

***В.С. Смирнова¹, С.Е. Кичанов¹,
Б.А. Бакиров¹, И.А. Сапрыкина^{1,2}***

*Дубна, Объединенный институт ядерных исследований
Москва, Институт археологии РАН*

**Комплексные исследования
пористых археологических материалов
методами нейтронной и рентгеновской томографии**

Как известно, активное внедрение ядерно-физических методов в анализ редких археологических объектов – общемировой тренд, позволяющий получать принципиально новые данные без риска повреждения артефактов. В частности, особое внимание уделяется неразрушающим методам исследования, а ярким и популярным примером такого контроля является томография. В настоящем исследовании рассматриваются методы томографического анализа для изучения внутренней структуры керамических и металлических изделий, а также особенностей их производства и текущего состояния сохранности.

В исследовании использовались методы рентгеновской и нейтронной томографии, которые имеют разную проникающую способность и чувствительность к материалу. Рентгеновские лучи хорошо проникают через легкие материалы и обеспечивают высокое пространственное разрешение, но сильно ослабляется плотными металлами, в то время как нейтроны легко проникают через большинство металлов (свинец, железо, медь), которые для рентгена часто непрозрачны и дают более низкое разрешение.

Аналитические исследования выполнялись на приборной базе Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований (установка для нейтронной томографии и радиографии на импульсном реакторе ИБР-2), Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (установка для нейтронной радиографии DRAGON, реактор ИР-8), Института ядерной физики Агентства Республики Казахстан по атомной энергии (экспериментальная установка ТИТАН, реактор ВВР-К) Центра коллективного пользования Института археологии РАН (рентгеновский томограф «ПРОДИС.Компакт»).

Алгоритмы и расчеты анализа 3D-моделей образцов позволили получить некоторые морфологические параметры пор. Была проведена оценка пространственного распределения, формы и размеров пор различных объектов. Размеры пор оценивали с помощью параметра эквивалентного диаметра, который соответствует диаметру сферы того же объема, что и пора. Анализ формы разделенных пор проводился в приближении удлинения, которое представляет собой отношение полуосей лежандровского эллипсоида. Простым описанием удлинения

пор является уплощение вытянутых частиц вдоль одной из осей эллипсоида. Различия в распределении эквивалентного диаметра и удлинения может свидетельствовать о нескольких наборах пор разного происхождения внутри образцов. Также важным параметром описания пористости является их ориентационные структурные особенности.

Среди исследуемых объектов были чернолаковые миниатюрные сосуды, обнаруженные в некрополе Волна 1 (азиатская часть Боспора), керамические сосуды из могильника Актерек (Казахстан), фрагменты чугуновых котлов эпохи Золотой Орды и модельные кирпичи, имитирующие древние монастырские сербские кирпичи, что создает надежную базу для сравнительного анализа.

Структурные свойства пор, минорных минеральных фаз и включений напрямую отражают присущие химические и физические особенности керамических и металлических материалов, которые, в свою очередь, обусловлены либо условиями термического воздействия, либо составом исходного сырья. В результате эти структурно-связанные данные могут быть использованы для группировки археологических образцов на основе их структурного или химического сходства. Это открывает широкие перспективы для решения ключевых задач археологии: идентификации конкретных мест изготовления или определения геологического происхождения сырья, что в конечном итоге позволяет реконструировать древние торговые пути и культурные связи.