

Е.Н. Бочарова¹, Д.В. Кожевникова¹, П.В. Чистяков¹,
Р.К. Жданов¹, Д.Н. Лохов², В.М. Новосельцева³, В.М. Харевич¹✉

¹Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

²Иркутский государственный университет
Иркутск, Россия

³Независимый исследователь
Баренцбург, Россия
E-mail: mihalich84@mail.ru

Возможности компьютерной микротомографии для анализа фиксации вкладышей в составных орудиях

В представленной работе рассматриваются результаты применения микроКТ, дающей возможность неразрушающего изучения внутреннего строения составных пазовых орудий для выявления технологических особенностей сборки и фиксации микропластинчатых вкладышей, включая распределение kleевого вещества, глубину посадки и ориентацию элементов. В ходе эксперимента были изготовлены четыре образца из рога и кости с использованием битумно-зольной kleящей массы и микропластинчатых вкладышей. Проведено трехмерное томографическое моделирование внутренней структуры полученных орудий и сопоставление этих данных с результатами анализа трех археологических орудий неолитического времени (стоянки Усть-Кеуль, Усть-Ёдарма-2, могильник Калашиха), в которых вкладыши сохранились *in situ*. В результате экспериментального моделирования установлено, что микропластинчатые вкладыши подбирались и размещались в пазу таким образом, чтобы формировать ровную режущую кромку; даже незначительное смещение отдельных фрагментов приводило к выламыванию или расшатыванию соединения. Томографическим исследованием выявлены скрытые технологические дефекты экспериментальных образцов – зоны неполного заполнения пазов kleевым веществом, микропустоты и неравномерная посадка отдельных фрагментов, – отражающие погрешности сборки и различия в применяемых приемах монтажа. Сравнение экспериментальных и археологических образцов показало сходство конструктивных решений пазовых основ и приемов их сборки с вкладышами. Зафиксированные различия в характере посадки и плотности прилегания вкладышей могут отражать вариативность приемов производства основ и индивидуальные особенности изготовления. Результаты демонстрируют эффективность микро-КТ для реконструкции технологий изготовления и анализа состояния археологических артефактов. Метод позволяет определить конструктивные особенности, недоступные традиционным подходам, применяемым в археологии, и может быть использован для разработки новых экспериментальных моделей и реконструкции функциональных характеристик составных орудий.

Ключевые слова: эксперимент, композитные пазовые орудия, паз, kleящее вещество, микроКТ, томография (микро-КТ).

E.N. Bocharova¹, D.V. Kozhevnikova¹, P.V. Chistyakov¹,
R.V. Zhdanov¹, D.N. Lokhov², V.M. Novoseltzeva³, V.M. Kharevich¹✉

¹Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia

²Irkutsk State University
Irkutsk, Russia

³Independent researcher
Barentsburg, Russia
E-mail: mihalich84@mail.ru

Potential of Micro-Computed Tomography in Analyzing Insert Fixation in Composite Tools

This study presents the results of using micro-computed tomography (micro-CT) for non-destructive analysis of the internal structure of composite slotted tools. The research focused on technological features of the assembly and fixation of microblade

inserts, distribution of adhesive material, the depth of insertion, and the orientation of individual elements. Four experimental samples were made of antler and bone; microblade inserts were fixed with a bitumen-ash adhesive. Visualization of the internal structure of tools was carried out through three-dimensional tomographic modeling. The results were compared with the analytic data on three Neolithic archaeological tools (from the sites of Ust-Keul and Ust-Yodarma 2, and Kalashikha burial ground) where inserts were preserved in situ. Experimental modeling showed that microblade inserts were selected and placed into the slot to form a continuous cutting edge. Even slight misalignments caused loosening or even breaking of the cutting edge. Tomographic analysis revealed hidden technological defects in the experimental samples, such as zones of incomplete filling of adhesive, micro-voids, and uneven fitting of individual fragments; all these are reflecting assembly inaccuracies and differences in mounting techniques. Comparison of experimental and archaeological tools demonstrated similarities in design solutions and assembly methods. Observed differences in insert fitting and adhesion density may reflect variability in the preparation of tool bases and individual production practices. The results demonstrate the effectiveness of micro-CT in reconstructing manufacturing technologies and assessing the state of preservation of archaeological artifacts. The method facilitates identification of construction features inaccessible to traditional archaeological techniques and can be applied to develop new experimental models and reconstruct the functional characteristics of composite tools.

Keywords: *experiment, composite slotted tools, slot, adhesive, micro-computed tomography (micro-CT).*

Введение

Изучение технологий изготовления составных пазовых орудий ограничивается морфологическим, типологическим и трасологическим анализом, а также экспериментальным воспроизведением орудий, однако эти методы не позволяют оценить распределение kleевого вещества, глубину посадки и ориентацию вкладышей в пазу без частичного разрушения артефакта.

В последние годы в археологии активно развиваются методы неразрушающего анализа, прежде всего компьютерная микротомография (микро-КТ), обеспечивающая получение трехмерных изображений внутренней структуры объектов с микрометровым разрешением. Применение микро-КТ к археологическим материалам продемонстрировало высокий потенциал для исследования внутреннего строения костяных, каменных, керамических, металлических и других артефактов – от анализа следов изготовления и реконструкции технологических приемов до выявления скрытых элементов конструкции и инкрустаций [Бочарова, Кожевникова, Колобова, 2025б; Kozhevnikova et al., 2025; Baumann et al., 2023; Kahl, Ramminger, 2012; Stelzner, Gauß, Schuetz, 2016]. Использование компьютерной микротомографии для изучения составных пазовых орудий открывает принципиально новые возможности реконструкции технологии их изготовления и эксплуатации [Бочарова, Кожевникова, Колобова, 2025а]. Микро-КТ позволяет визуализировать внутреннее пространство паза, определить форму и положение вкладышей, толщину и распределение kleевого слоя, а также проследить особенности соединения элементов конструкции. Поскольку находки составных пазовых орудий с сохранившимися вкладышами на территории Восточной Сибири чрезвычайно редки, для изучения технологии соединения основы, вкладыша и kleевого слоя нами были изготовлены экспериментальные образцы, воспроизводящие основные конструктивные параметры археологических артефактов. Результаты томографи-

ческого анализа экспериментальных изделий были сопоставлены с данными трех археологических неолитических составных орудий, в которых сохранились один или несколько вкладышей *in situ*.

Материалы и методы

Экспериментальное моделирование. В качестве обрабатываемого сырья использовались рога оленя и кость. Для оснащения пазов орудий применялись микропластинчатые вкладыши, фиксируемые с использованием смеси битума и золы. Процесс изготовления включал последовательные технологические операции. На первом этапе из рога или кости создавалась тонкая вытянутая заготовка, форма которой корректировалась при помощи строгания или шлифовки. Далее на поверхности основы прорезались пазы с помощью микропластины или резца. Заключительным этапом было оснащение основы вкладышами. Для этого пазы заполнялись kleевым веществом, в которое погружались вкладыши, формировавшие ровную режущую кромку. Далее проводилась компьютерная микротомография для создания трехмерных моделей и изучения срезов.

Компьютерная микротомография проводилась в ЦКП «Геохронология кайнозоя» ИАЭТ СО РАН (Новосибирск) с использованием настольной системы «ПРОДИС.КОМПАКТ» (исп. 1215CG, ПО proDIS, версия 1.3.20230802.02664F017). Сегментация, анализ и объемный рендеринг осуществлялись в Slicer 3D (версия 5.6.2; [Fedorov et al., 2012]) с использованием модуля SlicerMorph [Rolle et al., 2021].

Результаты

Экспериментальная серия включала изготовление четырех составных пазовых орудий: трех двупазовых и одного с одиночным пазом (рис. 1, 1–4). Моделирование позволило воспроизвести полный цикл технологических операций, связанных с производством пазовых орудий, и реконструировать их

последовательность. Поскольку детальное описание всех этапов обработки заготовки выходит за рамки настоящего исследования, основное внимание уделено заключительной стадии – оснащению основы микропластинчатыми вкладышами.

В качестве вкладышей использовались фрагменты микропластина, предварительно подобранные и подогнанные между собой таким образом, чтобы образовывать прямое и ровное лезвие. По нашим наблюдениям, эффективность работы составного орудия во многом определялась степенью выровненности режущей кромки: при смещении одного или нескольких вкладышей относительно общей линии образовывались зазубрины, которые, например, при разрезании мяса приводили к выламыванию вкладышей. Первоначально вкладыши примерялись в пустой паз, после чего формировалась их последовательность; при необходимости микропластины укорачивались для более плотного размещения. Установлено, что наилучшим образом подходили медиальные и дистальные фрагменты микропластина с прямым профилем (напр., [Gauvrit Roux et al., 2024; Лозовская, 2001; Питулько, 1998; Ветров, Шергин, Тeten'кин, 2019; и др.]).

На этапе окончательной сборки пазы заполнялись kleевой массой, приготовленной из разогретого битума с добавлением древесной золы. Клеящая масса наносилась в паз при помощи деревянных шпажек и тонких веточек, после чего в нее постепенно устанавливались каменные вкладыши – по одному или два за прием, поскольку смесь быстро остывала и теряла пластичность. В процессе сборки положение вкладышей корректировалось таким образом, чтобы сформировать ровную режущую кромку без зазубрин и перепадов по высоте. Полученные образцы демонстрируют надежную фиксацию вкладышей и устойчивость соединения.

Томографическое исследование экспериментальных образцов позволило получить трехмерные реконструкции внутренней структуры паза, включая распределение kleевого слоя, глубину посадки и положение микропластинчатых вкладышей. Визуализация демонстрирует четкое различие между материалами: основа, вкладыши и kleевой слой имеют различную плотность и поэтому контрастно отображаются на рентгенограммах.

Экспериментальное орудие № 1. Микро-КТ изображения показывают равномерное расположение вкладышей, которые образуют непрерывную, хорошо выровненную рабочую кромку (рис. 1, 1; 2, 1). Размеры и форма вкладышей подобраны таким образом, чтобы минимизировать промежутки между соседними элементами. На продольных срезах (рис. 2, 1) четко прослеживается параллельная ориентация вкладышей относительно дна паза. Глубина их посадки стабильна по всей длине соединения, за исключением незначительного смещение вверх

дистальных фрагментов. В проксимальной части наблюдается слегка утолщенный kleевой слой, что, вероятно, отражает технологию последовательного монтажа – нанесение kleя от основания к вершине с постепенным выравниванием кромки. Толщина kleящего состава варьирует от 0,3 до 0,7 мм. В некоторых участках заметны локальные скопления kleевой массы у нижнего края пазов – возможно, результат перераспределения смеси при вдавливании вставок. Трехмерная модель показывает, что, несмотря на небольшие перепады по высоте между отдельными вставками, общая линия режущей кромки остается ровной. На некоторых участках видны микрозазоры между пластинами (до 0,2–0,3 мм), которые, по-видимому, компенсировались kleевой массой.

Экспериментальное орудие № 2. Визуализация показывает, что вставки занимают практически всю длину паза, формируя непрерывную рабочую кромку (см. рис. 1, 2; 2, 2). В одном из пазов между отдельными вкладышами фиксируются узкиестыковые промежутки, в другом отмечается небольшие зазоры по кромке вкладышей. Установка вкладышей относительно дна паза преимущественно параллельная, однако наблюдается небольшое смещение вверх отдельных фрагментов, вероятно вызванное неравномерностью толщины kleевого слоя. Kleевая прослойка отображается как полупрозрачная зона пониженной плотности, располагающаяся между дном паза и нижними поверхностями вкладышей, а также заполняющая пространство между стенками паза и вкладышами. Толщина kleевого слоя варьирует в пределах 0,2–0,6 мм, с локальными уплотнениями в дистальных участках, где смесь, по-видимому, концентрировалась при установке последних вставок. Отсутствие значительных пустот или смещений свидетельствует о подгонке микропластина, которые образуют почти прямолинейную кромку без заметных перепадов по высоте. Исключение составляют отдельные вкладыши в дистальной части паза, где фиксируется легкий наклон (до 10–12°) относительно общей оси.

Экспериментальное орудие № 3. На фотографии и микротомографической реконструкции (см. рис. 1, 3; 2, 3) представлено общее распределение вкладышей вдоль паза основы. Визуализация показывает, что паз заполнен серией микропластинчатых фрагментов, расположенных последовательно с минимальными промежутками между ними. Между отдельными фрагментами фиксируются тонкие прослойки kleевого вещества, равномерно распределенные по длине паза. В поперечном срезе (рис. 2, 3) паз имеет трапециевидный профиль. Kleевой слой визуализируется как узкая светлая полоса между вкладышами и стенками паза; его толщина варьируется от 0,2 до 0,6 мм. В некоторых участках паза отмечается участки неоднородной плотности kleевого вещества, вероятно обусловленные пузырьками воздуха или

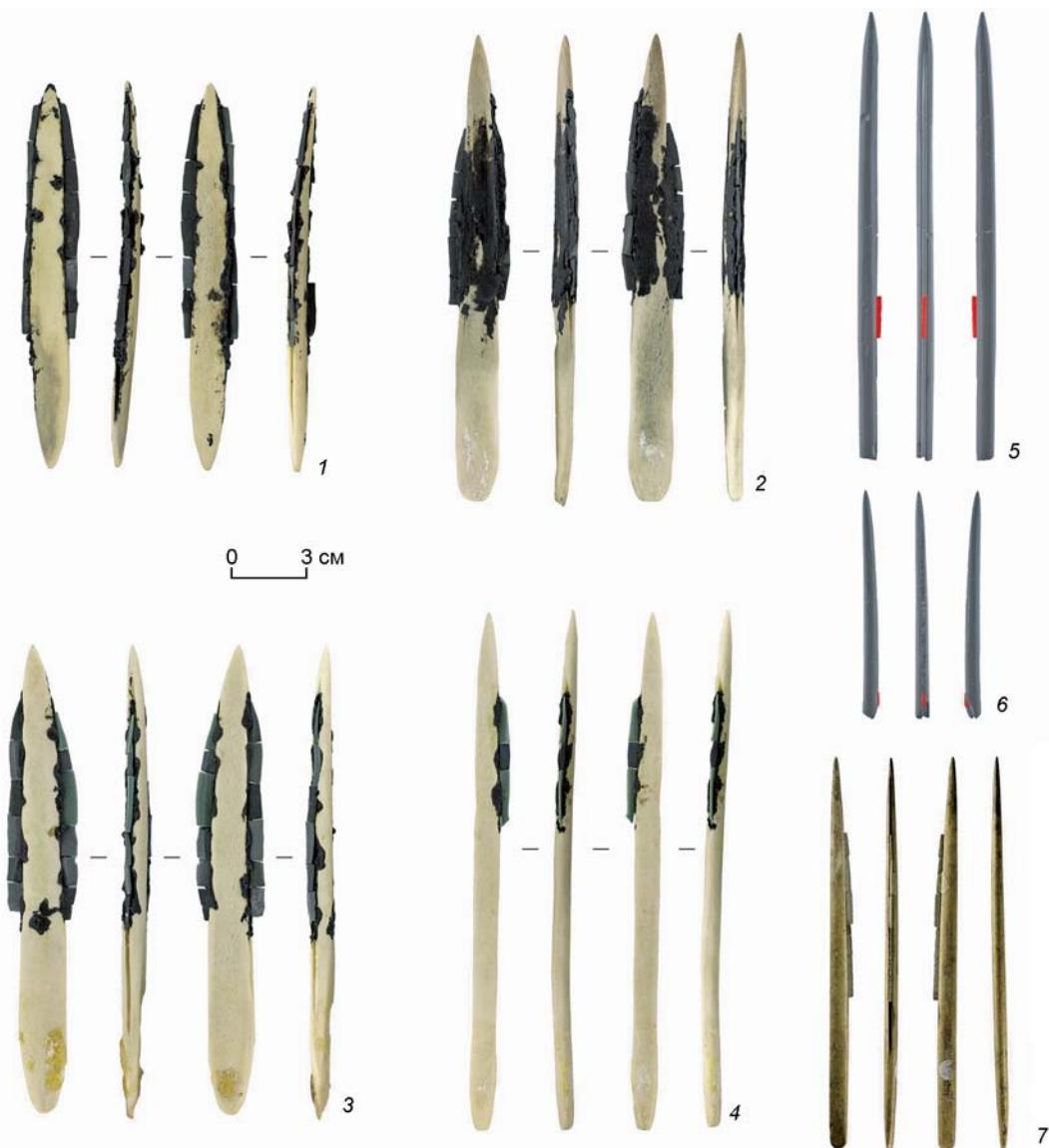


Рис. 1. Составные пазовые орудия.

1–4 – экспериментальные орудия; 5 – орудие со стоянки Усть-Ёдарма-2; 6 – орудие со стоянки Усть-Кеуль; 7 – орудие с могильника Калаиха.

неполным заполнением паза при нанесении смеси. Между вкладышами фиксируются узкие зазоры, не превышающие 0,3 мм.

Экспериментальное орудие № 4 (см. рис. 1, 4). В продольных проекциях (рис. 2, 4) хорошо различимы три фрагмента микропластин, установленные последовательно в одном пазу. Между ними прослеживается тонкая прослойка клеевого вещества, заполняющего промежутки между стенками паза и боковыми поверхностями вкладышей. Положение пластин относительно оси паза практически параллельное, что свидетельствует о корректной установке и равномерной посадке элементов. Незначительные отклонения по углу (< 5–7°) фиксируются в дистальной части паза, где вкладыш слегка приподнят относительно дна. Клеевой материал визуализируется как

зона пониженной рентгеновской плотности, равномерно оконтуривающая вкладыши по бокам и снизу. Толщина клеевого слоя варьирует от 0,2 до 0,5 мм, увеличиваясь в местах сопряжения отдельных фрагментов. В некоторых срезах наблюдаются небольшие пустоты в клеевой прослойке.

Для сопоставления полученных данных было проведено сравнение с тремя археологическими составными орудиями, в которых вкладыши сохранились *in situ*. Пазы этих изделий не подвергались очистке, а положение микропластин зафиксировано в исходном состоянии, соответствующем их обнаружению при раскопках.

Фрагмент костяного остроконечника с продольным пазом со стоянки Усть-Кеуль (см. рис. 1, 6). Найдена происходит из горизонта 7 (средний – поздний

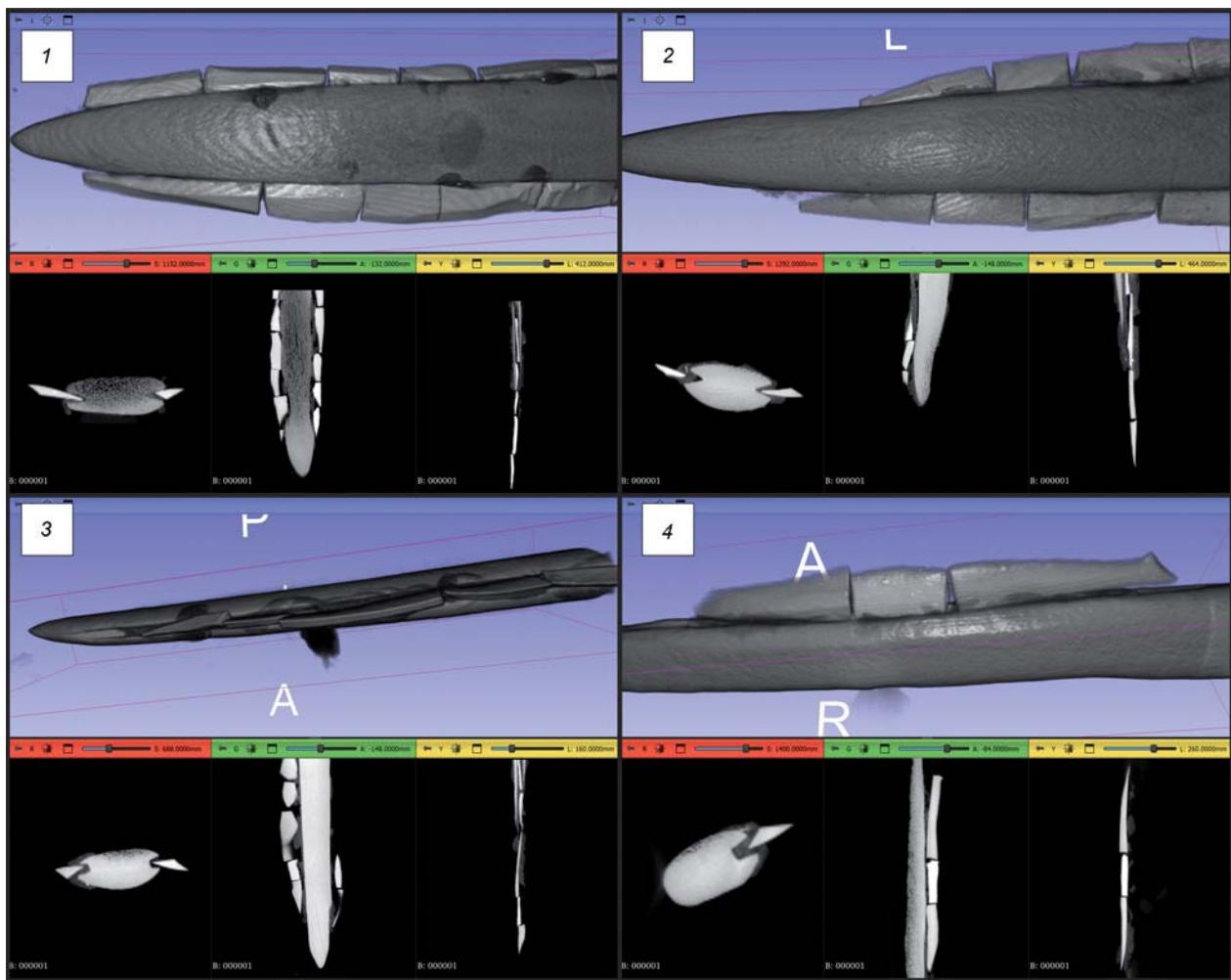


Рис. 2. Результаты микрокомпьютерной томографии экспериментальных орудий.

1 – экспериментальное орудие № 1; 2 – экспериментальное орудие № 2; 3 – экспериментальное орудие № 3; 4 – экспериментальное орудие № 4.

неолит, ок. 7 900–4 400 кал. л.н. На микротомографических реконструкциях (рис. 3, 1) визуализируется участок археологического пазового орудия с сохранившимся вкладышем в заполненном грунтом пазу. Трехмерная модель позволяет проследить общую форму паза и состояние внутреннего заполнителя без предварительной очистки. В продольных срезах (рис. 3, 1) хорошо различима разнородная структура внутреннего заполнения. Центральная часть паза имеет повышенную плотность, что соответствует фрагменту вкладыша. Вокруг этого участка фиксируется зона пониженной плотности, заполненная мелкодисперсным грунтом. В ряде мест видны мелкие поры и пустоты, отражающие неоднородность заполняющей массы и частичное вымывание органических компонентов, например клеевой смеси.

Костяной остроконечник с продольным пазом со стоянки Усть-Ёдарма-2 (см. рис. 1, 5). Происходит из культурного слоя 7, датированного серией из шести AMS-определений в диапазоне $6\ 705 \pm 85$ – $7\ 007 \pm 54$ л.н. На представленных микротомографических

реконструкциях (рис. 3, 2) визуализируется участок археологического орудия с пазом, внутри которого сохранился фрагмент вкладыша, частично окруженный грунтовыми отложениями. Паз в районе вкладыша не подвергался очистке, что позволило зафиксировать состояние соединения в его исходном виде. В продольных срезах (рис. 3, 2) четко различим контраст между материалом основы, вкладышем и заполняющей массой. В центральной зоне паза наблюдается уплотненная область с неоднородной структурой – вероятно, сочетание остатков клеевого вещества, минеральных включений и мелкодисперсного грунта, проникшего в соединение в процессе постдепозиционных изменений. Контуры вкладыша различимы по всей длине. Он расположен вдоль продольной оси орудия, с небольшим смещением вверх относительно дна, что может отражать первоначальную посадку вкладыша в паз. Вокруг вкладыша фиксируются участки повышенной пористости, возможно появившиеся в результате разложения органических компонентов клея.

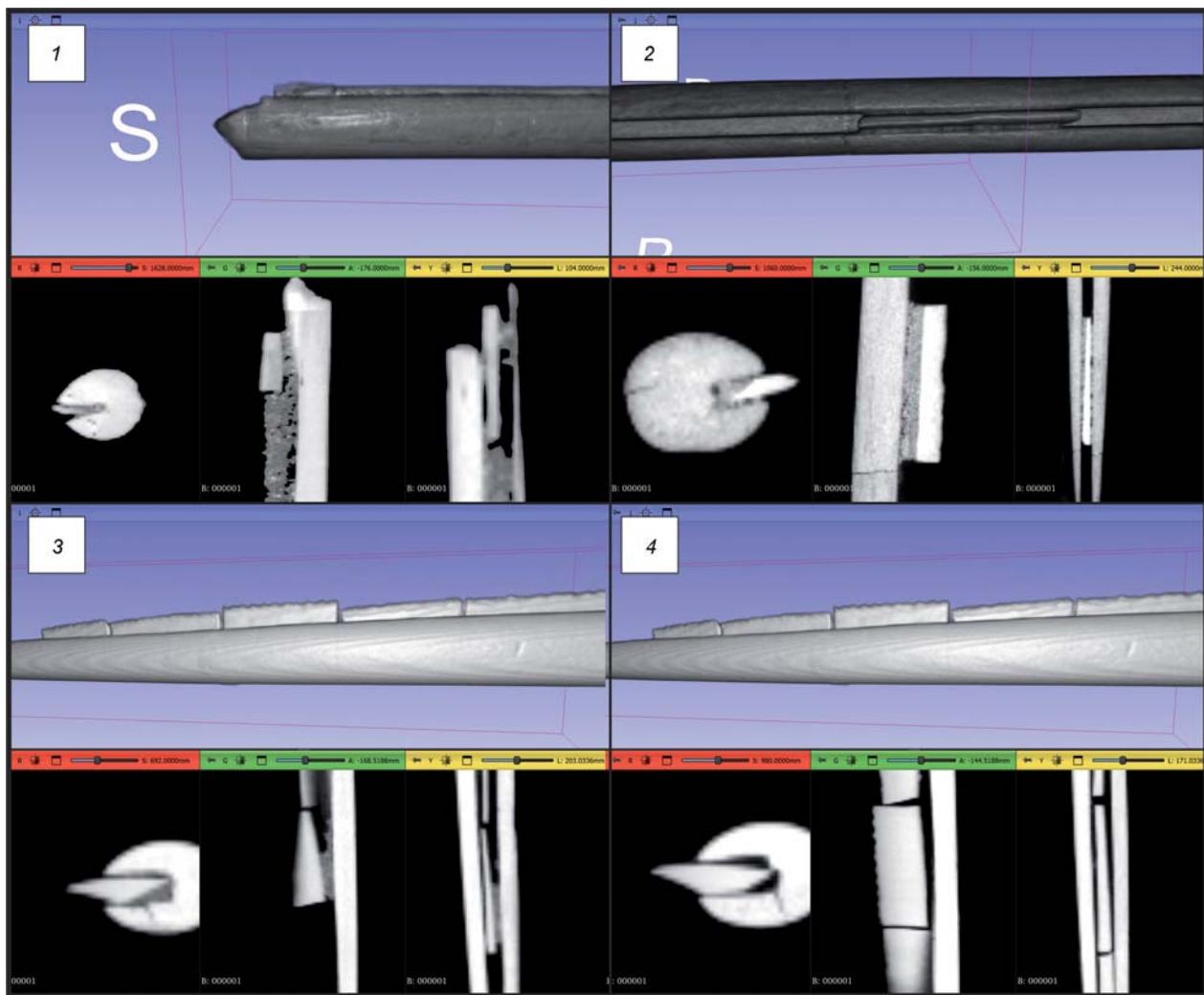


Рис. 3. Результаты микрокомпьютерной томографии археологических орудий. 1 – орудие со стоянки Усть-Кеуль; 2 – орудие со стоянки Усть-Ёдарма-2; 3, 4 – орудие из могильника Калашиха.

Вкладышевый кинжал с одним продольным пазом, содержащим микропластинчатые вставки (см. рис. 1, 7; 3, 3, 4). Происходит из раскопок 1977 г. могильника Калашиха (Шумилиха). На микротомографических реконструкциях видно, что микропластинчатые вкладыши расположены в один ряд вдоль паза, формируя непрерывную, хотя и неровную, режущую кромку. Между отдельными фрагментами прослеживаются четкие, но небольшие интервалы. По контрасту плотности хорошо различимо, что вкладыши плотно установлены в пазу – их нижние части упираются в дно и одну из боковых стенок. В то же время зафиксированы локальные пустоты, частично заполненные грунтом; вероятно, они соответствуют участкам, ранее занятым kleевым веществом. В одном из участков наблюдается значительное выступление одного вкладыша над остальными, при сохранении плотного прилегания его нижнего края ко дну паза, что может отражать неравномерность посадки или усадку kleевого слоя на других участках.

Заключение

Результаты проведенного исследования продемонстрировали эффективность микро-КТ как инструмента изучения составных пазовых орудий. Применение трехмерного анализа позволило рассмотреть внутреннюю организацию соединений – соотношение основы, вкладышей и kleевого слоя, которые ранее были недоступны традиционным археологическим методам. Полученные данные уточняют представления о технологических принципах сборки и характере фиксации вкладышей.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили, что эффективность работы составных конструкций определялась точностью подгонки элементов и контролем толщины kleевого слоя. Результаты томографического анализа показали, что даже при внешне сходных морфологических параметрах составные системы могут различаться по степени равномерности посадки вкладышей, толщине kle-

евого слоя и характеру контактов между элементами. Эти различия, зафиксированные как в экспериментальных, так и в археологических образцах, вероятно, отражают вариативность производственных приемов. Микро-КТ также открывает возможность выявления сохранившихся остатков kleевых масс и микропустот, связанных с разрушением органических компонентов, без нарушения целостности находок. Вместе с тем исследование имеет определенные ограничения, например, идентификация состава kleевых масс на археологических примерах остается гипотетической и требует химико-аналитического подтверждения.

Томографический анализ также дает важное преимущество для изучения экспериментальных орудий: можно оценить качество сборки изделия до его использования – насколько глубоко и равномерно установлены вкладыши, есть ли пустоты в kleевом слое и т.д. Подобная оценка позволяет контролировать корректность сборки и прогнозировать поведение орудия в процессе эксплуатации. В нашем случае томография показала, что большинство экспериментальных орудий имело ряд скрытых дефектов. Не все микропластинчатые вкладыши были равномерно посажены в kleевую массу: в отдельных участках наблюдалось неполное погружение в паз, неравномерное распределение kleя и отклонения отдельных фрагментов по высоте. В некоторых случаях выявлены зоны с частичным отсутствием kleевого заполнения между вкладышами и стенками паза. Эти особенности указывают на потенциальные точки механической слабости соединения – участки, где при использовании возможно выламывание или смещение элементов.

Перспективным направлением является дальнейшее тестирование методики на большой серии оригинальных артефактов с сохранившимися kleевыми и органическими остатками, а также интеграция микро-КТ с другими методами физико-химического анализа (ИК- и рамановской спектроскопией, SEM-EDS). Также необходимо проведение серии экспериментов по использованию орудий для подтверждения тезиса о подгонке вкладышей. Несмотря на указанные ограничения, микро-КТ открывает новые возможности для изучения технологических процессов, материальных свойств и конструктивных решений составных орудий.

Благодарности

Исследование выполнено по проекту НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2025-0007 «Применение цифровых технологий при анализе археологических источников и реконструкции истории древнейших сообществ».

Список литературы

Бочарова Е.Н., Кожевникова Д.В., Колобова К.А.
Возможности и перспективы применения КТ и микро-КТ

в археологических исследованиях // Сибирские исторические исследования. – 2025а. – № 3. – С. 152–173. – doi: 10.17223/2312461X/49/8

Бочарова Е.Н., Кожевникова Д.В., Колобова К.А.
Метод компьютерной микротомографии для изучения составных пазовых орудий // Stratum plus. – 2025б. – № 1. – С. 285–300. – doi: 10.55086/sp251285300

Ветров В.М., Шергин Д.Л., Тетенъкин А.В. Стоянкамогильник Старый Витим II в Муйско-Куандинской котловине (Республика Бурятия). Ч. 1. Погребально-ритуальные комплексы № 1–6 // Изв. Лаборатории древних технологий. – 2019. – Т. 15, № 4. – С. 9–34. – doi:10.21285/2415-8739-2019-4-9-34

Лозовская О.В. Вкладышевые орудия стоянки Замостье 2 // Каменный век европейских равнин: объекты из органических материалов и структура поселений как отражение человеческой культуры. – Сергиев Посад: ИД «Подкова», 2001. – С. 273–291.

Питулько В.В. Жоховская стоянка. – СПб.: Дмитрий Буланин, 1998. – 189 с.

Baumann M., Plisson H., Maury S., Renou S., Coqueugniot H., Vanderesse N., Kolobova K., Shmaider S., Rots V., Gue'rín G., Rendu W. On the Quina side: A Neanderthal bone industry at Chez-Pinaud site, France // PLoS ONE. – 2023. – N 18 (6). – e0284081. – doi:10.1371/journal.pone.0284081

Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.-C., Pujol S., Bauer C., Jennings D., Fennessy F.M., Sonka M., Buatti J., Aylward S.R., Miller J.V., Pieper S., Kikinis R. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network // Magnetic Resonance Imaging. – 2012. – Vol. 30. – P. 1323–1341.

Gauvrit Roux E., Gómez Coutouly Y.A., Holmes C.E., Hirasawa Y. Early Beringian Traditions: Functioning and Economy of the Stone Toolkit from Swan Point CZ4b, Alaska // American Antiquity. – 2024. – N 89 (2). – P. 279–301. – doi:10.1017/aaq.2024.10

Kahl W.-A., Ramminger B. Non-destructive fabric analysis of prehistoric pottery using highresolution X-ray microtomography: a pilot study on the late Mesolithic to Neolithic site Hamburg-Boberg // J. of Archaeol. Sci. – 2012. – N 39 (7). – P. 2206–2219. – doi:10.1016/j.jas.2012.02.029

Kozhevnikova D.V., Chistyakov P.V., Zotkina L.V., Kolobova K.A. From Neolithic to contemporary times: persistent use patterns of needle cases in Northeast Asia // Archaeological and Anthropological Science. – 2025. – Vol. 17 (192). – doi:10.1007/s12520-025-02304-5

Rolfe S., Pieper S., Porto A., Diamond K., Winchester J., Shan S., Kirveslahti H., Boyer D., Summers A., Maga A.M. SlicerMorph: an open and extensible platform to retrieve, visualize and analyze 3D morphology // Methods in Ecology and Evolution. – 2021. – Vol. 12. – P. 1816–1825.

Stelzner J., Gauß F., Schuetz P. X-ray computed tomography for non-destructive analysis of early Medieval swords // Studies in Conservation. – 2016. – Vol. 61 (2). – P. 6–101. – doi:10.1179/2047058414Y.0000000157

References

- Baumann M., Plisson H., Maury S., Renou S., Coqueugniot H., Vanderesse N., Kolobova K., Shmaider S., Rots V., Gue'rín G., Rendu W.** On the Quina side: A Neanderthal bone industry at Chez-Pinaud site, France. *PLoS ONE*, 2023. Vol. 18 (6). e0284081. doi:10.1371/journal.pone.0284081
- Bocharova E.N., Kozhevnikova D.V., Kolobova K.A.** The Use of Microtomography for Studying Composite Slotted Tools. *Stratum plus*, 2025b. Vol. 1. P. 285–300. (In Russ.). doi:10.55086/sp251285300
- Bocharova E.N., Kozhevnikova D.V., Kolobova K.A.** Possibilities and Prospects of CT and Micro-CT Applications in Archaeological Research. *Siberian Historical Research*, 2025a. Vol. 3. P. 152–173. (In Russ.). doi: 10.17223/2312461X/49/8
- Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J.-C., Pujol S., Bauer C., Jennings D., Fennessy F.M., Sonka M., Buatti J., Aylward S.R., Miller J.V., Pieper S., Kikinis R.** 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magnetic Resonance Imaging*, 2012. Vol. 30. P. 1323–1341.
- Kahl W.-A., Ramminger B.** Non-destructive fabric analysis of prehistoric pottery using highresolution X-ray microtomography: a pilot study on the late Mesolithic to Neolithic site Hamburg-Boberg. *Journal of Archaeological Science*, 2012. No. 39 (7). P. 2206–2219. doi: 10.1016/j.jas.2012.02.029
- Kozhevnikova D., Chistyakov P., Zotkina L., Kolobova K.** From neolithic to contemporary times: persistent use patterns of needle cases in Northeast Asia. *Archaeological and Anthropological Science*, 2025. Vol. 17 (192). doi:10.1007/s12520-025-02304-5
- Gauvrit Roux E., Gómez Coutouly Y.A., Holmes C.E., Hirasawa Y.** Early Beringian Traditions: Functioning and Economy of the Stone Toolkit from Swan Point CZ4b, Alaska. *American Antiquity*, 2024. Vol. 89 (2). P. 279–301. doi:10.1017/aaq.2024.10
- Lozovskaya O.V.** Vkladyshevy orudiya stoyanki Zamost'e 2. In: *Kamennyi vek evropeiskikh ravnin: ob"ekty iz organicheskikh materialov i struktura poselenii kak otrazhenie chelovecheskoi kul'tury*. Sergiev Posad: Podkova, 2001. P. 273–291. (In Russ.).
- Pitulko V.V.** Zhokhovskaya stoyanka. St. Petersburg: Dmitry Bulanin, 1998. 189 p. (In Russ.).
- Rolfe S., Pieper S., Porto A., Diamond K., Winchester J., Shan S., Kirveslahti H., Boyer D., Summers A., Maga A.M.** SlicerMorph: an open and extensible platform to retrieve, visualize and analyze 3D morphology. *Methods in Ecology and Evolution*, 2021. Vol. 12. P. 1816–1825.
- Stelzner J., Gauß F., Schuetz P.** X-ray computed tomography for non-destructive analysis of early Medieval swords. *Studies in Conservation*, 2016. Vol. 61 (2). P. 86–101. doi: 10.1179/2047058414Y.0000000157
- Vetrov V.M., Shergin D.L., Tetenkin A.V.** The archaeological site Staryi Vitim II in the Muisko-Kuandinsky depression (Republic of Buryatia). Part 1: Funeral and ritual complexes No. 1–6. *Reports of the Laboratory of Ancient Technologies*, 2019. Vol. 15, Iss. 4. P. 9–34. (In Russ.). doi:10.21285/2415-8739 2019-4-9-34
- Бочарова Е.Н. <https://orcid.org/0000-0002-7961-0818>
Кожевникова Д.В. <https://orcid.org/0000-0002-4655-7977>
Чистяков П.В. <https://orcid.org/0000-0001-7036-7092>
Жданов Р.К. <https://orcid.org/0000-0002-0464-9435>
Лохов Д.Н. <https://orcid.org/0000-0002-1249-0882>
Новосельцева В.М. <https://orcid.org/0000-0002-3950-0219>
Харевич В.М. <https://orcid.org/0000-0003-2632-6888>

Дата сдачи рукописи: 25.10.2025 г.