию возможность и даже обязательность дисперсии каждой координаты, т.е. меру отклонения от идеальности, фиксируемую при анализе.

Данные показывают, что, хотя сосуд и не является телом вращения, но в его форме прослеживается явная закономерность, заключающаяся в «ровных» поперечных сечениях с небольшой погрешностью 1,5% (см. рис. 4), что дает возможность их достроить, и сильно «пляшущей» оси вращения, определение границ ареала перемещения которой позволит нам ограничить оси при построении недостающих частей (см. рис. 3.-б).

Далее предполагая, что в геометрии утраченных частей полученные закономерности явно должны сохраниться, можно создать некоторую зону, в пределах которой будет находиться решение. Такая зона будет представлять собой облако точек, что необходимо для дальнейшего построения по ним сплайнов и поверхностей (Тишкин, Бондаренко, Му, 2021). Каждую точку облака необходимо классифицировать, т.е. определить, может ли эта точка принадлежать недостающей поверхности сосуда или же она находится за пределами зоны дисперсии хотя бы по одной из координат, что исключит ее из дальнейшего рассмотрения.

Классификация проводится с учетом полученной матрицы данных и использования функции стандартного отклонения, позволяющего принять решение о достоверности статистических выводов.

После определения предельно возможных ошибок можно установить доверительный интервал. Обычно ширину этого интервала задает сам исследователь, исходя из конкрет-

ных критериев для конечного результата и отклонения формы объекта от теоретически идеальной модели. При принятии решения для восстановления рассматриваемого пазырыкского сосуда ширина доверительного интервала определена в 95%, т.е. вероятность ошибки будет ограничено 5%, а с вероятностью 95% в этом интервале будет находиться реальная точка. Такой выбор был основан на более 300 осуществленных опытах, когда мы меняли ширину интервала и оценивали полученные результаты в плане их достоверности и количества. Уменьшение ширины интервала приводит к уменьшению числа конечных предлагаемых исследователю вариантов, выбор из которых он должен уже сделать вручную, но также приводит и к потере адекватных вариантов. Ситуация может сложиться так, что при уменьшении ширины до 100% вариантов не будет вообще ввиду того, что далеко не всегда можно утверждать, что эта точка абсолютно точно будет принадлежать утерянной поверхности. И наоборот, расширение интервала приведет к потере смысла проведения анализа ввиду огромного множества предлагаемых вариантов и трудоемкости определения их адекватности (Бондаренко, 2025).

Результатом проведенной классификации стала матрица координат облака точек, в пределах которой теоретически может находиться утраченная геометрия сосуда. Однако полученное облако точек не определяет поверхность однозначно, потому что через них можно провести огромное число сплайнов и сформировать множество поверхностей.

Для дальнейшего построения нужно ограничить радиусы сплайнов в каждом из сечений (как поперечных, так и продольных). Если рассмотреть эти сечения (рис. 3.-а, 4), то можно сделать вывод, что их форма может быть представлена (с какой-то погрешностью) набором дуг, имеющих определенный радиус и угол. Составив матрицу всех значений радиусов, сопоставленных с координатами тела, получаем дополнительное ограничение для построения сплайнов. Оно заключается в том, что все радиусы дуг, идущих по зоне облака точек потерянной геометрии, должны быть в интервале, который соответствует данной точке объекта. Это обеспечит построение правильной геометрии дуги на основе тех радиусов, что она содержала, и правильное примыкание к уже существующей части сосуда.

Несмотря на указанные ограничения, в одной и другой плоскостях вариантов построения будет большое число, так как через один набор точек можно провести множество кривых и величина их достоверности не будет меньше заданной. Но поскольку мы имеем два семейства взаимно ортогональных сплайнов, функции построения которых являются взаимозависимыми, то комбинаций, удовлетворяющих всем заданным допускам и интервалам, будет не так уж много и зона изменения параметров дуг будет не такой широкой. Эта зона является непрерывной, поэтому вариантов прохождения по ней сплайнов теоретически все равно много. Поэтому необходимо определить шаг, с которым могут строиться сплайны. Он задается исследователем, исходя из размеров сосуда и необходимой ему точности. В нашем случае, была задана точность построения в ± 3 мм, что позволило объединить все сплайны, находящиеся в этом интервале, в один, являющийся неким средним среди всех возможных при построении. Такая точность вполне устраивала. При выборе мы исходили из следующего: так как минимальная вероятность, что точка действительно принадлежала утерянной поверхности, принята нами в 95%, то это изначально ограничивает точность построения, а брать меньший интервал математиче-

ски не обоснованно, он не обеспечит большей точности. К тому же для изделия такого класса правильности геометрии трудно обеспечить более точное решение.

В итоге получилось 18 вариантов реставрации утраченных частей сосуда. Все они имеют одинаковую степень достоверности, но это уже небольшое число. Выбор одного или нескольких осуществляется в ручном режиме самим исследователем, исходя из его личных критериев и опыта. Надо отметить, что, несмотря на такое число вариантов, разница между ними была относительно невелика и не превышала в максимуме расхождений 5,2 мм, что совсем несущественно для визуализации, но будет играть роль при глубоком изучении возможных физических свойств и параметров сосуда.

Надо отметить, что компьютер «мыслит», конечно, математическими формализмами в рамках обозначенного алгоритма и данных ограничений и он не может заметить человека в области нечеткой логики, но способен сильно облегчить ему задачу, дав на рассмотрение разные возможные варианты.

Полученные утраченные части геометрии, хотя и выглядят в итоге как поверхность, однако являются большим количеством NURBS-кривых, которые для последующего изучения уже реставрированного сосуда лучше перевести в поверхность. На основе существующих сплайнов ее вполне можно смоделировать с предельным размером ячейки, близкой к наружности, полученной фотограмметрией и являющейся базовой в исходном объекте.

Для обеспечения визуальной целостности поверхность текстурировалась вручную с помощью технологии построения на основе соседних пикселей. Эта технология появилась несколько лет назад во многих графических редакторах и позволяет создавать новые текстуры на основе заданных (рис. 5). Итоговая текстура по сути представляет собой набор графических данных, являющихся некоей средней величиной от введенных. Для исследований сосуда текстура не является источником информации и не имеет ценности, однако для корректного визуального представления целостной картины исследователем она необходима.

Теперь аналогичным образом рассмотрим второй сосуд пазырыкской культуры из кургана № 1 памятника Чобурак-II. Процент утраты у него тоже относительно невелик, и восстановить его также можно с большой долей вероятности (рис. 6). Общий анализ сосуда свидетельствует о том, что он имеет нерегулярную геометрию с одинаковыми погрешностями, существующими во всем объеме равномерно и хорошо отражающими степень технологии его изготовления. Это привело бы к резкому уменьшению погрешности в зоне ее применения, чего здесь явно не просматривается. На рис. 7 можно увидеть, что, в отличие от предыдущего сосуда, у этого некоторые поперечные сечения условно можно считать окружностями с погрешностью в 2,3%, но в некоторых из них явно выражена эллипсоидность, замятие края и прочие отклонения. При этом условная ось вращения тоже нестабильна и колеблется в пределах 5,6 мм. К тому же виден сдвиг тулова (см. рис. 6) по одной горизонтальной оси. Одним из выводов возникновения такой ситуации может служить то, что сосуд склеен из большого числа деталей и в ходе данного процесса были допущены отклонения и погрешности. К сожалению, учитывать этот факт при анализе мы не можем из-за появления еще одной степени свободы в вычислениях — определение существования возможности более «ровной» склейки.

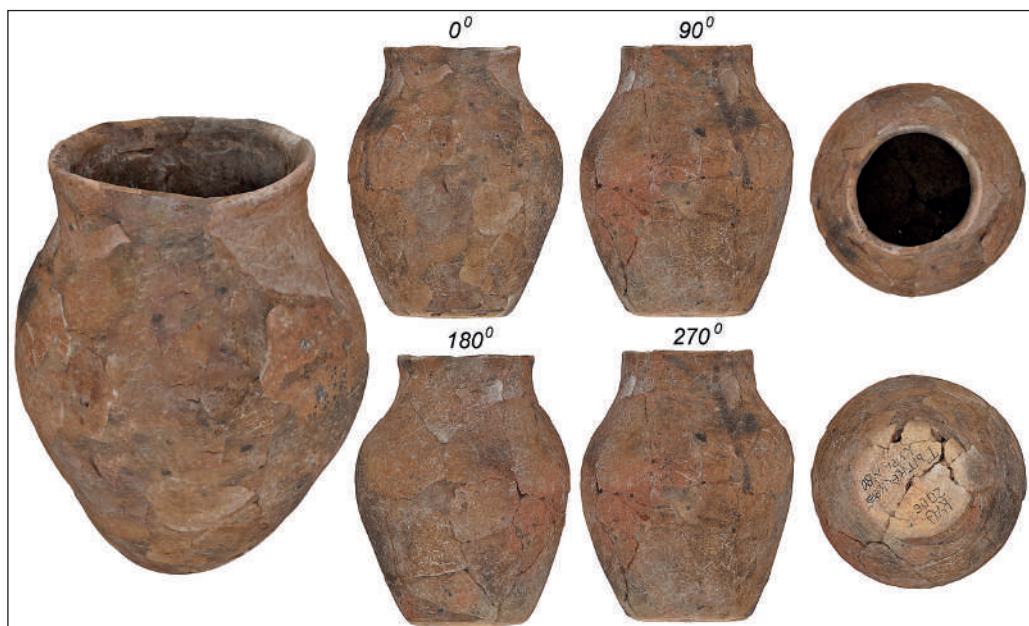


Рис. 5. Рендер отреставрированного сосуда

Fig. 5. Render of the restored vessel

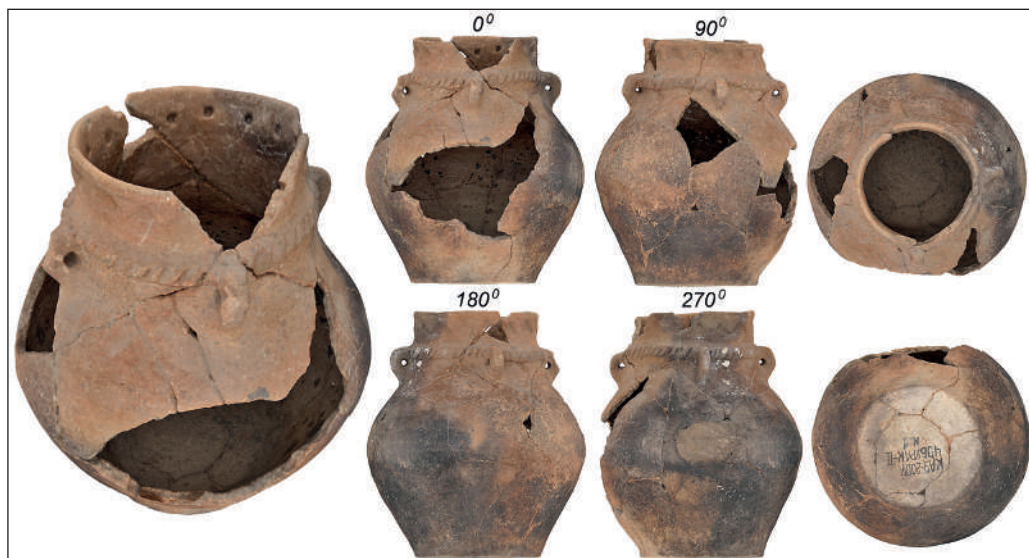


Рис. 6. Рендер исходного вид сосуда

Fig. 6. Render of the original vessel

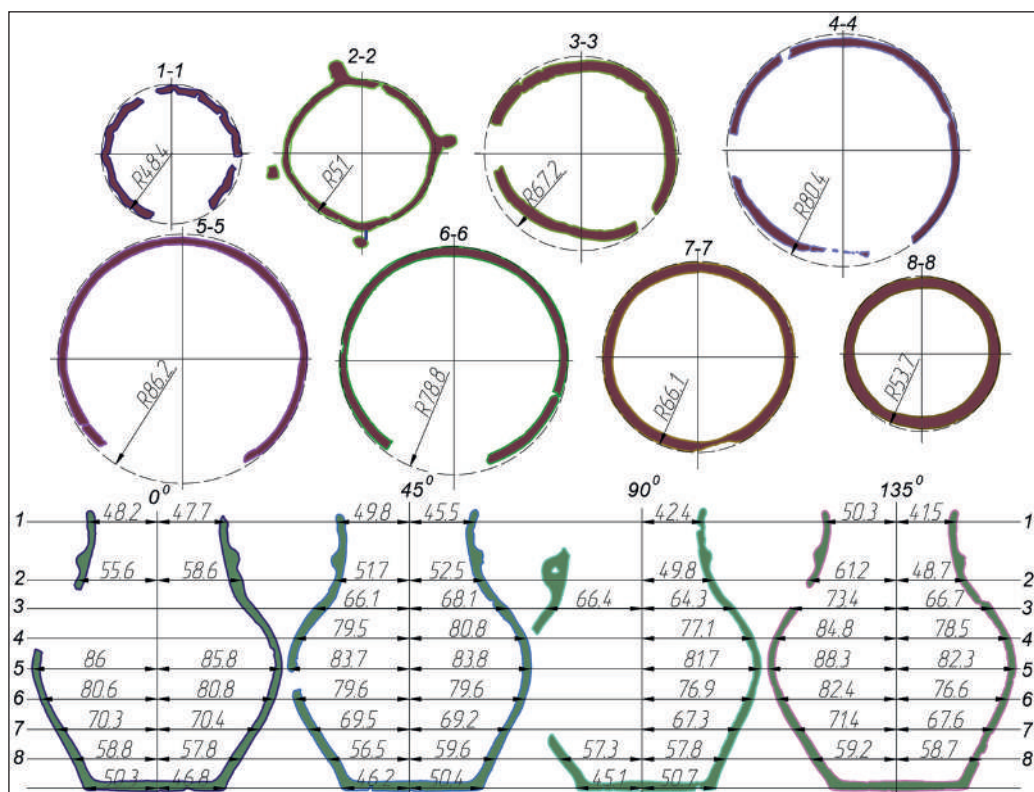


Рис. 7. Поперечные и продольные сечения сосуда

Fig. 7. Cross-sectional and longitudinal views of the vessel

В итоге можно рассматривать этот объект только как нерегулярную фигуру, однако с хорошо определяемыми параметрами кривизны без неожиданных переломов. Это позволило предположить, что процесс реставрации возможен с допустимыми погрешностями.

Используя логику и ограничения, описанные выше для предыдущего сосуда, мы провели реставрацию сосуда, получив 26 вариантов реставрации. Однако надо заметить, что они отличались несущественно и в основном были связаны с нерегулярностью геометрии. Дело в том, что предсказать «волнистость» поверхности точно с определением длины волн и амплитуды — задача нерешаемая, но при задании погрешности в ± 3 мм варианты практически сливаются в один с небольшой разницей, которая не влияет на визуальное представление.

Верх сосуда содержит лепные элементы, которые, к сожалению, не поддаются математической логике и восстановить их геометрию можно лишь весьма условно, основываясь на похожести относительно существующих элементов. Для компьютерного программирования это сложный процесс, поэтому была восстановлена основная геометрия венчика, а лепнина в виде рассеченного валика и ушек добавлена уже потом, как декоративный и невычислимый элемент.

После реставрации полученная поверхность также текстурировалась. На рис. 8 видна реставрированная форма и перепады текстур на местах утраченной геометрии.

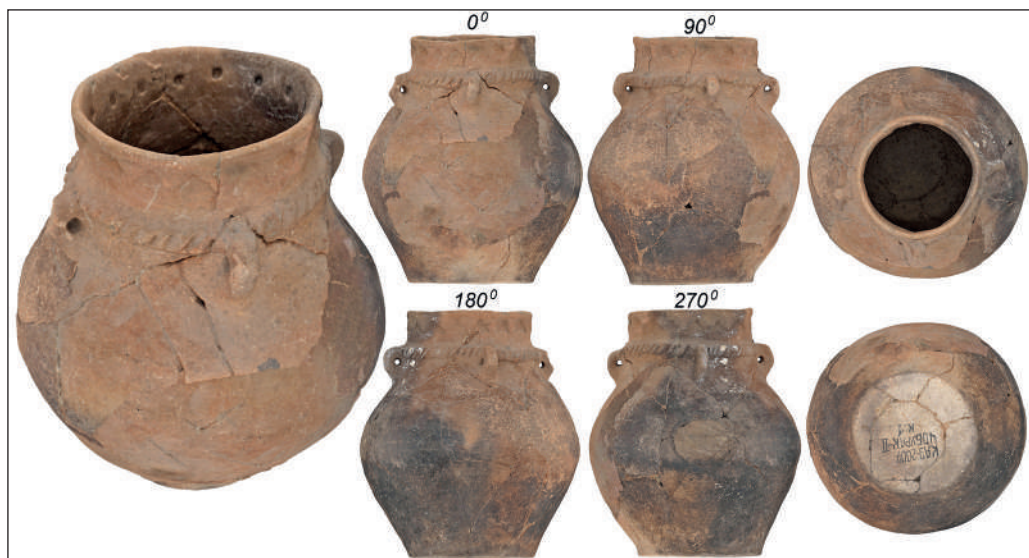


Рис. 8. Рендер отреставрированного сосуда

Fig. 8. Render of the restored vessel

Заклучение

Компьютерная реставрация — довольно трудоемкий и еще несовершенный процесс, выдающий пока предварительные данные и требующий от исследователя соответствующих компетенций в области компьютерных технологий, и, конечно, он не способен заменить человека. И надо понимать, что невозможно провести релевантную реконструкцию сосуда, дающую результат высокой степени достоверности, если не выполнен ряд условий, заключающихся в обязательном наличии у образца множества определяемых геометрических параметров, которые входят в формулы вычислений.

Однако это неплохой инструмент для исследователя. Он позволяет оценить достоверность полученного результата, сразу увидеть ошибки, проверить свои гипотезы, поработать с размерами и свойствами объекта, сделать сечения, определить возможные допуски, плоскости симметрии, организовать совместную работу в онлайн-режиме и т.п. Конечно, важным итогом является возможность, позволяющая посмотреть и дать оценку вариантам восстановленной геометрии объекта. Технология, продемонстрированная в данной статье, отражает лишь часть возможностей при работе с керамическими сосудами. Еще один из разработанных подходов был представлен в ранее вышедшей публикации (Тишкин и др., 2022). Также результаты работы с более сильными утратами у керамического сосуда продемонстрированы в другой статье на английском языке (Bondarenko, 2023). С русскоязычной версией подробно изложенной технологии и с видеодемонстрацией можно познакомиться на сайте проекта (<http://nomads-asia.ru/restoration>), финансируемого РФФ.

Представленные разработки демонстрируют возможности и положительный опыт применения фотограмметрии для дальнейшей исследовательской деятельности. В процессе такой работы можно выявить и документально фиксировать некоторые геометрические особенности изготовления керамического сосуда, а реконструкция полной формы создает возможности для реализации других специальных программ (Холошин, Му, 2022).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бондаренко С.Ю. Возможности математического компьютерного моделирования для реставрации и презентации сосудов // Теоретическая археология и археологическая теория сегодня: новые парадигмы, концепции, методы. М. : Институт археологии РАН, 2025. С. 17–18.

Кiryushin Ю.Ф., Tishkin А.А., Matrenin С.С., Kungurov А.Л., Semibratov В.П. Тыткенский археологический микрорайон Северного Алтая: культурно-хронологические комплексы поздней древности и раннего Средневековья. Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2020. 296 с. (Археологические памятники Алтая. Вып. 4).

Tishkin А.А., Bondarenko С.Ю., Dashkovskiy 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)

Tishkin А.А., Bondarenko С.Ю., Му Ц. Возможности компьютерной реконструкции разбитого керамического сосуда // Виртуальная археология. Раскрывая прошлое, обогащая настоящее и формируя будущее: электронное издание. Красноярск : СФУ; ГЭ, 2021. С. 54–61.

Холошин П.Р., Му Ц. Формы глиняных сосудов из погребений пазырыкской культуры на Нижней Катуни с позиций историко-культурного подхода // Краткие сообщения Института археологии. 2022. Вып. 268. С. 162–173. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.268.162-173>

Bondarenko S.Yu. Technology of Computer Reconstruction of Archaeological Finds, Similar to Objects of Rotation (on the Example of a Ceramic Vessel) // Theory and Practice of Archaeological Research. 2023. Vol. 35, No. 3. Pp. 9–22. (In English). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2023\)35\(3\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2023)35(3).-01)

REFERENCES

Bondarenko S.Yu. Possibilities of Mathematical Computer Modeling for the Restoration and Presentation of Vessels. In: Theoretical Archaeology and Archaeological Theory Today: New Paradigms, Concepts, Methods. Moscow : Institut arheologii RAN, 2025. P. 17–18. (In Russ.)

Kiryushin Yu.F., Tishkin A.A., Matrenin S.S., Kungurov A.L., Semibratov V.P. The Tytkesken Archaeological Microregion of Northern Altai: Cultural-Chronological Complexes of Late

Antiquity and Early Middle Ages. Barnaul : Izd-vo Alt. un-ta, 2020. 296 p. (Archaeological Sites of Altai. Issue 4). (*In Russ.*)

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 issledovaniy = 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)

Tishkin A.A., Bondarenko S.Yu., Mu J. Possibilities of Computer Reconstruction of a Broken Ceramic Vessel. In: Virtual Archaeology. Revealing the Past, Enriching the Present, and Shaping the Future: electronic edition. Krasnoyarsk : SFU; GE, 2021. P. 54–61. (*In Russ.*)

Kholoshin P.R., Mu J. Forms of Clay Vessels from Pazyryk Culture Burials in the Lower Katun Region from the Perspective of a Historical-Cultural Approach. *Kratkie soobshcheniya Instituta arheologii = Short Communications of the Institute of Archaeology*. 2022;268:162–173. <https://doi.org/10.25681/IARAS.0130-2620.268.162-173>

Bondarenko S.Yu. Technology of Computer Reconstruction of Archaeological Finds, Similar to Objects of Rotation (on the Example of a Ceramic Vessel). *Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovaniy = Theory and Practice of Archaeological Research*. 2023;35(3):9–22. (*In English*). [https://doi.org/10.14258/tpai\(2023\)35\(3\).-01](https://doi.org/10.14258/tpai(2023)35(3).-01)

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Бондаренко С.Ю.: описание и анализ материалов, формирование основного текста, подготовка иллюстраций, редактирование рукописи.

S.Yu. Bondarenko: description and analysis of materials, main text formation, preparing illustrations, editing the manuscript.

Тишкин А.А.: идея публикации, подготовка текста и оформление статьи, обсуждение результатов, редактирование рукописи.

A.A. Tishkin: idea of publication, preparation text and design of the article, discussion of results, editing the manuscript.

Конфликт интересов отсутствует / There is no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бондаренко Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Отдела сопровождения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) Алтайского государственного университета, Барнаул, Россия.

Sergey Yu. Bondarenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher Department of Support of Research and Development Work, Altai State University, Barnaul, Russia.

Тишкин Алексей Алексеевич, доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедрой археологии, этнографии и музеологии, главный научный сотрудник Отдела сопровождения НИОКР Алтайского государственного университета; Барнаул, Россия.

Alexey A. Tishkin, Doctor of History, Professor, Head of Department of Archaeology, Ethnography and Museology, **Principal Researcher** Department of Support of Research and Development Work, Altai State University, Barnaul, Russia.

*Статья поступила в редакцию 04.09.2025;
одобрена после рецензирования 28.11.2025;
принята к публикации 08.12.2025.
The article was submitted 04.09.2025;
approved after reviewing 28.11.2025;
accepted for publication 08.12.2025.*