

**М.В. Селецкий, П.В. Чистяков, А.Ю. Федорченко**✉

Институт археологии и этнографии СО РАН  
Новосибирск, Россия  
E-mail: archmax95@gmail.com

## **Возможности трехмерного моделирования при исследовании каменных ударно-абразивных орудий эпохи палеолита**

*Функциональный анализ каменных ударно-абразивных орудий эпохи палеолита является одним из перспективных направлений, разрабатываемых в современной археологической трасологии. Изучение подобных артефактов часто сопряжено со множеством трудностей методологического характера, для решения которых исследователи часто привлекают микроскопическое, фотографическое и другое специальное оборудование. Цель настоящей статьи заключается в выявлении исследовательских возможностей трехмерного моделирования в контексте анализа палеолитических ударно-абразивных инструментов из камня. В рамках данного исследования осуществлены эксперименты по расщеплению галечного сырья при помощи наковален, отбойников и ретушеров. Полученные эталоны были использованы для демонстрации различий в точности мануальных и программных измерений метрических параметров полученных эталонов. В результате проведенного исследования были определены следующие преимущества использования технологий 3D-сканирования при анализе ударно-абразивных орудий перед рисунком и фотографией: скорость и удобство в создании изображений артефактов в нескольких проекциях, возможность программного управления тенями и контрастом на этапе постобработки, визуализация следов износа. Было установлено, что использование трехмерного моделирования при помощи сканера структурированного подсвета позволяет существенно снизить погрешности в линейных измерениях артефактов, предоставляя исследователю инструменты точной фиксации деталей микрорельефа орудий, которые в обычной трасологической практике надежно зафиксировать сложно. В целом применение 3D-технологий способствует повышению уровня достоверности получаемых данных, помогая избавиться от субъективности в процессе исследования.*

Ключевые слова: палеолит, каменные ударно-абразивные орудия, эксперимент, 3D-моделирование.

**Maxim V. Seletskiy, Pavel V. Chistyakov, Alexander Yu. Fedorchenko**✉

Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS,  
Novosibirsk, Russia  
E-mail: archmax95@gmail.com

## **3D Modelling of Paleolithic Percussive-Abrasive Stone Tools: Research Opportunities**

*A functional analysis of the Paleolithic stone percussive-abrasive tools is one of the promising avenues in the archaeological traceology. The study of such artifacts is often associated with many methodological difficulties, for the solution of which researchers use microscopic, photographic, and other special equipment. The aim of the article is to identify the research opportunities for the three-dimensional modelling of Paleolithic percussive-abrasive stone tools analysis. We did the experimental knapping with pebble raw material using anvils, hammerstones, and retouchers. We used the obtained reference samples to demonstrate the differences in accuracy of manual and software measurements of the metrics. As a result of analysis of percussive-abrasive stone tools, we identified some advantages of using 3D scanning technologies compared to drawing and photography. These are speed and convenience in creating images of artifacts in multiple projections, software control of shadows and contrast during post-processing, use-wear trace visualization. The use of the structured light 3D scanner can significantly reduce errors in linear measurements of artifacts, providing the researcher with the tools for precise recording of the microrelief details, which is challenging to do in a regular traceological practice. In total, the current capabilities of 3D technologies contribute to rising the confidence level of the obtained data thus helping to eliminate subjectivity in the research process.*

Keywords: Paleolithic, percussive-abrasive stone tools, experiments, 3D modelling.

## Введение

Основной целью экспериментально-трасологического исследования является получение обоснованных данных о функциях древних артефактов и индустрий. Начиная с самых первых трасологических изысканий для обнаружения и изучения следов использования и обработки исследователи применяли широкий спектр специального микроскопического и фотографического оборудования, осветительную технику и средства для создания дополнительного контраста [Семенов, 1957, с. 30–43; Семенов, 1972; Keeley, 1980, р. 1–9; Щелинский, 1983; Vaughan, 1985, р. 9–18]. Современный этап в археологической трасологии связан с появлением и широким распространением цифровой фотографии, использованием компьютерной обработки и сканирующих систем. Распространение технологий создания микро- и макрофотографий с фокусировкой по всей площади одного кадра, созданных из множества частично резких снимков, позволило получать изображение следов, которые ранее нельзя было увидеть в окуляр микроскопа [Plisson, 2015]. Развитие методик фиксации следов посредством фотограмметрии, 3D-сканирования и микротомографии предоставило исследователям качественно новую базу для наблюдения, анализа и визуализации следов износа и обработки [Grosman, Smikt, Slimansky, 2008; Stemp, Watson, Evans, 2015; Porter et al., 2016; Benito-Calvo et al., 2018].

Одним из направлений, активно разрабатываемых сегодня в археологической трасологии, является исследование т.н. ударно-абразивных орудий, выполненных из необработанных отдельностей минерального сырья [Гиля и др., 2019]. Артефакты подобного типа широко представлены на памятниках различных археологических эпох – от нижнего палеолита до Средних веков [Голубева, 2016; Князева, 2011; Pop et al., 2018; Benito-Calvo et al., 2018]. В функциональном плане ударно-абразивные инструменты – отбойники, ретушеры, наковальни, абразивы, терочки, песты и т.д. – использовались для совершения операций по расщеплению, шлифованию, дроблению, измельчению или перетиранию минерального и органического сырья [Beaune, 1989, 1993; Stepanova, 2020]. Такие артефакты часто не имеют следов преднамеренного видоизменения поверхности, но располагают признаками износа, возникшего в результате утилизации [Степанова, 2015]. По этой причине основным методом изучения подобных немодифицированных орудий является экспериментально-трасологический анализ.

Настоящая работа посвящена обзору основных проблем изучения каменных ударно-абразивных инструментов эпохи палеолита, а также выявле-

нию основных исследовательских возможностей, связанных с использованием технологий трехмерного сканирования при анализе данных артефактов.

## Материалы и методы исследования

Анализ текущего состояния функциональных исследований каменных ударно-абразивных орудий эпохи палеолита позволяет сформулировать перечень научных проблем, связанных с изучением данного вида археологических источников. Их морфология почти всегда детерминирована формой исходной галечной отдельности, следовательно, правила и критерии «обычной» типологической классификации для указанной категории артефактов являются в данном случае слабо применимыми [Там же]. Современные классификации каменных ударно-абразивных инструментов среднего и верхнего палеолита базируются на данных о размерности, кинематике и характере износа этих артефактов [Гричан, 2006; Кучугура, 2003; Zampetti, Lemorini, Massussi, 2007]. В связи с этим одной из актуальных проблем в изучении таких артефактов является необходимость точного измерения основных морфометрических параметров этих предметов и корректного отображения следов утилизации на них.

При определении метрических параметров каменных ударно-абразивных орудий исследователь в большинстве случаев использует простые измерительные приспособления (линейку или штангенциркуль), определяя длину, ширину и толщину артефактов, а также метрические параметры следов утилизации согласно своему видению расположения осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ . В данном случае при изучении орудий, имеющих крупные размеры и несимметричную овальную форму, легко допустить неточность в измерениях, а также повредить рабочую поверхность артефакта, что создаст затруднения для проведения функционального анализа.

Одно из возможных решений подобной проблемы может заключаться в использовании специализированных программ, предназначенных для изучения трехмерных моделей артефактов и обеспечивающих как единообразное автоматическое позиционирование, так и стандартные метрические измерения исследуемых объектов. Так, с использованием программы Artifact 3D Л. Гросман был проведен эксперимент по выявлению различий в мануальных и программных измерениях рубил. Было выявлено, что человек ошибался в среднем на величину от 9 до 22 мм, но максимальная разница измерений достигала 50 мм [Grosman, Smikt, Slimansky, 2008].

Облик следов утилизации на палеолитических ударно-абразивных орудиях из зернистых пород

камня глубоко специфичен. Поверхность рабочих участков артефактов, прослеживаемая на макро- и микроуровне, часто состоит из блестящих зерен, вкраплений и трещин, нередко деформированных следами естественного или позднейшего антропогенного воздействия, что существенно затрудняет процесс наблюдения и анализа признаков утилизации. Подобная специфика следов износа осложняет их корректную визуализацию.

Особенности каменных ударно-абразивных орудий требуют проведения специальных экспериментальных исследований для получения репрезентативной коллекции эталонов. В рамках данного исследования было осуществлено моделирование расщепления галек мелкозернистых песчаников и алевролитов при помощи наковальни ( $n = 2$ ), отбойников ( $n = 6$ ) и ретушеров ( $n = 2$ ). Источником для отбора галечного сырья являлся русловой аллювий р. Чарыш в непосредственной близости от Чагырской пещеры.

3D-моделирование экспериментальных эталонов осуществлялось посредством сканера структурированного подсвета RangeVision 5M PRO согласно общепринятому протоколу [Колобова и др., 2019]. Исследуемый объект устанавливался на платформе стола и автоматически сканировался с нескольких ракурсов, в двух или более положениях. После съемки предмета было получено несколько групп облаков точек. Для дальнейшего создания модели и работы с ней были удалены все детали, не относящиеся к объекту сканирования (крепления, стол, ошибки сканирования), полученные группы объединены в единое облако точек, из которого создавалась модель. После подготовки модели осуществлялось исправление мелких погрешностей, не позволявших проводить измерения и дальнейшую работу с объектом. Полученное 3D-изображение обрабатывалось в программе Geomagic Wrap (trial version) при помощи инструмента «Устранение неполадок каркаса», после чего модель сохранялась и была готова к работе.

Для позиционирования объектов мы воспользовались программой Autodesk Netfabb (trial version), в которой применили команду «Minimize Outbox». При выполнении данной команды анализируемый объект вписывается в параллелепипед, длина которого соответствует длине объекта в наибольшем измерении. Ширина и толщина модели рассчитываются по соответствующим граням параллелепипеда. Для измерения основных морфометрических параметров исследуемых объектов использовались программы Geomagic Design X и Autodesk Netfabb (trial version). Описанный алгоритм позволяет единообразно позиционировать исследуемые артефакты и при каждом измерении получать верифицируе-

мые метрические параметры (наибольшие значения длины, ширины и толщины).

Для демонстрации различий в точности мануальных и программных измерений метрических параметров эталонов ударно-абразивных орудий был проведен эксперимент. Перед его началом было определено пять участников, имеющих опыт работы с археологическими и антропологическими материалами. Данные операторы осуществляли замеры длины, ширины и толщины объектов исследования при помощи штангенциркуля. Поскольку машинные измерения являются максимально точными, погрешность высчитывалась от значений, полученных программным путем.

На начальной стадии исследования была выдвинута гипотеза об увеличении погрешности в мануальных измерениях в зависимости от величины артефакта. Чтобы не повторять исследование Л. Гросман, мы разделили экспериментальные эталоны на две группы: мелкие (от 48 до 127 мм в максимальном измерении) и крупные (138–198 мм в максимальном измерении).

Вычисление медианы и выбросов происходило в программе Past. Медиана – уровень показателя, который делит набор данных на две равные половины. Выбросом же является такое измерение, которое сильно выделяется в большую или меньшую сторону из общей выборки [Hammer et al., 2001].

Общая выборка значений не является крупной, поэтому статистическое исследование имеет предварительный характер.

## Результаты исследования

Реализация экспериментальной программы позволила получить 10 эталонов. В качестве орудий использовались гальки различных форм и размерного класса, что являлось полезным для демонстрации методов визуализации и измерения метрических характеристик. В процессе экспериментов осуществлялось апробирование ( $n = 1$ ) и первичное расщепление ( $n = 4$ ; рис. 1) минерального сырья отбойниками, обработка камня отбойниками ( $n = 1$ ) и ретушерами ( $n = 2$ ) на наковальнях ( $n = 2$ ; рис. 2). Полученные экспериментальные инструменты были подвергнуты трехмерному сканированию для создания объемных изображений и измерения метрических характеристик.

При создании итоговых коллажей, передающих основные сведения о морфологии предметов и данные о следах утилизации на них, эталоны размещались в шести проекциях, согласно основным внешним видимым поверхностям сканируемых предметов. В процессе подготовки изображений использовался однонаправленный свет, подбирался



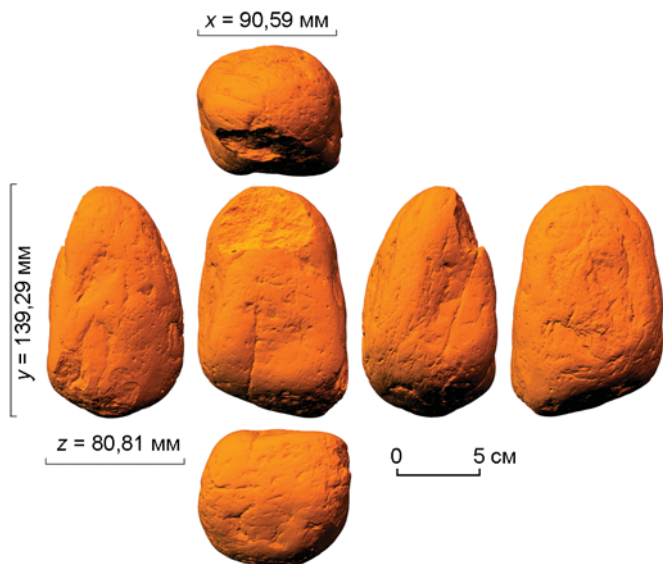


Рис. 1. Экспериментальный отбойник, применявшийся в процессе первичного расщепления каменного сырья.

1 – 3D-визуализация проекций инструмента; 2 – карта высот.

оптимальный цвет заливки, который позволяет наиболее корректно визуализировать следы износа, фиксируемые на макроуровне (см. рис. 1, 1; рис. 2, 1). При компоновке коллажа к указанным проекциям были добавлены изображения рабочей зоны эталонов в увеличенном масштабе и в виде карты высот. Использование карты высот, демонстрирующей особенности микрорельефа рабочей поверхности ударно-абразивных орудий, может служить полезным дополнением

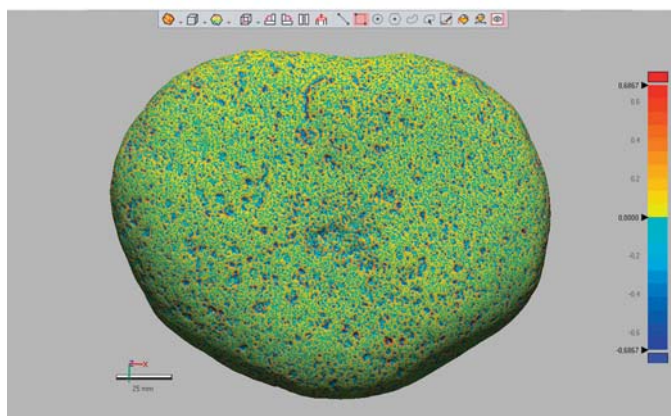
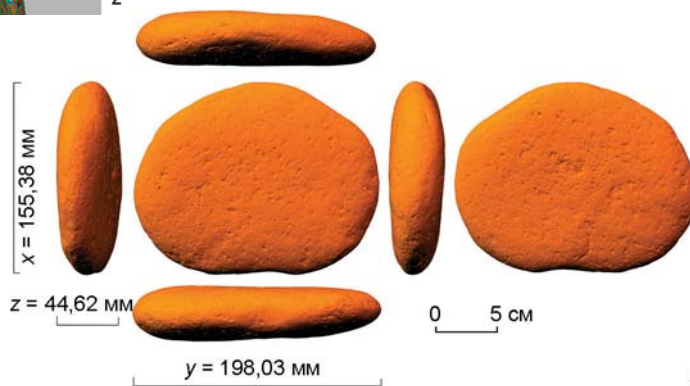
Рис. 2. Экспериментальная наковальня, применявшаяся в процессе первичного расщепления каменного сырья.

1 – 3D-визуализация проекций инструмента; 2 – карта высот.

макрофотографии, предоставляя дополнительную возможность визуализации следов утилизации (см. рис. 1, 2; рис. 2, 2).

В целом по сравнению с обычной фотографией визуализация морфометрических характеристик и признаков утилизации на ударно-абразивных инструментах посредством 3D-моделирования обладает следующими преимуществами: простота в создании изображений, легкость манипулирования проекциями и их масштабирования, выставления «источника освещения» и управления тенями, заливками. Использование фототехники для совершения всех указанных действий с учетом корректного позиционирования снимаемых артефактов, настройки света и экспозиции и последующей программной обработки получаемых фотографий в графических редакторах занимает существенно больше времени.

Отдельная сфера применения технологий 3D-моделирования при анализе ударно-абразивных орудий связана с возможностью точных измерений сканируемых объектов и следов износа, фиксируемых на них. Пособием манипулирования с моделью в программном обеспечении Geomagic Design X производятся измерения метрических параметров и объема артефактов, вы-



числяются размеры утилизированных участков, а также длина, ширина и глубина линейных следов, выбоин, зарубок и других признаков утилизационных макродеформаций, имеющих относительно четкие границы. Программа автоматически выставляет трехмерную модель согласно осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , идентифицирует линейный размер предмета в продольном и поперечном направлениях. Любые необходимые линейные измерения в указанной программе, вплоть до мельчайших деталей, производятся в ручном режиме посредством установки точек и фиксации расстояния между ними.

В результате проведенного эксперимента был составлен график метрических характеристик, полученных мануальным и программным способами (рис. 3). С помощью этого решения была проанализирована погрешность, возникающая при измерении ударно-абразивных инструментов человеком. Для демонстрации достоверной разницы в графике использовались показатели длины и ширины, выступающие основными характеристиками при визуализации и анализе представленных орудий в исследованиях.

Медиана погрешности при фиксации длины крупных орудий ( $> 138$  мм) составила 1,92 мм, крупнейшие значения составляют 18,48 и 28,32 мм. 22 мануальных измерения близки к программному, остальные же три являются выбросами. При измерении ширины – 1,75 мм максимальные значения

составили 6,29 и 6,51 мм. Все мануальные измерения близки к программным. Выбросы отсутствуют.

При измерении длины мелких орудий ( $< 127$  мм) медиана погрешности составила 0,61 мм, при максимальных значениях 3,65 и 15,03 мм. Лишь одно значение является выбросом, остальные 24 – близки к программному. Медиана погрешности по ширине – 0,7 мм, при максимальных значениях 6,12 и 8,61 мм. Мануальные измерения не являются выбросами, т.е. близки к программным.

## Заключение

В результате проведенного исследования были выявлены возможности и преимущества в использовании технологий 3D-моделирования при изучении каменных ударно-абразивных орудий. Применение трехмерного моделирования позволяет снизить погрешности в линейных измерениях артефактов, что дает возможность точной фиксации деталей микрорельефа орудий.

По результатам эксперимента было выявлено, что при измерении человеком длины крупных ударно-абразивных орудий погрешность в среднем составляет от 0,5 до 2,0 мм. При фиксации метрических характеристик более мелких объектов отмечается минимальная погрешность. Тем не менее примерно в 10 % случаев при мануальном измерении артефактов достигалась погрешность более 2–5 мм.

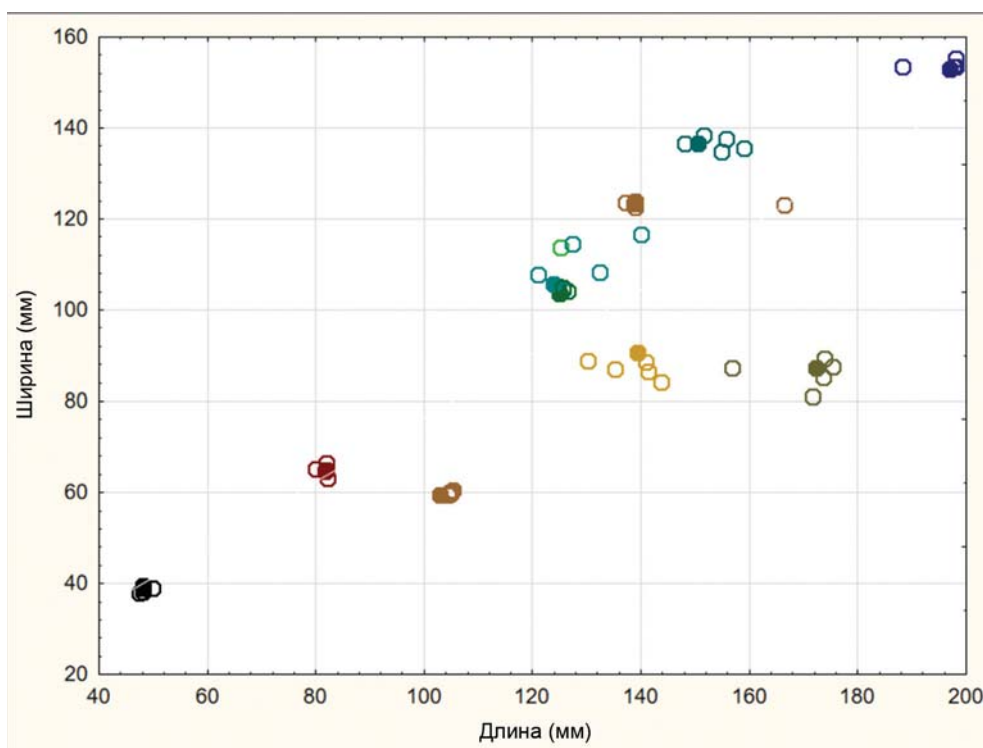


Рис. 3. Метрические измерения экспериментальных ударно-абразивных орудий. Полые круги – мануальные измерения; заполненные круги – программные измерения.

Стоит отметить, что только четыре мануальных измерения из 100 сильно отличаются от программного. Это значит, что человек фиксирует метрические характеристики близко к программным, но с некоторыми погрешностями. То есть, если в исследовании не требуется высокий уровень точности, то можно использовать измерения опытных операторов.

Таким образом, современные технические возможности трехмерного моделирования способствуют повышению уровня достоверности получаемых данных.

## Благодарности

Работы по 3D-моделированию эталонов выполнены по проекту НИР № 0329-2019-0009 «Цифровые технологии в реконструкции стратегий жизнеобеспечения древнего населения Евразии», экспериментальные исследования – при поддержке проекта РФФ № 20-78-10125.

## Список литературы

**Гиря Е.Ю., Федорова Д.Н., Степанова К.Н., Малютина А.А., Колпаков Е.М., Кульков А.М.** Технические средства и исследовательские возможности археологической трасологии // *Stratum plus. Археология и культурная антропология.* – 2019. – № 1. – С. 131–143.

**Голубева Е.В.** Теория и практика экспериментально-трасологических исследований неметаллического инструментария раннего железного века – Средневековья (на материалах южно-таежной зоны Средней Сибири). – Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2016. – 144 с.

**Гричан Ю.В.** Новые аспекты палеоэкономики в позднелепестчатых памятниках Забайкалья (по материалам поселения Варварина Гора) // *Человек и пространство в культурах каменного века Евразии* / отв. ред. А.П. Деревянко, Т.И. Нохрина. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2006. – С. 9–16.

**Князева Е.В.** Технология металлургии и металлообработки на территории Нижнего Приангарья в Средние века: опыт экспериментально-трасологических исследований // *Вестн. НГУ. Сер.: История, филология.* – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2011. – Т. 10, вып. 5. – С. 108–116.

**Колобова К.А., Федорченко А.Ю., Басова Н.В., Постнов А.В., Ковалев В.С., Чистяков П.В., Молодин В.И.** Применение 3D-моделирования для реконструкции облика и функции предметов неутилитарного назначения (на примере антропоморфной скульптуры из материалов могильника Турист-2) // *Археология, этнография и антропология Евразии.* – 2019. – № 4. – С. 66–76.

**Кучугура Л.И.** К вопросу о типологии изделий из неизоморфных пород в верхнем палеолите // *Археологический альманах.* – 2003. – № 13. – С. 308–314.

**Семенов С.А.** Первобытная техника. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – 240 с.

**Семенов С.А.** О следах работы на мустьерских орудиях из Воронцовской пещеры // *Палеолит и неолит СССР.* – Л.: Наука, 1972. – Т. 7. – С. 20–24.

**Щелинский В.Е.** К изучению техники, технологии изготовления и функций орудий мустьерской эпохи // *Технология производства в эпоху палеолита* / отв. ред. А.Н. Рогачев. – Л.: Наука, 1983. – С. 72–133.

**Beaune S.A., de Essai d'une classification typologique des galets et plaquettes utilisés au Paléolithique** // *Gallia Préhistoire.* – 1989. – Vol. 31. – P. 27–64.

**Beaune S.A., de Nonflint Stone Tools of the Early Upper Paleolithic** // *Before Lascaux: The complex record of the Early Upper Paleolithic* / eds. H. Knecht, A. Pike-Tay, R. White. – Boca Raton: CRC Press, 1993. – P. 163–191.

**Benito-Calvo A., Crittenden A.N., Livengood S.V., Sánchez-Romero L., Martínez-Fernández A., Torre de la I., Pante M.** 3D 360° surface morphometric analysis of pounding stone tools used by Hadza foragers of Tanzania: A new methodological approach for studying percussive stone artefacts // *J. of Archaeol. Sci.: Reports.* – 2018. – Vol. 20. – P. 611–621.

**Grosman L., Smikt O., Slimansky U.** On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts // *J. of Archaeol. Sci.* – 2008. – Vol. 35 (12). – P. 3101–3110.

**Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica.* – 2001. – Vol. 1 (4). – P. 1–9.

**Keeley L.** Experimental Determination of Stone Tool Uses. – Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980. – 212 p.

**Plisson H.** Digital Photography and Traceology: From 2D to 3D // *Следы в истории: к 75-летию В.Е. Щелинского.* – СПб.: ИИМК РАН, 2015. – С. 218–233.

**Pop E., Charalampopoulos D., Arps C.S., Verbaas A., Roebroeks W., Gaudzinski-Windheuser S., Langejans G.** Middle Palaeolithic Percussive Tools from the Last Interglacial Site Neumark-Nord 2/2 (Germany) and the Visibility of Such Tools in the Archaeological Record // *J. of Paleolithic Archaeol.* – 2018. – Vol. 1. – P. 81–106.

**Porter S.T., Huber N., Hoyer C., Floss H.** Portable and low-cost solutions to the imaging of Paleolithic art objects: A comparison of photogrammetry and reflectance transformation imaging // *J. of Archaeol. Sci.: Reports.* – 2016. – N 10. – P. 859–863.

**Stemp W.J., Watson A.S., Evans A.A.** Surface analysis of stone and bone tools // *Surface Topography: Metrology and Properties.* – 2015. – Vol. 4 (1). – 013001.

**Stepanova K.** Upper Palaeolithic grinding stones from Eastern European sites: An overview // *Quaternary Intern.* – 2020. – Vol. 541. – P. 162–181.

**Vaughan P.** Use-wear analysis of flaked stone tools. – Tucson: Univ. of Arizona Press, 1985. – 204 p.



**Zampetti D., Lemorini C., Massussi M.** Art et vie quotidienne dans l'Épigravettien final. Les galets utilisés de la Grotta della Ferrovia // Chasseurs-cueilleurs: Comment vivaient nos ancêtres du Paléolithique supérieur: Méthodes d'analyse et d'interprétation en Préhistoire / ed. S.A. de Beaune. – Paris: CNRS, 2007. – P. 171–185.

## References

**Beaune S.A., de** Essai d'une classification typologique des galets et plaquettes utilisés au Paléolithique. *Gallia Préhistoire*, 1989, vol. 31, pp. 27–64.

**Beaune S.A., de** Nonflint Stone Tools of the Early Upper Paleolithic. *Before Lascaux: The complex record of the Early Upper Paleolithic*. White. Boca Raton: CRC Press, 1993, pp. 163–191.

**Benito-Calvo A., Crittenden A.N., Livengood S.V., Sánchez-Romero L., Martínez-Fernández A., Torre de la I., Pante M.** 3D 360° surface morphometric analysis of pounding stone tools used by Hadza foragers of Tanzania: A new methodological approach for studying percussive stone artefacts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2018, vol. 20, pp. 611–621.

**Girya E.Yu., Fedorova D.N., Stepanova K.N. Malyutina A.A., Kolpakov E.M., Kulkov A.M.** Technical Means and Research Perspectives in Archeological Traceology. *Stratum plus*, 2019, No. 1, pp. 131–143. (In Russ.).

**Golubeva E.V.** Teoriya i praktika eksperimental'no-trasologicheskikh issledovaniy nemetallicheseskogo instrumentariya rannego zheleznogo veka – srednevekov'ya (na materialakh yuzhno-tayezhnoi zony Srednei Sibiri). Krasnoyarsk: State Federal Univ. Press, 2016, 144 p. (In Russ.).

**Grichan Yu.V.** Novyye aspekty paleoekonomiki v pozdnepaléolithicheskikh pamyatnikakh Zabaykal'ya (po materialam poseleniya Varvarina Gora). In Derevianko A.P., Nokhrina T.I. (eds.). *Chelovek i prostranstvo v kul'turakh kamennogo veka Evrazii*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2006, pp. 9–16. (In Russ.).

**Grosman L., Smikt O., Slimansky U.** On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *Journal of Archaeological Science*, 2008, vol. 35 (12), pp. 3101–3110.

**Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001, vol. 1 (4), pp. 1–9.

**Keeley L.** *Experimental Determination of Stone Tool Uses*. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980, 212 p.

**Knyazeva E.V.** Technology of metallurgy and metal treatment on territory of undercurrent Angara in Middle Ages: experience of experimental and traceological investigations. *Novosibirsk State University Bulletin. Series: History and Philology*, 2011, vol. 10, iss. 5, pp. 108–116. (In Russ.).

**Kolobova K.A., Fedorchenko A.Yu., Basova N.V., Postnov A.V., Kovalev V.S., Chistyakov P.V., Molodin V.I.** The Use of 3D-Modeling for Reconstructing the Appearance and Function of Non-Utilitarian Items (the Case of Anthropomorphic Figurines from Tourist-2. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2019, vol. 47, No. 4, pp. 66–76. (In Russ.).

**Kuchugura L.I.** K voprosu o tipologii izdeliy iz neizomorfnykh porod v verkhnem paleolite. *Archaeological Almanac*, 2003, No. 13, pp. 308–314. (In Russ.).

**Plisson H.** Digital Photography and Traceology: From 2D to 3D. In *Traces in history. To the 75th anniversary of V.E. Shchelinsky*. Saint Petersburg: IHMC RAS, 2015, pp. 218–233.

**Pop E., Charalampopoulos D., Arps C.S., Verbaas A., Roebroeks W., Gaudzinski-Windheuser S., Langejans G.** Middle Palaeolithic Percussive Tools from the Last Interglacial Site Neumark-Nord 2/2 (Germany) and the Visibility of Such Tools in the Archaeological Record. *Journal of Paleolithic Archaeology*, 2018, vol. 1, pp. 81–106.

**Porter S.T., Huber N., Hoyer C., Floss H.** Portable and low-cost solutions to the imaging of Paleolithic art objects: A comparison of photogrammetry and reflectance transformation imaging. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2016, No. 10, pp. 859–863.

**Semenov S.A.** Pervobytnaya tekhnika. Leningrad: Academy of Sciences of the USSR Publ., 1957, 240 p. (In Russ.).

**Semenov S.A.** O sledakh raboty na must'yerskikh orudiyakh iz Vorontsovskoy peshchery. *Paleolit i neolit SSSR*. Leningrad: Nauka, 1972, vol. 7, pp. 20–24. (In Russ.).

**Shchelinsky V.E.** K izucheniyu tekhniki, tekhnologii izgotovleniya i funktsiy orudiy must'yerskoy epokhi. In Rogachev A.N. (ed.). *Tekhnologiya proizvodstva v epokhu paleolita*. Leningrad: Nauka, 1983, pp. 72–133. (In Russ.).

**Stemp W.J., Watson A.S., Evans A.A.** Surface analysis of stone and bone tools. *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 4 (1), 013001.

**Stepanova K.** Upper Palaeolithic grinding stones from Eastern European sites: An overview. *Quaternary International*, 2020, vol. 541, pp. 162–181.

**Vaughan P.** Use-wear analysis of flaked stone tools. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1985, 204 p.

**Zampetti D., Lemorini C., Massussi M.** Art et vie quotidienne dans l'Épigravettien final. Les galets utilisés de la Grotta della Ferrovia. In *Chasseurs-cueilleurs: Comment vivaient nos ancêtres du Paléolithique supérieur: Méthodes d'analyse et d'interprétation en Préhistoire*. Paris: CNRS, 2007, pp. 171–185.

Селецкий М.В. <https://orcid.org/0000-0003-2581-8792>

Чистяков П.В. <https://orcid.org/0000-0001-7036-7092>

Федорченко А.Ю. <https://orcid.org/0000-0001-7812-8037>