

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ МЕТОДОВ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 902:004.352

П.В. Чистяков, В.С. Ковалев, К.А. Колобова, А.В. Шалагина, А.И. Кривошапкин

Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск, Россия

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ АРТЕФАКТОВ ПРИ ПОМОЩИ СКАНЕРОВ СТРУКТУРИРОВАННОГО ПОДСВЕТА*

Трехмерное моделирование археологических артефактов в настоящее время является наиболее активно развивающимся направлением в археологии. Оно служит как для визуализации объектов археологического наследия, так и для верифицируемых научных исследований на недоступном ранее уровне детализации. В предлагаемой статье приводится универсальная методика сканирования археологических артефактов при помощи сканера структурированного подсвета. В результате применения сканирования можно получить масштабированную модель археологического артефакта, полностью соответствующую оригиналу. На примере трехмерных изображений каменных орудий даются основные рекомендации для сканирования археологических артефактов различных цветов и размеров. Приводятся примеры наиболее распространенных ошибок, появляющихся при сканировании в результате неправильных настроек оборудования либо из-за физических свойств сканируемых объектов. Алгоритмы исправления ошибок могут применяться для любых сканирующих устройств и сканирования любых типов артефактов. Предлагаемая статья может быть использована в качестве рекомендации для обучения сканированию археологических объектов сканерами структурированного подсвета.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, 3D сканирование, сканеры структурированного подсвета, археологические объекты, масштабирование.

DOI: 10.14258/tpai(2019)3(27).-07

Введение

В последние десятилетия развитие естественно-научных и технических методов позволило использовать их для достижения научных целей в гуманитарных дисциплинах. Это обстоятельство повлияло на развитие самих гуманитарных наук, поскольку привело к ускоренному росту их возможностей. Одним из наиболее перспективных и активно развивающихся сейчас направлений является применение методов 3D моделирования в археологии. 3D моделирование может использоваться как для документирования археологических объектов, тем самым заменяя графический рисунок и фотографию, так и для исследования самих моделируемых артефактов.

Создание масштабированных объемных моделей приносит не только научные, но и экономические преимущества, поскольку позволяет в короткие сроки создавать значительное количество двухмерных изображений, заменяющих графические рисунки. Кроме того, обучение работе на специализированном оборудовании не требует значительных временных затрат, поскольку пользователь должен уметь применять только стандартные компьютерные графические программы. Определенной трудностью являются материальные затраты, связанные с первоначальной покупкой оборудования, однако в настоящее время наблюдается общая тенденция постепенного удешевления

* Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Института археологии и этнографии СО РАН №0264-2019-0009 «Цифровые технологии в реконструкции стратегий жизнеобеспечения древнего населения Евразии».

сканеров структурированного подсвета, что, несомненно, приведет к их широкому использованию в археологических исследованиях [Вавулин и др., 2014].

В настоящее время в археологических и палеонтологических исследованиях наиболее распространено 3D моделирование методами фотограмметрии и сканирования (лазерные сканеры и сканеры структурированного подсвета) [Grosman et al., 2008; DeReu et al., 2013; Gajski et al., 2016; Зоткина и др., 2018]. В отечественных археологических исследованиях фотограмметрия применяется несколько чаще, чем 3D сканирование, в силу относительной доступности оборудования и программного обеспечения [Грушин, Сосновский, 2018; Павленок и др., 2016]. С другой стороны, в результате применения метода фотограмметрии получают немасштабированные модели, более подходящие для реализации задач документирования и визуализации [Garstki et al., 2017]. Мы намеренно не затрагиваем вопросы создания 3D моделей при помощи компьютерной томографии, поскольку этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

Моделирование каменных артефактов, особенно с помощью сканеров структурированного подсвета, на сегодняшний день является одним из самых быстроразвивающихся направлений в археологии. Масштабированные модели артефактов обеспечивают возможность получения верифицируемых морфологических и статистических данных, недоступных ранее, до распространения новых технологий [Morales et al., 2015; Herzlinger et al., 2017; Шалагина и др., 2017].

В настоящей статье мы предлагаем обзор методики сканирования археологических артефактов сканерами структурированного подсвета с детальным рассмотрением наиболее распространенных ошибок, возникающих у исследователей вследствие физических характеристик сканируемого объекта, неправильных настроек оборудования либо погрешностей в позиционировании сканируемых объектов. Поскольку практически все сканеры структурированного подсвета используют однотипный алгоритм сканирования, предлагаемая методика подойдет и для настройки сканеров других марок. Алгоритмы исправления ошибок сканирования также подойдут для любых сканеров структурированного подсвета.

Методика сканирования

Методика сканирования археологических объектов приводится на примере каменных артефактов, которые представляют собой разнообразный по своим морфометрическим свойствам класс археологических объектов, перспективный с точки зрения создания 3D моделей и их последующего исследования. Мы описываем процесс создания бестекстурных моделей каменных артефактов, поскольку они наиболее удобны для научных исследований, в то время как модели с текстурами более соответствуют целям документирования и визуализации.

В данной работе в качестве примера мы используем каменные артефакты, полученные в результате экспериментального моделирования: бифасиальное острие из обсидиана и бифасиальное скребло из засурынского яшмоида. Оба артефакта обладают средними размерами, требующими соответствующей калибровки сканера, они изготовлены из каменного сырья темного цвета, в случае обсидианового острия – блестящего. Данные обстоятельства при создании 3D моделей определяют некоторые трудности, преодоление которых будет описано ниже.

Методика сканирования представлена на примере использования сканера структурированного подсвета Range Vision Spectrum 3.1 отечественного производства.

Выбор данного сканера, с одной стороны, обусловлен высоким качеством моделей, которые возможно получить с его помощью, а с другой стороны – его относительно невысокой ценой. С нашей точки зрения, в настоящий момент он является оптимальной моделью на отечественном рынке, превосходящей по своим техническим характеристикам подобное оборудование из низкого ценового сегмента. Данный сканер позволяет создавать модели с высоким разрешением на поворотном столе и с маркерами, а также позволяет создавать текстурные и бестектурные модели.

Существует несколько способов сканирования каменных артефактов. Предпочтительный способ – сканирование с использованием поворотного стола без меток. Объект сканирования устанавливается на платформе стола и автоматически сканируется с нескольких ракурсов. Оптимальное количество снимков сканируемого объекта от 8 до 12. При увеличении числа положений возможно создание избыточного числа фрагментов изображений объекта, что приведет к долгой обработке и менее качественному результату, чем при оптимальном количестве снимков. Данный способ сканирования предполагает, что отдельные снимки объекта, объединенные в одну группу, автоматически совмещаются. Мы советуем применять данный способ сканирования, поскольку он оптимален по соотношению качества результата и затраченного на его получение времени.

При сканировании с маркерами (специальными метками), они наклеиваются как на сам объект, так и на вспомогательную подложку или вспомогательные крепежные приспособления. Маркеры должны наклеиваться на ровные участки объекта, без изгибов или деформации самих меток.

Процесс сканирования артефактов включает следующие этапы:

1. *Подготовка к работе, требования к освещенности, рабочему месту, объектам сканирования.* В первую очередь необходимо собрать сканер согласно прилагаемой инструкции (рис. 1.-1). Сканер, как и сканируемый объект, необходимо установить на ровную и стабильную поверхность. Следует избегать изменений условий сканирования. Во время оцифровки на поворотном столе объект не должен выходить за поле зрения сканера. При оцифровке полумрак обеспечит хороший результат сканирования, но при сканировании с текстурой желательно настроить освещение.

Для упрощения последующей обработки сканов (например, для удаления поверхности поворотного стола и других ненужных элементов, не относящихся к объекту) рекомендуется размещать объект либо на подставке, либо на многоразовой пластилиноподобной липкой массе, либо в специальном креплении. Это обеспечит простую возможность удаления ненужных элементов (рис. 1.-2).

2. *Калибровка сканера.* Калибровка необходима для настройки фокусного расстояния и расстояния между камерами. В зависимости от размера сканируемого объекта эти расстояния будут разными. При запуске сканера и программы ScanCenter NG на компьютере проводится проверка на наличие текущей версии программного обеспечения и проверка подключения всех устройств сканера (проектора и камер). В случае появления ошибки подключения одного или нескольких компонентов необходимо проверить подключение кабелей, питания и обновить подключение (рис. 2.-1). При успешном подключении всех компонентов сканера программа запустится, и начальное меню программы станет доступным для пользователя (рис. 2.-2).

3. *Выбор зоны сканирования.* Перед началом настройки необходимо выбрать соответствующую зону (область) сканирования в зависимости от размеров сканируемого



Рис. 1. Трехмерное моделирование при помощи сканера структурированного подсвета:
1 – сканер Range Vision Spectrum 3.1 в полной сборке;
2 – процесс сканирования каменного артефакта

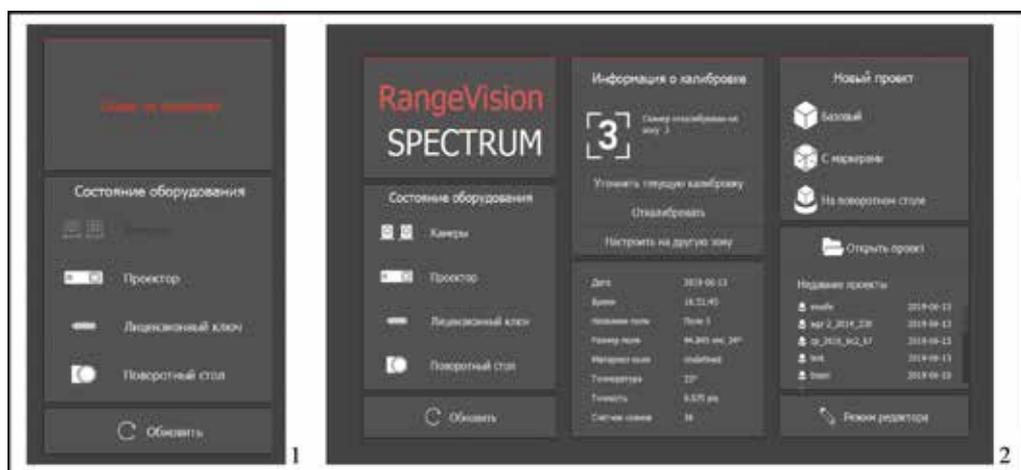


Рис. 2. Программное обеспечение ScanCenter NG: 1 – ошибка определения оборудования сканера; 2 – состояние программного обеспечения сканера, готового к работе

объекта. Зона сканирования – это набор калибровочного поля и подставки для поля, позволяющий настроить сканер на определенную область сканирования. В большинстве случаев зона сканирования правильно подобрана, если размер объекта примерно равен размеру калибровочного поля, входящего в набор оборудования 3D сканера. После выбора калибровочного поля нужного размера вводим его точный размер, указанный на обратной стороне в «Мастере настройки».

4. *Предварительная настройка камер.* При настройке камер сканера необходимо обратить внимание на то, что правая камера должна соответствовать правому снимку, а левая – левому. Если камеры перепутаны местами, необходимо изменить их состояние в программе. В диалоге «Настройка оборудования» на вкладке «Камеры» используем опцию «Поменять камеры местами». Изображение, передаваемое с камер на монитор, может быть слишком ярким или темным из-за различий в яркости внешнего

освещения. Вручную необходимо настроить диафрагму объективов так, чтобы изображение было приемлемой яркости, без красных зон, пересвета и не слишком темное. Настройка диафрагмы осуществляется кольцом на корпусе объектива.

5. *Определение рабочего расстояния.* В каждой зоне сканирования сканер определяет рабочее расстояние (расстояние до объекта). При настройке сканера это расстояние определяется с помощью калибровочного поля. Для определения рабочего расстояния нужно установить калибровочное поле перед сканером. Двигая поле ближе или дальше от камеры, совмещаем крайние метки калибровочного поля с синей сеткой на изображении, передаваемом с камеры.

6. *Настройка фокуса проектора.* Проектор при работе сканера проецирует на сканируемый объект структурированный подсвет – кодированные линии и полосы (рис. 1.-2). Фокус проектора нужно настроить таким образом, чтобы линии на калибровочном поле, расположенном на рабочем расстоянии, были максимально резкими. Настройка фокуса проектора осуществляется кольцом на корпусе объектива.

7. *Сведение камер.* Для работы сканера его камеры должны быть сведены в одну точку на найденном рабочем расстоянии. На этом этапе полное совмещение креста с метками на проецируемом изображении не обязательно. Сфокусированный проектор должен проецировать крест на любую часть калибровочного поля или любую другую поверхность, расположенную на рабочем расстоянии от сканера.

8. *Настройка выдержки камер.* После создания проекта объект устанавливается по центру платформы стола и в подсвете проектора включаются «Полосы». Регулировкой выдержки камер устанавливается максимальное значение экспозиции, при котором не появляются красные области на проецируемых линиях (рис. 3.-1).

При сканировании контрастно окрашенного объекта можно включить режим выдержки второго снимка. Применение данной функции позволяет получить два сканируемых изображения: один – с низкой экспозицией, а другой – с высокой. Для этого сначала устанавливается значение экспозиции, соответствующее съемке светлых областей, а после активизации «Выдержки второго снимка» устанавливается значение экспозиции для съемки темных областей.

В зонах пересвета, которые выделяются красным цветом на изображениях с камер, расчет модели не производится, и в результате сканирования получается пустая область. Регулировка экспозиции производится только программно. При попытке регулировки колец диафрагмы на объективах камер произойдет раскалибровка.

9. *Калибровка сканера.* После настройки камер необходимо выполнить калибровку с помощью калибровочного поля. Программа анализирует изображение поля, получаемое с камер, и сравнивает его с математической моделью, заложенной в алгоритме программы.

Существует три типа калибровки: полная калибровка, уточнение текущей калибровки (быстрая калибровка) и калибровка поворотного стола. Полная калибровка используется при перенастройке камер и смене зоны сканирования, при любых подозрениях на ухудшение точности сканирования, после транспортировки сканера. Уточнение текущей калибровки используется при подозрении, что камера сдвинулась вследствие ненадежного закрепления, для проверки точности выполненной калибровки, перед каждой новой сессией работы со сканером. Калибровка поворотного стола описывается в следующем пункте методики.

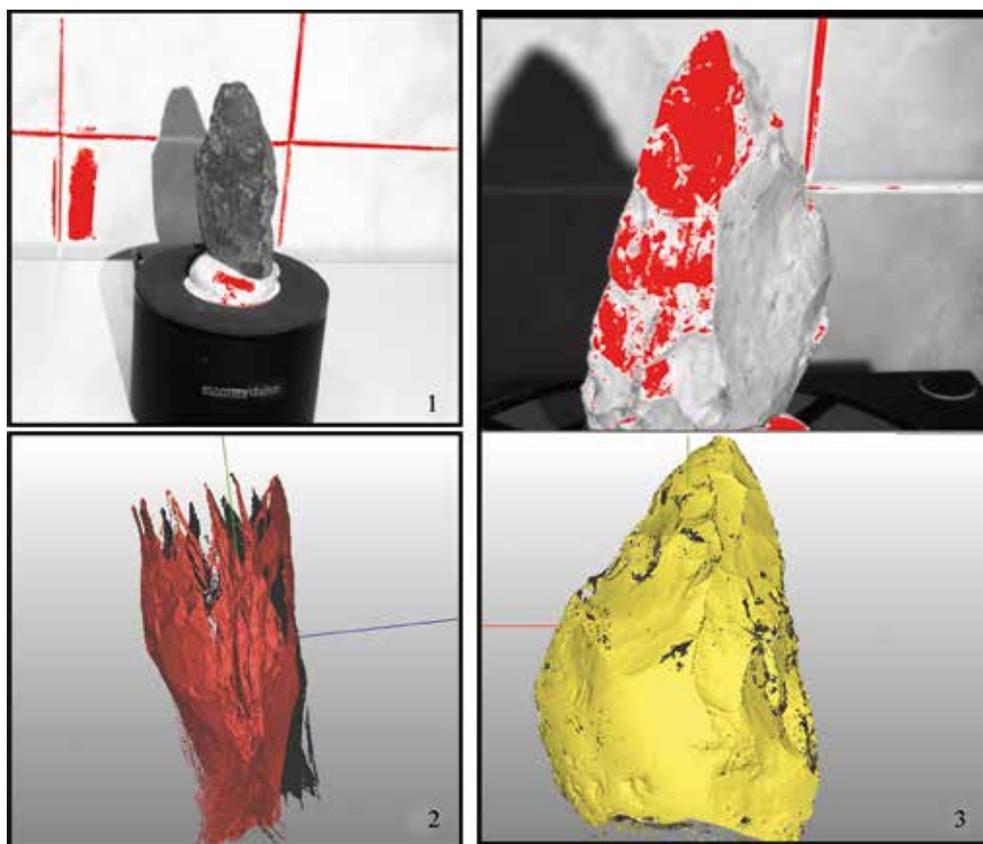


Рис. 3. Процесс создания трехмерной модели и возможные ошибки: 1 – установка выдержки; 2 – ошибка калибровки сканера; 3 – ошибка установки выдержки

Для установки камер в нужное положение, соответствующее выбранной зоне сканирования, откручиваются винты крепления, и камеры передвигаются. В процессе передвижения камер совмещается вертикальная линия креста и центральная синяя вертикальная линия на изображении, проецируемом с каждой из камер. Небольшое отклонение между правой и левой камерами по высоте не влияет на качество сканирования. После выставления положения камер проецируемый крест совмещается с центральной меткой на калибровочном поле.

Калибровка сканера проводится по 11 снимкам. Необходимо внимательно следить за положением поля при каждом снимке, поскольку в некоторых положениях программа будет запрашивать определенный поворот калибровочного поля.

После того как все необходимые снимки сделаны, автоматически запустится модуль калибровки и программа сообщит точность калибровки. Оптимальным значением можно считать точность, не превышающую 0.05. При получении более высоких значений калибровку необходимо повторить.

10. *Калибровка поворотного стола* (определение оси стола) проводится при любом изменении положения поворотного стола относительно сканера и рекомендуется перед каждой новой сессией сканирования.

Перед началом сканирования на поворотном столе сканируемый объект устанавливается по центру стола. В подсвете проектора включается «Крест» и проектор наводится так, чтобы объект при сканировании находился в полной видимости камер. Затем объект сканирования удаляется со стола и на его место устанавливается калибровочное поле на размер меньше используемого при калибровке сканера. Используется специальное поле «Для оценки оси». Нажимаем кнопку «Калибровка по полю» в меню «Столик», и экспозиция выставляется таким образом, чтобы на калибровочном поле не появлялись красные точки. После этого нажимается кнопка «Оценить ось». После проведения всех указанных действий сканер сообщает результат своей калибровки. Оптимальное значение результата оценки оси не должно превышать 0.006, иначе качество сканирования может сильно понизиться. При необходимости нужно повторить оценку оси.

Основные рекомендации по сканированию каменных артефактов

Сканируемые каменные артефакты различаются по размерам, форме, текстуре поверхности, наличию или отсутствию выемок, отверстий или трещин. Каждая из перечисленных характеристик может усложнить процесс сканирования.

При сканировании крупных объектов рекомендуется использовать самую крупную калибровочную панель. Сканировать крупные объекты на поворотном столе неудобно из-за размеров самого поворотного стола и размера объекта. Поэтому наиболее подходящим решением является использование специальной подложки из картона с наклеенными маркерами. При этом необходимо убедиться, что маркеры отчетливо видны и их расположение хаотично.

При сканировании каменных орудий среднего размера (от 4 до 15 см в наибольшем измерении) рекомендуется калибровать сканер на поле подходящего размера с использованием поворотного стола. Если на артефакте фиксируются мелкие детали, то используется поворотный стол и калибровка с самым маленьким калибровочным полем.

Сканирование артефактов производится в несколько этапов. Обычно сканируются верхняя и нижняя части артефакта, которые впоследствии программно совмещаются. При сканировании мелких объектов (до 3 см в наибольшем измерении) детализация полученной модели может быть недостаточной.

Алгоритмы исправления ошибок сканирования

Ошибки калибровки. Самой распространенной ошибкой, возникающей у неопытных пользователей при обучении трехмерному моделированию, является неверная, недостаточно точная калибровка сканера или потеря его калибровки. Безусловным индикатором возникновения такой ошибки являются получаемые трехмерные проекции следующего облика (рис. 3.-2). В случае возникновения такой ошибки рекомендуется повторить процесс полной калибровки сканера и убедиться в ее качестве.

Ошибка установки рабочего расстояния. Неопытный пользователь сканера может установить неправильное расстояние между сканером и поворотным столом: расположить их слишком близко или слишком далеко друг от друга, что приведет к созданию моделей крайне низкого качества, даже при качественной калибровке. Низкое качество моделей выражается в наличии многочисленных неотсканированных поверхностей, «дыр» на артефактах. Данная проблема решается перемещением поворотного стола относительно сканера.

Ошибки установки выдержки. Одной из наиболее частых ошибок, возникающих при сканировании, является неверный выбор выдержки камер сканера. Пример с неправильной выдержкой показан на рисунке (рис. 3.-3). В зависимости от цвета скани-

руемого артефакта пользователь каждый раз должен выбирать соответствующую выдержку, чтобы избежать засвечивания объекта. Индикатором засвечивания являются красные области на проецируемом камерой изображении.

Ошибки, возникающие вследствие физических свойств артефактов. Поверхность сканируемого объекта может быть темной, прозрачной, бликующей, с соседствующими светлыми и темными участками и т.д. На примере обсидианового бифаса (рис. 4.-1) показана трехмерная модель, которая получилась ненадлежащего качества из-за физических свойств сырья (рис. 4.-2). Темные и бликующие участки сканируются как пустая область. Для решения данного комплекса проблем необходимо покрыть сканируемые объекты специализированным матирующим спреем или легкосмываемой (акварель или гуашь) краской. Мы рекомендуем краску светлых оттенков (рис. 4.-3). После сканирования артефакта, покрытого краской, получаются трехмерные модели удовлетворительного качества.

Необходимо добавить, что даже темный цвет артефакта (темно-коричневый, темно-серый и др.) оказывает влияние на качество получаемой модели. Она может получиться излишне рельефной, или «шумной», покрытой многочисленными «пика-



Рис. 4. Трудности, возникающие при сканировании артефактов:
1 – блестящий артефакт черного цвета; 2 – трехмерная модель, полученная при сканировании блестящего артефакта черного цвета без дополнительной обработки;
3 – сканирование обработанного артефакта

ми». Данные изъяны будет невозможно исправить в процессе программной обработки трехмерной модели, поэтому даже в случае темного цвета сканируемого объекта рекомендуется покрытие светлой краской.



Рис. 5. Ошибка сканирования с маркерами

Ошибки, возникающие при сканировании с маркерами. Во время сканирования сканер находит маркеры и рассчитывает их координаты, наряду с координатами самого сканируемого объекта. Если на каждом сканируемом фрагменте достаточно маркеров, смежных с предыдущим, то новый фрагмент автоматически устанавливается в нужное положение. Таким образом, все фрагменты автоматически сливаются в трехмерную модель объекта, упрощая дальнейшую обработку данных сканирования. В некоторых случаях маркеры могут быть не видны, и модель будет собрана неверно (рис. 5). Произойти это может из-за ошибки калибровки самого сканера, неверно расположенных маркеров или их плохого качества (маркер поврежден, помят, испачкан и пр.). В этом случае рекомендуется заново провести калибровку сканера и переустановить новые маркеры таким образом, чтобы они не были деформированы. Возможен также вариант, при котором маркеры с предыдущего сканируемого фрагмента не определились на следующем. Минимальное количество смежных маркеров на сканируемых изображениях – 3,

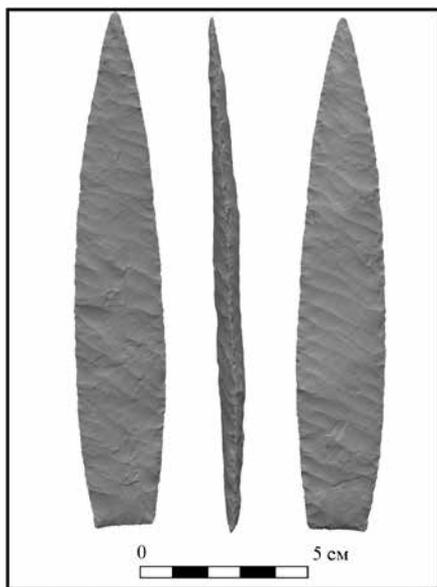


Рис. 6. Трехмерная модель отсканированного каменного артефакта

иначе сборка модели будет выполняться некорректно. В случае данной ошибки рекомендуется увеличить количество маркеров на сканируемой области.

При корректном сканировании и следовании перечисленным рекомендациям в результате должна получиться трехмерная модель, пример которой приведен на рисунке (рис. 6).

Заключение

Трехмерное моделирование с применением методов фотограмметрии или сканирования является крайне перспективным и активно развивающимся направлением в археологии. Трехмерные изображения, полученные с помощью сканеров структурированного подсвета, за счет отсутствия текстуры явно превосходят по информативности фотографии. За счет скорости создания моделей и качества визуализации трехмерное моделирование более предпочтительно, чем создание графических схем. Продемонстрированный алгоритм сканирования каменных артефактов подходит для любых археологических предметов. Приведенные примеры исправления ошибок призваны облегчить процедуру освоения сканирующих устройств и решения возникающих проблем.

Библиографический список

- Грушин С.П., Сосновский И.А. Фотограмметрия в археологии – методика и перспективы // Теория и практика археологических исследований. 2018. №1 (21). С. 99–105.
- 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.
- 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.
- Павленок Г.Д., Шалагина А.В., Шнайдер С.В., Ковалев В.С., Казаков В.В., Боманн М. Современная методика изучения археологических объектов во Франции: опыт участия в научных семинарах и полевых работах в провинции Дордонь (юго-запад Франции) // *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). С. 23–37.
- Шалагина А.В., Шнайдер С.В., Колобова К.А. Возможности применения 3-D сканирования и анализа последовательности сколов (scar pattern analysis) при изучении двустороннеобработанных орудий // Труды V (XXI) Всероссийского археологического съезда в Барнауле – Белокурихе. Барнаул : Азбука, 2017. Т. 1. С. 120–124.
- DeReu J., Plets G., Verhoeven G., DeSmedt P., Bats M., Cherretté B., De Maeyer W., Deconynck J., Herremans D., Lalo P., Van Meirvenne M., De Clercq W. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage // *Journal of Archaeological Science*. 2013. Vol. 40, Iss. 2. P. 1108–1121.
- Gajski D., Solter A., Gašparović M. Applications of macro photogrammetry in archaeology // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, 2016. Vol. XLI-B5. P. 263–266. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B5-263-2016.
- Garstki D. Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts // *Archaeological Method Theory*. 2017. №24. P. 726–750. DOI: 10.1007/s10816-016-9285-z.
- Grosman L., Smikt O., Smilansky U. On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts // *Journal of Archaeological Science*. 2008. №35 (12). P. 3101–3110.
- 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. №14. P. 163–173. doi:10.1016/j.jasrep.2017.05.013.
- Morales J.I., Soto M., Lorenzo C., Vergès J.M. The evolution and stability of stone tools: The effects of different mobility scenarios in tool reduction and shape features // *Journal of Archaeological Science*. 2015. №3. P. 295–305.

References

- Grushin S.P., Sosnovskij I.A. Fotogrammetriya v arheologii – metodika i perspektivy [Photogrammetry in Archaeology – Methods and Prospects]. Teoriya i praktika arheologicheskikh issledovanij [Theory and Practice of Archaeological Research]. 2018. №1 (21). Pp. 99–105.

Vavulin M.V., Zajceva O.V., Pushkarev A.A. Metodika i praktika 3D skanirovaniya raznotipnyh arheologicheskikh artefaktov [Methods and Practice of 3D Scanning of Different Types of Archaeological Artifacts]. *Sibirskie istoricheskie issledovaniya* [Siberian Historical Studies]. 2014. №4. Pp. 21–37.

Zotkina L.V., Kovalev V.S., Shalagina A.V. Vozmozhnosti i perspektivy primeneniya trekhmernoj vizualizacii kak instrumenta analiza v arheologii [Opportunities and Prospects for the Use of Three-Dimensional Visualization as an Analysis Tool in Archaeology]. *Nauchnaya vizualizaciya* [Scientific Visualization]. 2018. Vol. 10, №4. Pp. 172–190.

Pavlenok G.D., Shalagina A.V., Shnajder S.V., Kovalev V.S., Kazakov V.V., Bomann M. Sovremennaya metodika izucheniya arheologicheskikh ob'ektov vo Francii: opyt uchastiya v nauchnyh seminarah i polevyh rabotah v provincii Dordon' (yugo-zapad Francii) [Modern Methods of Studying Archaeological Objects in France: the Experience of Participation in Scientific Seminars and Field Work in the Province of Dordogne (south-west France)]. *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). Pp. 23–37.

Shalagina A.V., Shnajder S.V., Kolobova K.A. Vozmozhnosti primeneniya 3-D skanirovaniya i analiza posledovatel'nosti skolov (scar pattern analysis) pri izuchenii dvustoronneobrabotannykh orudij [Possibilities for the Use of 3-D Scanning and Analysis of the Sequence of Scars (scar pattern analysis) in the Study of Two-Sided Tools]. *Trudy V (XXI) Vserossijskogo arheologicheskogo s'ezda v Barnaule – Belokurikhe* [Proceedings of the V (XXI) All-Russian Archaeological Congress in Barnaul – Belokurikha]. Barnaul : Azbuka, 2017. Vol. 1. Pp. 120–124.

DeReu J., Plets G., Verhoeven G., DeSmedt P., Bats M., Cherretté B., De Maeyer W., Deconynck J., Herremans D., Lalloo P., Van Meirvenne M., De Clercq W. Towards a Three-Dimensional Cost-Effective Registration of the Archaeological Heritage // *Journal of Archaeological Science*. 2013. Vol. 40, Issue 2. Pp. 1108–1121.

Gajski D., Solter A., Gašparović M. Applications of Macro Photogrammetry in Archaeology // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, 2016*. Vol. XLI-B5. Pp. 263–266. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B5-263-2016.

Garstki D. Virtual Representation: the Production of 3D Digital Artifacts // *Archaeological Method Theory*. 2017. №24. Pp. 726–750. DOI: 10.1007/s10816-016-9285-z.

Grosman L., Smikt O., Smilansky U. On the Application of 3-D Scanning Technology for the Documentation and Typology of Lithic Artifacts // *Journal of Archaeological Science*. 2008. №35 (12). P. 3101–3110.

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. №14. Pp. 163–173. doi:10.1016/j.jasrep.2017.05.013.

Morales J.L., Soto M., Lorenzo C., Vergès J.M. The Evolution and Stability of Stone Tools: The Effects of Different Mobility Scenarios in Tool Reduction and Shape Features // *Journal of Archaeological Science*. 2015. №3. Pp. 295–305.

P.V. Chistyakov, V.S. Kovalev, K.A. Kolobova, A.V. Shalagina, A.I. Krivoschapkin

Institute of Archaeology and Ethnography of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

3D MODELING OF ARCHAEOLOGICAL ARTIFACTS BY STRUCTURED LIGHT SCANNER

Currently, 3D modeling of archaeological artifacts is the most actively developing science area in archaeology. It serves both for visualization of objects of the archaeological heritage, and for verifiable scientific research at a previously inaccessible level of detail. The proposed article provides a universal method for scanning archaeological artifacts using a structured light scanner. As a result of scan applying, you can get a scaled model of an archaeological artifact that fully corresponds to the original. Using the example of three-dimensional images of stone tools, basic recommendations are given for scanning archaeological artifacts of various colors and sizes. Examples of the most common errors that occur during scanning as a result of incorrect equipment settings or due to the physical properties of the scanned objects are given. Error correction algorithms can be used for any scanning devices and scanning any types of artifacts. The proposed article can be used as a teaching tool for learning to scan archaeological objects using scanners of structured illumination.

Key words: three-dimensional modeling, 3D scanning, structured light scanners, archaeological objects, scaling.