

Научная статья
УДК 902.4
doi: 10.17223/2312461X/37/9

ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: КОРРЕЛЯЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Екатерина Николаевна Бочарова¹
Павел Вячеславович Чистяков²
Равиль Камильевич Жданов³
Ксения Анатольевна Колобова⁴

1, 2, 3, 4 *Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия*
¹ *bocharova.e@gmail.com*
² *pavelchist@gmail.com*
³ *rav@xarg.org*
⁴ *kolobovak@yandex.ru*

Аннотация. В настоящее время исследователям доступны три наиболее распространенных способа визуализации артефактов: создание технического рисунка, фотографии и трехмерной модели. Помимо документирования археологических артефактов, иллюстрации, полученные посредством каждого из способов, могут предоставлять определенные научные данные. Рассматриваются преимущества и недостатки перечисленных видов визуализации археологического материала в контексте научных археологических исследований. Сравнительному анализу подвергнуты 3D-модель, полученная при сканировании методом структурированного подсвета; высококачественная фотография (стекинг по фокусу) и технический рисунок, выполненный профессиональным художником. В качестве примеров археологических артефактов используются среднепалеолитические бифасиальные орудия из пещеры Чагырская (Алтай) и среднепалеолитические нуклеусы со стоянки Кульбулак (Тянь-Шань), костяные пазовые обоймы со стоянки Казачка (Канско-Рыбинская котловина). Мы провели сравнение по следующим параметрам: время получения одного изображения, использование дополнительного программного обеспечения и его стоимость, стоимость необходимого оборудования, необходимые навыки. Дополнительному сравнению также были подвергнуты полученные рисунок, фотография и модель в качестве основы для проведения дальнейших технологических и морфологических исследований (скар-паттерн анализ, геометрико-морфометрический анализ, технические детали) и качество получаемой информации (возможность проведения измерений либо высокоточных метрических исследований). В результате нам удалось определить преимущества и недостатки каждого типа изображений для различных научных исследований. Мы ожидаем, что благодаря постепенному удешевлению метода, скорости обучения и большим возможностям извлечения научных данных иллюстрации, полученные с помощью трехмерного сканирования методом структурированного подсвета, будут иметь широкое распространение в научных исследованиях в ближайшем будущем.

Ключевые слова: технический рисунок, фотография, 3D-модель, стекинг по фокусу, визуализация, археология

Благодарности: исследование проведено в рамках проекта научно-исследовательской работы Института археологии и этнографии Сибирского отделения Российской Академии наук № FWZG-2022-0009 «Цифровые технологии в реконструкции стратегий жизнеобеспечения древнего населения Евразии». Выражаем благодарность ведущему художнику ИАЭТ СО РАН А.В. Абдульмановой за выполнение рисунков, используемых в публикации. Авторы благодарны К.К. Павленку и Г.Д. Павленок за предоставленные артефакты для подготовки статьи.

Для цитирования: Бочарова Е.Н., Чистяков П.В., Жданов Р.К., Колобова К.А. Трехмерная визуализация в археологических исследованиях: корреляционное исследование // Сибирские исторические исследования. 2022. № 3. С. 147–167. doi: 10.17223/2312461X/37/9

Original article

doi: 10.17223/2312461X/37/9

Three-dimensional Visualization in Archaeological Research: A Correlational Study

Ekaterina N. Bocharova¹, Pavel V. Chistyakov², Ravil K. Zhdanov³,
Kseniya A. Kolobova⁴

^{1, 2, 3, 4} *Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

¹ *bocharova.e@gmail.com*

² *pavelchist@gmail.com*

³ *rav@xarg.org*

⁴ *kolobovak@yandex.ru*

Abstract. The three most common ways of visualizing artefacts that are currently available are: a technical drawing, a photograph and three-dimensional modeling. In addition to documenting archaeological artefacts, the illustrations produced by each method can provide specific scientific data. The article discusses the advantages and disadvantages of the mentioned types of visualisation of archaeological material in the context of archaeological research. The 3D model obtained by scanning with a structured light scanner; the high-quality photograph (stacking by focus) and the technical drawing made by a professional artist were subjected to a comparative analysis. The study is based on illustrations of Middle Paleolithic bifacial tools from Chagyrskaya Cave (Altai) and Middle Paleolithic cores from Kulbulak site (Tien Shan), bone tools with slots from Kazachka site (Kansk-Rybinsk Basin). We made a comparison according to the following parameters: the time it takes to create one image, the use of additional software and its cost, the cost of the necessary equipment, the skills required to perform the different methods. Additional comparisons were also made with the drawing, photograph and 3D model as a basis for further technological and morphological research (scar pattern analysis, geometric-morphometric analysis, technical details) and the quality of the provided information (possibility of measurement or high-precision metric studies). As a result, we were able to identify the advantages and disadvantages of each type of image for different scientific research. We expect that because of the gradual cheapening of the method, the rapidity of learning and the

great possibilities for extracting scientific data, illustrations obtained by 3D structural light scanning will be widespread in scientific research in the near future.

Keywords: technical drawing, photography, 3D model, focus stacking, visualization, archaeology

Acknowledgements: The study was conducted within the framework of the research project of the Institute of Archaeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences № FWZG-2022-0009 “Digital technologies for the reconstruction of ancient populations subsistence strategies in Eurasia”. We express our gratitude to the leading artist of IAET SB RAS A.V. Abdulmanova for the creation of the drawings used in the publication. The authors are grateful to Pavlenko K.K. and Pavlenok G.D. for the artifacts provided for the preparation of the article.

For citation: Bocharova, E.N., Chistyakov, P.V., Zhdanov, R.K. & Kolobova, K.A. (2022) Three-dimensional Visualization in Archaeological Research: A Correlational Study. *Sibirskie Istoricheskie Issledovaniia – Siberian Historical Research*. 3. pp. 147–167. (In Russian). doi: 10.17223/2312461X/37/9

Введение

Визуализация в археологии является важным этапом в процессе научного исследования. В настоящее время исследователям доступны три основных варианта получения изображений артефактов: технические рисунки, фотографии и 3D-модели. Каждый из этих вариантов используется для решения различных исследовательских задач, при этом часто варианты комбинируются. Дискуссия о преимуществах и недостатках, целесообразности использования того или иного способа графического изображения ведется давно и актуализировалась с появлением и широким внедрением 3D-сканирования (South 1968; Beyond Illustration... 2008; Luo, Li, Zha 2011; Труфанов 2015; Plisson, Zotkina 2015; Raczynski-Henk 2017). С развитием трехмерных технологий все чаще ставится вопрос о возможности отказа от технического рисунка и фотографии в пользу изображений 3D-моделей в силу их очевидных преимуществ. К преимуществам иллюстраций трехмерных моделей, полученных методом сканирования сканерами структурированного подсвета, относят их точное автоматическое масштабирование, визуализацию технологических характеристик вследствие отсутствия текстуры и возможности манипулирования для получения научных данных. Предлагаемая статья призвана ответить на следующие вопросы: 1) какой метод визуализации археологического материала является наиболее точным и экономически целесообразным; 2) являются ли иллюстрации цифровых копий артефактов настолько же информативными как технические рисунки; 3) можно ли получить трехмерную модель настолько же быстро как фотографию артефакта? В качестве наглядных примеров археологических артефактов в предлагаемой статье используются среднепалеолитические бифасиальные орудия из пещеры Чагырская (Алтай) и среднепалеолитические нуклеусы со стоянки Куль-

булак (Тянь-Шань), костяные пазовые составные орудия со стоянки Казачка (Канско-Рыбинская котловина).

История применения технического рисунка, фотографии и трехмерных изображений артефактов в археологических исследованиях

Визуализация артефактов занимает важное место в представлении археологического материала. С самого начала становления археологии как научной дисциплины ученым были доступны два вида визуализации: рисунок и фотография. Трехмерная визуализация стала доступной большинству археологов только в последнее десятилетие.

Весьма дискуссионными является утверждение, что первые иллюстрации археологических объектов появились еще в Средневековье в трактатах, заметках по истории Античности, сопровождавшихся условными, иногда схематичными, а иногда художественно точными изображениями сохранившихся античных построек (Piccoli 2017).

Первые рисунки артефактов появились в конце XVIII в. Одним из первых зафиксированных рисунков археологического материала является гравюра топора (Raczynski-Henk 2017). Это изображение не похоже на современные рисунки, являясь, скорее, художественной копией, которая передает внешний вид, а не технологические особенности артефакта. С развитием археологической науки технический рисунок становится неотъемлемой частью исследовательского процесса и проходит трансформацию от художественного рисунка к схеме, техническому рисунку. Появляются региональные традиции археологического рисунка. В современной археологии насчитывается несколько традиций/стилей рисунков артефактов, которые характеризуются определенным набором приемов графического изображения артефактов (передача различных типов сырья, из которого изготовлены артефакты, фактуры и орнамента, оформление сечений и т.д.) (Dillon 1985; Martingell, Saville 1988; Griffiths, Jenner, Wilson 1990; Steiner 2005). В настоящее время под археологическим рисунком чаще всего понимается изображение, созданное с целью передачи научной информации (Труфанов 2015) посредством применения общепринятых приемов передачи технологической и стилистической информации.

Фотографию в археологии начали эпизодически применять уже во второй половине XIX в. Формирование фотоархива Императорской археологической комиссии началось одновременно с началом работы Комиссии (1859 г). Фотография применялась для фиксации полевых и камеральных работ, документирования результатов исследования. Постоянной и обязательной фотофиксация стала с 1920-х гг. (Мыльников 2016). В разные годы методические рекомендации по фотографии в ар-

хеологии включали в учебные пособия (Арциховский 1972; Conlon 1973; Dorrell 1994; Мартынов, Шер 2002; Мильников, Мильникова 2009). В настоящее время фотография является неотъемлемой частью археологического исследования, начиная с этапа полевых исследований и заканчивая реставрацией и музеефикацией артефактов и наиболее доступной и массовой из представленных способов визуализации. При визуализации артефактов в археологических исследованиях фотография часто комбинируется с техническим рисунком.

В конце 90-х гг. XX в. были успешно реализованы первые проекты по оцифровке объектов культурного наследия: статуй Микеланджело (Abouaf 1999) и произведений Донателло и Джованни Пизано (Beraldin et al. 1999). В 2000 г. была отсканирована статуя Давида, что стало самым масштабным проектом по оцифровке предметов искусства для того времени (Levoy et al. 2000). Успешная реализация упомянутых проектов и постоянное развитие технологии положили начало широкому внедрению методов трехмерного сканирования в практику археологических исследований. В настоящее время широкое применение методы 3D-моделирования нашли в различных областях археологии: исследование петроглифов и объектов древнего искусства (Cassen et al. 2014; Grosman, Ovdia, Bogdanovsky 2014; Counts, Averett, Garstki 2016; Kolobova et al. 2019; Zotkina, Kovalev 2019; Колобова и др. 2021), антропологии (Freidline et al. 2012; Gunz, Bulygina 2012), исследование поселений и городов, изучение керамики (Stamatopoulos, Anagnostopoulos 2016), каменных артефактов (Richardson et al. 2013; Herzlinger, Goren-Inbar, Grosman 2017; Шалагина и др. 2020), костяных артефактов (Klein, Belfer-Cohen, Grosman 2017; Kolobova et al. 2020b), научное документирование и лабораторная обработка археологического материала (Riel-Salvatore et al. 2004; McPherron, Gernat, Hublin 2009; Pastoors, Weniger 2011; Чжоу 2017; Колобова и др. 2020) и т.д.

В предлагаемой статье мы фокусируемся на сканировании при помощи сканеров структурированного подсвета как на наиболее оптимальном исследовательском инструменте. Достоинства и недостатки других методов получения 3D-моделей (фотограмметрии и компьютерной томографии) уже обсуждались (Колобова и др. 2020).

Методы исследования

В исследовании для создания археологических рисунков участвовала ведущий художник ИАЭТ СО РАН А.В. Абдульманова, имеющая более 15 лет опыта в создании и допечатной подготовке археологических иллюстраций. Рисунки выполнены карандашом мягкостью В 0,5 мм, затем обведены черной тушью, перо картографическое («чертежное»). Полученный рисунок сканировался в формате tiff, разреше-

ние 600 dpi. Дальнейшая обработка проводилась в редакторе Photoshop (очистка фона, исправление ошибок, компоновка иллюстраций и т.д.).

При фотографировании (стекинг по фокусу) использовалась камера Canon 1000D (матрица 22 × 15 мм) с объективом Canon EF-S 60mm f/2.8 Macro USM, на штативе. Фиксация осуществлялась через компьютер – это обеспечивает взаимную фиксацию положения предмета и камеры. Полученные серии фотографий с фокусировкой в разных точках были совмещены с помощью специального программного обеспечения Helicon Focus. Этот способ позволяет расширить глубину резкости фотографий, получить достаточно большое разрешение и резкость изображения на большей части совмещенных кадров. Дальнейшая обработка проводилась в редакторе Photoshop (очистка фона, компоновка иллюстраций и т.д.). Фотографирование производилось опытным пользователем: мл. науч. сотр. лаборатории «ЦифрА» ИАЭТ СО РАН Е.Н. Бочаровой.

Сканирование осуществлялось сканером структурированного подсвета Range Vision Spectrum 3.1. Данный сканер позволяет создавать модели с высоким разрешением на поворотном столе и с маркерами, а также позволяет создавать текстурные и безтекстурные модели. В статье использованы безтекстурные модели, полученные при сканировании с использованием поворотного стола без маркеров. Дальнейшая обработка моделей проводилась в программе Geomagic Wrap. Сканирование и обработка моделей производилось опытным оператором: мл. науч. сотр. лаборатории «ЦифрА» ИАЭТ СО РАН П.В. Чистяковым.

Результаты исследования

Нами было проведено сравнительное исследование иллюстраций археологических артефактов, полученных в технике графического рисунка (рис. 1, 1), высокоточной фотографии (стекинг по фокусу) (рис. 1, 2), и трехмерных моделей, полученных с помощью сканера структурированного подсвета (рис. 1, 3). На эталонных изображениях представлены среднепалеолитические артефакты из пещеры Чагырская, расположенной в Алтайском крае, стоянки Кульбулак расположенной в предгорьях Тянь-Шаня (Узбекистан), а также костяные пазовые орудия со стоянки Казачка (Красноярский край) (рис. 1, 2, 3).

В ходе исследования было проведено сравнение полученных изображений по следующим параметрам: время получения одного изображения (время, затрачиваемое на получение изображения и его дальнейшую обработку в специализированном ПО); необходимое оборудование для получения изображения и его стоимость; использование дополнительного программного обеспечения и его стоимость; необходимые навыки для получения изображения; степень соответствия изображения оригинальному артефакту.

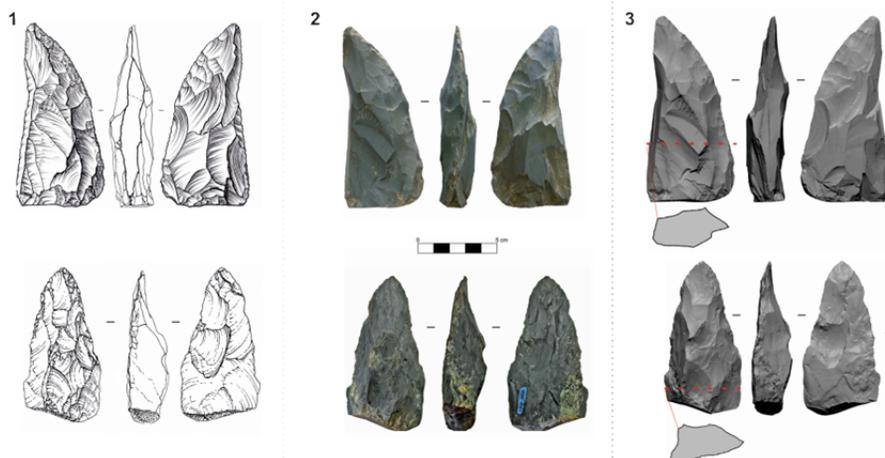


Рис. 1. Фотография, 3D-модель и рисунок бифасов с Чагырской пещеры (горизонт 6): 1 – технический рисунок; 2 – высококачественная фотография; 3 – трехмерная модель

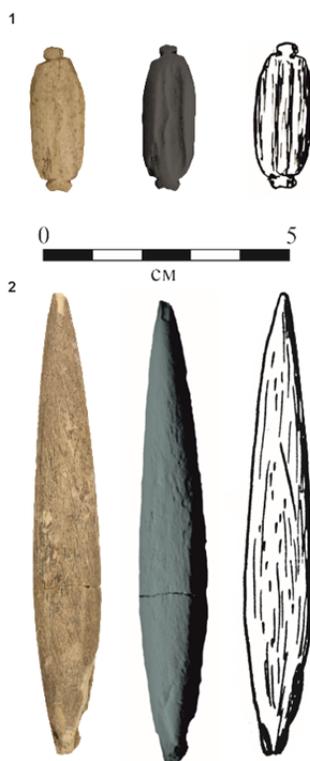


Рис. 2. Пазовые костяные орудия со стоянки Казачка 1: 1 – изображения составного пазового орудия с горизонта 11; 2 – изображения составного пазового орудия с горизонта 19

Время получения иллюстраций артефактов. Наибольшие временные затраты связаны с созданием технического рисунка. Например, оба этапа подготовки рисунка нуклеуса сложной формы (карандаш и чернила) заняли в целом 97 минут (рис. 3, 2), в то время как 3D-модель была готова через 49 минут (рис. 3, 3). Меньше всего времени ушло на получение высококачественной фотографии, включая этап пост-обработки – 42 минуты (рис. 3, 1). Сам по себе процесс фотографирования занял лишь 4 минуты. Несколько другие тенденции отмечаются при подготовке изображений нуклеуса более простой формы: сканирование и пост-обработка заняли всего 13 минут (рис. 3, 6), в то время как пост-обработка фотографий (очистка фона, цветокоррекция) заняла примерно тот же временной диапазон, что и в случае нуклеуса сложной формы (рис. 3, 4). Подготовка рисунка нуклеуса простой формы заняла 60 мин (рис. 3, 5).

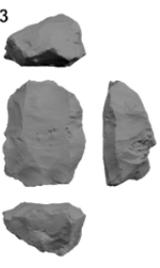
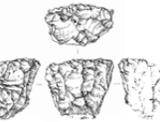
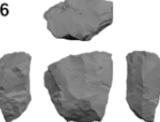
Фотография (стекинг-фото)	Технический рисунок	3D сканирование
<p>1</p>  <p>🕒 Фото 4 мин 🕒 📷+🔍 Пост-обработка 38 мин 🕒 Итого 42 мин 💰💰 Стоимость ПО+оборудования</p>	<p>2</p>  <p>🕒 Рисунок (карандаш) 45 мин 🕒 Рисунок (тушь) 52 мин 🕒 Итого 97 мин 💰 Стоимость карандаша+чернил</p>	<p>3</p>  <p>🕒 Сканирование 30 мин 🕒 🖨️ Пост-обработка 19 мин 🕒 Итого 49 мин 💰💰💰 Стоимость ПО+оборудования</p>
<p>4</p>  <p>🕒 Фото 3 мин 🕒 📷+🔍 Пост-обработка 33 мин 🕒 Итого 36 мин 💰💰 Стоимость ПО+оборудования</p>	<p>5</p>  <p>🕒 Рисунок (карандаш) 28 мин 🕒 Рисунок (тушь) 32 мин 🕒 Итого 60 мин 💰 стоимость карандаша+чернил</p>	<p>6</p>  <p>🕒 Сканирование 11 мин 🕒 🖨️ Пост-Обработка 2 мин 🕒 Итого 13 мин 💰💰💰 Стоимость ПО+оборудования</p>

Рис. 3. Сравнение временных и стоимостных характеристик производства изображения на примере нуклеусов со стоянки Кульбулак: 1, 4 – высококачественная фотография; 2, 5 – технический рисунок; 3, 6 – трехмерная модель

Оборудование для получения иллюстраций артефактов. Для создания технических рисунков требуются только качественная бумага, карандаши, перья и чернила.

Для создания фотографий необходимо приобретение качественной фотокамеры. Основываясь на нашем опыте для получения фотографий (стекинг по фокусу), можно использовать как зеркальные фотоаппараты, так и цифровые фотокамеры со сменными объективами (500 \$ оба варианта). Для фотосъемки также необходим макрообъектив (60 mm), который позволяет делать высококачественную предметную съемку артефактов; штатив, который обеспечивает надежную фиксацию фотоаппарата и минимизирует смещение позиции объектива (средняя цена 100–150 \$). Для предотвращения лишней вибрации стоит использовать режим удаленной съемки с компьютера.

В последние годы наряду с дорогостоящими сканерами структурированного подсвета (Solutionix D700, Range Vision 5m и др.) появились и достаточно бюджетные варианты (David, Range Vision Spectrum 3.1), стоимость которых – в пределах 5 тыс. долларов США. Несмотря на относительно невысокую стоимость, они позволяют получать качественные трехмерные модели с разрешением 0,26 мм (поле минимального разрешения) – 0,072 мм (поле максимального разрешения), используемые в высокорейтинговых публикациях (Maté-González et al. 2019; Kolobova et al. 2020a). Закупка такого трехмерного сканера доступна в рамках выполнения практически любого научно-исследовательского проекта.

Дополнительное программное обеспечение. Для пост-обработки рисунков (удаление фона, цветокоррекция, компоновка иллюстраций и др.) можно применять практически любые графические редакторы: CorelDraw, Photoshop. Данные редакторы доступны по подписке (подписка на месяц: 20,99 \$). Но есть и бесплатные аналоги – Gimp, Paint.net, Photo Pos Pro, Photoprea. Последний является браузерной программой.

Для коррекции фотографий чаще всего используются ПО среды Adobe: Photoshop, Illustrator, Lightroom. Как было указано, они доступны по подписке. Бесплатные программы, перечисленные выше, также позволяют производить необходимые манипуляции с фотографиями. Для получения фотографий с фокусировкой в разных точках используются программы Helicon Focus или Zerene Stacker. Стоимость пожизненной лицензии версии Helicon Focus Pro 200 \$, также доступны лицензии на год, Zerene Stacker Professional Edition – 289 \$. Бесплатные аналоги – Combine ZP, TuFuse.

Для сканирования и подготовки модели используется базовое ПО, поставляемое вместе со сканерами. Создание сечений, метрические измерения, в том числе углов, зеркальные реконструкции доступны практически в любом программном обеспечении, работающем с трехмерными моделями: Geomagic Wrap, Geomagic Design X, Autodesk Netfabb и MeshLab. Последние две программы доступны бесплатно. Программ-

мы из среды Geomagis являются весьма дорогостоящими (примерно 10 тыс. \$). Программы Artefact 3D, Pottery 3D, Artifact GeoMorph Toolbox 3-D (AGMT 3D), разработанные сотрудниками лаборатории компьютерной археологии Еврейского университета, являются специальным программным обеспечением, адаптированным для археологических исследований (Herzlinger et al. 2017; Herzlinger, Grosman 2018; Narush, Grosman 2021).

Необходимые навыки для получения изображения. Для обучения техническому рисунку требуется несколько недель обучения и впоследствии не менее года практики. Технический художник должен иметь опыт зарисовки артефактов различных категорий из разных видов сырья. Значительный опыт зарисовки необходим для грамотной передачи технических характеристик артефактов (направлений сколов, степени износа или дефляции, различных типов сырья и т.д.).

Обучение стекингу по фокусу происходит достаточно быстро: необходимо два-три часа для объяснения основ метода и несколько часов практики для закрепления при условии, что обучаемый уже обладает навыками обращения с зеркальными фотоаппаратами и постановки света.

Для подготовки пользователя сканера структурированного подсвета в среднем необходимо 3 дня обучения базовому курсу, который включает в себя установку сканера, калибровку, процесс сканирования, начальную постобработку и экспорт готовой модели. Еще требуется примерно месяц практики.

Степень соответствия изображения оригинальному артефакту. Технический рисунок более всех других обсуждаемых типов изображений зависит от субъективного видения художника, а следовательно, на многих иллюстрациях могут фиксироваться субъективные ошибки. Субъективные ошибки иллюстраций могут не зависеть от опыта художника, но быть следствием невозможности выполнения поставленной задачи, например отрисовки поперечных и продольных сечений целых артефактов. Выполнение таких задач в принципе невозможно с необходимой для научного исследования точностью (рис. 4, 3).

В отличие от технического рисунка, изображение трехмерной модели полностью соответствует отсканированному артефакту (см. рис. 1, 3). Манипулирование трехмерными моделями позволяет создавать любые варианты сечений (Колобова и др., 2020).

Мы сравнили поперечное сечение бифасиального орудия из Чагырской пещеры, выполненное профессиональным художником, с сечением, полученным по трехмерной модели (рис. 4, 1, 2). Как видим, два сечения значительно отличаются, при этом только сечение трехмерной модели соответствует артефакту (рис. 4, 3).

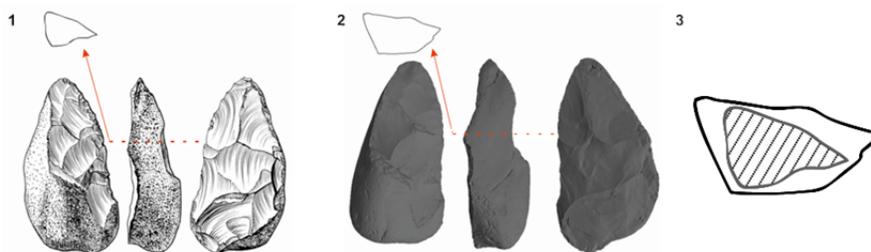


Рис. 4. Сравнение поперечных сечений бифаса из Чагырской пещеры: 1 – сечение, сделанное «на глаз» художником; 2 – сечение, сделанное на основе 3D-модели; 3 – сравнение сечений путем наложения друг на друга

Изображение, полученное при помощи фотографии, не несет возможности субъективных ошибок, однако не является автоматически масштабированным. То есть фотографическое изображение не может использоваться для метрических исследований, требующих точности измерений до десятых и сотых долей миллиметра. Такую точность измерений в состоянии предоставить только трехмерные модели артефактов.

Фотографические изображения артефактов обладают неотделимой текстурой, что является несомненным художественным преимуществом, однако и серьезным недостатком, препятствующим изучению технических характеристик артефактов. Качество и цвет сырья, из которого изготовлен артефакт, препятствуют определению направлений сколов (см. рис. 1, 2), технических характеристик изготовления керамики, способа изготовления металлических артефактов. В свою очередь, безтекстурные высококачественные модели, широко распространенные в научных публикациях, позволяют определять все возможные технические морфологические характеристики артефактов (см. рис. 1, 3).

Для удобства читателей научных статей исследователи часто применяют сочетание фотографии и трехмерных моделей с указанием направлений сколов.

Возможность применения иллюстраций/моделей для научных исследований. Ценность визуализированных иллюстраций не ограничивается их возможностью публикации для демонстрации археологического материала. Иллюстрации выступают основой для проведения дальнейших технологических и морфологических исследований.

Так, иллюстрации разных видов могут использоваться для метрических исследований, однако с оговоркой, что только трехмерные модели автоматически масштабируются и, следовательно, являются приемлемыми для высокоточных метрических исследований (табл. 1).

Как технические рисунки, так и трехмерные модели после дополнительной обработки (автоматическая прорисовка контуров (Porter, Rousset, Soressi 2016; Колобова и др. 2020), удаление направлений сколов)

могут использоваться для иллюстрации результатов анализа последовательности сколов (Зоткина, Ковалев, Шалагина 2019; Шалагина, Колоцова, Кривошапкин 2019) (таблица). Фотографии не могут применяться для проведения этого анализа в силу наличия текстуры.

Сравнение возможностей применения различных видов визуализации материала для научных целей

Критерий сравнения	Фотография	Технический рисунок	3D модель
Возможность измерений	±	±	+
База для скар-паттерн анализа	–	+	+
Геометрико-морфометрический анализ	+	+	+
2D геометрико-морфометрический анализ	+	+	+
3D геометрико-морфометрический анализ	–	–	+
Градиент отклонения	±	–	+
Отображение технических деталей (направление скола и т.д.)	±	+	±
Вычисление объема артефакта, центра гравитации, центра симметрии	–	–	+

Примечание. «±» – применимо при высококачественном сырье и хорошей степени сохранности артефакта; «+» – применимо; «–» – не применимо.

Все способы визуализации могут использоваться для двухмерного геометрико-морфометрического анализа, когда анализируется контур артефакта (Serwatka 2014; Serwatka, Riede 2016; Cobden et al. 2017; Courtenay et al. 2018;). Однако для проведения комплексного анализа формы приемлемы только трехмерные модели (Freidline et al. 2012; Herzlinger, Goren-Inbar, Grosman 2017; Herzlinger, Grosman 2018; Kolobova et al. 2020a).

Градиент отклонения показывает разницу высот на поверхности артефакта, которая делается на основе оригинальной модели и ее измененной копии. При сравнении двух и более фотографий или моделей можно получить градиент отклонения между сравниваемыми объектами, а также карту высот. В случае построения карты высот по моделям мы получим не только визуализацию отклонений по высоте, но и возможность эту разницу рассчитать, что невозможно при использовании фотографий.

Технический рисунок в первую очередь призван отобразить максимальное количество технических деталей, которые часто достаточно трудно будет увидеть на моделях или фотографиях в зависимости от типа сырья и степени сохранности поверхности артефакта (см. таблицу).

Дискуссия и выводы

Проведенное исследование позволило выявить достоинства и недостатки каждого метода визуализации. Технический рисунок способен

передать важные технические детали, которые не отображает высококачественная фотография и не всегда отображает трехмерная модель (Goddard 2000). Р. Ли с соавторами утверждают, что способность технических иллюстраций точно передать материал находится во власти способностей художника. Несмотря на общепринятые способы рисования артефактов, каждое изображение будет выглядеть по-разному, если его нарисуют несколько художников (Li, Luo, Zha 2011). В ходе нашего исследования мы установили, так же как и другие ученые (Nylund 2009), что техническому рисунку свойствен субъективизм и часто не хватает научной точности. В результате сложилось мнение, что цифровые методы получения иллюстрации могут вскоре полностью заменить рисование от руки (Moser 2012). Мы считаем, что это вполне возможный, но хронологически отдаленный от настоящего времени сценарий. Технический рисунок еще длительное время останется востребованным инструментом визуализации артефактов как для научных публикаций, так и для технических отчетов.

Несомненным преимуществом рисунка, которое имеет большое научное значение, является возможность осуществления научных реконструкций (частей артефактов, построек, палеоклиматические реконструкции, технологические схемы изготовления артефактов определенных типов). Выполнение технической иллюстрации высокого качества займет меньше времени, в сравнении с трехмерной реконструкцией. В настоящее время комплексные трехмерные реконструкции высокого качества редко используются ввиду дороговизны и длительности их производства. Данный тезис не касается артефактов или палеонтологического/антропологического материалов, имеющих ось центральной симметрии. Трехмерная зеркальная реконструкция часто применяется в археологических исследованиях (Kolobova et al. 2019; Chen et al. 2019).

Фотография сужает пределы предвзятости и недопонимания, которое может возникнуть при изучении рисунков артефактов (Dorrell 1994). Существует мнение, что плоские изображения не могут передавать всю полноту данных об артефакте (Jones 2001). При работе с цифровыми изображениями (фотографии и модели) могут возникнуть проблемы с совместимостью разных форматов (Hodder 1999), повреждением данных и потере цифровой информации, что в целом можно отнести и к техническим иллюстрациям.

В результате проведенного исследования нами были получены следующие результаты:

1. Наиболее высокая скорость получения изображения артефакта, включая программную пост-обработку, была зафиксирована при создании фотографий и не сложных трехмерных моделей артефактов. Наиболее низкая скорость свойственна техническому рисунку.

2. Скорость получения фотографии (стекинг по фокусу) практически не зависит от сложности объекта, так же и время, потраченное на пост-обработку изображения. Зависимость потраченного времени от сложности объекта отмечается при создании 3D-модели и технического рисунка.

3. Наиболее затратным способом является сканирование в силу дороговизны оборудования и используемого ПО (Здесь и далее не учитывается оплата труда художника, фотографа и оператора). Однако стоит заметить, что отмечается тенденция к снижению стоимости сканеров, также существует возможность использования сканеров низкой ценовой категории для научных исследований. Затраты на приобретение оборудования и ПО единовременные.

4. 3D-сканирование позволяет обрабатывать большее количество артефактов за определенный промежуток времени, а полученные модели будут отличаться максимальной точностью.

К подобным выводам пришли исследователи при сравнении трехмерных моделей фрагментов керамики, полученных методом фотограмметрии и их технических рисунков: метод фотограмметрии позволяет обрабатывать больше артефактов в меньшие сроки и с большей точностью (Karasić, Smilansky 2008).

Стремительное развитие трехмерных технологий в совокупности с их постепенным удешевлением в последние годы позволяет прогнозировать увеличение доли иллюстраций трехмерных моделей археологических артефактов в научных исследованиях. Быстрота обучения операторов и очевидные исследовательские преимущества при использовании трехмерных моделей сделают этот процесс еще более быстрым.

Список источников

- Арциховский А.В. Полевая археология СССР: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1972.
- 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, № 5. 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) // Stratium plus: Археология и культурная антропология. 2021. № 1. С. 319–335.
- Колобова К.А., Шалагина А.В., Чистяков П.В., Бочарова Е.Н., Кривошапкин А.И. Возможности применения трехмерного моделирования для исследований комплексов каменного века // Сибирские исторические исследования. 2020. № 4. С. 240–260. DOI: 10.17223/2312461X/30/12
- Мартынов А.И., Шер Я.А. Методы археологического исследования: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2002.
- Мыльников В.П., Мыльникова Л.Н. Фотография в археологии: учеб.-метод. пособие. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2009.

- Мыльников В.П. Фотография в отечественной археологии: по материалам исследований в Северной и Центральной Азии во второй половине XX – начале XXI века. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2016.
- Труфанов А.Я. Археологический рисунок. Опыт методического анализа. Екатеринбург: Караван, 2015.
- Чжоу Ч. Применение технологий трехмерной реконструкции в палеолитической археологии // *Universum Humanitarium*. 2017. № 1. С. 120–143.
- Шалагина А.В., Колобова К.А., Кривошапкин А.И. Анализ последовательности сколов (scar-pattern) как инструмент реконструкции процесса изготовления каменных артефактов // *Stratum plus*. Археология и культурная антропология. 2019. № 1. С. 145–154.
- Шалагина А.В., Колобова К.А., Чистяков П.В., Кривошапкин А.И. Применение трехмерного геометрико-морфометрического анализа для изучения артефактов каменного века // *Stratum plus*. 2020. No. 1. С. 343–358.
- 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
- 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 // *Proceedings of the 2nd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*. Ottawa, Canada, 1999. P. 34–43.
- Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Tools for Discovery in Archaeology* / eds. by B. Frischer, A. Dakouri-Hild. Oxford: Archaeopress, 2008.
- Cassen S., Lescop L., Grimaud V., Robin G. Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France) // *Journal of Archaeological Science*. 2014. Vol. 45. P. 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.019>
- Chen F., Welker F., Shen Ch.-Ch., Bailey Sh.E., Bergmann I., Davis S., Xia H., Wang H., Fischer R., Freidline S.E., Yu T.-L., Skinner M.M., Stelzer S., Dong G., Fu Q., Dong G., Wang J., Zhang D., Hublin J.-J. A late Middle Pleistocene Denisovan mandible from the Tibetan Plateau // *Nature*. 2019. Vol. 569. P. 409–412. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1139-x>
- Cobden R., Clarkson C., Price G.J., David B., Geneste J.-M., Delannoy J.-J., Barker B., Lamb L., Gunn R.G. The identification of extinct megafauna in rock art using geometric morphometrics: A *Genyornis newtoni* painting in Arnhem Land, northern Australia? // *Journal of Archaeological Science*. 2017. Vol. 87. P. 95–107.
- Conlon V.M. Camera techniques in archaeology. London: John Baker, 1973.
- Counts D.B., Averett E.W., Garstki K. A fragmented past: (re)constructing antiquity through 3D artefact modelling and customised structured light scanning at Athienou-Malloura, Cyprus // *Antiquity*. 2016. No. 90 (349). P. 206–218. <https://doi.org/10.15184/aqy.2015.181>
- Courtenay L.A., Maté-González M.Á., Aramendi J., Yravedra J., González-Aguilera D., Domínguez-Rodrigo M. Testing accuracy in 2D and 3D geometric morphometric methods for cut mark identification and classification // *PeerJ*. 2018. Vol. 6, No. e5133 <https://doi.org/10.7717/peerj.5133>
- Dillon B.D. The Student's guide to archaeological illustrating. Los Angeles: Institute of Archaeology, University of California, 1985.
- Dorrell P. Photography in archaeology and conservation (Second Edition). Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- Freidline S.E., Gunz P., Janković I., Harvati K., Hublin J.J. A comprehensive morphometric analysis of the frontal and zygomatic bone of the Zuttiyeh fossil from Israel // *Journal of Human Evolution*. 2012. Vol. 62. P. 225–241. DOI: 10.1016/j.jhevol.2011.11.005
- Goddard S. The importance of illustration in archaeology and the exemplary work of Robert Gurd // *Sussex Archaeological Collections*. 2000. Vol. 38. P. 7–13.

- Griffiths N., Jenner A., Wilson C. Drawing Archaeological finds, A Handbook. London: Archetype publications Ltd, 1990.
- Grosman L., Ovadia A., Bogdanovsky A. Neolithic Masks in a Digital World // Face to Face. The Oldest Masks in the World. Jerusalem: The Israel Museum, 2014.
- Gunz P., Bulygina E. The Mousterian child from Teshik-Tash is a Neanderthal: A geometric morphometric study of the frontal bone // American Journal of Physical Anthropology. 2012. Vol. 149 (3). P. 365–379. DOI: 10.1002/ajpa.22133
- Harush O., Grosman L. Toward the identification of social signatures in ceramic production – An archaeological case study // PLoS ONE. 2021. Vol. 16 (7), No. e0254766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254766>
- Herzlinger G., Goren-Inbar N., Grosman L. A new method for 3D geometric morphometric shape analysis: The case study of handaxe knapping skill // Journal of Archaeological Science: Reports. 2017. Vol. 14. P. 163–173. DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.05.013
- Herzlinger G., Grosman L. AGMT3-D: A software for 3-D landmarks-based geometric morphometric shape analysis of archaeological artifacts // PLoS ONE. 2018. Vol. 13 (11). No. e0207890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207890>
- Hodder I. The Archaeological Process: An Introduction. Oxford: Blackwell Publishers Ltd, 1999.
- Jones A. Drawn from Memory: The archaeology of aesthetics and the aesthetics of archaeology in Earlier Bronze Age Britain and the Present // World Archaeology. 2001. Vol. 33 (2). P. 334–356.
- 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
- Klein N., Belfer-Cohen A., Grosman L. Bone tools as the paraphernalia of ritual activities: a case study from Hilazon Tachtit cave // Eurasian Prehistory. 2017. No. 13 (1–2). P. 91–104.
- 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 & Anthropology of Eurasia. 2019. Vol. 47, No. 4. P. 66–76. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2019.47.4.066-076>
- Kolobova K.A., Roberts R.G., Chabai V.P., Jacobs Z., Krajcarz M.T., Shalagina A.V., Krivoshapkin A.I., Li B., Uthmeier T., Markin S.V., Morley M.W., O’Gorman K., Rudaya N.A., Talamo S., Viola B., Derevianko A.P. Archaeological evidence for two separate dispersals of Neanderthals into southern Siberia // PNAS. 2020a. Vol. 117 (6). P. 2879–2885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918047117>
- Kolobova K., Rendu W., Shalagina A., Chistyakov P., Kovalev V., Baumann M., Koliashnikova A., Krivoshapkin A. The application of geometric-morphometric shape analysis to Middle Paleolithic bone retouchers from the Altai Mountains, Russia // Quaternary International. 2020b. Vol. 559. P. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.06.018>
- Levoy M., Pulli K., Curlless B., Rusinkiewicz S., Koller D., Pereira L., Ginzton M., Anderson S., Davis J., Ginsberg J., Shade J. The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues // Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM Press, Addison-Wesley Publishing Co., 2000. P. 131–144.
- Luo T., Li R., Zha H. 3D line drawing for archaeological illustration // International Journal of Computer Vision. 2011. Vol. 94. P. 23–25. DOI: 10.1007/s11263-010-0394-y
- Li R., Luo T., Zha H. Computer Assisted Archaeological Line Drawing // Computer. 2011. Vol. 44, Is. 7. P. 62–65.
- Martingell H., Saville A. The Illustration of Lithic Artefacts: A Guide to Drawing Stone Tools for Specialist Reports. Northampton, 1988.
- Maté-González M.A., Courtenay L.A., Aramendi J., Yravedra J., Mora R., González-Aguilera D., Domínguez-Rodrigo M. Application of geometric morphometrics to the

- analysis of cut mark morphology on different bones of differently sized animals. Does size really matter? // *Quaternary International*. 2019. Vol. 517. P. 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.01.021>.
- McPherron S.P., Gernat T., Hublin J.J. Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds // *Journal of Archaeological Science*. 2009. Vol. 36. P. 19–24.
- Moser S. Archaeological Visualisation: Early artefact illustration and the birth of the archaeological image // *Archaeological Theory Today (Second Edition)* / ed. by I. Hodder. Cambridge: Polity Press, 2012. P. 292–322.
- Nylund S. Artist or Specialist? // *Archaeology Ireland*. 2009. Vol. 23 (2). P. 18–21.
- Pastors A., Weniger G.-C. Close range sensing for generating 3D objects in prehistoric archaeology // *Proceedings of the ISPRS WG VII/5 Workshop*, 18-19.11.2011. Köln: Cologne, 2011. P. 103–106.
- Piccoli C. Visualizing antiquity before the digital age: early and late modern reconstructions of Greek and Roman cityscape // *Excerpta Archaeologica Leidensia II*. 2017. P. 225–259.
- Plisson H., Zotkina L.V. From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies // *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2015. Vol. 2. P. 102–119. DOI: 10.1016/j.daach.2015.06.002
- Porter S., Roussel M., Soressi M. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field: Lithic Examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France) // *Advances in Archaeological Practice*. 2016. Vol. 4 (1). P. 71–86. DOI: 10.7183/2326-3768.4.1.71
- Raczynski-Henk Y. Drawing lithic artefacts. Leiden: Sidestone Press, 2017.
- Richardson E., Grosman L., Smilansky U., Werman M. Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. *Archaeology in the Digital Era* // *Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Southampton: Amsterdam University Press, 2013. P. 83–92.
- Riel-Salvatore J., Bae M., Clark G.A., Lindly J.M., McCartney P., Razdan A. The past meets the future: 3D modeling technology and lithic analysis at Wadi al-Hasa locality 623X // *Journal of Human Evolution*. 2004. Vol. 42 (3). P. A29.
- Serwatka K. Shape variation of Middle Palaeolithic bifacial tools from southern Poland: a geometric morphometric approach to Keilmessergruppen handaxes and backed knives // *Lithics*. 2014. Vol. 35. P. 18–32.
- Serwatka K., Riede F. 2D geometric morphometric analysis casts doubt on the validity of large tanged points as cultural markers in the European Final Palaeolithic // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2016. Vol. 9. P. 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.018>
- South S.A. Photography in Historical Archaeology // *Historical Archaeology*. 1968. Vol. 2. P. 73–113.
- Stamatopoulos M.I., Anagnostopoulos C. 3D digital reassembling of archaeological ceramic pottery fragments based on their thickness profile. 2016. CoRR abs/1601.05824. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1601/1601.05824.pdf>
- Steiner M. *Approaches to Archaeological Illustration*. York: Council for British Archaeology, 2005.
- Zotkina L.V., Kovalev V.S. Lithic or Metal Tools: Techno-Traceological and 3D Analysis of Rock Art // *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2019. Vol. 13. DOI: 10.1016/j.daach.2019.e00099

References

- About J. (1999) The Florentine Pietà: can visualization solve the 450-year-old mystery? *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19(1), pp. 6–10. DOI:10.1109/38.736462

- Artsikhovskii A.V. (1972) *Polevaia arkhologiiia SSSR: ucheb. posobie* [Field Archeology of the USSR: A Textbook]. Moscow: Vysshaia shkola.
- Beraldin J.A., Blais F., Courmoyer L., Rioux M., El-Hakim S.H., Rodella R., Bernier F., Harrison N. (1999) Digital 3D imaging system for rapid response on remote sites, *Proceedings of the 2nd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling*. Ottawa, Canada, pp. 34–43.
- Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Tools for Discovery in Archaeology* / Editors Frischer B., Dakouri-Hild A. Oxford, Archaeopress, 2008.
- Cassen S., Lescop L., Grimaud V. Robin G. (2014) Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France), *Journal of Archaeological Science*, Vol. 45, pp. 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.019>
- Chen F., Welker F., Shen Ch.-Ch., Bailey Sh.E., Bergmann I., Davis S., Xia H., Wang H., Fischer R., Freidline S.E., Yu T.-L., Skinner M.M., Stelzer S., Dong G., Fu Q., Dong G., Wang J., Zhang D. Hublin J.-J. (2019) A late Middle Pleistocene Denisovan mandible from the Tibetan Plateau, *Nature*, Vol. 569, pp. 409–412. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1139-x>
- Chou Ch. (2017) Primenenie tekhnologii trekhmernoï rekonstruktsii v paleolicheskoi arkhologii [Application of 3D Reconstruction Technologies in Paleolithic Archaeology], *Universum Humanitarium*, no. 1, pp. 120–143.
- Cobden R., Clarkson C., Price G.J., David B., Geneste J-M., Delannoy J-J, Barker B., Lamb L., Gunn R.G. (2017) The identification of extinct megafauna in rock art using geometric morphometrics: A Genyornis newtoni painting in Arnhem Land, northern Australia? *Journal of Archaeological Science*, Vol. 87, pp. 95–107.
- Conlon V.M. (1973) *Camera techniques in archaeology*. London, John Baker.
- Counts D.B., Averett E.W., Garstki K. (2016) A fragmented past: (re)constructing antiquity through 3D artefact modelling and customised structured light scanning at Athienou-Malloura, Cyprus, *Antiquity*, no. 90(349), pp. 206–218. <https://doi.org/10.15184/aqy.2015.181>
- Courtenay L.A., Maté-González M.Á, Aramendi J, Yravedra J, González-Aguilera D, Domínguez-Rodrigo M. (2018) Testing accuracy in 2D and 3D geometric morphometric methods for cut mark identification and classification, *PeerJ*, Vol. 6, no. e5133 <https://doi.org/10.7717/peerj.5133>
- Dillon B.D. (1985) *The Student's guide to archaeological illustrating*. Los Angeles, Institute of Archaeology, University of California.
- Dorrell P. (1994) *Photography in archaeology and conservation (Second Edition)*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Freidline S.E., Gunz P., Janković I., Harvati K., Hublin J.J. (2012) A comprehensive morphometric analysis of the frontal and zygomatic bone of the Zuttiyeh fossil from Israel, *Journal of Human Evolution*, Vol. 62, pp. 225–241. DOI: 10.1016/j.jhevol.2011.11.005
- Goddard S. (2000) The importance of illustration in archaeology and the exemplary work of Robert Gurd, *Sussex Archaeological Collections*, Vol. 38, pp. 7–13.
- Griffiths N., Jenner A., Wilson C. (1990) *Drawing Archaeological finds, A Handbook*. London, Archetype publications Ltd.
- Grosman L., Ovadia A., Bogdanovsky A. (2014) Neolithic Masks in a Digital World. In: *Face to Face. The Oldest Masks in the World*. Jerusalem, The Israel Museum.
- Gunz P., Bulygina E. (2012) The Mousterian child from Teshik-Tash is a Neanderthal: A geometric morphometric study of the frontal bone, *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 149(3), pp. 365–379. DOI: 10.1002/ajpa.22133
- Harush O., Grosman L. (2021) Toward the identification of social signatures in ceramic production – An archaeological case study, *PLoS ONE*, Vol. 16(7), no. e0254766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254766>

- Herzlinger G., Goren-Inbar N., Grosman L. (2017) A new method for 3D geometric morphometric shape analysis: The case study of handaxe knapping skill, *Journal of Archaeological Science: Reports*, Vol. 14, pp. 163–173. DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.05.013
- Herzlinger G., Grosman L. (2018) AGMT3-D: A software for 3-D landmarks-based geometric morphometric shape analysis of archaeological artifacts, *PLoS ONE*, Vol. 13(11), no. e0207890. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207890>
- Hodder I. (1999) *The Archaeological Process: An Introduction*. Oxford, Blackwell Publishers Ltd.
- Jones A. (2001) Drawn from Memory: The archaeology of aesthetics and the aesthetics of archaeology in Earlier Bronze Age Britain and the Present, *World Archaeology*, Vol. 33(2), pp. 334–356.
- Karasik A., Smilansky U. (2008) 3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory, *The Journal of Archaeological Science*, Vol. 35, pp. 1148–1168. DOI: 10.1016/j.jas.2007.08.008
- Klein N., Belfer-Cohen A., Grosman L. (2017) Bone tools as the paraphernalia of ritual activities: a case study from Hilazon Tachtit cave, *Eurasian Prehistory*, no. 13(1–2), pp. 91–104.
- Kolobova K. A., Fedorchenko A. Y., Basova N. V., Postnov A. V., Kovalev V. S., Chistyakov P. V., Molodin V. I. (2019) 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 & Anthropology of Eurasia*, Vol. 47, no. 4, pp. 66–76. <https://doi.org/10.17746/1563-0110.2019.47.4.066-076>
- Kolobova K., Rendu W., Shalagina A., Chistyakov P., Kovalev V., Baumann M., Koliashnikova A., Krivoschapkin A. (2020b) The application of geometric-morphometric shape analysis to Middle Paleolithic bone retouchers from the Altai Mountains, Russia, *Quaternary International*, Vol. 559, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.06.018>
- Kolobova K.A., Roberts R.G., Chabai V.P., Jacobs Z., Krajcarz M.T., Shalagina A.V., Krivoschapkin A.I., Li B., Uthmeier T., Markin S.V., Morley M.W., O’Gorman K., Rudaya N.A., Talamo S., Viola B., Derevianko A.P. (2020a) Archaeological evidence for two separate dispersals of Neanderthals into southern Siberia, *PNAS*, Vol. 117(6), pp. 2879–2885. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918047117>
- Kolobova K.A., Shalagina A.V., Chistiakov P.V., Bocharova E.N., Krivoschapkin A.I. (2020) Vozможности primeneniia trekhmernogo modelirovaniia dlia issledovaniia kompleksov kamennogo veka [Three-Dimensional Modelling Application for Studying Stone Age Assemblages], *Sibirskie istoricheskie issledovaniia*, no. 4, pp. 240–260. DOI: 10.17223/2312461X/30/12
- Kolobova K.A., Zotkina L.V., Markin S.V., Vasil’ev S.K., Chistiakov P.V., Bocharova E.N., Kharevich A.V. (2021) Kompleksnoe izuchenie personal'nogo ukrasheniia iz reztsa surka v ranegolotsenovom komplekse peshchery Kaminnaya (Rossiiskii Altai) [Complex Study of a Personal Ornament Made on a Marmot Incisor from the Early Holocene Complex of Kaminnaya Cave (Russian Altai)], *Stratum plus: Arkheologiya i kul'turnaia antropologiya*, no. 1, pp. 319–335.
- Levoy M., Pulli K., Curless B., Rusinkiewicz S., Koller D., Pereira L., Ginzton M., Anderson S., Davis J., Ginsberg J., Shade J. (2000) The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues, *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM Press, Addison-Wesley Publishing Co, pp. 131–144.
- Li R., Luo T., Zha H. (2011) Computer Assisted Archaeological Line Drawing, *Computer*, Vol. 44, Iss. 7, pp. 62–65.
- Luo T., Li R., Zha H. (2011) 3D line drawing for archaeological illustration, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 94, pp. 23–25. DOI 10.1007/s11263-010-0394-y
- Martingell H., Saville A. (1988) *The Illustration of Lithic Artefacts: A Guide to Drawing Stone Tools for Specialist Reports*. Northampton.
- Martynov A.I., Sher Ia.A. (2002) *Metody arkheologicheskogo issledovaniia: ucheb. posobie* [Archaeological Research Methods: A Textbook]. Moscow: Vysshaya shkola.
- Maté-González M.A., Courtenay L.A., Aramendi J., Yravedra J., Mora R., González-Aguilera D., Domínguez-Rodrigo M. (2019) Application of geometric morphometrics to the analysis

- of cut mark morphology on different bones of differently sized animals. Does size really matter? *Quaternary International*, Vol. 517, pp. 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.01.021>.
- McPherron S.P., Gernat T., Hublin J.J. (2009) Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 36, pp. 19–24.
- Moser S. (2012) Archaeological Visualisation: Early artefact illustration and the birth of the archaeological image. In: Hodder I. (ed.) *Archaeological Theory Today (Second Edition)*. Cambridge, Polity Press, pp. 292–322.
- Myl'nikov V.P. (2016) *Fotografiia v otechestvennoi arkheologii: po materialam issledovaniia v Severnoi i Tsentral'noi Azii vo vtoroi polovine XX – nachale XXI veka* [Photography in Russian Archeology: Based on Research Materials in North and Central Asia in the Second Half of the 20th – Early 21st Centuries]. Novosibirsk: Izd-vo IAET SO RAN.
- Myl'nikov V.P., Myl'nikova L.N. (2009) *Fotografiia v arkheologii: ucheb.-metod. posobie* [Photography in Archeology: A Study Guide]. Novosibirsk: Izd-vo NGU.
- Nylund S. (2009) Artist or Specialist? *Archaeology Ireland*, Vol. 23(2), pp. 18–21.
- Pastors A., Weniger G-C. (2011) Close range sensing for generating 3D objects in prehistoric archaeology, *Proceedings of the ISPRS WG VII/5 Workshop, 18-19.11.2011*. Cologne, Köln, pp. 103–106.
- Piccoli C. (2017) Visualizing antiquity before the digital age: early and late modern reconstructions of Greek and Roman cityscape. In: *Excerpta Archaeologica Leidensia II*, pp. 225–259.
- Plisson H., Zotkina L.V. (2015) From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Vol. 2, pp. 102–119. DOI: 10.1016/j.daach.2015.06.002
- Porter S., Roussel M., Soressi M. (2016) A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field: Lithic Examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France), *Advances in Archaeological Practice*, Vol. 4(1), pp. 71–86. DOI:10.7183/2326-3768.4.1.71
- Raczynski-Henk Y. (2017) *Drawing lithic artefacts*. Leiden, Sidestone Press.
- Richardson E., Grosman L., Smilansky U., Werman M. (2013) Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. *Archaeology in the Digital Era*. In: *Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Southampton, Amsterdam University Press, pp. 83–92.
- Riel-Salvatore J., Bae M., Clark G.A., Lindly J.M., McCartney P., Razdan A. (2004) The past meets the future: 3D modeling technology and lithic analysis at Wadi al-Hasa locality 623X, *Journal of Human Evolution*, Vol. 42(3), pp. A29.
- Serwatka K. (2014) Shape variation of Middle Palaeolithic bifacial tools from southern Poland: a geometric morphometric approach to Keilmessergruppen handaxes and backed knives, *Lithics*, Vol. 35, pp. 18–32.
- Serwatka K., Riede F. (2016) 2D geometric morphometric analysis casts doubt on the validity of large tanged points as cultural markers in the European Final Palaeolithic, *Journal of Archaeological Science: Reports*, Vol. 9, pp. 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.07.018>
- Shalagina A.V., Kolobova K.A., Chistiakov P.V., Krivoschapkin A.I. (2020) Primenenie trekhmernogo geometriko-morfometricheskogo analiza dlia izucheniia artefaktov kamennogo veka [Application of 3D Geometric-Morphometric Analysis to the Study Of Stone Age Lithic Artifacts], *Stratum plus*, no. 1, pp. 343–358.
- Shalagina A.V., Kolobova K.A., Krivoschapkin A.I. (2019) Analiz posledovatel'nosti skolov (scar-pattern) kak instrument rekonstruktsii protsessa izgotovleniia kamennykh artefaktov [Scar Pattern Analysis as a Method for the Reconstruction of Lithic Artifacts Production Sequence], *Stratum plus. Arkheologiya i kul'turnaia antropologiya*, no. 1, pp. 145–154.
- South S.A. (1968) Photography in Historical Archaeology, *Historical Archaeology*, Vol. 2, pp. 73–113.

- Stamatopoulos M.I., Anagnostopoulos C. (2016) 3D digital reassembling of archaeological ceramic pottery fragments based on their thickness profile. *CoRR* abs/1601.05824 <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1601/1601.05824.pdf>
- Steiner M. (2005) *Approaches to Archaeological Illustration*. York, Council for British Archaeology.
- Trufanov A.Ia. (2015) *Arkheologicheskii risunok. Opyt metodicheskogo analiza* [Archeological Drawing. Methodical Analysis]. Ekaterinburg: izdatel'skaia gruppa "Karavan".
- Zotkina L.V., Kovalev V.S. (2019) Lithic or Metal Tools: Techno-Traceological and 3D Analysis of Rock Art, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Vol. 13. DOI: 10.1016/j.daach.2019.e00099
- Zotkina L.V., Kovalev V.S., Shalagina A.V. (2018) Vozmozhnosti i perspektivy primeneniia trekhmernoii vizualizatsii kak instrumenta analiza v arkheologii [Possibilities and Perspectives of Application of Tridimensional Visualization as a Tool of Analysis in Archeology], *Nauchnaia vizualizatsiia*, Vol. 10, no. 5, pp. 172–190.

Сведения об авторах:

БОЧАРОВА Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник, Институт археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия). E-mail: bocharova.e@gmail.com

ЧИСТЯКОВ Павел Вячеславович – младший научный сотрудник, Институт археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия). E-mail: pavelchist@gmail.com

ЖДАНОВ Равиль Камильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия). E-mail: rav@xarg.org

КОЛОБОВА Ксения Анатольевна – доктор исторических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник, Институт археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия). E-mail: kolobovak@yandex.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Ekaterina N. Bocharova, Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: bocharova.e@gmail.com

Pavel V. Chistyakov, Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: pavelchist@gmail.com

Ravil K. Zhdanov, Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: rav@xarg.org

Kseniya A. Kolobova, Institute of Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: kolobovak@yandex.ru

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 14 октября 2021 г.;
принята к публикации 09 сентября 2022 г.*

*The article was submitted 14.10.2021;
accepted for publication 09.09.2022.*