

Возможности и перспективы применения трехмерной визуализации как инструмента анализа в археологии

Л.В. Зоткина^{1,А,В}, В.С. Ковалев^{2,А}, А.В. Шалагина^{3,В}

^А Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

^В Институт археологии и этнографии СО РАН

¹ ORCID: 0000-0003-4333-5348

² ORCID: 0000-0002-2267-2452

³ ORCID: 0000-0002-1912-3882

Аннотация

В настоящей статье представлен небольшой обзор направлений использования трехмерной визуализации для различных задач в археологических исследованиях. Предложены первые результаты разработки специального программного обеспечения, направленного на упрощение и усовершенствование некоторых аналитических процедур, связанных с изучением разных видов археологических источников, на основе их трехмерных реконструкций. Речь идет о технологическом исследовании наскального искусства, направленном на установление специфических приемов выполнения петроглифов, составляющих основу технологических традиций, а также о scar-pattern анализе каменных артефактов, позволяющем выявить последовательность этапов изготовления орудий эпохи палеолита.

Представленный обзор и первые результаты апробации специального программного обеспечения 3DTracer демонстрируют важные тенденции в развитии методики археологических исследований – переход на качественно новый уровень возможностей корреляции данных, за счет усовершенствования и унификации базовых процедур обработки археологических материалов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1344.2017.6 (Зоткина Л.В. – трасологический анализ и трехмерная визуализация петроглифов; Ковалев В.С. – разработка программного обеспечения и трехмерная визуализация археологических артефактов) и гранта Российского научного фонда №14-50-00036 (Шалагина А.В. – технологический анализ каменных артефактов)

Ключевые слова: трехмерная визуализация, 3D, археология, трасология, технология, scar-pattern анализ, наскальное искусство, палеолит.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в археологии весьма активно применяется трехмерная визуализация [1-5]. Одно из наиболее широко развитых направлений ее использования связано с задачами музеефикации археологических объектов, их качественной демонстрации не только в исследовательских целях, но и в целях популяризации [2, 6, 7, 8].

Немаловажно, что в ходе археологических раскопок исследователь уничто-

жает памятник, таким образом, информация о нем утрачивается навсегда. Поэтому одной из задач является качественное документирование, как этапов работ (раскопа послойно), так и обнаруженных артефактов. Трехмерная визуализация хрупких, материалов очень слабой сохранности, обнаруженных при раскопках, является крайне необходимой. Это позволяет зафиксировать не только сам объект относительно целостным, при условии обнаружения его в неповрежденном положении (in situ), но и передать контекст, в котором объ-

ект был обнаружен, что крайне важно для дальнейших интерпретаций [11]. Создание трехмерных моделей археологических объектов становится неотъемлемой частью документирования для последующей реставрации и изучения этих объектов [8-11].

В связи с тем, что археологические источники часто имеют плохую сохранность или их текстура (патина, например) не всегда позволяет точно охарактеризовать морфологические особенности артефактов, трехмерная визуализация используется, прежде всего, как средство получения более объективных сведений о форме и рельефе изучаемых объектов [8, 12, 13]. В отличие от типов документирования, которые традиционно применяются в археологии (фотография, графический рисунок) с помощью трехмерной модели передается максимально полная информация об объекте. Напротив, классическое графическое изображение или фотография, так или иначе, несут субъективный характер и отражают только те свойства предмета, которые видит и стремится передать исследователь.

Помимо этого, 3D-визуализация при документировании археологических объектов и артефактов часто подразумевает использование ее как инструмента для упрощения некоторых процедур обработки археологических материалов и для более глубокого и более корректного анализа. Так, например, на основе измерений трехмерных моделей археологических артефактов, которые осуществляются в специальных программах, проводятся самостоятельные исследования отдельных категорий каменных изделий [14, 15]. В частности, с помощью специального программного обеспечения, такого как Artifact 3-D program, разработанного командой исследователей из Еврейского университета (Израиль) [14], или Avizo Fire 3D program, используемого в Институте эволюционных исследований Университета Витватерсранда (ЮАР) [15], можно производить различные измерения и осуществлять некоторые аналитические операции. Помимо стандартных изме-

рений (длина, ширина, толщина, угол между плоскостями) артефакта эти программы позволяют вычислить такие показатели, как центр массы, ось симметрии, индекс асимметрии двух поверхностей артефакта, которые недоступны при классическом типологическом анализе.

При изучении наскального искусства трехмерная визуализация в основном применяется как метод фиксации, позволяющий наиболее точно выявить все детали изображений, даже в условиях их слабой сохранности. Например, некоторые петроглифы крайне сильно повреждены в результате выветривания, окатаны водой и т.д. 3D-визуализация позволяет более точно их зафиксировать, и на основе трехмерных изображений без текстуры выявлять участки искусственно модифицированной поверхности, а значит более точно определять границы изображений [16]. Документирование при помощи традиционных техник (микалентное копирование, прорисовка на прозрачную пленку, фотофиксация) [17] не во всех случаях позволяет точно отразить некоторые детали изображений, обусловленные естественным рельефом (особенно когда они выполнены не на плоской поверхности) [13, 18]. Кроме того, существуют памятники со специфической локализацией петроглифов. Например, Сикачи-Алян в Хабаровском крае, где блоки с наскальными изображениями расположены в прибрежной зоне р. Амур, в результате чего они довольно активно перемещаются и в разные годы меняют свое местоположение. Отслеживать мельчайшие изменения локализации блоков с петроглифами позволяет исследователям трехмерная визуализация всего памятника и сопоставление моделей разных лет [18].

В археологии используется два основных способа трехмерной визуализации: сканирование [14 – 16] и фотограмметрия [11, 12, 16, 18]. Разные исследователи предпочитают разное программное обеспечение. Одной из наиболее распространенных программ для обработки фотографий по методу

облачной фотограмметрии сегодня является Agisoft Photoscan [1, 2, 11, 12, 16, 18]. А для работы с готовыми моделями используются приложения Geomagic Studio, MeshLab и другие.

В настоящей статье представлены некоторые возможности упрощения и усовершенствования ряда аналитических процедур камеральной обработки археологических материалов, а также перспективы разработки и усовершенствования специального программного обеспечения, предназначенного для корреляции данных об археологических источниках между собой. 3D-модели наскальных изображений для данного исследования были получены с применением метода фотограмметрии и обработки при помощи программы Agisoft Photoscan, а каменных артефактов – с помощью лазерного сканирования с применением сканера Rangevision Pro, камеры: 5 Мрiх, 1/1.8", 3D разрешение: 0.04 мм. Среднеквадратичное отклонение: 0.018 мм.

Средние показатели качества 3D-моделей, использовавшихся для апробирования программного обеспечения 3DTracer: исходная mesh-модель: около 2.000.000 вершин, сглаженная mesh-модель: около 400.000 вершин.

2. ТРАСОЛОГИЯ НАСКАЛЬНОГО ИСКУССТВА

Одним из универсальных подходов, вне зависимости от хронологической и культурной принадлежности археологических материалов, является сочетание экспериментального моделирования и трасологического анализа. Попытки использования экспериментальных данных при изучении различных технологических процессов в археологии предпринимались еще со времени формирования ее как научной дисциплины [19], однако, как самостоятельный метод эксперимент стал применяться лишь с 50-х гг. XX в. с появлением трасологии – адекватного инструмента проверки получаемой информации [20]. В настоящее время сочетание

этих двух методов является одним из основных средств изучения как функциональных (как использовались), так и технологических (каким образом были изготовлены) характеристик археологических артефактов [20, 21].

Механизм работы этих методов построен на взаимной проверке полученных результатов. Трасология изучает следы на археологических орудиях, предметах неутилитарного назначения и пр. при помощи микроскопов с различным увеличением, в зависимости от задач и материалов [20-22]. Эти данные позволяют выработать гипотезу о технологиях создания изучаемых артефактов и об их функциональном назначении в древности. В ходе экспериментов в условиях использования материалов и технических приемов, идентичных древним, воссоздаются реплики изучаемых оригиналов. Сопоставление следов на экспериментальных эталонах (репликах) и археологических предметах позволяет сделать выводы о верности или несостоятельности предложенной гипотезы. Поскольку основу эксперимента составляют не субъективные суждения исследователя, а конкретный археологический материал, это дает возможность экстраполировать на него в дальнейшем полученные таким образом результаты [23].

Эти принципы применяются в исследованиях самых разных видов сырья (любые породы камня, кость, рог, металлы и пр.) и разновидностей археологических артефактов [24-26 и др.]. В последние годы экспериментально-трасологический подход довольно активно используется для изучения технологического аспекта в наскальном искусстве [27-30]. Он позволяет установить не только каким орудием и какими приемами были выполнены изображения, но и проследить, какие технологические особенности свойственны для разных стилей в наскальном искусстве, а значит более обоснованно определить культурно-хронологические границы изобразительных традиций.

Специфика метода применительно к наскальным изображениям заключает-

ся в том, что, как правило, исследователь имеет дело не с мобильными артефактами, а с монументальными археологическими объектами, трасологический анализ которых только при помощи микроскопа не дает полноты картины. В связи с этим требуется специфическая методика фиксации трасологически значимых деталей петроглифов, которая позволяет выявить характеристики модифицированной скальной по-

верхности не только в плане, но и в профиле.

Ранее для изучения технологического аспекта в наскальном искусстве делались контактные копии на основе дендрологического силикона, затем по ним гипсовые отливки, после чего, по принципу микроскопа Линника, создавался теневой профиль [28], который фиксировался при помощи фотоаппарата, а затем выполнялась прорисовка (рис. 1).

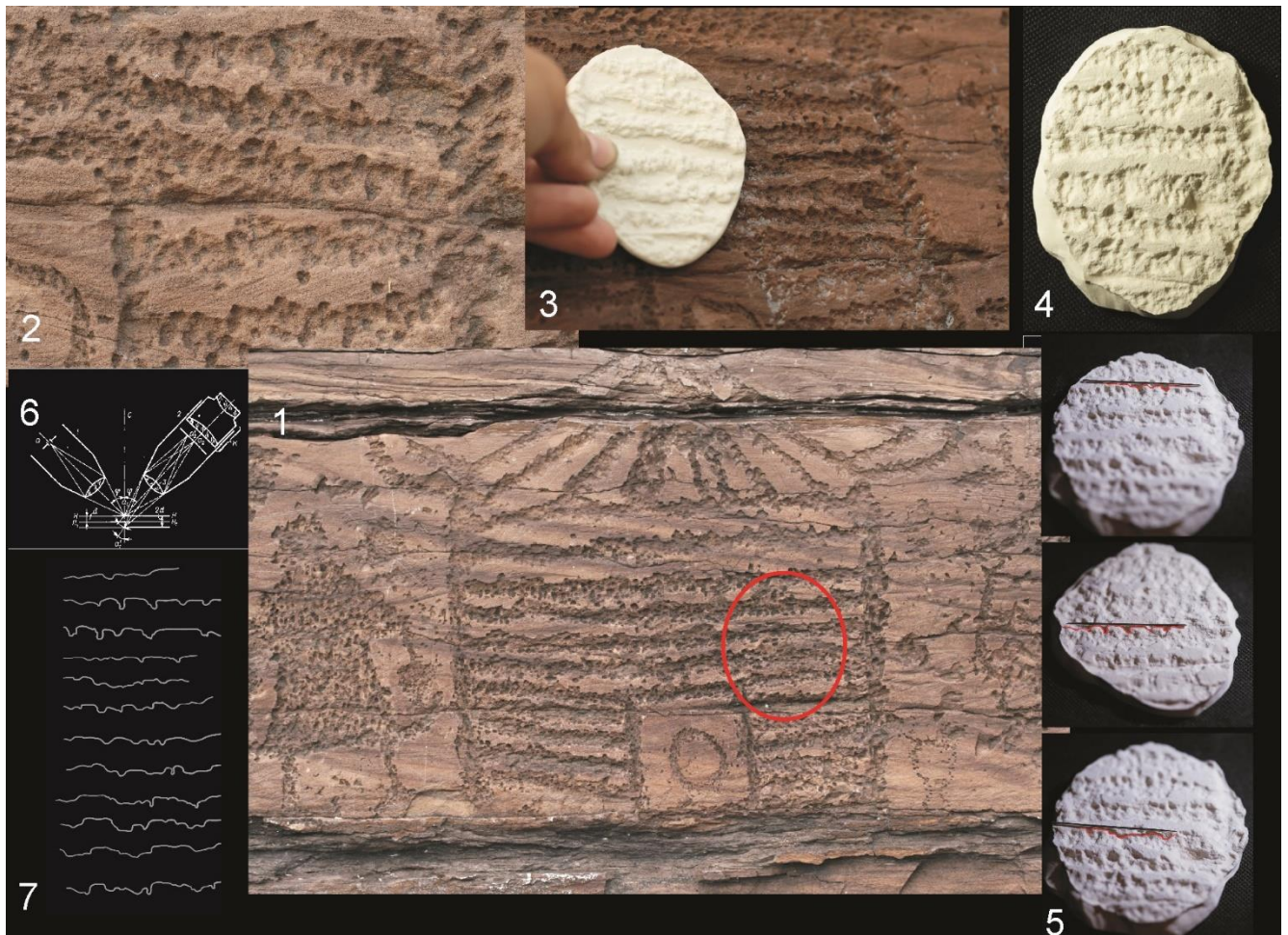


Рис. 1. Процедура выявления профилей выбитой поверхности петроглифа без применения трехмерной визуализации, на примере изображения деревянного сруба с памятника Малая Боярская писаница (Республика Хакасия, Богградский район) (фотографии и прорисовки Л. Зоткиной): 1 – общий вид на изображение деревянного сруба с отмеченным участком, с которого была сделана контактная копия; 2 – макрофотография участка копирования; 3 – силиконовый слепок; 4 – гипсовая отливка, полученная на основе силиконовой копии (3); 5 – прорисованные теневые профили, полученные на основе гипсовой отливки (4); 6 – оптическая схема двойного микроскопа Линника (по: [Гиря, Дэвлет, 2010]); 7 – прорисовки профиля выбитой поверхности фрагмента изображения деревянного сруба с Малой Боярской писаницы (лунки пикетажа, характерные для металлического инструмента).

Это позволяло получить профили выбитой поверхности скалы, что необходимо для трасологического изучения и определения материала инструментов (камень или металл), которыми были выполнены рельефные изображения. Такой довольно длительный и трудозатратный способ получения профилей выбитой поверхности петроглифов был усовершенствован благодаря применению фотограмметрии (при помощи программы Agisoft Photoscan и последующей обработки трехмерных моделей, например, в GeoMagic Studio) [31] (рис. 2).

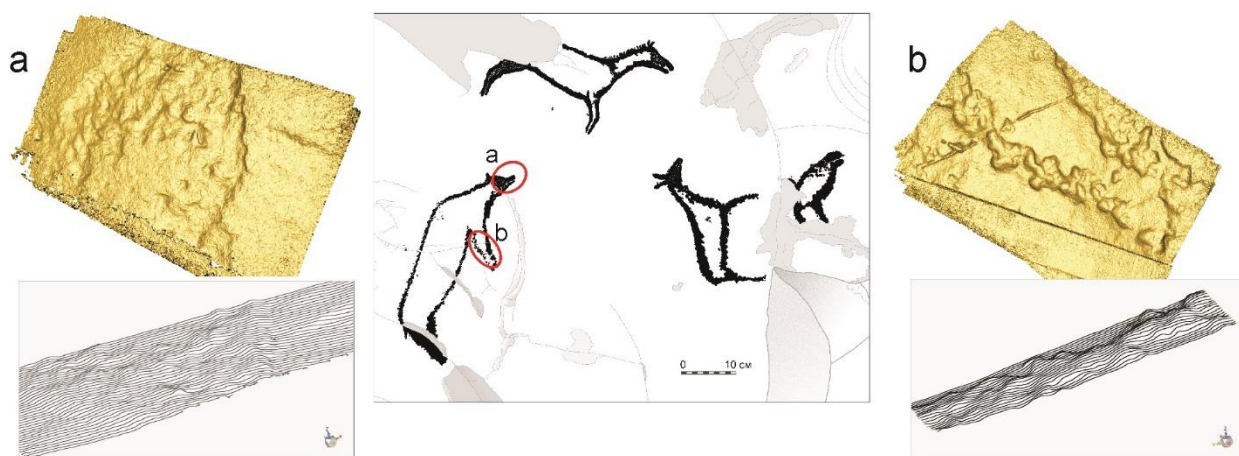


Рис. 2. Выявление профилей выбитой поверхности петроглифов, на примере изображения медведя с памятника Оглахты VI (Республика Хакасия, Боградский район) (прорисовка плоскости с петроглифами – Е.А. Миклашевич, трехмерные модели – Л. Зоткиной): а – трехмерная модель и профили поверхности, полученные на ее основе: фрагмент изображения, выполненный каменным орудием; б – трехмерная модель и профили поверхности, полученные на ее основе: фрагмент изображения, выполненный металлическим инструментом. Трехмерная визуализация выполнена по методу фотограмметрии в программе Agisoft Photoscan, а профили получены в программе GeoMagic Studio.

Одна из первичных задач трасологического исследования петроглифов заключается в определении, какими орудиями – каменными или металлическими – выполнены наскальные изображения. Эти данные являются основанием для относительного датирования некоторых проблемных петроглифов (использование металла указывает на поздний возраст, как минимум, за пределами каменного века). Лунки, полученные с помощью выбивки каменным орудием, как правило, имеют в профиль сглаженные очертания, они не глубокие, морфологически не ярко выраженные (рис. 2, а). Следы пикетажа металлическим инструментом, напротив, хорошо читаемы, имеют округлую форму, довольно глубокие с относительно четкими очертаниями и границами выбоин (рис. 1; 2, б).

Работа с трехмерными моделями и профилями выбитой поверхности, полученными на их основе, открывает новые возможности в трасологических исследованиях наскальных изображений. Упрощение процедуры получения информации о профилях позволяет ускорить и усовершенствовать способы их сопоставления (в том числе, археологических и экспериментальных данных).

В настоящее время ведется разработка специального программного обеспечения, направленного на сопоставление выше указанных трасологических характеристик на основе профилей значительной серии изображений (более 500 единиц). Это позволит выявлять более тонкие нюансы изменения морфологических особенностей выбитой поверхности, в зависимости от смены инструмента, на основе математических данных о пиках и углах падения кривых, полученных на основе 3D рельефных наскальных

изображений. Такой подход обеспечит большую точность трасологического анализа петроглифов.

На данный момент был успешно реализован первый этап разработки специализированного программного обеспечения для вышеуказанных задач. Программа 3DTracer на основе трехмерных моделей деталей наскальных изображений распознает грани рельефа поверхности, что позволяет выделять на 3D-модели следы пикетажа – искусственной обработки горной породы, в отличие от естественной не модифицированной поверхности (рис. 3).

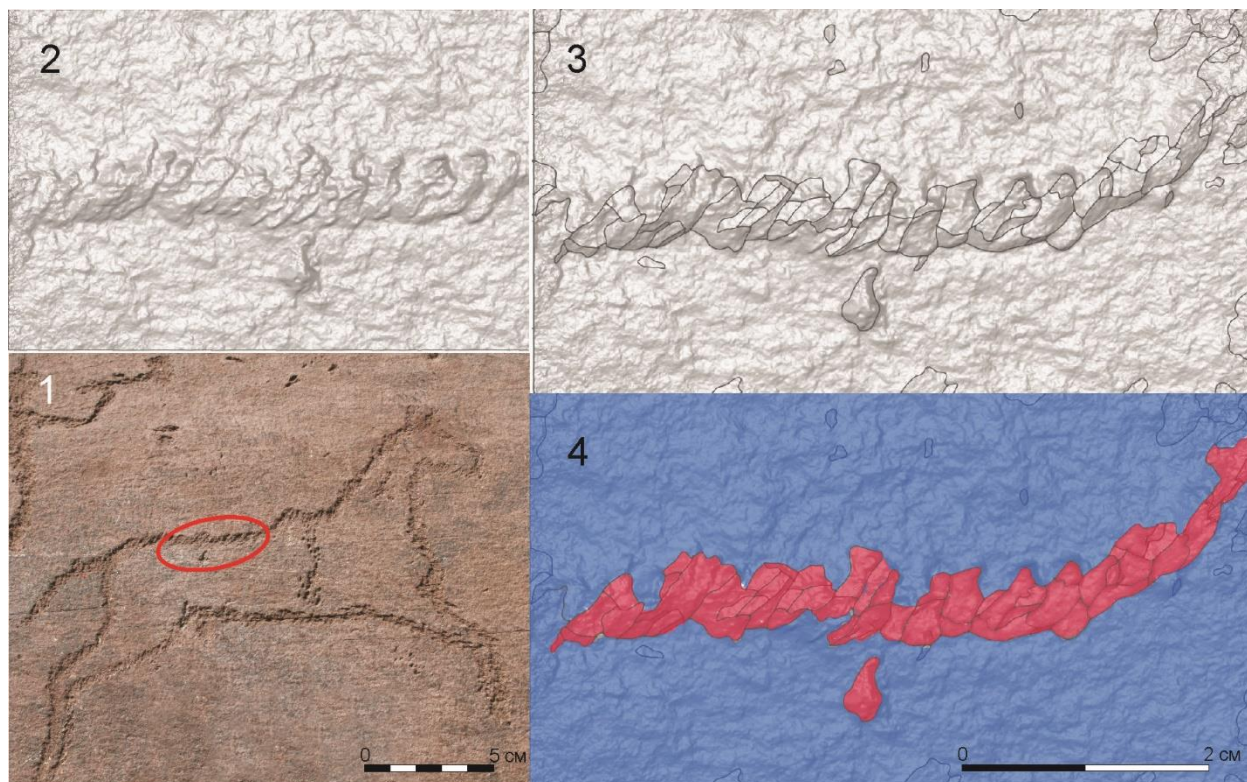


Рис. 3. Применение программы 3DTracer для распознавания модифицированной скальной поверхности на примере петроглифа: 1 – наскальное изображение лошади таштыкского времени (железный век) с 4 участка Шалаболинской писаницы (Курагинский район Красноярского края) (фото Л.В. Зоткиной); 2 – трехмерная модель фрагмента петроглифа (выполненная в программе Agisoft Photoscan); 3 – трехмерная модель с прорисованными гранями, отмечающими лунки пикетажа, обработанная в программе 3DTracer (исходная mesh-модель: 1.939.480 вершин. сглаженная mesh-модель: 368.803 вершин); 4 – трехмерная модель фрагмента наскального изображения с отмеченными участками модифицированной поверхности – петроглифа (красным) и естественной, не модифицированной поверхности скалы (синим) (3D-модель – Л.В. Зоткина, обработка – В.С. Ковалев)

Таким образом, это программное обеспечение уже сегодня может использоваться для определения границ изображений как одна из альтернатив традиционных техник фиксации, например, прорисовки, микалентного эстампажа или силиконового факсимильного копирования. Это особенно актуально в тех случаях, когда исследователь имеет дело с петроглифами плохой сохранности.

Реализация этой задачи открывает новые возможности не только для упрощения завершающего этапа документирования петроглифов, но и для последующего анализа технологических характеристик наскальных изображений.

3. SCAR-PATTERN АНАЛИЗ В ИЗУЧЕНИИ КАМЕННЫХ АРТЕФАКТОВ

В палеолитоведении существует целый спектр специальных методов изучения каменных артефактов, которые направлены на выявление специфических особенностей различных традиций обработки каменного сырья в эпоху палеолита. К таким методам относятся технико-типологический, экспериментальный, трасологический и другие анализы. Одним из относительно молодых методов является *scar-pattern* анализ, позволяющий наряду с другими методами изучать технологические особенности конкретного палеолитического комплекса.

Scar-pattern анализ основан на реконструкции отдельных этапов изготовления и подправки каменных изделий, а именно, на определении их роли в производственном процессе посредством систематизации в хронологическом порядке всех негативов сколов, видимых на поверхности артефакта. То есть, посредством данного метода можно установить последовательность оформления орудий без рассмотрения других продуктов расщепления в коллекции.

Анализ последовательности нанесения сколов («*scar pattern analysis*») как самостоятельный метод стал применяться в палеолитоведении сравнительно недавно, и в последнее время приобретает все большую популярность. Впервые идея анализа была предложена Ю. Рихтером и А. Пасторсом при изучении двусторонне обработанных изделий из Сесельфельсгрота [32]. Детально его основные принципы были сформулированы немного позже в работах А. Пасторса [33], Ю. Рихтера [34], где «*scar pattern analysis*» стал рассматриваться как самостоятельный метод для

выделения основных этапов оформления двусторонне обработанных орудий в микокских и ашельских комплексах Центральной и Восточной Европы. Одно из крупных исследований, основанных на данном методе, было предложено в диссертации М. Кот, посвященной изучению технологии изготовления двусторонне обработанных листовидных остроконечников в среднем палеолите Европы [35]. Также анализ последовательности негативов снятий успешно используется при изучении нуклеусов [36], был апробирован при анализе тронкированно-фасетированных изделий [37], сейчас начал активно применяться при изучении двусторонне обработанных изделий из Чагырской пещеры (Алтайский край) [38].

В рамках данной работы была принята попытка применения специального программного обеспечения 3DTracer как вспомогательного технического инструмента для иллюстрации технологического анализа каменных артефактов. Для проведения исследования использовались высокоточные 3D-модели двусторонне обработанных орудий, полученные посредством лазерного сканирования (при помощи сканера Rangevision Pro, камеры: 5 Мрiх, 1/1.8", 3D разрешение: 0.04 мм. Среднеквадратичное отклонение: 0.018 мм).

В связи с тем, что программа позволяет автоматически распознавать грани на трехмерной модели каменного изделия, полученные модели полноценно заменяют привычные графические изображения каменных артефактов (рис. 4, 1) и создают более объективную визуализацию объекта, которую можно использовать для дальнейших исследований. Применительно к *scar-pattern* анализу трехмерные модели позволяют подробно отобразить технологическую последовательность изготовления орудия, реконструированную посредством указанной методики.

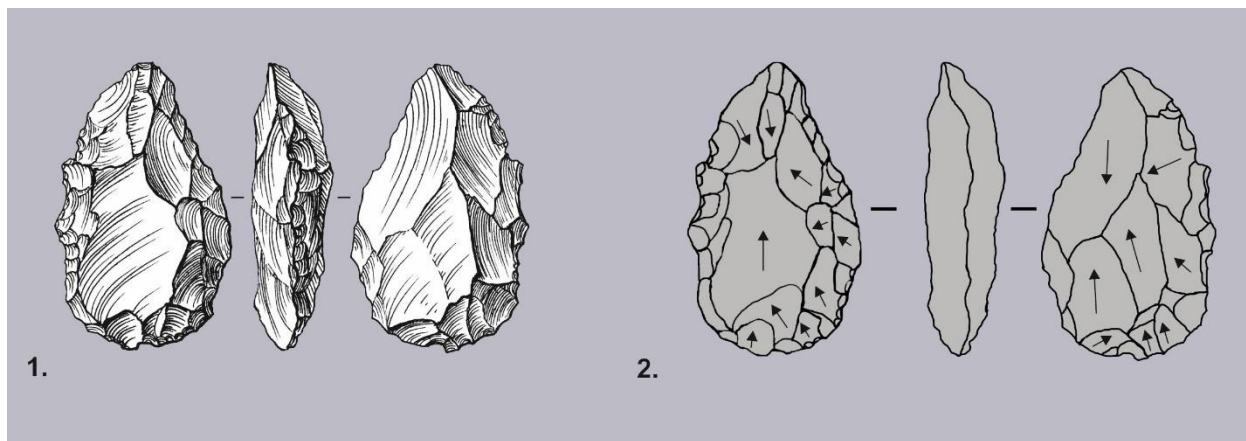


Рис. 4. Графическая иллюстрация двусторонне обработанного орудия из Чагырской пещеры (Северо-Западный Алтай): 1 – графический рисунок в трех проекциях (автор – И.А. Мазунина); 2 – графическая схема каменного артефакта с направлениями нанесения снятий (автор – А.В. Шалагина).

Сам анализ состоит из нескольких этапов. Весь его процесс и результаты находят свое отражение в графических изображениях и схемах (это неотъемлемая часть исследования). На первом этапе определяется направление всех имеющихся на поверхности артефакта негативов (рис.4, 2). Затем по конкретным признакам [33, 34, 35,] определяется взаимная последовательность соседних негативов снятий. После этого все негативы объединяются в группы, так называемые «последовательности» снятий [35] или «технологические единицы» [33], под которыми понимаются определенные этапы в оформлении каменного артефакта, каждая группа негативов на схеме обозначается отдельным цветом (рис. 5, 2). На следующем этапе устанавливается очередность уже объединенных групп, что подразумевает под собой фактическое воспроизведение последовательного процесса оформления изделия (рис.5, 1-2).

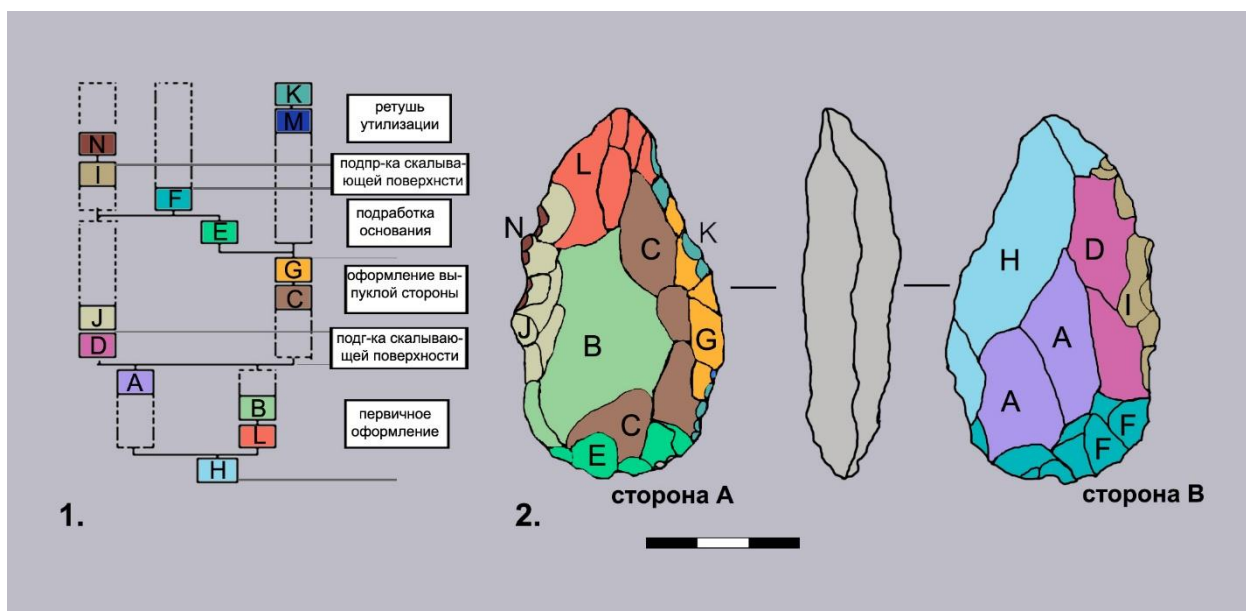


Рис. 5. Результаты scar-pattern анализа двусторонне обработанного орудия из Чагырской пещеры (Северо-Западный Алтай) (автор – А.В. Шалагина): 1 – графическая схема – общая последовательность оформления орудия; 2 – графическая схема каменного артефакта с отображением этапов оформления.

Использование высокоточных трехмерных моделей для иллюстрации данного анализа позволяет передать максимальную информацию об изучаемом объекте и отразить взаимосвязь между негативами снятий, которые находятся на разных плоскостях изделия, что сложно сделать при использовании 2D-изображений, поскольку на классических графических иллюстрациях обычно приводится 2-3 проекции предмета. При этом изучение взаимосвязи между различными плоскостями предмета важно для проведения анализа, от этого зависит общая схема оформления каменного артефакта и понимание самой технологии изготовления изучаемого орудия.

В связи с этим, после проведения основных этапов анализа полученные результаты были перенесены на 3D-модель предмета, на которой разные этапы оформления также отображены разным цветом (рис. 6, 2). Это стало возможным за счет того, что 3DTracer позволяет распознать грани на поверхности предмета (рис. 6, 1), а соответственно выделить отдельные негативы снятий, оформляющие орудие.

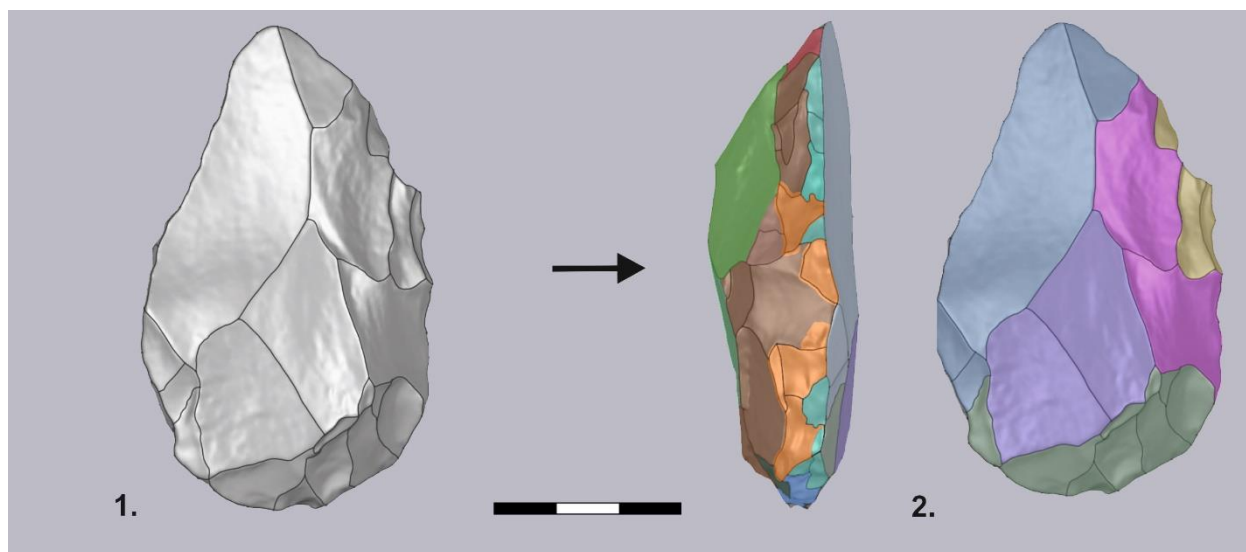


Рис. 6. Проекция трехмерной модели двусторонне обработанного орудия из Чагырской пещеры (Северо-Западный Алтай) (модель и ее обработка – В.С. Ковалев и А.В. Шалагина): 1 – трехмерная модель орудия с прорисованными гранями негативов снятий в программе 3DTracer; 2 – трехмерная модель орудия с выделенными цветом этапами оформления. Трехмерная визуализация выполнена посредством лазерного сканирования (исходная mesh-модель 2.509.807 вершин, сглаженная mesh-модель 368.803 вершин).

Таким образом, трехмерные модели, иллюстрирующие этапы оформления каменного артефакта, наиболее полно демонстрируют результаты *scar-pattern* анализа и сам процесс изготовления каменного изделия, что отражает недоступные на графических изображениях последовательности оформления артефакта и помогает оценить результаты анализа другим исследователям. А применение программы 3DTracer позволяет перенести результаты *scar-pattern* анализа на трехмерную модель.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 3DTRACER ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Программа 3DTracer разрабатывалась с целью создания специализированного эффективного инструмента для работы исследователей-археологов, который с учетом специфических задач позволит, в значительной степени, автоматизировать процедуру документирования и

предоставит удобные инструменты для анализа 3D-поверхностей со следами воздействия на них человека. Например, выбоины пикетажа и гравировку в наскальном искусстве, негативы сколов и различные следы на артефактах, а также признаки обработки поверхностей при помощи различных инструментов.

Разработка такого специализированного программного обеспечения является логичным продолжением тенденции распространения трехмерной визуализации как средства документирования в археологии. Происходит переход от разработки и адаптации инструментов фиксации археологических материалов к разработке инструментов для их обработки и анализа.

Первым шагом для автоматизации аналитической работы с 3D-поверхностью является определение границ областей, являющихся следами искусственной обработки поверхности изучаемого объекта. С точки зрения компьютерной графики это задача 3D-сегментации изображения. Одной из проблем на этом этапе заключается в определении критериев оценки качества получаемой сегментации, окончательную оценку которого может дать специалист-археолог на основе своего опыта.

Эту задачу можно решить при помощи применения алгоритмов выделения 3D-кривой на границе следов на поверхности облака точек либо меш-модели. Алгоритмы выделения 3D-кривой на поверхности применяются в различных областях: в медицине [39], обратной разработке [40] (реверс-инжиниринге) и др. Использование данной методики также находит применение в археологии [41].

Основные этапы алгоритма:

1. Сглаживание сетки;
2. Выравнивание поверхности относительно осей XY;
3. Оценка максимальной кривизны на всех вершинах;
4. Определение границ в областях максимальной кривизны;

5. Объединение смежных поверхностей с недостаточно большими перепадами кривизны.

Первым этапом обработки применялся метод упрощения сетки [42], для того чтобы уменьшить количество локальных областей кривизны. Далее использовался принцип компонентного анализа [43, 44] для выравнивания объекта относительно осей координат для последующего измерения объекта.

Следующим этапом были получены значения и направления кривизны в каждой точке поверхности, из которых выбирались максимальные значения [45]. Для окончательного определения границ воздействия на поверхность применялся метод обнаружения ребер [46]. Границы в данном случае определяются как локальные максимумы предельного значения кривизны поверхности [47]. При определении границ отбрасывались контуры, связанные с незначительными дефектами поверхности. Далее применялся метод кластеризации поверхностей [48] и объединения смежных поверхностей методом случайных сокращений [49], в котором определялись значимые границы, путем многократного запуска алгоритма кластеризации и сохранения только повторяющейся (стабильной) границы.

Добавление цвета внутри определённых алгоритмом границ производилось вручную. В дальнейшей работе предполагается повысить точность определения границ следов при помощи алгоритмов оптимизации графов, а также развивать аналитический инструментарий пользователя для возможности задавать цвета внутри границ и получения профилей следов, обнаруживаемых алгоритмом, для их последующей цифровой обработки и анализа, корреляции.

Алгоритм был апробирован на двух типах оцифрованной поверхности, полученной при помощи 3D фиксации: каменные артефакты, полученные при помощи 3D сканирования с использованием структурированного подсвета, и фрагментов петроглифов, полученных при помощи фотограмметрии и преоб-

разованных в 3D-модели в программе Agisoft Photoscan.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный выше обзор возможностей использования трехмерной визуализации и инструментов для проведения ряда аналитических процедур в исследованиях разных видов археологических источников показывает, что 3D перестает оставаться лишь средством демонстрации материалов в археологии и постепенно становится одним из ключевых способов документирования, который позволяет ускорить, упростить процесс, повысить точность и качество проводимых исследований. А также при условии использования специального программного обеспечения позволяет изучать некоторые свойства предмета, недоступные при классическом анализе.

Применение специального программного обеспечения, которое позволяет распознавать грани поверхностей трехмерных моделей и маркировать их, может применяться в самых разных направлениях археологических исследований.

Так, программа 3DTracer уже на данном этапе разработки распознает грани каменных артефактов, что позволяет автоматически выявлять отдельные негативы снятий на изучаемом предмете. Это значительно упрощает процесс документирования каменных изделий и позволяет отображать особенности технологии изготовления орудий, выявленные посредством специальных исследований (*scar-pattern* анализ). Кроме того, такой подход дает возможность сосредоточить максимальную информацию об объекте в рамках одной 3D-модели артефакта (а не серии графических рисунков и схем), что упрощает и процесс последующего использования этих данных. Дальнейшая работа над программой 3DTracer позволит разработать функцию проведения специальных аналитических операций с трехмерными моделями каменных артефактов.

В сфере изучения наскального искусства использование программы 3DTracer на данном этапе дает возможность на трехмерных реконструкциях петроглифов диагностировать участки искусственно обработанной и естественной поверхности скалы, что уже сейчас может использоваться для получения более объективной информации о границах изображений. С другой стороны, сама возможность распознавания граней искусственно преобразованных участков горной породы открывает перспективы для дальнейшей разработки этого программного обеспечения, связанные с качественно новым этапом развития аналитических процедур в изучении технологического аспекта в наскальном искусстве. Этот этап предполагает сопоставление трасологических характеристик выбитой поверхности петроглифов в плане и в профиле. Анализ большой серии изображений позволит «обучить» программу диагностировать различные виды технических приемов и орудий, использовавшихся в древности для создания наскальных изображений, что значительно повысит точность получаемой трасологами информации о базовых технологических характеристиках петроглифов и позволит выходить на новые уровни сопоставлений и выявления более глобальных тенденций в технологических традициях наскального искусства.

Таким образом, сегодня одним из важных направлений усовершенствования методов археологии становится внедрение вышеописанных аналитических приемов, широкое использование которых даст возможность оптимизировать процедуры обработки материалов и сосредоточиться на интерпретационной составляющей исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавулин М., Зайцева О., Пушкарев А. Методика и практика 3D-сканирования разнотипных археологических артефактов // Сибирские исторические исследования. 2014. № 4. С. 21-37.

2. Казаков В.В. Применение информационных технологий в задачах лаборатории Мультидисциплинарных исследований первобытного искусства Евразии НГУ // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2016. Т. 14. № 4. С. 50-75.
3. Clarkson Ch., Vinicius L., Lahr M.M. Quantifying flake scar pattering on cores using 3D recording techniques In: *Journal of Archaeological Science*. 2006. Vol. 33. P. 132-142
4. Grosman L., Karasik A., Herush O., Smilanksy U. Archaeology in Three Dimensions Computer-Based Methods in Archaeological Research In: *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*. 2014. Vol. 2. № 1. P. 48-64.
5. Grosman L. Reaching the point of no return: The computational revolution in archaeology In: *Annual Review of Anthropology*. 2016. 45 (1). P. 129-145
6. Казаков В. В., Ковалев В. С., Жумадилов К. Б. Трехмерное сканирование музейных экспонатов по технологии структурированного подсвета // *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). С. 58-64.
7. Информационная система «3D-галерея Новосибирского государственного университета». URL: <https://3d.nsu.ru> (дата обращения 26.11.2017).
8. Malgat C., Duval M., Gauchon C. Fac-similes and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc [Fac-Similés et transfert de patrimonialité. La grotte ornée chauvet-pontdarc]. In: *Culture et Musees*. 2015. № 25. P. 141 – 163.
9. Xu Sh., Sirieix C., Marache A. Modélisation géostatistique 3D des données de tomographie de résistivité électrique pour reconstituer le promontoire calcaire de Lascaux. Conference: 9ème colloque GEOFCAN, Paris. pp. 1-4.
10. Malaurent Ph. La 3D au service de la conservation des grottes ornées, l'exemple de Lascaux et du simulateur Lascaux. In: *In situ*: revue des patrimoines. 2010. №13 pp. 1 – 32.
11. Pushkarev A.A., Zaytseva O.V., Vavulin M.V., Skorobogatova A.Y. 3D-recording of a 19 –century Ob river ship. In: *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. 377-381.
12. В. В. Казаков, В. С. Ковалев, К. Б. Жумадилов, С. В. Шнайдер. Трехмерная визуализация геометрических микролитов при помощи макро-фотограмметрии // *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). С. 65-72.
13. Robert E., Petrognani S., Lesvignes E. Application of digital photography in the study of Paleolithic cave art. In: *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol. 10, 2016. pp.847 – 858.
14. Richardson E., Grosman L., Smilanksy U., Wermar M. Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. In: *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Southampton, 26–29 March 2012. 2013. Amsterdam University Press, Amsterdam. P. 83–92.
15. Li H., Kuman K., Lotter M.G., Leader G.M., Gibbon R.J. The Victoria West: earliest prepared core technology in the Acheulean at Canteen Kopje and implications for the cognitive evolution of early hominids In: *R Soc Open Sci*. 2017. 4(6). URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170288>
16. Черемисин Д. В., Казаков В. В., Ковалев В. С., Жумадилов К.Б. 3D-моделирование наскальных рисунков Алтая с помощью трехмерного сканирования и фотограмметрии // *Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий*. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2016. Т. XXII. С. 466-469.
17. Шер Я.А. Петроглифы Средней и Центральной Азии. М.: Наука, 1980. 328 с.

18. Дэвлет Е.Г., Ласкин А.Р. Петроглифы Хабаровского края: результаты мониторинга последствий паводка в 2013 году на Амуре и Уссури // Археология, этнография и антропология Евразии. 2015. Т.43. №4. - С.94-105.
19. Матюхин А.Е. О типах и роли эксперимента в первобытной археологии // Донская археология. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1999. №1. С. 98-103.
20. Семенов С.А. Первобытная техника. Материалы и исследования по археологии. М.; Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1957. № 54. 240 с.
21. Keeley L.H. Experimental Determination of Stone Tool Uses. Chicago: The University of Chicago Press, 1980. 212 p.
22. Щелинский В.Е. К изучению техники, технологии изготовления и функций орудий мустьерской эпохи. // Технология производства в эпоху палеолита. Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1983. С. 72-117.
23. Гиря Е.Ю. Технологический анализ каменных индустрий. Методика микро- макроанализа древних орудий труда. СПб.: Ин-т истории материальной культуры РАН, 1997. Ч. 2. Археологические изыскания. Вып. 44. 201 с.
24. Hamon C., Plisson H. Functional analysis of grinding stones : the blind-test contribution. In: "Prehistoric Technology" 40 years later. Functional studies and the Russian legacy. 2008. Oxford BAR. No 1783. pp. 29-38.
25. D'Errico, F. David S. L'analyse technologique de l'art mobilier. Le cas de l'abri des Cabones (Ranchot, Jura). In: *Gallia-Préhistoire*. 1993. No 35. pp. 139-176.
26. Moreno Rudolph F., Clemente Conte I. Functional Analysis of Prehistoric Bone Instruments from the Uruguayan Atlantic Coast. In: *Ancient and Modern Bone Artifacts from America to Russia. Cultural, technological and functional signature*. 2010. BAR International Series N°2136. pp. 287-293.
27. D'Errico F., Sacchi D., M. Vanhaeren L'analyse technique de l'art gr a é de Fornols-Haut, Câmpome, France. Implication dans la datation de représentation de style paléolithique de sites de plein-air. In: *L'art paléolithique de l'air libre. Le paysage modifié par l'image*. Actes du Colloque international. Tauta el, Câmpome. 1999. pp. 75-86.
28. Гиря Е.Ю., Дэвлет Е.Г. Некоторые результаты разработки методики изучения техники выполнения петроглифов пикетажем // Уральский исторический вестник. № 1 (26). 2010. С. 107-118.
29. Дэвлет Е.Г., Гиря Е.Ю. «Изобразительный пласт» в наскальном искусстве и исследование техники выполнения петроглифов Северной Евразии // Труды САИПИ. Вып. VII. Древнее искусство в зеркале археологии. К 70-летию Д.Г. Савинова. Кемерово, 2011. С. 186-201.
30. Aubry T., Sampaio J., Lu s L. Approche expérimental appliquée à l'étude des éstigés du Paléolithique supérieur de la Vallée du C a (Portugale). In: *Experimental Aplicada a la Arqueologia*. Vol. 1 : Tecnologia y Traceologia Litica Prehist rica y Su Experimentaci n. Cranada: Universidad de Granada. 2011. pp. 87-96.
31. Plisson H., Zotkina L.V. From 2D to 3D at macro and microscopic scale in rock art studies. In: *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2015, Vol. 2, Issues 2-3. pp. 102-119.
32. Richter J. Sesselfelsgrötte III : der G-Schichten-Komplex der Sesselfelsgrötte : zum Verständnis des Micoquien. Saarbrücken: Saarbrücker Druckerei und Verlag. 1997.
33. Pastroors A. Standardization and individuality in the production process of bifacial tools – leaf-shaped scrapers from the middle Paleolithic open air site Sare Kaya I (Crimea). In: *Neanderthals and Modern Humans. Discussing the Transition*. Central and Eastern Europe from 50.000 – 30.000 B.P. Mettmann: Neanderthal Museum. 2000. pp. 243-255.
34. Richter J. Une analyse standardisée des chaînes opératoires sur les pièces

- foliacées du Paleolithique moyen tardif. In: *Préhistoire et approche expérimentale* (L. BOURGIGNON, I. ORTEGA and M.-C. FRÈRESAUTOT, eds.). 2001. P. 77–78.
35. Kot M.A. The Earliest Middle Palaeolithic Bifacial Leafpoints in Central and Southern Europe: Technological Approach. In: *Quaternary Intern.* 2014. Vol. 326–327. P. 381–397.
 36. Soriano S., Villa P., Delagnes A., Degano I., Pollarolo L., Lucejko J.J., Henshilwood Ch., Wadley L. The Still Bay and Howiesons Poort at Sibudu and Blombos: understanding Middle stone age technologies. In: *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10(7). P. 1–46.
 37. Shalagina A.V., Krivoschapkin A.I., Kolobova K.A. Truncated-faceted pieces in the Paleolithic of Northern Asia. In: *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2015. Vol. №4 (44). P. 33–45.
 38. 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.
 39. Poredoš, P., D. Čelan, J. Možina and M. Jezeršek. Determination of the human spinecurve based on laser triangulation. In: *BMC Medical Imaging*. 2015. 15:2.
 40. Barequet G., Kumar S. Repairing CAD models. *IEEE Visualization*. 1997. pp. 363–370.
 41. Richardson E., Grosman L., Smilansky U. and Werman M. Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. In: *Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Southampton, 26–29 March 2012. Amsterdam University Press. pp. 83–92.
 42. Siek, J., Lee-Quan L., and Lumsdaine A. The Boost Graph Library: User Guide and Reference Manual. Boston: Addison-Wesley. 2002.
 43. Jolliffe, I.T. *Principal Component Analysis*, 2th Editon. New York: Springer. 2002.
 44. Jackson, J.E. *A User's Guide to Principal Components*. London and New York: John Wiley & Sons. 2004.
 45. Cohen-Steiner, D., and J.-M. Morvan. Restricted Delaunay Triangulations and Normal Cycle. In: *Proceedings of the nineteenth annual symposium on Computational Geometry*. San Diego, California, New York: ACM. 2003. pp. 312 – 321.
 46. Yoshizawa, S., A. Belyaev, and H.-P. Seidel. Fast and Robust Detection of Crest Lines on Meshes. In: *Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Solid and Physical Modelling*. Cambridge, Massachusetts. New York: ACM. 2005. pp. 227 – 232.
 47. Koenderink, J.J. *Solid Shape*. Cambridge: The MIT Press. 1990.
 48. Sethian, J.A. *Level Set Methods and Fast Marching Methods Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science*. Cambridge: Cambridge University Press. 1999.
 49. Golovinsky, A., and Funkhouser T. Randomizer Cuts for 3D Mesh Analysis. In: *ACM Transactions on Graphics*. 2008. No27 (5). pp. 1 – 12.

Possibilities and perspectives of application of tridimensional visualization as a tool of analysis in archaeology

L.V. Zotkina^{1,A,B}, V.S. Kovalev^{2,A}, A.V. Shalagina^{3,B}

^A Novosibirsk State University, Russia

^B Institute of Archaeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

¹ ORCID: 0000-0003-4333-5348

² ORCID: 0000-0002-2267-2452

³ ORCID: 0000-0002-1912-3882

Abstract

This paper propose a review of some directions of application of tridimensional visualization for different tasks in archaeological researches. Some first results of software development are represented here. This software is dedicated to improve and simplify some analytical procedures of work with different types of archaeological sources on the basis of tridimensional reconstructions. We talk about a scar-pattern analysis of lithic artifacts, dedicated to reveal the sequences of production of Paleolithic tools. And also about techno-traceological research in rock art, which has a purpose to define specific techniques of petroglyphs production to distinguish technological traditions.

The represented review and the first results of approbation of special software 3DTracer demonstrate important trends in development of methodology in archaeological researches. This is a transition to a new level of possibilities of data correlation, thanks to improvement and unification of primary procedures in archaeological research.

Keywords: tridimensional visualization, 3D, archaeology, traceology and use-wear, technology, scar-pattern analysis, rock art, Paleolithic.

References

1. Vavulin M., Zajtseva O., Pushkarev A. Metodika i praktika 3D-skanirovaniya raznotipnykh arkheologicheskikh artefaktov // Sibirskie istoricheskie issledovaniya. 2014. № 4. p. 21-37. [In Russian]
2. Kazakov V.V. Primenenie informatsionnykh tekhnologij v zadachakh laboratorii Mul'tidistsiplinarnykh issledovaniy pervobytnogo iskusstva Evrazii NGU // Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. 2016. T. 14. № 4. p. 50-75. [In Russian]
3. Clarkson Ch., Vinicius L., Lahr M.M. Quantifying flake scar pattering on cores using 3D recording techniques In: *Journal of Archaeological Science*. 2006. Vol. 33. P. 132-142
4. Grosman L., Karasik A., Herush O., Smilansky U. Archaeology in Three Dimensions Computer-Based Methods in Archaeological Research In: *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*. 2014. Vol. 2. № 1. P. 48-64.
5. Grosman L. Reaching the point of no return: The computational revolution in archaeology In: *Annual Review of Anthropology*. 2016. 45 (1). P. 129-145
6. Kazakov V. V., Kovalev V. S., Zhumadilov K. B. Trekhmernoe skanirovanie muzejnykh ehksponatov po tekhnologii strukturirovannogo podsveta // *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). S. 58-64. [In Russian]
7. Informatsionnaya sistema «3D-galereya Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta». URL:

- <https://3d.nsu.ru> (data obrashheniya 26.11.2017).
8. Malgat C., Duval M., Gauchon C. Fac-similes and transfer of heritage value: The rock art cave Chauvet-Pont-d'Arc [Fac-Similés et transfert de patrimonialité. La grotte ornée chauvet-pontdarc]. In: *Culture et Musees*. 2015. № 25. P. 141 – 163. [In Russian]
 9. Xu Sh., Sirieix C., Marache A. Modélisation géostatistique 3D des données de tomographie de résistivité électrique pour reconstituer le promontoire calcaire de Lascaux. Conference: 9ème colloque GEOFCAN, Paris. pp. 1-4.
 10. Malaurent Ph. La 3D au service de la conservation des grottes ornées, l'exemple de Lascaux et du simulateur Lascaux. In: *In situ*: revue des patrimoines. 2010. N°13 pp. 1 – 32.
 11. Pushkarev A.A., Zaytseva O.V., Vavulin M.V., Skorobogatova A.Y. 3D-recording of a 19 –century Ob river ship. In: *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. 377-381.
 12. V. V. Kazakov, V. S. Kovalev, K. B. ZHumadilov, S. V. SHnajder. Trekhmernaya vizualizatsiya geometricheskikh mikrolitov pri pomoshhi makro-fotogrammetrii // *Universum Humanitarium*. 2016. №2 (3). p. 65-72. [In Russian]
 13. Robert E., Petrognani S., Lesvignes E. Application of digital photography in the study of Paleolithic cave art. In: *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol. 10, 2016. pp.847 – 858.
 14. Richardson E., Grosman L., Smilanksy U., Wermar M. Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. In: *Archaeology in the Digital Era. Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Southampton, 26–29 March 2012. 2013. Amsterdam University Press, Amsterdam. P. 83–92.
 15. Li H., Kuman K., Lotter M.G., Leader G.M., Gibbon R.J. The Victoria West: earliest prepared core technology in the Acheulean at Canteen Kopje and implications for the cognitive evolution of early hominids In: *R Soc Open Sci*. 2017. 4(6). URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170288>
 16. 16. CHERemis D. V., Kazakov V. V., Kovalev V. S., ZHumadilov K.B. 3D-modelirovanie naskal'nykh risunkov Altaya s pomoshh'yu trekhmernogo skanirovaniya i fotogrammetrii // *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorij*. Novosibirsk: Izd-vo IAEHT SO RAN, 2016. T. XXII. p. 466-469. [In Russian]
 17. SHer YA.A. Petroglify Srednej i TSentral'noj Azii. M.: Nauka, 1980. 328 p. [In Russian]
 18. Dehvlet E.G., Laskin A.R. Petroglify KHarbarovskogo kraja: rezul'taty monitoringa posledstvij pavodka v 2013 godu na Amure i Ussuri // *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii*. 2015. T.43. №4. - pp.94-105. [In Russian]
 19. Matyukhin A.E. O tipakh i roli ehksperimenta v pervobytnoj arkheologii // *Donskaya arkheologiya*. Rostov n/D: Izd-vo RGU, 1999. No1. pp. 98-103. [In Russian]
 20. Semenov S.A. Pervobytnaya tekhnika. Materialy i issledovaniya po arkheologii. M.; L.: Nauka. Leningr. otdnie, 1957. № 54. 240 p. [In Russian]
 21. Keeley L.H. Experimental Determination of Stone Tool Uses. Chicago: The University of Chicago Press, 1980. 212 p.
 22. SHHelinskij V.E. K izucheniyu tekhniki, tekhnologii izgotovleniya i funktsij orudij must'erskoj ehpokhi. // *Tekhnologiya proizvodstva v ehpokhu paleolita*. L.: Nauka. Leningr. otd-nie, 1983. pp. 72-117. [In Russian]
 23. Girya E.YU. Tekhnologicheskij analiz kamennykh industrij. *Metodika*

- mikro- makroanaliza drevnikh orudij truda. SPb.: In-t istorii material'noj kul'tury RAN, 1997. CH. 2. Arkheologicheskie izyskaniya. Vyp. 44. 201 p. [In Russian]
24. Hamon C., Plisson H. Functional analysis of grinding stones : the blind-test contribution. In: *"Prehistoric Technology" 40 years later. Functional studies and the Russian legacy.* 2008. Oxford BAR. No 1783. pp. 29-38.
 25. D'Errico, F. David S. L'analyse technologique de l'art mobilier. Le cas de l'abri des Cabones (Ranchot, Jura). In: *Gallia-Préhistoire.* 1993. No 35. pp. 139-176.
 26. Moreno Rudolph F., Clemente Conte I. Functional Analysis of Prehistoric Bone Instruments from the Uruguayan Atlantic Coast. In: *Ancient and Modern Bone Artifacts from America to Russia. Cultural, technological and functional signature.* 2010. BAR International Series N°2136. pp. 287-293.
 27. D'Errico F., Sacchi D., M. Vanhaeren L'analyse technique de l'art gravé de Fornols-Haut, Câmpome, France. Implication dans la datation de représentation de style paléolithique de sites de plein-air. In: *L'art paléolithique de l'air libre. Le paysage modifié par l'image.* Actes du Colloque international. Tautavel, Câmpome. 1999. pp. 75-86.
 28. Girya E.YU., Dehvet E.G. Nekotorye rezul'taty razrabotki metodiki izucheniya tekhniki vypolneniya petroglifov piketazhem // Ural'skij istoricheskij vestnik. N° 1 (26). 2010. S. 107-118. [In Russian]
 29. Dehvet E.G., Girya E.YU. «Izobrazitel'nyj plast» v naskal'nom iskusstve i issledovanie tekhniki vypolneniya petroglifov Severnoj Evrazii // Trudy SAIPI. Vyp. VII. Drevnee iskusstvo v zerkale arkheologii. K 70-letiyu D.G. Savinova. Kemerovo, 2011. S. 186-201. [In Russian]
 30. Aubry T., Sampaio J., Lusa L. Approche expérimental appliquée à l'étude des éstigés du Paléolithique supérieur de la Vallée du C a (Portugale). In: *Experimental Aplicada a la Arqueologia.* Vol. 1 : Tecnologia y Traceologia Litica Prehistórica y Su Experimentación. Granada: Universidad de Granada. 2011. pp. 87-96.
 31. Plisson H., Zotkina L.V. From 2D to 3D at macro and microscopic scale in rock art studies. In: *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage.* 2015, Vol. 2, Issues 2-3. pp. 102-119.
 32. Richter J. Sesselfelsgrotte III : der G-Schichten-Komplex der Sesselfelsgrotte : zum Verständnis des Micoquien. Saarbrücken: Saarbrücker Druckerei und Verlag. 1997.
 33. Pastoors A. Standardization and individuality in the production process of bifacial tools – leaf-shaped scrapers from the middle Paleolithic open air site Sare Kaya I (Crimea). In: *Neanderthals and Modern Humans. Discussing the Transition.* Central and Eastern Europe from 50.000 – 30.000 B.P. Mettmann: Neanderthal Museum. 2000. pp. 243-255.
 34. Richter J. Une analyse standardisée des chaînes opératoires sur les pièces foliacées du Paléolithique moyen tardif. In: *Préhistoire et approche expérimentale* (L. BOURGIGNON, I. ORTEGA and M.-C. FRÈRESAUTOT, eds.). 2001. P. 77-78.
 35. Kot M.A. The Earliest Middle Palaeolithic Bifacial Leafpoints in Central and Southern Europe: Technological Approach. In: *Quaternary Intern.* 2014. Vol. 326-327. P. 381-397.
 36. Soriano S., Villa P., Delagnes A., Degano I., Pollarolo L., Lucejko J.J., Henshilwood Ch., Wadley L. The Still Bay and Howiesons Poort at Sibudu and Blombos: understanding Middle stone age technologies. In: *PLoS ONE.* 2015. Vol. 10(7). P. 1-46.
 37. Shalagina A.V., Krivoshapkin A.I., Kolobova K.A. Truncated-faceted pieces in the Paleolithic of Northern Asia. In: *Archaeology, Ethnology &*

- Anthropology of Eurasia*. 2015. Vol. №4 (44). P. 33-45.
38. 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 // Trudy V (XXI) Vserossijskogo arkeologicheskogo s"ezda v Barnaule–Belokurikhe. Barnaul: Azbuka, 2017. T. 1. S. 120-124. [In Russian]
 39. Poredoš, P., D. Čelan, J. Možina and M. Jezeršek. Determination of the human spinecurve based on laser triangulation. In: *BMC Medical Imaging*. 2015. 15:2.
 40. Barequet G., Kumar S. Repairing CAD models. *IEEE Visualization*. 1997. pp. 363–370.
 41. Richardson E., Grosman L., Smilansky U. and Werman M. Extracting Scar and Ridge Features from 3D-scanned Lithic Artifacts. In: *Papers from the 40th Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Southampton, 26-29 March 2012. Amsterdam University Press. pp. 83-92.
 42. Siek, J., Lee-Quan L., and Lumsdaine A. The Boost Graph Library: User Guide and Reference Manual. Boston: Addison-Wesley. 2002.
 43. Jolliffe, I.T. Principal Component Analysis, 2th Editon. New York: Springer. 2002.
 44. Jackson, J.E. A User's Guide to Principal Components. London and New York: John Wiley & Sons. 2004.
 45. Cohen-Steiner, D., and J.-M. Morvan. Restricted Delaunay Triangulations and Normal Cycle. In: *Proceedings of the nineteenth annual symposium on Computational Geometry*. San Diego, California, New York: ACM. 2003. pp. 312 – 321.
 46. Yoshizawa, S., A. Belyaev, and H.-P. Seidel. Fast and Robust Detection of Crest Lines on Meshes. In: *Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Solid and Physical Modelling*. Cambridge, Massachusetts. New York: ACM. 2005. pp. 227 – 232.
 47. Koenderink, J.J. Solid Shape. Cambridge: The MIT Press. 1990.
 48. Sethian, J.A. Level Set Methods and Fast Marching Methods Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science. Cambridge: Cambridge University Press. 1999.
 49. Golovinsky, A., and Funkhouser T. Randomizer Cuts for 3D Mesh Analysis. In: *ACM Transactions on Graphics*. 2008. No27 (5). pp. 1 – 12.