

М.В. Селецкий, А.Ю. Федорченко ✉

Институт археологии и этнографии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
E-mail: winteralex2008@gmail.com

## Трехмерное моделирование экспериментальных эталонов каменных ударно-абразивных орудий: возможности и ограничения

*В работе представлены результаты экспериментального моделирования по обработке минерального и органического сырья посредством расщепления, ретуширования и растирания с применением активных и пассивных ударно-абразивных инструментов. Все полученные эталоны были подвергнуты трехмерному моделированию сканером структурированного подсвета RangeVision Spectrum до и после проведенных экспериментов. В процессе исследования на этапе постобработки были исправлены все погрешности моделей, а также подготовлены иллюстрации профилей инструментов и их рабочих поверхностей, в т.ч. с построением карт кривизны сетки. По результатам работы были выявлены возможности и ограничения в применении методов трехмерной визуализации при изучении экспериментальной коллекции. В рамках экспериментального подхода при изучении каменных ударно-абразивных орудий целесообразно применение 3D-моделирования для изучения динамики и основных механик повреждения, поскольку визуализация полученных данных с возможностью измерения морфометрических характеристик предоставляет подробные результаты об изменении облика артефакта и его рабочей поверхности. Указанные преимущества характерны только для орудий с видимыми на макроуровне повреждениями. Для инструментов, которыми осуществлялись операции по абразивной обработке, трехмерная визуализация может быть полезна для отражения морфометрических характеристик изначальной заготовки. Вышеуказанный метод является эффективным при анализе наблюдаемых на макроуровне следов утилизации, тогда как повреждения, которые фиксируются только на микроуровне, слабо различимы на получаемых моделях. В целом, каменные ударно-абразивные орудия представляются перспективным источником для изучения методами трехмерной визуализации. Его использование позволяет с высокой точностью отобразить видимые изменения рельефа, предоставляя возможность создания доказательной базы функционального анализа изучаемых инструментов и их идентификации.*

Ключевые слова: Горный Алтай, средний палеолит, верхний палеолит, каменные ударно-абразивные орудия, 3D-моделирование, экспериментальное моделирование, функциональный анализ.

M.V. Seletskiy, A.Yu. Fedorchenko ✉

Institute of Archaeology and Ethnography of the SB RAS  
Novosibirsk, Russia  
E-mail: winteralex2008@gmail.com

## 3D-modelling of Experimental Percussive-abrasive Stone Tools: Opportunities and Limitations

*In this study, we present the results of experimental modelling for processing the mineral and organic raw materials through knapping, retouching and grinding using active and passive percussive-abrasive tools. All obtained standards were subjected to three-dimensional modelling by the RangeVision Spectrum structured illumination scanner before and after the experiments. During the research at the post-processing stage, we corrected all model errors and prepared illustrations of tool profiles and their working surfaces, including the construction of grid curvature maps. Based on the results of the work, we identified the possibilities and limitations in the use of three-dimensional visualization methods in the study of the experimental collection. As part of the experimental study of percussive-abrasive stone tools, it is advisable to use 3D-modelling to study the dynamics and main damage mechanics, since the visualization of the data with the ability to measure morphometric characteristics provides detailed results on the change in the appearance of the artefact and its working surface. These advantages are typical*

*only for tools with damage visible at the macro level. For instruments for abrasive treatment, 3D-visualization can be useful to reflect the morphometric characteristics of the original workpiece. This method is effective in the analysis of use-wear traces observed at the macro level when damages that are recorded only at the micro level are poorly distinguishable on the resulting models. In total, percussive-abrasive stone tools seem to be a promising source for studying by 3D-visualization methods. Its use makes it possible to display visible changes in the relief with high accuracy, providing an opportunity to create an evidence base for the functional analysis of the studied instruments and their identification.*

Keywords: *Gorny Altai, Middle Palaeolithic, Upper Palaeolithic, percussive-abrasive stone tools, 3D-modelling, experimental modelling, functional analysis.*

## Введение

Комплексный анализ производственного инструментария, применявшегося для обработки минерального и органического сырья путем расщепления, ретуширования, дробления, измельчения или истирания, занимает особое место в новейших исследованиях палеолитических комплексов Алтая [Селецкий и др., 2021]. Ввиду особой специфики подобных артефактов, связанных, прежде всего, с выбором в качестве исходных основ природных отдельностей зернистых пород и отсутствием или невыразительностью на них следов преднамеренного видоизменения поверхности, основным методом изучения ударно-абразивных орудий выступает экспериментально-трассологический анализ, направленный на изучение макро- и микроследов износа [Степанова, 2015]. На современном этапе исследований к изучаемым орудиям применяются методы статистики и трехмерного моделирования. Использование высокоточных вычислений и технологий позволяет на новом уровне производить фиксацию как метрических характеристик артефактов для выявления основных особенностей их размерности, так и неровностей рельефа, который может отображать следы утилизации и/или естественных повреждений сырьевой отдельности [Селецкий, Чистяков, Федорченко, 2020].

Важнейшим направлением комплексных изысканий ударно-абразивных инструментов палеолитических комплексов Алтая выступает экспериментальное моделирование, направленное как на реконструкцию различных древних технологий и производственных процессов, так и получение достоверных сведений о динамике формирования следов износа на экспериментальных орудиях. В результате недавних исследований усилиями нескольких научных коллективов были получены оригинальные коллекции экспериментальных эталонов, учитывающих специфику местных сырьевых ресурсов [Белоусова и др., 2017; Шалагина и др., 2019; Селецкий и др., 2021; Белоусова и др., 2022]. Цель настоящей работы заключалась в выявлении основных исследовательских возможностей, связанных с применением технологий 3D-моделирования при изучении экспериментальных эталонов ударно-абразивных инструментов.

## Материалы и методы исследований

Проведенное исследование базировалось на данных экспериментального моделирования, функционального анализа и трехмерного моделирования. В рамках настоящей работы в 2022 г. на базе лаборатории «ЦифрА» ИАЭТ СО РАН была проведена серия экспериментов по расщеплению и ретушированию камня, а также обработке органического материала – зерен злаков. В результате экспериментального моделирования было получено четыре эталона каменных ударно-абразивных орудий, которые и послужили непосредственным предметом исследования: отбойник и ретушер для обработки минерального сырья, терочник и плита для растирания проса. Детальный анализ макро- и микроследов износа на эталонах ударно-абразивных инструментов осуществлялся посредством стереомикроскопа Альтами СМ0745-Т с увеличением  $\times 7-45$ , фотофиксация – камеры Canon EOS 5D Mark IV с объективом EF 100mm f/2.8 Macro IS USM и штативом с ручной доводкой на резкость. Все эталоны были подвергнуты трехмерному сканированию с использованием сканера структурированного подсвета RangeVision Spectrum. Для постобработки полученных моделей, определения метрических характеристик и объема, построения карты кривизны сетки и фиксации макроследов утилизации нами использовались программы RangeVision ScanCentre, Geomagic Wrap, Geomagic Design X, Keyshot 10 (все – trial version) [Чистяков, Бочарова, Колобова, 2021]. В качестве единицы размерности эталонов был взят объем в кубических миллиметрах, поскольку, в отличие от массы, он отображает внешний облик орудий вне зависимости от плотности сырья.

## Результаты исследований

**Экспериментальный анализ.** Первый из принятых нами экспериментов заключался в расщеплении уплощенной гальки мелкозернистого алевропесчаника со снятой естественной поверхностью прямым ударом твердого минерального отбойника (рис. 1). В качестве исходной основы отбойника выступила галька крупнозернистой осадочной по-

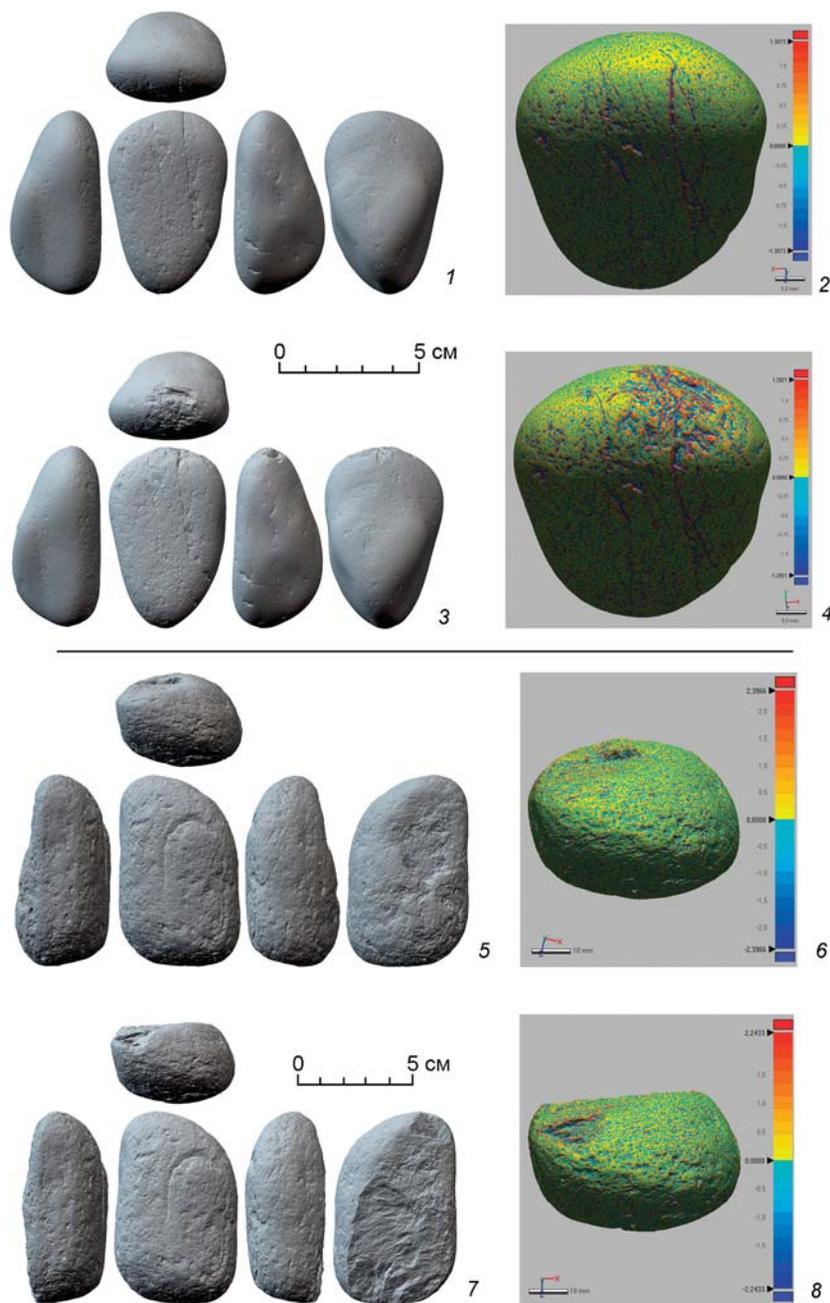


Рис. 1. Трехмерная визуализация экспериментальных эталонов – отбойника до (1, 2) и после (3, 4) использования, ретушера до (5, 6) и после (7, 8) использования.

1, 3, 5, 7 – бестекстурные профили; 2, 4, 6, 8 – карты кривизны сетки.

роды вытянутой овальной формы. Рабочая зона инструмента располагалась на одной из вершин гальки, которой производилось движение сверху вниз; в процессе работы отбойник удерживался в руке за латерали. Цель эксперимента состояла в получении сколов-заготовок согласно параллельному принципу расщепления, общее время работы – один час. Размер эталона (43 739 мм<sup>3</sup>) обусловлен проверкой гипотезы о формировании одинакового типа следов утилизации на отбойниках, если ну-

клеус больше орудия примерно в два раза. В процессе утилизации экспериментального инструмента на его рабочей зоне возникали следы мелкой деформации естественной галечной поверхности в виде выбоин, зарубок и выщербин. Использование орудия в течение 30 мин привело к появлению негатива мелкого скола путем контрудара. Спустя час на утилизированной поверхности инструмента практически полностью отсутствовала корка, из-за чего зона износа казалась выкрошенной и забитой. Последнее свидетельствует о нахождении орудия на крайней стадии утилизации. Облик полученных следов утилизации позволяет считать озвученную выше гипотезу подтвержденной.

Второй эксперимент предполагал ретуширование каменных сколов посредством нанесения прямого удара в течение одного часа (рис. 2). Целью этого процесса являлось формирование у заготовок ретушированного продольного края, находящегося под углом от 70 до 90° к плоской стороне. Заготовкой инструмента послужила галька крупнозернистого сырья осадочной породы яйцевидной формы. Использовалась вершина гальки, хват ретушера осуществлялся за латерали. В процессе эксперимента на рабочей поверхности эталона возникали мелкие выбоинки и выщербины, сопровождаемые линейными следами, что в комплексе приводило к формированию «кометообразных» следов. В целом, следы механических повреждений на ретушере имели меньшие размеры – в сравнении с отбойниками. Спустя полчаса работы контактная поверхность приобрела ячеистый вид, лунки от ударов располагались хаотично. Использование инструмента в течении часа привело к фрагментации рабочей зоны по трещине в результате контрудара. Соответственно, эталон находится на крайней стадии использования.

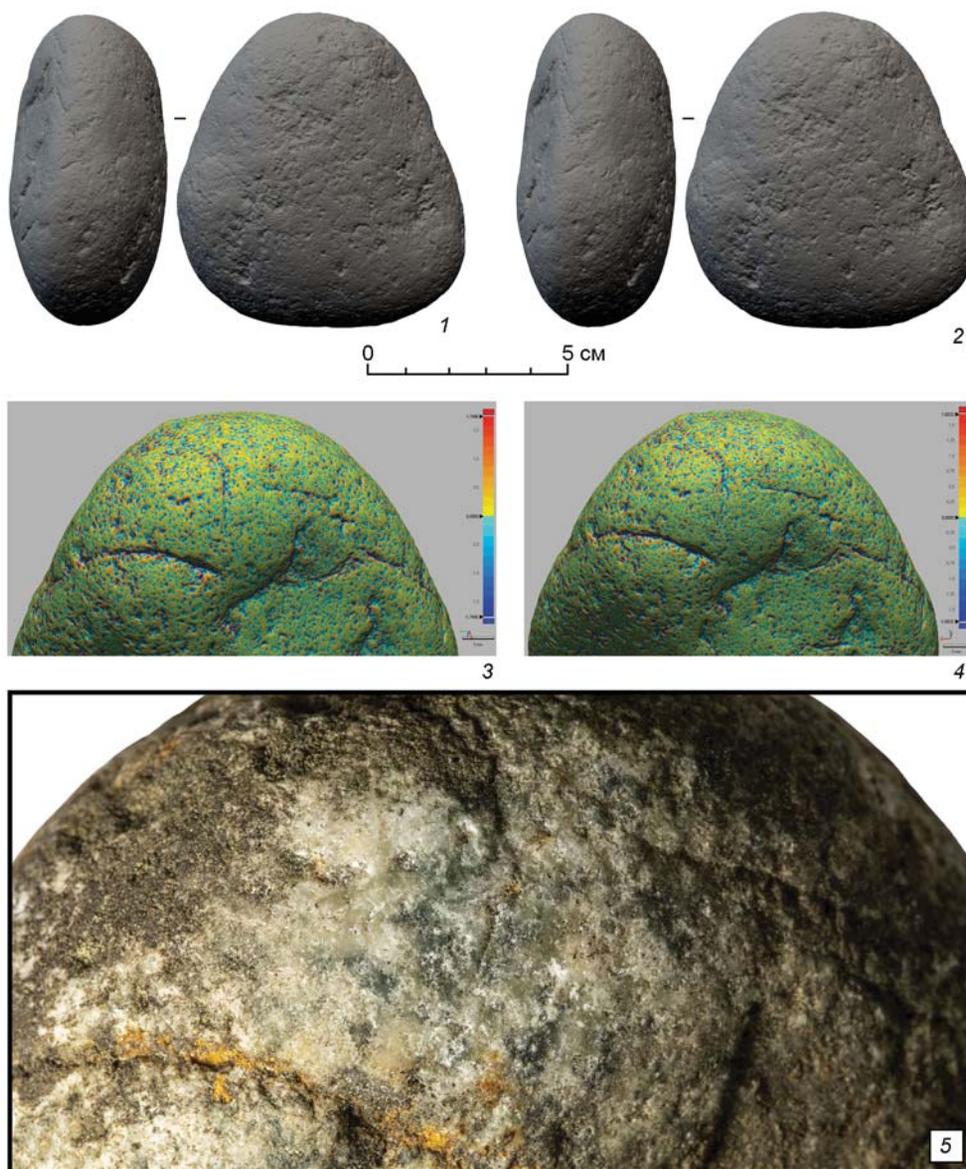


Рис. 2. Экспериментальный терочник до (1, 3) и после (2, 4, 5) использования. 1, 2 – бестекстурные профили; 3, 4 – карты кривизны сетки; 5 – макрофотография зоны износа.

Целью третьего эксперимента выступала обработка зерен проса растиранием между камнями для получения муки (рис. 2, 3). Подобная операция предполагает использование инструментов активного и пассивного характера. Основой первого орудия послужила крупнозернистая галька осадочной породы подтреугольной формы, рабочей зоной которой послужила вершина, второго – крупнозернистая плоская вытянутая галька осадочной породы с контактной поверхностью по центру одной из широких сторон. Хват экспериментального терочника происходил по латералиям гальки, общее время работы составило один час. По мере использования экспериментального терочника было отмечено постепенное выкрашивание и выравнивание поверхности (рис. 2). На микроуровне прослеживались

видимые линейные следы в виде борозд, направленных согласно кинематике инструмента. После часа работы орудия была отчетливо сформирована рабочая зона прямоугольной формы с признаками истирания и следами – остатками муки. Инструмент находится на средней стадии утилизации.

В течение 30 мин утилизации плита для растирания практически не носила визуально наблюдаемых следов износа на макроуровне (рис. 3). Тем не менее, при увеличении от  $\times 40$  были прослежены штриховые субпараллельные линейные следы. По мере дальнейшего использования поверхность становилась все более выровненной, но общий рельеф гальки не изменялся. Спустя час работы рабочий участок плиты приобрел более выраженные даже на макроуровне следы истирания с многочисленными

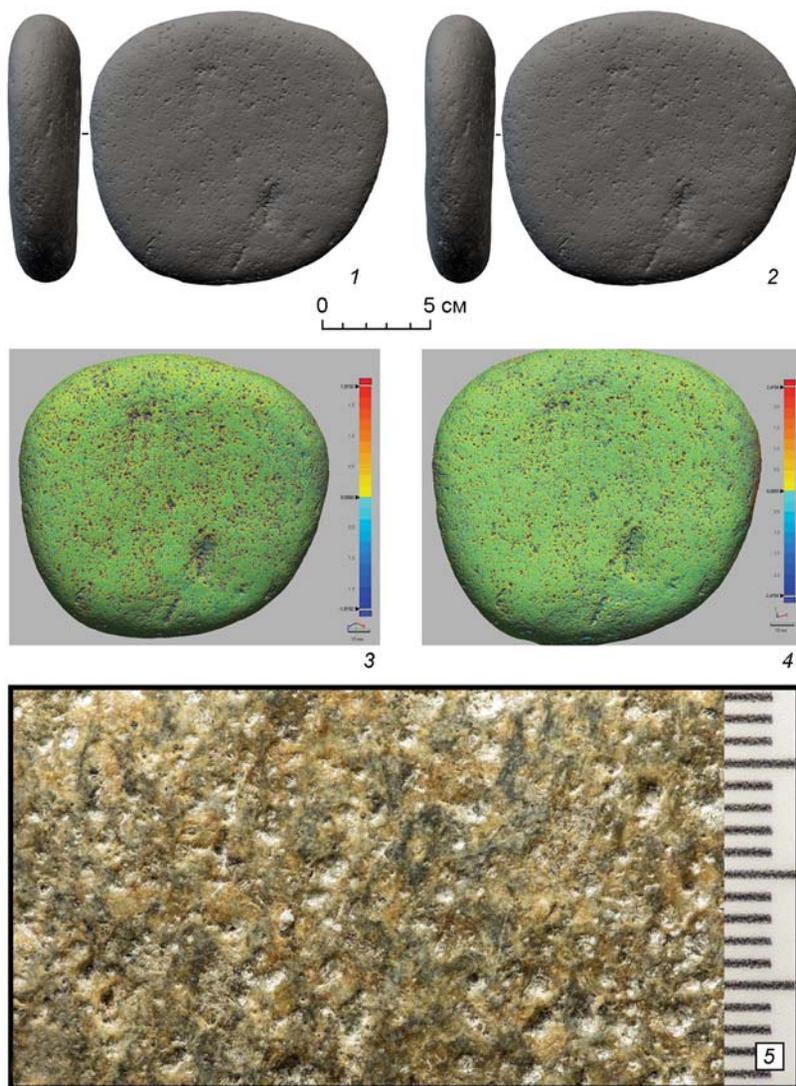


Рис. 3. Экспериментальная плита для растирания до (1, 3) и после (2, 4, 5) использования.  
1, 2 – бестекстурные профили; 3, 4 – карты кривизны сетки; 5 – макрофотография зоны износа.

ными остатками муки. Инструмент находится на средней стадии утилизации, поскольку зона износа отчетливо сформирована, но общий рельеф поверхности не изменен, и галечная корка не повреждена в ходе использования.

**Трехмерное моделирование.** Основная цель применения 3D-моделирования в отношении полученных экспериментальных эталонов заключалась в определении механизмов и динамики образования следов утилизации в процессе обработки каменными инструментами минерального и органического сырья путем ударного и абразивного воздействия. С целью выявления различий были проанализированы метрические характеристики эталонных образцов и рельеф поверхности их рабочих зон до и после использования в той или иной функции.

*Активные инструменты ударного воздействия* претерпели большие изменения в ходе утилизации. Объем отбойника изменился на  $189 \text{ мм}^3$  (с 43 739 до 43 550), его зона износа приобрела ячеистый характер, из-за фрагментации как в результате контрударного воздействия, так и расслаивания по трещинам (см. рис. 1). Схожие изменения произошли и с экспериментальным ретушером, его объем редуцировался на  $8 940 \text{ мм}^3$  (с 104 379 до 95 439). Контактная поверхность инструмента сильно фрагментирована, из-за ее расслоения по трещине в процессе утилизации. Остаточная часть зоны имеет ячеистый характер, прослеживается наличие как лунок, так и зарубок (см. рис. 2). В целом, полученные в результате экспериментов отбойник и ретушер имеют схожую деформацию рабочей поверхности, но различную степень фрагментации (на 0,4 % и 8,6 %, соответственно), что обусловлено трещиноватостью второго орудия. Тем не менее, судя по облику приобретенных следов износа, фиксируемых на трехмерной модели и карте кривизны сетки, оба инструмента вполне успешно идентифицируются, что сказывается положительно на возможности визуализации характера износа на каменных ударно-абразивных орудиях ударного воздействия.

Изменения морфометрических характеристик *орудий абразивного воздействия* в результате использования трехмерного моделирования не зафиксированы. Объем терочника, как и плиты для растирания, практически не претерпел существенных изменений – с  $168 344$  до  $168 336 \text{ мм}^3$  и с  $231 453$  до  $231 447 \text{ мм}^3$ , соответственно. Рельеф рабочих поверхностей остался примерно таким же, за исключением присутствия признаков сглаженности на макроуровне. Потеря объема рассматриваемых эталонов составила менее 0,01 %. Блоки следов на орудиях прослежены только на микроуровне, для их визуализации целесообразней всего использовать фотографию (рис. 2, 5; 3, 5). Полученные данные свидетельствует о нецелесообразности использования методов 3D-моделирования для идентификации функций орудий абразивного воздей-

ствия, находящихся на средней стадии утилизации. Исключением могут являться инструменты на отдельностях сырья, склонного к раскрашиванию и растрескиванию [Белюсова и др., 2021; Федорченко и др., 2022].

### Обсуждение и выводы

Исследование каменных ударно-абразивных орудий нередко сопряжено с комплексом проблем, связанных с идентификацией этих артефактов. В качестве исходных основ для большинства ударно-абразивных инструментов, происходящих из материалов памятников среднего и верхнего палеолита Алтайского региона, обычно использовались окатанные отдельности низкачественного крупнозернистого сырья крупных размеров, которые повсеместно встречались в русловом аллювии ближайших водотоков. Зачастую без использования специального оборудования и методик анализа исследователи способны выделить лишь следы крупных механических повреждений, испытывая определенные трудности при анализе более мелких, но в то же время нередко более диагностичных типов следов износа на рабочей поверхности артефактов. Отбойники и ретушеры, как наиболее простые для идентификации типы производственного инструментария чаще других выделяются в археологических коллекциях палеолитических комплексов Алтая [Природная среда..., 2003; Селецкий и др., 2021]. Из-за слабой выразительности следов износа, обычно заметных только при использовании микроскопа, и общей специфичности внешнего облика, орудия абразивного воздействия выделяются при массовых раскопках ключевых памятников значительно реже.

Использование 3D-моделирования посредством сканера структурированного подсвета в полевом или лабораторных форматах позволяет решать многие проблемы, связанные как с выявлением в археологических коллекциях ударно-абразивных орудий, так и анализом подобного рода инструментов, полученных в результате экспериментального моделирования. В результате проведенного исследования было установлено, что в рамках экспериментального подхода при изучении каменного инструментария применение трехмерного сканирования в наибольшей степени целесообразно для изучения основных механических повреждений, поскольку визуализация полученных данных с возможностью измерения морфометрических характеристик объекта дает подробные результаты об изменении облика артефакта и его рабочей поверхности. Тем не менее, вышеупомянутые преимущества характерны только для инструментов с прослеживаемыми

на макроуровне следами износа. Для инструментов, которыми осуществлялись операции по абразивной обработке, 3D-визуализация сказывается положительно только для отражения морфометрических характеристик изначальной заготовки. Но и в этом случае существуют исключения – если сырьевая отдельность имеет шероховатую и/или трещиноватую структуру, то следы продолжительного использования могут быть обнаружены на карте кривизны сетки.

Каменные ударно-абразивные орудия являются перспективным источником для изучения методами трехмерного моделирования. Их применение позволяет с высокой точностью отобразить видимые изменения рельефа, что дает возможность как для создания доказательной базы функционального анализа изучаемых инструментов, так и осуществления их идентификации.

### Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2022-0009 «Цифровизация процессов изучения древнейшей и древней истории Евразии». Авторы выражают признательность К.А. Колобовой и Н.Е. Белюсовой за помощь в проведении эксперимента.

### Список литературы

- Белюсова Н.Е., Родионов А.М., Вишневецкий А.В., Федорченко А.Ю., Михиенко В.А., Селецкий М.В.** «Тонкие» листовидные бифасы начала верхнего палеолита Алтая: технология, формообразование и каменное сырье // *Stratum plus. Археология и культурная антропология.* – 2022. – № 1. – С. 329–353.
- Белюсова Н.Е., Селецкий М.В., Федорченко А.Ю., Кулик Н.А.** Каменные ударно-абразивные орудия верхнего палеолита стоянки Усть-Каракол-1 (по материалам раскопа 1986 г.) // *Новые материалы и методы археологического исследования. Мат-лы VI конф. мол. ученых.* – М.: Изд-во ИА РАН, 2021. – С. 9–11.
- Белюсова Н.Е., Федорченко А.Ю., Рыбин Е.П., Козликин М.Б.** Особенности технологии производства крупных пластин в индустриях начала верхнего палеолита Горного Алтая // *Тр. V (XXI) Всерос. археологического съезда в Барнауле – Белокурихе.* – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2017. – Т. I. – С. 16–21.
- Природная среда** и человек в палеолите Горного Алтая / А.П. Деревянко, М.В. Шуньков, А.К. Агаджанян, Г.Ф. Барышников, Е.М. Малаева, В.А. Ульянов, Н.А. Кулик, А.В. Постнов, А.А. Анойкин. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2003. – 448 с.
- Селецкий М.В., Федорченко А.Ю., Чистяков П.В., Маркин С.В., Колобова К.А.** Ударно-абразивные камен-

ные орудия из Чагырской пещеры: результаты функционального анализа // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2021. – № 2. – С. 23–31.

**Селецкий М.В., Чистяков П.В., Федорченко А.Ю.** Возможности трехмерного моделирования при исследовании каменных ударно-абразивных орудий эпохи палеолита // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2020. – С. 231–237.

**Степанова К.Н.** Классификации ударно-абразивных орудий верхнего палеолита // Записки ИИМК. – 2015. – № 11. – С. 7–21.

**Федорченко А.Ю., Селецкий М.В., Абдыканова А.К., Алишер Кызы С., Шнайдер С.В.** Ударно-абразивные инструменты второго культурного горизонта стоянки Обишир-5 (Ферганская долина, Кыргызстан) // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: История, филология. – 2022. – Т. 21. – № 5. – С. 32–45.

**Чистяков П.В., Бочарова Е.Н., Колобова К.А.** Обработка трехмерных моделей археологических артефактов // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: История, филология. – 2021. – Т. 20. – № 7. – С. 48–61.

**Шалагина А.В., Харевиц В.М., Кривошапкин А.И., Колобова К.А.** Экспериментальное моделирование бифасиального расщепления в сибирячихинском варианте среднего палеолита Алтая // Теория и практика археологических исследований. – 2019. – № 4 (28). – С. 97–108.

## References

**Belousova N.E., Rodionov A.M., Vishnevskiy A.V., Fedorchenko A.Yu., Mikhienko V.A., Seletskiy M.V.** Initial and Early Upper Palaeolithic «Thin» Leaf-shaped Bifaces: Technology, Shaping and Stone Raw Material. *Stratum Plus: Archaeology and Cultural Anthropology*, 2022. N 1. P. 329–353. (In Russ.).

**Belousova N.E., Seletskiy M.V., Fedorchenko A.Yu., Kulik N.A.** Kamennyye udarno-abrazivnyye orudiya verkhnego paleolita stoyanki Ust'-Karakol-1 (po materialam raskopa 1986 g.). In *Novyye materialy i metody arkheologicheskogo issledovaniya*. Moscow: IA RAS Publ., 2021. P. 9–11. (In Russ.).

**Belousova N.E., Fedorchenko A.Yu., Rybin E.P., Kozlikin M.B.** Osobennosti tekhnologii proizvodstva krupnykh plastin v industriyakh nachala verkhnego paleolita Gornogo Altaya. In *Trudy V (XXI) Vseros. arkheol. S'ezda v Barnaule – Belokurihe*. Barnaul: Altai State Univ. Press, 2017. Vol. 1. P. 16–21. (In Russ.).

**Derevianko A.P., Shunkov M.V., Agadjanian A.K., Baryshnikov G.F., Malayeva E.M., Ulianov V.A., Kulik N.A., Postnov A.V., Anoin A.A.** Prirodnaya sreda i chelovek v paleolite Gornogo Altaia. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2003. 448 p. (In Russ.).

**Seletskiy M.V., Chistyakov P.V., Fedorchenko A.Yu.** 3D-modelling of percussive-abrasive stone tools of Palaeolithic era: the research perspective. In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2020. Vol. 23. P. 231–237. (In Russ.).

**Stepanova K.N.** Classification of the percussive-abrasive tools from the Upper Palaeolithic sites of the Russian Plain. *Transactions of IHMC*, 2015. N 11. P. 7–21. (In Russ.).

**Fedorchenko A.Yu., Seletskiy M.V., Abdykanova A., Alisher kyzy S., Shnaider S.V.** Percussive-Abrasive Tools from Obishir-5 Site, Cultural Horizon 2 (Fergana Valley, Kyrgyzstan). *Vestnik Novosibirsk State Univ. Series: History and Philology*, 2022. Vol. 21. N 5: Archaeology and Ethnography. P. 32–45. (In Russ.).

**Chistyakov P.V., Bocharova E.N., Kolobova K.A.** Processing Three-Dimensional Models of Archaeological Artifacts. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*, 2021. Vol. 20. N 7: Archaeology and Ethnography. P. 48–61. (In Russ.).

**Seletskiy M.V., Fedorchenko A.Y., Chistyakov P.V., Markin S.V., Kolobova K.A.** Percussive-abrasive stone tools from Chagyrskaya cave: results of functional analysis. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2021. Vol. 49. N 2. P. 23–31 (In Russ.).

**Shalagina A.V., Kharevich V.M., Krivoshapkin A.I., Kolobova K.A.** Experimental modelling of bifacial clipping in the Siberiachikha variant of the Middle Palaeolithic in Altai. *Theory and practice of archaeological research*, 2019. N 4 (28). P. 97–108. (In Russ.).

Селецкий М.В. <https://orcid.org/0000-0003-2581-8792>  
Федорченко А.Ю. <https://orcid.org/0000-0001-7812-8037>