

**Е. А. Зернин, С. Е. Торопов,  
А. А. Ермаков, С. Б. Сапожков,  
А. Н. Ложкин, Е. Д. Петрова**

## Практические аспекты применения цифровой радиографии в исследованиях и реставрации объектов культурного наследия

В последнее десятилетие для исследования и оценки состояния различных объектов все шире применяются цифровые технологии. Ярким примером служит цифровая радиография. Стоит отметить, что для диагностики технических объектов и устройств разработаны стандарты<sup>1</sup>. Важно, что получение цифровых радиографических снимков экономически более выгодно, чем изображения, получаемые на пленку. Кроме того, при использовании данной технологии значительно выше надежность и стабильность воспроизводимых результатов.

Техническое решение такой технологии реализовано как единая платформа для получения, просмотра, анализа, хранения и передачи цифровых результатов исследований.

Для предреставрационных исследований применяют различные методы и способы, широко освещенные в работе, изданной в 2015 г.<sup>2</sup>

Безусловно, для таких исследований и предварительной оценки объектов культурного наследия использование цифровых технологий находит все более широкое применение.

Одним из основных достоинств неразрушающих методов исследования объектов культурного наследия является то, что они не требуют отбора проб с объекта обследования для проведения предварительного анализа.

В настоящей работе для исследований была применена система автоматизированной цифровой радиографии на базе плоскочувствительных детекторов (рис. 1). Данная система позволяет распознавать объекты размером до 0,1 мм. Отличительной особенностью является беспроводное соединение детектора и комплекса цифровой радиографии, что в значительной степени повышает мобильность проведения исследований различных объектов.

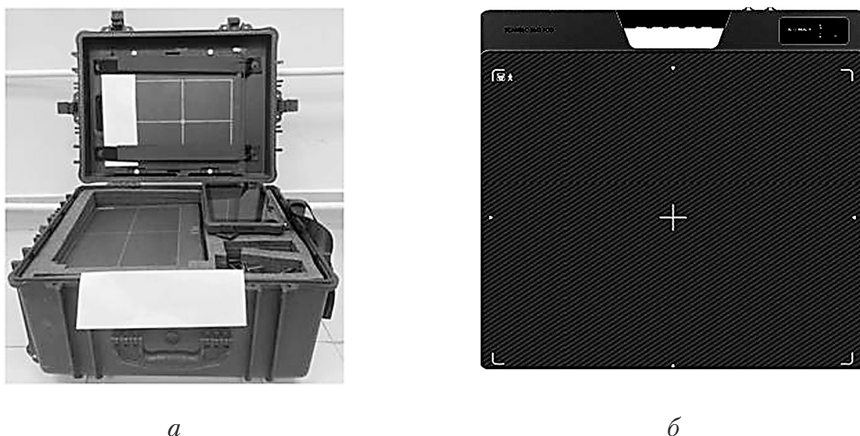


Рис. 1. Система автоматизированной цифровой радиографии: а — комплекс цифровой радиографии (общий вид); б — плоскочувствительный детектор

Для исследований была разработана технология цифровой радиографии. С целью реализации такой технологии предварительно была сформирована оригинальная методика по адаптации цифровой радиографии для исследования и анализа объектов культурного наследия. Суть создания и отработки методики состояла в следующем.

Для подготовки холста последовательно в три слоя наносился поливинилацетатный клей (рис. 2, а). Затем (для грунтования) наносились два слоя акриловой краски (рис. 2, б). Далее была выполнена надпись (масляная краска — рис. 2, в), поверх которой вновь (в два слоя) была нанесена акриловая краска (рис. 2, г). Завершающим этапом было нанесение надписи акриловой краской (рис. 2, д).

На всех этапах после высыхания краски производилась цифровая радиографическая съемка изображений. При этом неоднократно варьировались параметры цифровой радиографии — время экспозиции и фокусное расстояние. Для достижения необходимых параметров также была спроектирована и изготовлена оригинальная оснастка (рис. 3).

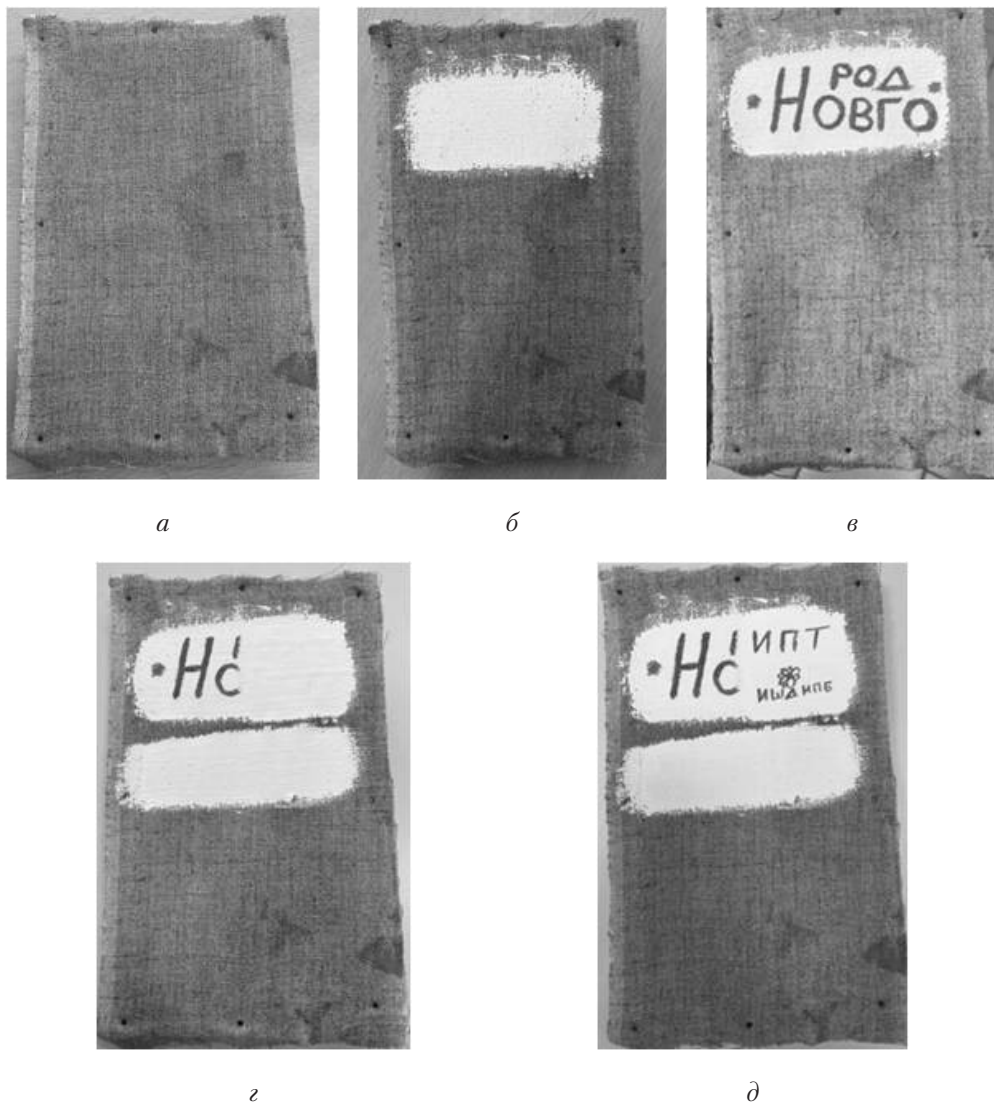


Рис. 2. Последовательность выполнения многослойного изображения

В итоге были получены цифровые радиографические снимки многослойного изображения (рис. 4). При этом все объекты (выделенные области — рис. 4, в), невидимые человеческому глазу с лицевой стороны изображения, отчетливо были определены на цифровом радиографическом снимке. Кроме того, отчетливо видны слои на негативном (рис. 4, а) и позитивном изображении (рис. 4, б) — светлая и темная области соответственно.

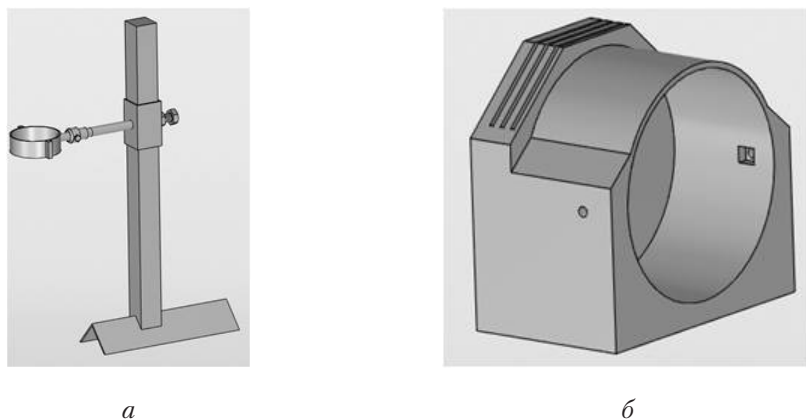


Рис. 3. Оригинальная оснастка: а — устройство позиционирования источника излучения; б — коллиматор (для понижения мощности излучения)

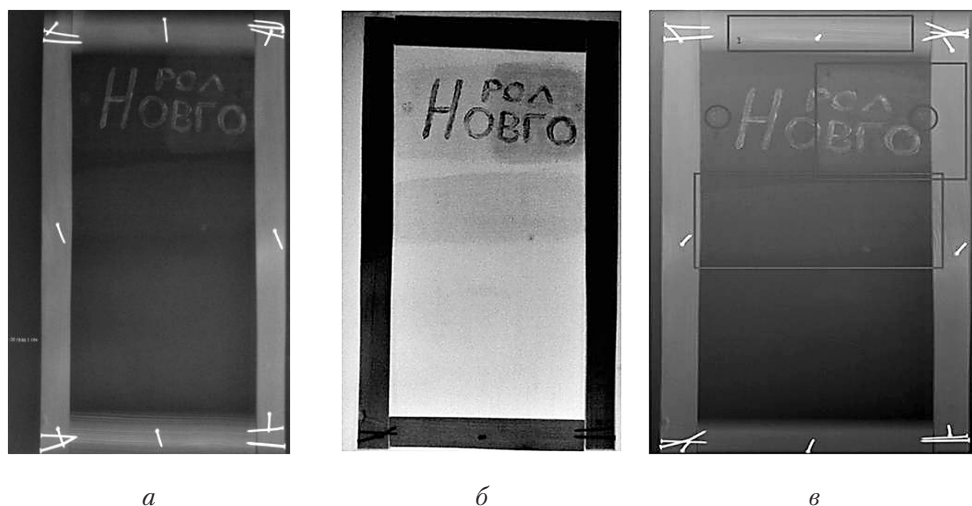


Рис. 4. Цифровой радиографический снимок многослойного изображения: а — позитивное изображение; б — негативное изображение; в — определение «мелких» объектов

Кроме того, на цифровом изображении отчетливо видны волокна деревянной рамки, на которую крепился холст с несколькими слоями краски (рис. 5).

Предреставрационные исследования органолептическими и лабораторными методами являются обязательным этапом, предваряющим проведение реставрационных мероприятий. Результаты этих исследований напрямую определяют выбор методов и материалов для реставрации и консервации, что оказывает непосредственное влияние на сохранность отреставрированного

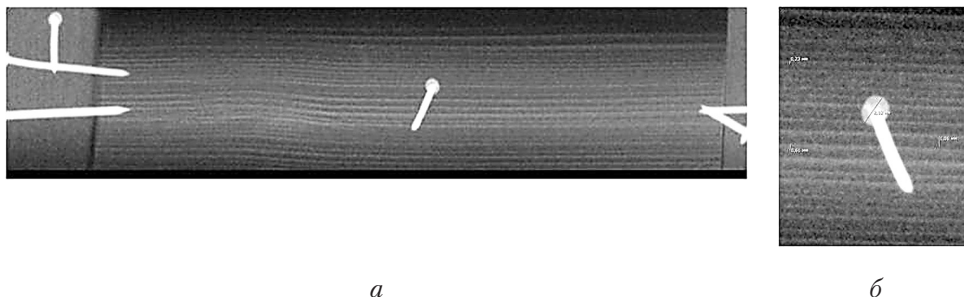


Рис. 5. Структура (направление и расположение) волокон деревянной рамки (а) и шляпка гвоздя (б)

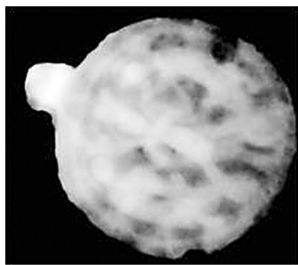
памятника в дальнейшем. Применение рентгенографии в лабораторных исследованиях позволяет получить информацию о внутренней структуре изучаемого объекта и его сохранности, не подвергая памятник риску разрушения и значительно облегчая реставратору дальнейшую работу.

Принцип цифровой радиографии был также использован при исследовании археологических находок (рис. 6). При этом также были получены негативные и позитивные изображения.

В рассматриваемом случае было проведено экспериментальное предреставрационное цифровое рентгенографическое обследование четырех археологических находок второй половины XII в., полученных в ходе полевых исследований Старорусской археологической экспедиции Центра археологических исследований НовГУ на Пятницком раскопе в г. Старая Русса, в 2023 г. Для обследования были отобраны два предмета из черного металла: ключ от навесного цилиндрического замка (СР-2023, Пт-I, уч. В, пл. 23, кв. 113, № 614), корпус навесного цилиндрического замка с меднением (СР-2023, Пт-II, уч. В, пл. 23, кв. 134, № 172), представленные на рис. 6, в. И также два предмета из сплавов цветных металлов: литая подвеска-змеевик из сплава на основе меди (СР-2023, Пт-II, уч. В, пл. 23, кв. 226, № 157) и колт (женское височное украшение) из сплава белого цвета (серебро?) (СР-2023, Пт-II, уч. В, пл. 23, кв. 127, № 368). Украшения из цветного металла имеют двусторонний рельефный декор.

Все памятники за время пребывания в культурном слое подвергались коррозии. Их поверхность в различной степени покрыта неравномерными почвенно-коррозионными наслоениями, затрудняющими визуальное определение степени минерализации, искажающими форму и скрывающими элементы декора. В результате цифрового рентгенографического обследования удалось детально определить состояние сохранности каждого из предметов, а для находок из цветного металла уточнить особенности декоративного оформления.

В целом результаты эксперимента показали перспективность продолжения работ в данном направлении.

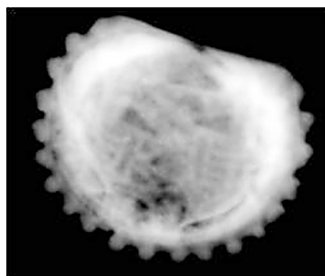


*Позитивное изображение*



*Негативное изображение*

*а*

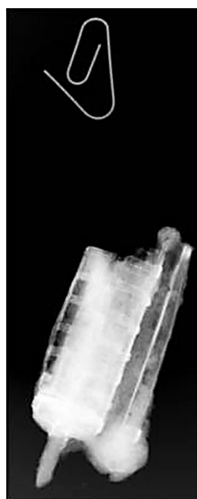


*Позитивное изображение*



*Негативное изображение*

*б*



*в*

*Рис. 6. Примеры цифровых радиографических изображений:  
а — колт; б — подвеска-змеёвик; в — замок и ключ*

- <sup>1</sup> ГОСТ ISO 17636-2-2017 Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Ч. 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов; ISO 17636-2:2013 “Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors”, IDT.
- <sup>2</sup> Фотографии. Изображения. Документ: Научный сборник. Вып. 6 (6). СПб.: РОСФОТО, 2015.

### References

GOST ISO 17636-2-2017 Nerazrushayushchij kontrol' svarnyh soedinenij. Radiograficheskij kontrol'. CH. 2. Sposoby rentgeno- i gammagraficheskogo kontrolya s primeneniem cifrovyh detektorov [GOST ISO 17636-2-2017 Non-destructive testing of welded joints. Radiographic control. Part 2. Methods of X-ray and gammagraphic control using digital detectors]; ISO 17636-2:2013 “Non-destructive testing of welds – Radiographic testing – Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors”, IDT

Fotografii. Izobrazheniya. Dokument: Nauchnyj sbornik. Vyp. 6 (6). Saint Petersburg: ROSFOTO, 2015 [Photos. Images. Document: Scientific collection. Vol. 6 (6). Saint Petersburg: ROSPHOTO, 2015].

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

**Е. А. Зернин, С. Е. Торопов, А. А. Ермаков, С. Б. Сапожков, А. Н. Ложкин, Е. Д. Петрова.**  
**Практические аспекты применения цифровой радиографии в исследованиях и реставрации объектов культурного наследия // Петербургский исторический журнал. 2024. № 1. С. 160–167**

*Аннотация:* В работе рассмотрено применение цифровой радиографии для исследований объектов культурного наследия. Приведена технология получения цифровых радиографических изображений, построенная на основе оригинальной методики. Приведены примеры использования экспериментального предреставрационного цифрового рентгенографического обследования четырех археологических находок второй половины XII в.

*Ключевые слова:* технология цифрового радиографического исследования, предреставрационное обследование, артефакты, археологические находки второй половины XII в.

### FOR CITATION

**E. A. Zernin, S. E. Toropov, A. A. Ermakov, S. B. Sapozhkov, A. N. Lozhkin, E. D. Petrova. Practical aspects of the use of digital radiography in research and restoration of cultural heritage sites // Petersburg historical journal, no. 1, 2024, pp. 160–167**

*Abstract:* The paper discusses the use of digital radiography for research of cultural heritage objects. The technology for obtaining digital radiographic images, based on the original technique, is presented. Examples of the use of experimental pre-restoration digital radiographic examination of four archaeological finds of the second half of the 12<sup>th</sup> century are given.

*Key words:* technology of digital radiographic research, pre-restoration examination, artifacts, archaeological finds of the second half of the 12<sup>th</sup> century.

*Автор: Зернин, Евгений Александрович* — к. т. н., доц. Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Zernin, Evgeniy Alexandrovich* — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** yuti\_sp@bk.ru

*Автор: Торопов, Сергей Евгеньевич* — руководитель Центра археологических исследований Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Toropov, Sergey Evgenyevich* — Head of the Center for Archaeological Research, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** s\_toropov@mail.ru

*Автор: Ермаков, Алексей Александрович* — руководитель Инженерной школы диагностики и промышленной безопасности Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Ermakov, Alexey Alexandrovich* — Head of the Engineering School of Diagnostics and Industrial Safety, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** eaa@novsu.ru

*Автор: Сапожков, Сергей Борисович* — д. т. н., доц., директор Политехнического института Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Sapozhkov, Sergey Borisovich* — Dr. of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Polytechnic Institute, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** ssb@novsu.ru

*Автор: Ложкин, Алексей Николаевич* — учебный мастер Инженерной школы диагностики и промышленной безопасности Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Lozhkin, Alexey Nikolaevich* — training master of the Engineering School of Diagnostics and Industrial Safety, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** Alexey.Lozhkin@novsu.ru

*Автор: Петрова, Екатерина Дмитриевна* — аспирантка Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого.

*Author: Petrova, Ekaterina Dmitrievna* — undergraduate, Yaroslav the Wise Novgorod State University.

**E-mail:** petrowa.ket@yandex.ru