

УДК 620

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НК ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ

Б. В. АРТЕМЬЕВ, О. Б. АРТЕМЬЕВА

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»

ЗАО «НИИ интроскопии МНПО «СПЕКТР»

Москва, Россия

UDC 620

USING NDT METHODS FOR CONSERVATION OF CULTURAL MONUMENTS

B. V. ARTEMIEV, O. B. ARTEMIEVA

Аннотация

Совершенствование технологий формирования излучения: повышение стабильности источников, возможность точной регулировки например, анодного напряжения у рентгеновских аппаратов, высокая чувствительность и стабильность детекторов позволяют использовать оборудование неразрушающего контроля для обнаружения незаконных вложений и скрытых изображений.

Опыт использования оборудования неразрушающего контроля (НК) для идентификации, обнаружения незаконного перемещения произведений искусства и их реставрации.

Ключевые слова:

рентгеновский контроль, тепловидение, радиометрия, микроскопия, культурное наследие.

Abstract

Improving radiation generation technologies: increasing the stability of sources, the possibility of fine adjustment, for example, anode voltage in X-ray machines, high sensitivity and stability of detectors allow using non-destructive testing equipment to detect illegal investments and even hidden images.

Experience in the use of non-destructive testing equipment (NDT) for the identification, detection of illegal movement of works of art and their restoration.

Key words:

X-ray inspection, thermal imaging, radiometry, microscopy, cultural heritage.

Пионером использования методов неразрушающего контроля для анализа произведений искусства в России можно с уверенностью назвать художника Игоря Грабаря, который в 1919 г. проявил интерес к изучению произведений искусства с помощью ионизирующего излучения. Первая в СССР лаборатория физико-химических исследований художественных памятников открылась в 1925 г.

Для изучения произведений искусства используют широкий диапазон электромагнитного излучения от инфракрасного до рентгеновского вклю-

чая оптическую (видимая область): бинокулярную и поляризационную микроскопию [1].

Изучение пигментов с помощью поляризационного микроскопа (рис. 1) в отраженном и проходящем свете с использованием лабораторного микроскопа Polarization Aggregate POLAM L-213M позволяет определить наличие в образце слоя чернил неорганической природы, уточнить состав белил, грунтовку и в некоторых случаях подтверждает наличие органических пигментов (например, фталоцианиновых красителей).

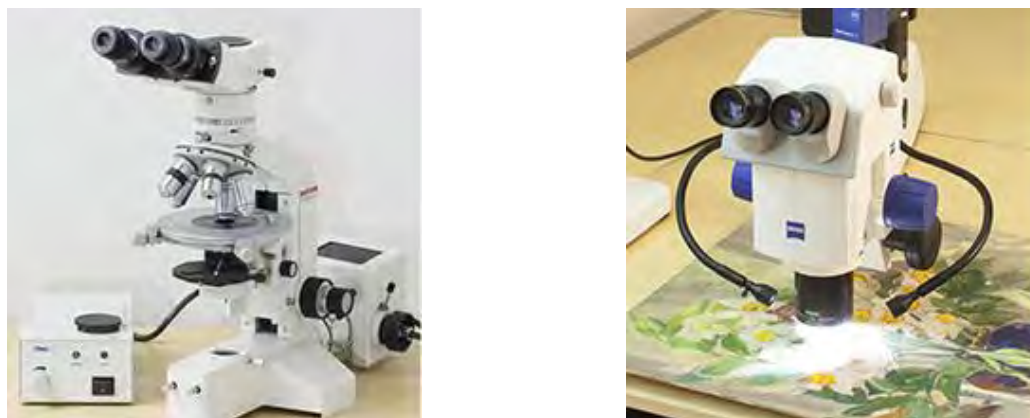


Рис. 1. Оптические бинокулярные и поляризационные микроскопы

Ультрафиолетовое излучение используется для анализа органических включений, состава грунтовки и пигментов и позволяет идентифицировать состав основы (например, мел, клей, масло и т. д.) и химические элементы, которые входят в краски.



Рис. 2. Инфракрасные микроскопы FTIR

Для исследования в инфракрасном диапазоне используют два типа тепловизоров: на охлажденных болометрах и на неохлаждаемых матрицах. В первом случае процесс управления – сканирование занимает больше времени, но точность выше (глубина тона до 18 бит на пиксель). Во втором случае динамический диапазон более узкий, но получается цифровое изображение с разрешением 1920x1080 и глубиной 14 бит на пиксель в доли секунды.

Исследования основы и органических пигментов с помощью ИК-спектроскопии являются наиболее важным методом идентификации предварительного рисунка (карандаш, уголь, ручка или кисть). С помощью тепловизора возможно расшифровать полустертые надписи на подрамнике или задней части основания.

Различные материалы проходят, поглощают или отражают инфракрасные лучи иначе, чем видимый свет. Это является основой для изучения произведений искусства в инфракрасных лучах. Материалы, близкие по цвету, но отличающиеся по составу, по-разному реагируют на действие инфракрасных лучей, демонстрируя четкие границы. Таким образом, в инфракрасном диапазоне белизна выглядит самой яркой, желтые и оранжевые пигменты также освещаются. Но синие, зеленые и коричневые пигменты становятся темными или светлыми в зависимости от химического состава. Лаки, грязь, тонкие слои записей и мазков не являются препятствием для прохождения инфракрасного излучения. Этот метод позволяет распознавать почти стираемые отметки времени и подписи, скрытые под верхними изображениями, в том числе на обратной стороне холста. Графитовый карандаш, уголь и сажа хорошо идентифицированы и видны черным цветом. Черные даже самые тонкие чернила проявляются.

Съемка в отраженных ИК-лучах позволяет определить тонирующие и восстановительные записи, неразличимые под слоем поверхностного загрязнения или старого лака, чтобы выявить скрытые изображения, изменения состава автора. Характер начальной, подготовительной картины, которая может служить одним из критериев при определении подлинности работы.

Например, различия в картине Бориса Кустодиева (эскиз карандаш, скрытый краской) хорошо видны в ИК свете по сравнению с окончательным изображением (рис. 3).

Для ультрафиолетовых лучей сильная люминесценция старого лака является препятствием, скрывающим расположенные под ним записи, тогда как для возбуждения инфракрасной люминесценции слоя краски лаковая пленка не является препятствием. Возбужденный в цветном слое, этот вид излучения проходит через слой лака так же свободно, как видимый сине-зеленый свет, который возбуждает люминесценцию.





Рис. 3. Картина и первоначальный эскиз Бориса Кустодиева

Разумеется, для анализа работ живописи можно применить любой из перечисленных методов: рентгенография, дифракция рентгеновского излучения, малоугловое рассеяние, рентгеновская микротомография, рентгенофлуоресцентная спектрометрия, микро RF-спектрометрия и радиоспектрометрия под углами полного отражения, энергетическая дисперсионная рентгеновская спектроскопия, оптическая эмиссионная спектрометрия, CS / ONH – анализ углерода / серы.

Радиография широко используется в исследовании, но реальные результаты могут быть получены только в том случае, если картину можно сравнить со стандартными рентгенограммами картин, по крайней мере, конкретного художника. Именно поэтому крупные музеи и исследовательские центры постоянно пополняют коллекции таких фотографий. Как правило, они преобразуются и размещаются в цифровых библиотеках [2].

Для исследований используются специальные рентгеновские аппараты, в т. ч. микрофокусные. Как и в медицинских исследованиях, в лабораториях предусмотрена защита от высокого напряжения и радиации.

Живописная работа размещается горизонтально, под ней лежит пленка (детектор). Лучи проходят через изображение и создают теневое изображение на пленке. В особых случаях специалисты могут опробовать различные виды исследований, например, микрорадиографию (для получения увеличенных изображений), а также угловую и стереорадиографию (для получения информации об объемной структуре объекта). Полученная информация позволяет понять принципы: построения слоя краски, особенно грунтовки, метода нанесения мазка, моделирования форм и других авторских приемов, индивидуальных для каждого художника.

На этом изображении (рис. 4) мы видим верхний слой, нанесенный поверх скрытого изображения, которое было скрыто толстым слоем свинцовых белил. Если грунтовка равномерна, качество рентгеновского изображения намного выше, и изображение становится легко узнаваемым.

Данная методика так же позволяет определить степень повреждения объекта.

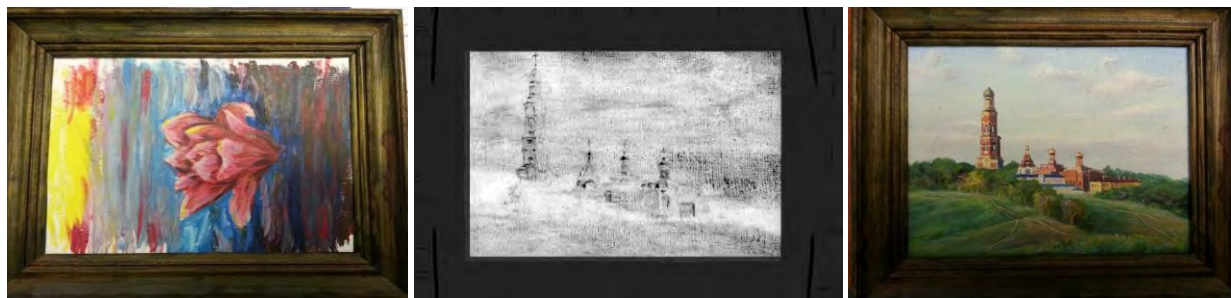


Рис. 4. Видимое изображение, рентгенограмма после фильтрации, скрытая картина

Получение разделенных рентгеновских изображений с помощью контактной рентгеновской дифракции обеспечивает важную информацию при изучении двусторонней живописи. Суть метода заключается в том, что во время съемки рентгеновская пленка находится в контакте с исследуемой поверхностью продукта, а рентгеновская трубка или исследуемый продукт перемещаются относительно друг друга. В этом случае можно получить удовлетворительное изображение слоя краски, в контакте с которыми была рентгеновская пленка, а противоположная сторона будет смазана.

Использование переносных рентгеновских аппаратов позволяет применять упрощенный метод контактно-контактной рентгенографии, когда пленка на пленке, прижатая к исследуемой поверхности, производится последовательно из нескольких точек. При таком способе качество рентгенограмм несколько снижается, но не требуется никаких дополнительных устройств.

Специальные методы рентгеновских исследований включают метод компенсации, который позволяет получать рентгеновские изображения паркетных картин без влияния на элементы крепления основания. Способ заключается в том, что зазоры между паркетным полом заполнены материалом, коэффициент поглощения которого совпадает с коэффициентом поглощения древесины паркета.

В тех случаях, когда произведение живописи размещено на металлической основе радиография невозможна. В этих случаях хорошие результаты для изучения слоя краски получают путем применения метода фотоэлектрографии. Суть метода заключается в том, что изображение на фотографической пленке формируется не непосредственно рентгеновским излучением, а электронами, излучаемыми поверхностью слоя краски под действием рентгеновских лучей. Они вызывают почернение пленки, контактирующей с передней стороной картины. Результатом является изображение, соответствующее распределению пигментов, которые интенсивно излучают электроны.



Рис. 5. Обычная фотография и фотоэлектроннограмма, позволившая выявить детали изображения

Стационарная установка EAGLE, первоначально предназначенная для технологического контроля микронных продуктов, позволяет идентифицировать основные типы дефектов и изменения в конструкции электронных блоков, органических (древесных) и многослойных полимерных структур. Фокусное пятно 10 мкм, анодное напряжение регулируется от 20 до 150 кВ. Многообещающий инструмент для восстановления икон и произведений искусства на объемной и плотной основе. Использование двух или более напряжений для контроля позволяет оценить эффективный атомный номер основного материала и красителя. Визуальное разделение изображения не только по яркости теневого изображения, как это делается в традиционной радиографии, но и по материалам. Система работает по принципу низкоугловой томографии. Послойная визуализация позволяет эксперту изучить скрытые слои объекта, полностью избавляясь от теневых накладок других слоев.

Радиограммы помогают искусствоведу в выявлении подделок, подтверждении или идентификации авторства, а также определении времени создания произведения.

Параметры излучателя выбираются в зависимости от используемых приемников излучения: рентгеновской пленки, гибких пластин памяти люминофора или твердотельных матриц. Чем ниже энергия излучения, тем выше контраст изображения и наоборот, но в то же время есть дополнительные ограничения. Для твердотельных матриц необходимо обеспечить заданное отношение сигнал/шум. В отличие от пленки и пластин, пиксели матрицы имеют высокий уровень внутреннего шума, из-за этого время экспозиции должно быть ограничено.

Рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) является одним из наиболее востребованных аналитических методов элементного анализа. Независимо от типа образца, измеряют ли жидкость, порошки или твердые образцы, XRF сочетает высокую точность с простой и быстрой подготовкой образцов [3]. Рентгенофлуоресцентные спектрометры позволяют измерять весь

элементный диапазон от бериллия (Be) до урана (U) в концентрациях от ppm до 100 %. В настоящее время стоимость оборудования снижается и становится доступным для экспертов в области искусства.

С помощью портативного рентгеновского флуоресцентного анализатора X-MET 7500 (OXFORD INSTRUMENTS, диапазон измеряемых элементов от Mg до U) можно провести элементный анализ определенной области живописи быстро и без предварительной выборки. В результате определяется процентное отношение массы всех химических элементов, составляющих область исследования. Метод XRF также успешно используется для определения состава металлических сплавов, в том числе при анализе ювелирных изделий.

Проблема незаконного оборота произведений искусства остро стоит в России и некоторых других странах с богатой историей. Рентгеновское оборудование, среди широкого круга задач, решаемых с его помощью, может использоваться для предотвращения незаконного оборота предметов искусства. Оптимальной конструкцией для решения этих задач можно считать комбинированную установку из трех частей – сканера, использующего ядерно-квадрупольный резонанс, многоактурный рентгеновский сканер и сканер на тепловых нейтронах. Это решение не позволяет злоумышленнику скрыть предметы и предоставляет оператору исчерпывающую информацию о форме и химическом составе объекта контроля.

Стационарная рентгеновская интроскопия с двойной энергией предназначена для рентгеновского исследования отдельных предметов, посылок, пакетов и т. д. Созданы инспекционные комплексы для осмотра грузовых и легковых автомобилей, микроавтобусов и контейнеров различного типа с целью обнаружения запрещенных вложений (контрабанда, оружие, взрывные устройства, средства тайного извлечения информации и т. д.) без их вскрытия.

В некоторых случаях использование прямого прошедшего излучения для формирования рентгеновского изображения невозможно. Толщина контрольного объекта слишком велика и доза излучения для получения рентгенограммы удовлетворительного качества будет превышать допустимый уровень. В этом случае разумно использовать сканеры на основе обратно рассеянного излучения. Они обеспечивают контроль при одностороннем доступе к объекту. Разумеется, геометрическое разрешение изображения, полученного с их помощью, ниже, чем при использовании прямого прошедшего излучения, но наличие или отсутствие закладок в скрытых полостях однозначно раскрывается.

Выводы

Даже с использованием алгоритмов векторного анализа изображений, полученных методом теневой радиографии и наличия эталонных изображений в библиотеке изображений, возможны ошибки идентификации, как первого, так и второго рода, т. е. пропуска или ложного обнаружения.



Необходимо расширять библиотеки изображений и организовывать международные публичные базы данных на платной основе.

Радиационные методы исследования картин могут предоставить полезную информацию для искусствоведов, но проблема не будет полностью решена, и поэтому необходимо разработать методы управления и создать новое оборудование, особенно в таких перспективных областях, как плоскостная томография, радиография на обратно рассеянном излучении и нейтронная радиография.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Boutaine, J. I.** A Survey of the Possibilities of Various Radiographic Techniques for the Non Destructive Examination of Cultural Heritage Artefacts. Applications of Radiation Science and Technology/ IAEA, Vienna, Austria, ICARST-2017.
2. **Artemiev, B. I.** Artemyev. Using X-Ray to detect Hidden Images on Priming Canvas. Applications of Radiation Science and Technology/ IAEA, Vienna, Austria, ICARST-2017.
3. **Janssens, K. R.** Van Grieken. Non-destructive Micro Analysis of Cultural Heritage Materials, P. 828, Elsevier Science.