УДК 902.4
DOI 10.25205/1818-7919-2021-20-7-48-61

Обработка трехмерных моделей археологических артефактов

П. В. Чистяков, Е. Н. Бочарова, К. А. Колобова

*Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

В предлагаемой статье подробно рассматривается процесс сканирования, постобработки и дальнейших манипуляций с трехмерными моделями, полученными при помощи сканеров структурированного подсвета. Авторами описан алгоритм создания моделей, их позиционирования, упрощения, сохранения в различных форматах и экспорта. Основная последовательность постобработки 3D-моделей включает: обработку групп отсканированных проекций (их чистка и совмещение), создание модели артефакта и обработка / исправление полученных материалов в специальных программах. В результате работы по алгоритму исследователь получает масштабированную модель артефакта, полностью соответствующую оригиналу. Дополнительно освещены возможности последующих исследовательских процедур. Данный алгоритм является универсальным и может быть применен практически к любому сканеру структурированного подсвета и к любым археологическим и этнографическим артефактам.

Ключевые слова

трехмерное моделирование, 3D-модели, алгоритм, археология

Благодарности

Статья подготовлена в рамках проекта НИР № 0264-2019-0009 «Цифровые технологии в реконструкции стратегий жизнеобеспечения древнего населения Евразии»

Для цитирования

Чистяков П. В., Бочарова Е. Н., Колобова К. А. Обработка трехмерных моделей археологических артефактов // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2021. Т. 20, № 7: Археология и этнография. С. 48–61. DOI 10.25205/1818-7919-2021-20-7-48-61

Processing Three-Dimensional Models of Archaeological Artifacts

P. V. Chistyakov, E. N. Bocharova, K. A. Kolobova

*Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

This article provides a detailed account of the process of scanning, post-processing and further manipulation of three-dimensional models obtained with structured light scanners.

Purpose. The purpose of the study is determined by the need for national archaeologists to learn the methods of three-dimensional modeling for the implementation of scientific research corresponding to international standards. Unfortunately, this direction in national archaeology began to develop in a relatively recent time and there is a lag in the application of three-dimensional modeling of national archaeology compared to the world level.

Results. Any archaeological, experimental or ethnographic artifact can be used for three-dimensional scanning. To perform post-processing of three-dimensional models it is necessary to carry out primary scanning of an artifact by one of the existing algorithms. The algorithm for creating models, their positioning, simplification, saving in various formats and export is described. The main sequence of 3D models post-processing includes: processing of groups of scanned projections (their cleaning and alignment), creation of artifact model and processing/rectification of the resulting model using special software.

© П. В. Чистяков, Е. Н. Бочарова, К. А. Колобова, 2021

ISSN 1818-7919

Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2021. Т. 20, № 7: Археология и этнография
Vestnik NSU. Series: History and Philology, 2021, vol. 20, no. 7: Archaeology and Ethnography

Conclusion. As a result of correct implementation of the algorithm, the researcher receives a scaled model completely corresponding to the original artifact. Obtaining a scalable, texture-free three-dimensional model of the artifact, which fully corresponds to the original and exceeds a photograph in the quality of detail transfer, allows a scientist to conduct precise metric measurements and any procedures of non-invasive manipulation of the models. The ability to access a database of three-dimensional models of archaeological collections greatly simplifies the work of archaeologists, especially in situations when country borders are closed.

Keywords

three-dimensional modeling, 3D models, algorithm, archaeology

Acknowledgments

This study was performed as part of R&D Project No. 0264-2019-0009 “Digital Technologies in Reconstruction of Subsistence Strategies of the Ancient Eurasian Population”

For citation

Chistyakov P. V., Bocharova E. N., Kolobova K. A. Processing Three-Dimensional Models of Archaeological Artifacts. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*, 2021, vol. 20, no. 7: Archaeology and Ethnography, p. 48–61. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7919-2021-20-7-48-61

Введение

Активное развитие методов трехмерного моделирования в археологии в последние годы не только сделало возможным и доступным для широкого круга ученых проведение простых исследовательских операций (высокоточные измерения, создание поперечных и продольных сечений артефактов, измерение центра гравитации и центра симметрии [Grosman et al., 2008; 2014; Archer et al., 2018; Шалагина и др., 2020; Колобова и др., 2021]), но и ввело в обиход археологических исследований принципиально новые методы. Эти подходы позволяют определять профиль сосуда по его фрагменту; измерять средний угол на определенном участке каменного орудия; определять интенсивность ретуши; предсказывать размер скола, основываясь на морфометрии остаточной ударной площадки [Karasik, Smilansky, 2008; Harush et al., 2019; Morales et al., 2015; Archer et al., 2018; 2021; Valletta et al., 2020].

Следует отметить, что специалисты в области этнографии также начинают широко применять исследовательский потенциал трехмерного моделирования [Arnold, Kaminsky, 2014; Magnani et al., 2018; Harush et al., 2020].

Актуальность исследования определяется необходимостью освоения отечественными специалистами-археологами методов трехмерного моделирования для осуществления научных исследований, соответствующих мировому уровню. К сожалению, это направление в отечественной археологии начало развиваться в относительно недавнее время, и наблюдается отставание отечественной археологии в применении трехмерного моделирования от мирового уровня [Зайцева, 2014; Abouaf, 1999; Beraldin et al., 1999; Bruno et al., 2010; Kovarovic et al., 2011; De Reu et al., 2014; Li et al., 2021], поэтому целью данной работы является ознакомление широкого круга студентов гуманитарных дисциплин и уже состоявшихся исследователей с практическим алгоритмом обработки трехмерных моделей. Без осуществления качественной подготовки трехмерных моделей невозможны ни публикация результатов научных исследований в высокорейтинговых рецензируемых изданиях, ни исследовательские процедуры, связанные с извлечением научных данных.

Методики трехмерного моделирования археологических артефактов методами фотограмметрии с протоколами масштабирования [Porter et al., 2016; Artiaza et al., 2017] и сканирования при помощи сканеров структурированного подсвета [Чистяков и др., 2019; Kolobova et al., 2019] уже достаточно широко известны. При этом этапы постобработки трехмерных моделей не нашли освещения в научной литературе.

В предлагаемой работе определяются ключевые этапы постобработки и экспорта готовых трехмерных моделей археологических и этнографических артефактов на примере двухсторонне обработанного орудия из среднепалеолитического комплекса Чагырской пещеры. Реализация этапов постобработки и экспорта моделей описывается на примере использования нескольких программных продуктов, наиболее доступных исследователям. В статье описан

процесс создания безтекстурных моделей, поскольку в силу отсутствия цвета они приближаются по содержанию к профессиональному графическому изображению и традиционно используются для научных исследований [Bretzke, Conard, 2012].

Материалы и методы исследования

В качестве предмета трехмерного сканирования может выступать любой археологический, экспериментальный или этнографический артефакт. Для выполнения постобработки трехмерных моделей необходимо осуществить первичное сканирование артефакта по одному из существующих алгоритмов [Чистяков и др., 2019]. Постобработка трехмерных моделей демонстрируется на примере программы ScanCenter NG, являющейся базовым программным продуктом сканеров Range Vision Spectrum отечественного производства.

Обработка отсканированных проекций артефактов и экспорт трехмерной модели Построение трехмерной модели

При корректном сканировании, исследователь получает группы отсканированных проекций или отдельные отсканированные проекции, которые не совмещены между собой, например верхняя и нижняя части артефакта. На отсканированных проекциях остаются части поворотного стола и подложки, закрепляющей объект на поворотном столе. Для того чтобы отредактировать полученные данные в программе ScanCenter NG и затем получить модель артефакта, необходимо перейти во вкладку «Обработка» (рис. 1, 1) или в меню «Перейти в режим редактора» (рис. 1, 2). В правом верхнем углу отображается панель для выравнивания объекта по плоскости (рис. 1, 3), в правом нижнем – панель инструментов для выделения областей на отсканированных проекциях (рис. 1, 5). В левом нижнем углу экрана выводятся полученные отсканированные проекции или группы проекций (рис. 1, 4). Нужно выбрать одну из групп и подходящий инструмент и при нажатии на клавишу CTRL на клавиатуре выделить ненужные области на объекте и нажать клавишу DELETE. Это позволяет удалить выделенные объекты (рис. 1, 6). Таким же образом нужно выделить и удалить ненужные области с каждой следующей группы.

Рис. 1. Последовательность шагов в меню «Обработка»:

1 – вкладка «Обработка»; 2 – меню «Перейти в режим редактора»; 3 – панель для выравнивания объекта по плоскости; 4 – информация об отсканированных проекциях или группах проекций; 5 – панель инструментов; 6 – процесс удаления «ненужных» областей (без масштаба)

Fig. 1. Sequence of steps in the “Processing” menu:

1 – “Processing” tab; 2 – “Switch to editor mode” menu; 3 – panel for aligning the object on the plane; 4 – information about scanned projections or groups of projections; 5 – toolbar; 6 – the process of removing “unnecessary” areas (no scale)

После того как все ненужные области будут устранены (рис. 2, 1), необходимо объединить группы проекций. В левом верхнем углу необходимо перейти во вкладку «Совмещение» (рис. 2, 2), выбрать все интересующие для совмещения группы и нажать кнопку «Совместить группы». После завершения процесса совмещения использовать кнопку «Финальное совмещение». Это действие позволяет наиболее плотно совместить полученные и очищенные от ненужных артефактов проекции, а также определить их среднее отклонение (рис. 2, 3). Отклонение групп отсканированных проекций друг от друга зависит от размера артефакта и не должно превышать точность калибровки. Авторы рекомендуют работать с разрешением меньше 0,1. Но следует учитывать, что чем меньше объект, тем меньше отклонение. В случае если погрешность больше, необходимо повторить совмещение или, возможно, сканирование. Алгоритм исправления ошибок сканирования был описан ранее [Чистяков и др., 2019]. Если отклонение оптимально, необходимо перейти к построению модели – создать трехмерную модель артефакта из полученного набора отсканированных проекций.

Рис. 2. Объединение группы проекций:

- 1 – вид на необъединенные проекции; 2 – меню вкладки «Совмещение»;
3 – определение среднее отклонение проекций (без масштаба)

Fig. 2. Combining a group of projections:

- 1 – a view of non-merged projections; 2 – menu of the “Combination” tab;
3 – determination of the average deviation of projections (no scale)

В верхнем левом углу интерфейса программы необходимо перейти во вкладку «Модель» (рис. 3). Метод построения и детализация имеют на выбор два параметра, но для стандартных задач рекомендуется использовать все по умолчанию (Метод построения – Классический, Детализация модели – Уровень). Уровень детализации устанавливается в зависимости от задачи. Например, если необходим общий контур и модель не имеет сложной геометрии формы, можно указать низкий; если необходим высокий уровень детализации, соответственно нужно выбрать высокий. Необходимо помнить, что установка максимального уровня детализации может привести к избыточному количеству полигонов и при этом не добавлять каких-либо мелких деталей. Таким образом, модель будет занимать больший объем памяти, но не иметь отличий от модели с меньшим количеством полигонов. Далее, нажать кнопку «Строить модель». После завершения операции получается трехмерная модель, пример которой приведен на рис. 3. Построение модели, полученной при сканировании без поворотного стола, делается аналогичным образом, кроме шагов «Совмещение» и «Финальное совмещение».

В некоторых случаях необходимо выровнять модель относительно системы координат, для этого переходим во вкладку «Обработка», в которой мы имеем возможность уменьшать количество полигонов у модели, масштабировать, обрезать и выравнивать модель (рис. 4). Для того чтобы выровнять модель на плоскости, в меню «Отсечение и выравнивание» при

нажатой кнопке ALT нужно выбрать плоскость, по которой будет происходить выравнивание. Для этого необходимо отметить три точки, после чего использовать кнопку «Выровнять модель».

Рис. 3. Меню вкладки «Модель» (без масштаба)

Fig. 3. Menu of the “Model” tab (no scale)

Рис. 4. Меню вкладок «Обработка» и «Отсечение и выравнивание» (без масштаба)

Fig. 4. Menu of the “Processing” and “Clipping and alignment” tabs (no scale)

Экспорт модели

Для экспорта модели необходимо перейти во вкладку «Экспорт» (рис. 5), ввести имя файла в поле «Имя», выбрать папку, в которую будет экспортироваться модель, выбрать необходимый формат и нажать кнопку «Экспортировать».

Рис. 5. Меню вкладки «Экспорт» (без масштаба)

Fig. 5. Menu of the “Export” tab (no scale)

Форматы экспортируемых файлов имеют следующие характеристики.

.stl – формат файла, широко применяемый для хранения трехмерных моделей объектов для использования в аддитивных технологиях. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей. STL-файл может быть текстовым (ASCII) или двоичным. Двоичный STL-файл занимает меньше места на диске.

.obj – формат данных, который содержит только 3D-геометрию, а именно позицию каждой вершины, связь координат текстуры с вершиной, нормаль для каждой вершины, а также параметры, которые создают полигоны. Есть возможность сохранить объект с текстурой.

.ply – формат файлов описания геометрии. Был разработан, главным образом, для хранения трехмерных данных 3D-сканеров. Существует две версии формата PLY: ASCII и в виде бинарного файла.

.asc – зашифрованный файл в текстовом формате. Содержит закодированную с помощью ключа версию исходного файла в виде символов ASCII.

.rv3d – бинарный формат, который ускоряет загрузку и сохранение сканов и моделей. Используется в ПО RangeVision ScanCenter.

.ptx – формат хранения данных облака точек.

.wrl – файл трехмерного векторного изображения, включает данные о координатах начальной точки обзора, координатах вершин и граней, цветах поверхности, прозрачности, текстурах и т. д.

Следует помнить, что после выравнивания модели необходимо повторить экспорт.

Приведенная методика сканирования и постобработки может использоваться при работе со сканерами структурированного подсвета других марок, так как они используют однотипный алгоритм сканирования, а также при работе с любыми артефактами.

Обработка полученной модели

После создания модели на ней могут остаться невидимые объекты («погрешности») и «отверстия», которые появляются из-за небольших погрешностей сканирования. Для того чтобы избавиться от погрешностей, можно воспользоваться специальным программным обеспечением, позволяющим проводить манипуляции с трехмерными моделями (например, Geomagic Wrap, Geomagic Design X, MeshLab, Autodesk NetFabb и др.). Для иллюстрации процесса обработки готовой 3D-модели в данной статье используется программа Geomagic Wrap (trial version).

Перед началом работы с моделью, после ее загрузки, в программе необходимо воспользоваться функцией «Доктор каркаса» для правки мелких погрешностей. Программа предлагает это сделать автоматически, основываясь на интерполяции координат крайних точек области. После нажатия кнопки «Да» появляется окно, в котором отображаются все найденные ошибки и мелкие погрешности на модели (рис. 6, 1): зеленым цветом помечены дыры в непросканированных областях объекта, красным – мелкие погрешности сканирования или создания модели. При нажатии «Применить» программа самостоятельно обработает и уберет эти ошибки, т. е. восстановит исходную поверхность (рис. 6, 2). Однако, несмотря на применение данной функции, в модели могут оставаться незакрытые области (рис. 7, 1). Для исправления этой ошибки нужно выбрать вкладку «Полигоны» (в верхней части командной панели), далее выбрать секцию «Заполнение пустот». В этой секции применить «Заполнить единично», что позволяет заполнять пустоты вручную, или «Заполнить всё»: программа выберет найденные ею пустоты, отметит их и после выбора кнопки «Применить» заполнит их (рис. 7, 2).

Рис. 6. Меню программы Geomagic Wrap (trial version):

- 1 – модель бифаса до применения функции «Устранение неполадок каркаса»;
2 – результат применения функции «Устранение неполадок каркаса» (без масштаба)

Fig. 6. Geomagic Wrap program menu (trial version):

- 1 – biface model before using the “Eliminate frame problems” function;
2 – Result after applying “Wireframe Troubleshooter” (no scale)

Рис. 7. Исправление погрешности модели с помощью вкладки «Полигоны»:
1 – модель бифаса с незакрытыми областями;

2 – последовательность шагов в секции «Заполнение пустот» (без масштаба)

Fig. 7. Correction of the model error using the “Polygons” tab:

1 – biface model with uncovered areas;

2 – sequence of steps in the “Filling voids” section (no scale)

Рис. 8. Финальное устранение пустот:

1 – вкладка «Устранение неполадок каркаса»; 2 – готовая модель бифаса (без масштаба)

Fig. 8. Final elimination of voids:

1 – “Troubleshooting the frame” tab; 2 – finished biface model (no scale)

При заполнении пустот, особенно крупных, могут появляться мелкие погрешности, которые необходимо удалить. Для этого в этой же вкладке нужно нажать кнопку «Устранение неполадок каркаса» и «Применить» (рис. 8, 1). В результате получается готовая модель для сохранения в необходимом исследователю формате (рис. 8, 2). Функционал программы Geomagic Wrap позволяет также проводить измерения и анализ. Например, во вкладке «Анализ» представлены следующие операции: измерение размеров, расчет объема и центра масс (гравитации) модели.

Заключение

В результате корректно проведенного сканирования, правильно построенной модели и ее дальнейшей постобработки перед исследователем открывается значительное количество новых методов изучения артефактов, которые ранее были недоступны при работе с физическим объектом. Получение масштабируемой, бестекстурной трехмерной модели предмета, полностью соответствующей оригиналу и по качеству передачи деталей превосходящей фотоизображение, позволяет проводить абсолютно точные метрические измерения и любые процедуры неинвазивного манипулирования. Возможность обращаться к базе данных трехмерных копий археологических коллекций значительно упрощает работу археологов, особенно в ситуации закрытия государственных границ. Необязательным становится личное присутствие исследователя в хранилище с артефактами.

Процесс постобработки трехмерных проекций является необходимым условием получения качественных моделей. Авторы подчеркивают необходимость применения специального программного обеспечения типа Geomagic Wrap для исправления ошибок каркаса и построения закрытой модели, поскольку часто программы, поставляемые со сканерами структурированного подсвета, не обеспечивают необходимого для археологических исследований качества. Только закрытая модель позволяет проводить с ней дальнейшие манипуляции для получения новой информации.

Также необходимо отметить, что пользователи, имеющие опыт работы с любыми графическими редакторами, могут достаточно быстро освоить представленный в статье алгоритм обработки.

Наиболее широко используемой возможностью трехмерного моделирования является относительно быстрое создание иллюстраций археологических артефактов с текстурой и без нее [Вавулин и др., 2014; 2015; Вавулин, 2016]. Это обусловлено тем, что, в отличие от профессиональных художников, оператору трехмерного сканера не требуются специальное образование или специальные навыки. Отдельным направлением является применение трехмерных моделей для осуществления анализа последовательности сколов и ремонта [Зоткина и др., 2018; Шалагина и др., 2020].

Тем не менее, переход в отечественных научных исследованиях от использования трехмерных моделей в качестве иллюстраций к применению моделей в качестве источника научных данных практически невозможен без массового внедрения трехмерного сканирования в рутину отечественных археологических исследований.

Список литературы

- Вавулин М. В.** Технологии трехмерной оцифровки крупных автономных археологических объектов // Вестник ТГУ. 2016. № 407. С. 55–60. DOI 10.17223/15617793/407/9
- Вавулин М. В., Зайцева О. В., Пушкарев А. А.** Методика и практика 3D сканирования разнотипных археологических артефактов // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 21–37.
- Вавулин М. В., Зайцева О. В., Пушкарев А. А.** Трехмерное сканирование и моделирование корабельных деталей коча // Виртуальная археология (эффективность методов): Материалы II Междунар. конф. СПб: Изд-во ГЭ, 2015. С. 234–239.
- Зайцева О. В.** «3D революция» в археологической фиксации в российской перспективе // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 10–20.
- Зоткина Л. В., Ковалев В. С., Шалагина А. В.** Возможности и перспективы применения трехмерной визуализации как инструмента анализа в археологии // Научная визуализация. 2018. Т. 10, № 4. С. 172–190.
- Колобова К. А., Зоткина Л. В., Маркин С. В., Васильев С. К., Чистяков П. В., Бочарова Е. Н., Харевич А. В.** Комплексное изучение персонального украшения из резца сурка

- в раннеголоценовом комплексе пещеры Каминная (Российский Алтай) // *Stratum plus: Археология и культурная антропология*. 2021. № 1. С. 319–335.
- Шалагина А. В., Харевич В. М., Мори С., Боманн М., Кривошапкин А. И., Колобова К. А.** Реконструкция технологических цепочек производства бифасиальных орудий в индустрии Чагырской пещеры // *Сибирские исторические исследования*. 2020. № 3. С. 130–151. DOI 10.17223/2312461X/29/9
- Чистяков П. В., Ковалев В. С., Колобова К. А., Шалагина А. В., Кривошапкин А. И.** 3D моделирование археологических артефактов при помощи сканеров структурированного подсвета // *Теория и практика археологических исследований*. 2019. № 3 (27). С. 102–112. DOI 10.14258/tpai(2019)3(27).-07
- Abouaf J.** The Florentine Pietà: Can Visualization Solve the 450-Year-Old Mystery? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1999, vol. 19 (1), p. 6–10. DOI 10.1109/38.736462
- Archer W., Djakovich I., Brenet M., Bourguignon L., Presnyakova D., Schlager S., Soressi M., McPherron Sh. P.** Quantifying differences in hominin flaking technologies with 3D shape analysis. *Journal of Human Evolution*, 2021, vol. 150, p. 102912. DOI 10.1016/j.jhevol.2020.102912
- Archer W., Pop C. M., Rezek Z., Schlager S., Lin S. C., Weiss M., Dogandžić T., Desta D., McPherron Sh. P.** A geometric morphometric relationship predicts stone flake shape and size variability. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1991–2003, 2018, vol. 10. DOI 10.1007/s12520-017-0517-2
- Arnold D., Kaminsky J.** 3D scanning and presentation of ethnographic collections – potentials and challenges. *Journal of Museum Ethnography*, 2014, vol. 27, p. 78–97.
- Arriaza M. C., Yravedra J., Domínguez-Rodrigo M., Mate-González M. A., García Vargas E., Palomeque-González J. F., Aramendi J., González-Aguilera D., Baquedano E.** On applications of microphotogrammetry and geometric morphometrics to studies of tooth mark morphology: the modern Olduvai carnivore site (Tanzania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, vol. 488, p. 103–112. DOI 10.1016/j.palaeo.2017.01.036
- Bretzke K., Conard N. J.** Evaluating morphological variability in lithic assemblages using 3D models of stone artifacts. *The Journal of Archaeological Science*, 2012, vol. 39, p. 3741–3749. DOI 10.1016/j.jas.2012.06.039
- Beraldin J. A., Blais F., Cournoyer L., Rioux M., El-Hakim S. H., Rodella R., Bernier F., Harrison N.** Digital 3D Imaging System for Rapid Response on Remote Sites. In: *Proc. of the 2nd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling* (Ottawa, Canada). Ottawa, 1999, p. 34–43.
- Brunoa F., Brunoa S., De Sensib G., Luchi M.-L., Mancusoc S., Muzzupappaa M.** From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*, 2010, vol. 11, iss. 1, p. 42–49. DOI 10.1016/j.culher.2009.02.006
- De Reu J., De Smedt P., Herremans D., Van Meirvenne M., Laloo P., De Clercq W.** On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. *Journal of Archaeological Science*, 2014, vol. 41, p. 251–262. DOI 10.1016/j.jas.2013.08.020
- Grosman L., Ovadia A., Bogdanovsky A.** Neolithic masks in a digital world. In: *Face to Face. The Oldest Masks in the World*. Jerusalem, The Israel Museum, 2014, p. 54–59.
- Grosman L., Smikt O., Smilansky U.** On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *The Journal of Archaeological Science*, 2008, vol. 35 (12), p. 3101–3110. DOI 10.1016/j.jas.2008.06.011
- Harush O., Glauber N., Zora A., Grosman L.** On quantifying and visualizing the potter's personal style. *Journal of Archaeological Science*, 2019, vol. 108. DOI 10.1016/j.jas.2019.104973
- Harush O., Roux V., Karasik A., Grosman L.** Social signatures in standardized ceramic production – A 3-D approach to ethnographic data. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2020, vol. 60. DOI 10.1016/j.jaa.2020.101208

- Karasik A., Smilansky U.** 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *The Journal of Archaeological Science*, 2008, vol. 35, p. 1148–1168. DOI 10.1016/j.jas.2007.08.008
- Kolobova K. A., Fedorchenko A. Y., Basova N. V., Postnov A. V., Kovalev V. S., Chistyakov P. V., Molodin V. I.** The Use of 3D-Modeling for Reconstructing the Appearance and Function of Non-Utilitarian Items (the Case of Anthropomorphic Figurines from Tourist-2). *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2019, no. 4 (47), p. 66–76. DOI 10.17746/1563-0102.2019.47.4.066-076
- Kovarovic K., Aiello L. C., Cardini A., Lockwood C. A.** Discriminant function analyses in archaeology: Are classification rates too good to be true? *Journal of Archaeological Science*, 2011, vol. 38, iss. 11, p. 3006–3018. DOI 10.1016/j.jas.2011.06.028
- Li H., Lei L., Li D., Lotter M. G., Kuman K.** Characterizing the shape of Large Cutting Tools from the Baise Basin (South China) using a 3D geometric morphometric approach. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, vol. 36. DOI 10.1016/j.jasrep.2021.102820
- Magnani M., Guttorm A., Magnani N.** Three-dimensional, community-based heritage management of indigenous museum collections: Archaeological ethnography, revitalization and repatriation at the Sámi Museum Siida. *Journal of Cultural Heritage*, 2018, vol. 31, p. 162–169. DOI 10.1016/j.culher.2017.12.001
- Morales J. I., Lorenzo C., Vergès J. M.** Measuring Retouch Intensity in Lithic Tools: A New Proposal Using 3D Scan Data. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2015. vol. 22, p. 543–55. DOI 10.1007/s10816-013-9189-0
- Porter S., Roussel M., Soressi M.** A Comparison of Châtelperronian and Protoaurignacian core technology using data derived from 3D models. *Journal of computer applications in archaeology*, 2016, no. 2 (1), p. 41–55. DOI 10.5334/jcaa.17
- Valletta F., Smilanski U., Goring-Morris N. A., Grosman L.** On measuring the mean cutting-edge angle of lithic tools based on 3-D models – a case study from the Southern Levantine Epipaleolithic. *Archaeological Anthropological Sciences*, 2020. vol. 12. DOI 10.1007/s12520-019-00954-w

References

- Abouaf J.** The Florentine Pietà: Can Visualization Solve the 450-Year-Old Mystery? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1999, vol. 19 (1), p. 6–10. DOI 10.1109/38.736462
- Archer W., Djakovich I., Brenet M., Bourguignon L., Presnyakova D., Schlager S., Soressi M., McPherron Sh. P.** Quantifying differences in hominin flaking technologies with 3D shape analysis. *Journal of Human Evolution*, 2021, vol. 150, p. 102912. DOI 10.1016/j.jhevol.2020.102912
- Archer W., Pop C. M., Rezek Z., Schlager S., Lin S. C., Weiss M., Dogandžić T., Desta D., McPherron Sh. P.** A geometric morphometric relationship predicts stone flake shape and size variability. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1991–2003, 2018, vol. 10. DOI 10.1007/s12520-017-0517-2
- Arnold D., Kaminsky J.** 3D scanning and presentation of ethnographic collections – potentials and challenges. *Journal of Museum Ethnography*, 2014, vol. 27, p. 78–97.
- Arriaza M. C., Yravedra J., Domínguez-Rodrigo M., Mate-González M. A., García Vargas E., Palomeque-González J. F., Aramendi J., González-Aguilera D., Baquedano E.** On applications of microphotogrammetry and geometric morphometrics to studies of tooth mark morphology: the modern Olduvai carnivore site (Tanzania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, vol. 488, p. 103–112. DOI 10.1016/j.palaeo.2017.01.036
- Beraldin J. A., Blais F., Cournoyer L., Rioux M., El-Hakim S. H., Rodella R., Bernier F., Harrison N.** Digital 3D Imaging System for Rapid Response on Remote Sites. In: Proc. of the 2nd

- International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling (Ottawa, Canada). Ottawa, 1999, p. 34–43.
- Bretzke K., Conard N. J.** Evaluating morphological variability in lithic assemblages using 3D models of stone artifacts. *The Journal of Archaeological Science*, 2012, vol. 39, p. 3741–3749. DOI 10.1016/j.jas.2012.06.039
- Brunoa F., Brunoa S., De Sensib G., Luchi M.-L., Mancusoc S., Muzzupappaa M.** From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. *Journal of Cultural Heritage*, 2010, vol. 11, iss. 1, p. 42–49. DOI 10.1016/j.culher.2009.02.006
- Chistyakov P. V., Kovalev V. S., Kolobova K. A., Shalagina A. V., Krivoschapkin A. I.** 3D modelirovanie arkheologicheskikh artefaktov pri pomoshchi skanerov strukturirovannogo podsveta [3D Modeling of Archaeological Artifacts by Structured Light Scanner]. *Teoriya i praktika arkheologicheskikh issledovaniy* [Theory and Practice of Archaeological Research], 2019, vol. 27, no. 3, p. 35–39. (in Russ.) DOI 10.14258/tpai(2019)3(27).-07
- De Reu J., De Smedt P., Herremans D., Van Meirvenne M., Laloo P., De Clercq W.** On introducing an image-based 3D reconstruction method in archaeological excavation practice. *Journal of Archaeological Science*, 2014, vol. 41, p. 251–262. DOI 10.1016/j.jas.2013.08.020
- Grosman L., Ovadia A., Bogdanovsky A.** Neolithic masks in a digital world. In: Face to Face. The Oldest Masks in the World. Jerusalem, The Israel Museum, 2014, p. 54–59.
- Grosman L., Smikt O., Smilansky U.** On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *The Journal of Archaeological Science*, 2008, vol. 35 (12), p. 3101–3110. DOI 10.1016/j.jas.2008.06.011
- Harush O., Glauber N., Zora A., Grosman L.** On quantifying and visualizing the potter's personal style. *Journal of Archaeological Science*, 2019, vol. 108. DOI 10.1016/j.jas.2019.104973
- Harush O., Roux V., Karasik A., Grosman L.** Social signatures in standardized ceramic production – A 3-D approach to ethnographic data. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2020, vol. 60. DOI 10.1016/j.jaa.2020.101208
- Karasik A., Smilansky U.** 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory. *The Journal of Archaeological Science*, 2008, vol. 35, p. 1148–1168. DOI 10.1016/j.jas.2007.08.008
- Kolobova K. A., Zotkina L. V., Markin S. V., Vasilev S. K., Chistyakov P. V., Bocharova E. N., Kharevich A. V.** Kompleksnoe izuchenie personal'nogo ukrasheniya iz reztsa surka v ranne-golotsenovom komplekse peshchery Kaminnyaya (Rossiiskii Altai) [Complex study of a personal ornament made on a marmot incisor from the Early Holocene complex of Kaminnyaya Cave (Russian Altai)]. *Stratum plus: Arkheologiya i kul'turnaya antropologiya* [Stratum plus: Archaeology and Cultural Anthropology], 2021, no. 1, p. 319–335. (in Russ.)
- Kolobova K. A., Fedorchenko A. Y., Basova N. V., Postnov A. V., Kovalev V. S., Chistyakov P. V., Molodin V. I.** The Use of 3D-Modeling for Reconstructing the Appearance and Function of Non-Utilitarian Items (the Case of Anthropomorphic Figurines from Tourist-2). *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2019, no. 4 (47), p. 66–76. DOI 10.17746/1563-0102.2019.47.4.066-076
- Kovarovic K., Aiello L. C., Cardini A., Lockwood C. A.** Discriminant function analyses in archaeology: Are classification rates too good to be true? *Journal of Archaeological Science*, 2011, vol. 38, iss. 11, p. 3006–3018. DOI 10.1016/j.jas.2011.06.028
- Li H., Lei L., Li D., Lotter M. G., Kuman K.** Characterizing the shape of Large Cutting Tools from the Baise Basin (South China) using a 3D geometric morphometric approach. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, vol. 36. DOI 10.1016/j.jasrep.2021.102820
- Magnani M., Guttorm A., Magnani N.** Three-dimensional, community-based heritage management of indigenous museum collections: Archaeological ethnography, revitalization and repatriation at the Sámi Museum Siida. *Journal of Cultural Heritage*, 2018, vol. 31, p. 162–169. DOI 10.1016/j.culher.2017.12.001

- Morales J. I., Lorenzo C., Vergès J. M.** Measuring Retouch Intensity in Lithic Tools: A New Proposal Using 3D Scan Data. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2015. vol. 22, p. 543–55. DOI 10.1007/s10816-013-9189-0
- Porter S., Roussel M., Soressi M.** A Comparison of Châtelperronian and Protoaurignacian core technology using data derived from 3D models. *Journal of computer applications in archaeology*, 2016, no. 2 (1), p. 41–55. DOI 10.5334/jcaa.17
- Shalagina A. V., Kharevich V. M., Maury S., Baumann M., Krivoschapkin A. I., Kolobova K. A.** Rekonstruktsiya tekhnologicheskikh tsepochek proizvodstva bifasial'nykh orudii v industrii Chagyrskoi peshchery [Reconstruction of the bifacial technological sequence in Chagyrskaya Cave assemblage]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya [Siberian Historical Research]*, 2020, vol. 3, p. 130–151. (in Russ.) DOI 10.17223/2312461X/29/9
- Valletta F., Smilanski U., Goring-Morris N. A., Grosman L.** On measuring the mean cutting-edge angle of lithic tools based on 3-D models – a case study from the Southern Levantine Epipaleolithic. *Archaeological Anthropological Sciences*, 2020. vol. 12. DOI 10.1007/s12520-019-00954-w
- Vavulin M. V.** Tekhnologii trekhmernoi otsifrovki krupnykh avtonomnykh arkheologicheskikh ob'ektov [3D digitizing of large separate artifacts]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal]*, 2016, iss. 407, p. 55–60. (in Russ.) DOI 10.17223/15617793/407/9
- Vavulin M. V., Zaitseva O. V., Pushkarev A. A.** Metodika i praktika 3D skanirovaniya raznotipnykh arkheologicheskikh artefaktov [3D Scanning Techniques and Practices used for Different Types of Archaeological Artifacts]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya [Siberian Historical Research]*, 2014, no. 4, p. 21–37. (in Russ.)
- Vavulin M. V., Zaitseva O. V., Pushkarev A. A.** Trekhmernoe skanirovanie i modelirovanie korabel'nykh detalei kocha [3D scanning and modeling of ship parts of the koch]. In: *Virtual'naya arkheologiya (effektivnost' metodov) [Virtual Archaeology (the effectiveness of methods)]*. In: Proceedings of the 2nd international conference. 1–3 June 2015. State Hermitage Museum. St. Petersburg, 2015, p. 234–239. (in Russ.)
- Zaitseva O. V.** “3D revolyutsiya” v arkheologicheskoi fiksatsii v rossiiskoi perspektive [“3D revolution” in archaeological recording in Russian perspective]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya [Siberian Historical Research]*, 2014, no. 4, p. 10–20. (in Russ.)
- Zotkina L. V., Kovalev V. S., Shalagina A. V.** Vozmozhnosti i perspektivy primeneniya trekhmernoi vizualizatsii kak instrumenta analiza v arkheologii [Opportunities and Prospects for the Use of Three-Dimensional Visualization as an Analysis Tool in Archaeology]. *Nauchnaya vizualizatsiya [Scientific Visualization]*, 2018, vol. 10, no. 4, p. 172–190. (in Russ.) DOI 10.26583/sv.10.5.11

Материал поступил в редколлегию
Received
22.02.2021

Сведения об авторах

Чистяков Павел Вячеславович, младший научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия)
pavelchist@gmail.com

Бочарова Екатерина Николаевна, младший научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия)
bocharova.e@gmail.com

Колобова Ксения Анатольевна, ведущий научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия)
kolobovak@yandex.ru

Information about the Authors

Pavel V. Chistyakov, Junior Researcher at the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)
pavelchist@gmail.com

Ekaterina N. Bocharova, Junior Researcher at the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)
bocharova.e@gmail.com

Ksenia A. Kolobova, Major Researcher at the Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)
kolobovak@yandex.ru