

# НА СТЫКЕ НАУКИ И ИСКУССТВА: НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ В РЕСТАВРАЦИИ И СОВРЕМЕННОЙ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ



**МАЕВ**  
**Роман Григорьевич**  
Вице президент РОНКТД,  
иностраннный член  
Российской академии наук



**РАХУТИН**  
**Руслан Григорьевич**  
Член РОНКТД

## Введение

Произведения искусства — это не только объекты эстетического восприятия, но и сложные материальные системы, несущие в себе историческую, культурную и технологическую информацию. Картины, скульптуры, иконы, предметы декоративно прикладного искусства со временем подвергаются старению, повреждениям и реставрационным вмешательствам. Одновременно с этим рынок искусства сталкивается с проблемой подделок и фальсификаций, нередко выполненных на высоком техническом уровне.

В этих условиях особую роль играет неразрушающий контроль (НК) — совокупность методов исследования, позволяющих получать информацию о состоянии, структуре и составе объекта без нанесения ему вреда. На стыке естественных наук, инженерии и искусствоведения НК становится ключевым инструментом современной реставрации и художественной экспертизы.

По данным ФБР, объем нелегального рынка предметов искусства достигает 6 млрд дол. в год, уступая лишь нелегальному рынку оружия и наркотиков. А какова современная ситуация на рынке подделок? Времена, когда было достаточно знать манеру и стиль художника, чтобы уверенно отличить подделку от оригинала, давно прошли. Поддельщики все более тщательно подходят к подбору методик, материалов, инструментов, пытаются — и порой очень успешно — копировать работы знаменитых художников. Достаточно вспомнить истории таких «знаменитых поддельщиков», как Эльмир де Хори или Эрик Хебборн — до сих пор неизвестно, сколько подделок, сделанных ими, все еще находятся в частных коллекциях и известных музеях по всему миру.

Качество подделок растет, и порой специалисту-искусствоведу бывает трудно обойтись без дополнительных данных — физико-химического анализа грунта и красок, детального анализа пигментов или связующих, использованных в палитре красок, выявляя природу грунтовки, структуру и плотность холста, соответствия палитры красок периоду работы данного художника, и т.п.

Другим убедительным примером эффективности НК является востребованность его в случае разрешения различных проблем реставрации. Часто бывает так, что самое начало процесса разрушения картины не видно невооруженным глазом, расслоения не выходят на поверхность, и в итоге слишком поздно становится ясно, что картина нуждалась в реставрации — когда разрушения почти необратимы.

К основным видам повреждений относятся:

- деградация лакового слоя и, как следствие, потемнение и изменение цвета;
- различные виды кракелюра;
- расслоение слоев;
- биодegradация и биопоражения.

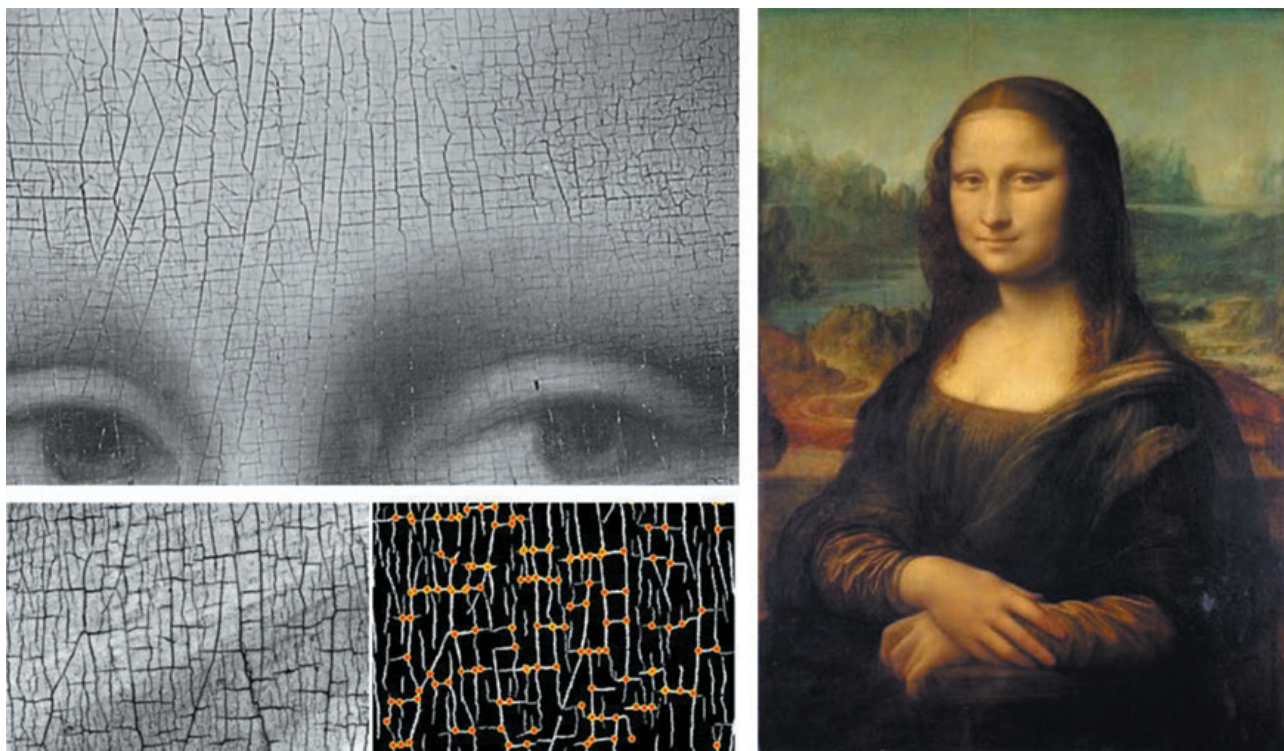


Рис. 1. Кракелюр (сеть мелких трещин на поверхности картины) является уникальным «отпечатком» картины, который практически невозможно воспроизвести. Мы предложили использовать «отпечаток» картины или ее фрагмента, для того чтобы позволить защитить картину от подделки и подмены оригинала искусно выполненной копией

Во многих случаях подобные повреждения становятся заметными лишь на поздних стадиях, когда реставрация существенно осложняется.

А ведь для того чтобы этого избежать, попросту необходимо вовремя провести детальный научный анализ картины, выявить новые дефекты и поставить задачу реставраторам. Поэтому применение неразрушающих подповерхностных методов диагностики имеет крайне важное значение и должно стать регулярной практикой в работе музеев, галерей и античных коллекций.

### Задачи НК при работе с культурными ценностями

Для реставратора неразрушающий контроль очень часто является важным инструментом принятия решений в своей работе. До начала работ НК позволяет:

- объективно оценить текущее состояние объекта;
- выявить скрытые повреждения;
- определить последствия предыдущих реставраций.

В процессе реставрации методы НК применяются для мониторинга состояния объекта, а после завершения — для документирования проведенных вмешательств. Такой подход соответствует современным принципам минимального и обратимого воздействия.

Как отмечалось, одним из наиболее востребованных направлений применения НК является борьба с фальсификациями. Подделки могут быть выполнены с использованием старых основ, искусственно состаренных материалов и имитации авторской техники.

Методы НК позволяют выявлять:

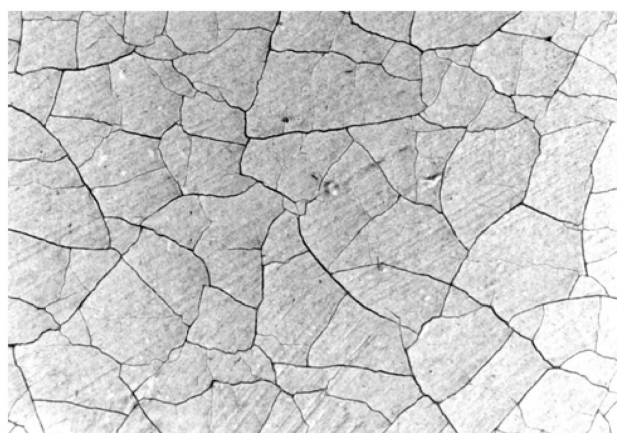
- несоответствие пигментов и связующих заявленному периоду;
- современные материалы в «старых» произведениях;
- аномалии в структуре слоев и технологии исполнения;
- механические следы искусственного старения.

Важно отметить, что неразрушающий контроль не заменяет искусствоведческую экспертизу, а дополняет ее, формируя объективную научную основу для выводов о подлинности.

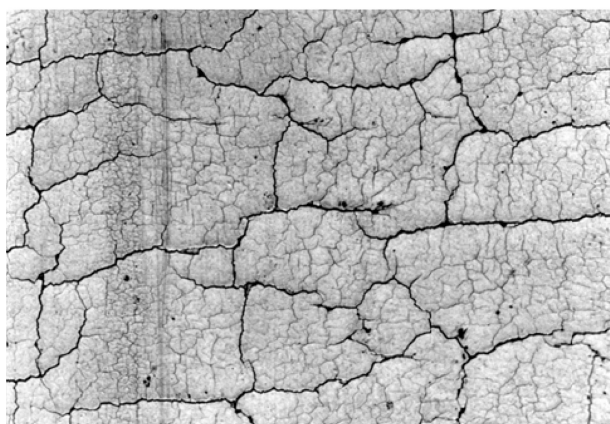
Современная экспертиза в этой области может быть эффективной только в результате сотрудничества искусствоведов, реставраторов, физиков и химиков. Ну а бурное развитие в последние годы цифровых технологий, машинного обучения, искусственного интеллекта, а также многочисленных «умных» портативных приборов существенно расширило и усилило возможности НК, сделав его не только более значимым, но и более доступным.



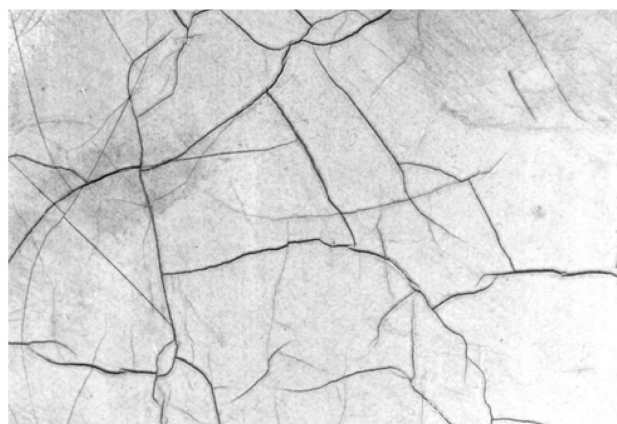
Фламандский кракелюр XV — XVI вв.



Голландский кракелюр XVII в.



Итальянский кракелюр XIV — XV вв.



Французский кракелюр XVIII в.

Рис. 2. Типы кракелюра. Каждая эпоха и даже страна происхождения картины, в особенности периода с XIV до XIX вв., имеют свой уникальный тип кракелюра. Это помогает идентифицировать возраст и происхождение картины

Перспективными направлениями в этой области являются:

- интеграция данных различных методов в единую цифровую модель объекта;
- применение искусственного интеллекта для анализа изображений и спектров;
- развитие мобильных лабораторий для музейной практики.

### Задачи неразрушающего контроля в работе с произведениями искусства

В промышленности методы НК традиционно применяются для выявления дефектов материалов и конструкций. В сфере искусства их задачи и акценты иные:

- сохранение уникального объекта без отбора проб;
- изучение внутренней структуры и скрытых слоев;
- выявление поздних записей, реставраций и изменений;
- определение подлинности материалов и технологий.

В отличие от лабораторных разрушающих анализов, неразрушающий контроль позволяет проводить исследования *in situ* — непосредственно в музеях, галереях и частных коллекциях.

### Классификация методов НК при работе с культурными ценностями

#### Визуальный осмотр

Визуальный осмотр является базовым и важнейшим этапом исследования. Он представляет собой наблюдение невооруженным глазом, включая возможность применения оптической микроскопии, ультрафиолетовых и инфракрасных источников. В частности, ближняя ультрафиолетовая флуоресценция («черный свет») позволяет выявлять реставрационные вмешательства и особенности структуры кракелюра (рис. 1, 2).

#### Ближняя инфракрасная рефлектография

Метод ближней инфракрасной визуализации позволяет обнаруживать скрытые подрисовки и авторские эскизы, поскольку многие пигменты про-

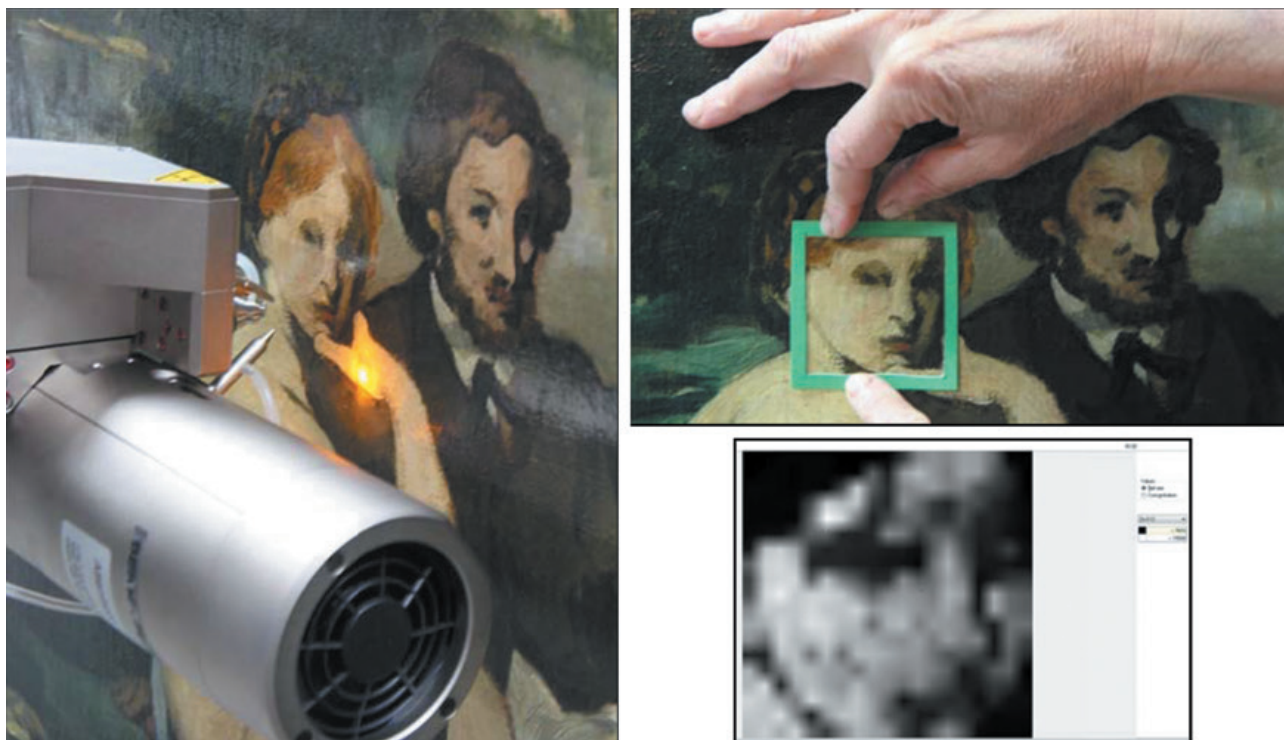


Рис. 3. Использование метода рентгенофлуоресцентного анализа для выявления распределения цинка внутри калибровочной рамки. Рентгенофлуоресцентный анализ представляет собой уникальный поисковик-идентификатор индивидуальных особенностей отсканированных картин. В данном случае идентификаторами являются как изображение распределения элементов, так и сами элементы с их дискретным распределением и концентрациями.

зрачны в диапазоне 0,7–2,5 мкм. Этот метод широко применяется для аутентификации живописи.

#### Термография

Активная инфракрасная термография использует тепловой импульс для выявления подповерхностных дефектов. Метод эффективен для обнаружения пустот, отслоений и восстановленных областей. Сегодня активно практикуются такие методы, как импульсная, lock-in и фазовая термография.

#### Сканирующая акустическая микроскопия

Сканирующая акустическая микроскопия обеспечивает высокое пространственное разрешение и позволяет выявлять внутренние дефекты и неоднородности слоев. Метод особенно перспективен для исследования многослойных структур.

Бесконтактный ультразвук является щадящим методом и также подходит для исследования живописи, в особенности живописи на деревянных основах. Он позволяет локализовать расслоения и трещины без контакта с поверхностью.

#### Рамановская спектроскопия

Рамановская спектроскопия используется для идентификации пигментов, связующих и продуктов старения. Это высокочувствительный метод,

позволяющий выявлять анахронизмы материалов и обнаруживать подделки.

### Примеры практического использования методов неразрушающего контроля

#### Рентгенографические методы

Рентгенография и рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) относятся к наиболее распространенным методам исследования произведений искусства.

Рентгенография позволяет:

- выявлять скрытые композиции и авторские правки (пентименто);
- обнаруживать трещины, пустоты, гвозди, штифты и армирование;
- анализировать плотность и распределение материалов.

Рентгенофлуоресцентный анализ применяется для определения широкого спектра элементов таблицы Менделеева и их присутствия в составе пигментов и сплавов без прямого контакта с объектом, что особенно важно при проверке соответствия материалов предполагаемой исторической эпохе (рис. 3).

#### Ультрафиолетовый анализ

Ультрафиолетовый анализ как метод часто используется в качестве экспресс-анализа, при этом используется спектральная область ультрафиоле-

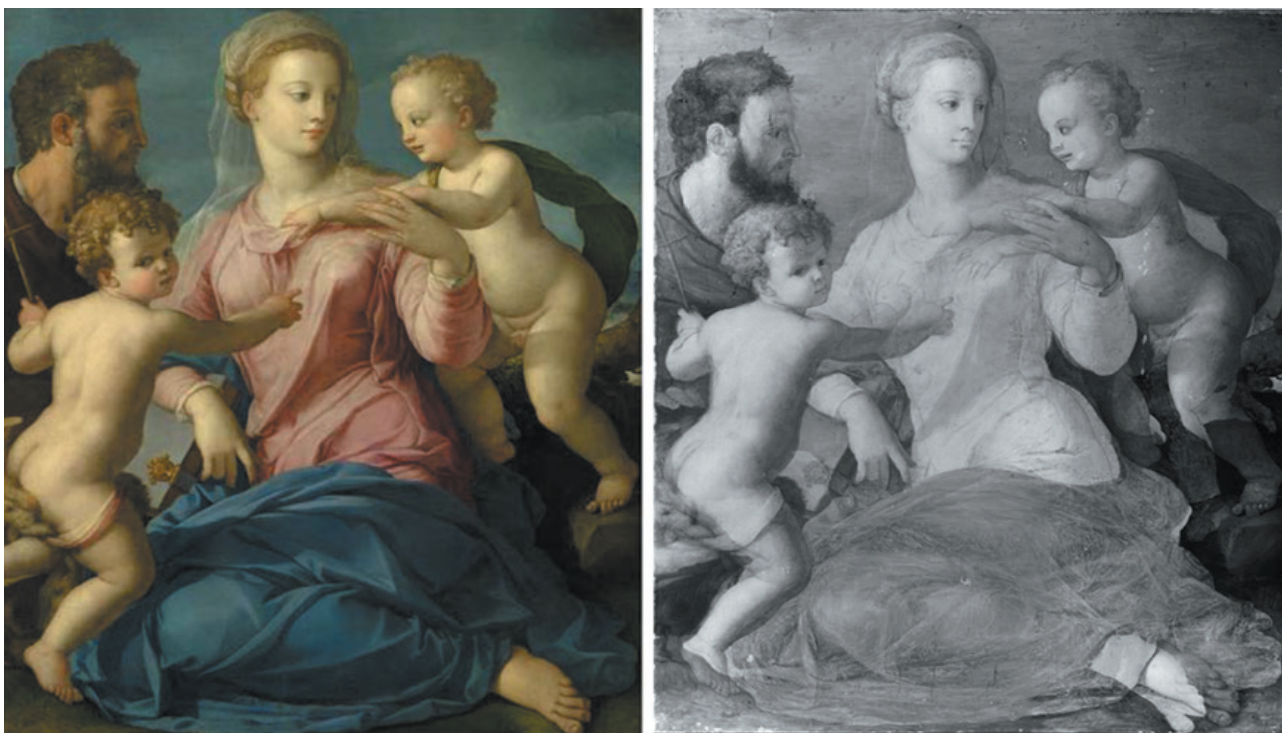


Рис. 4. Картина А. Бронзино «Святое семейство с Иоанном Крестителем» и та же картина в ИК-диапазоне

та с большей длиной волны. Такой «мягкий» тип ультрафиолетовых лучей не наносит сколько-нибудь существенного вреда материалам и может быть использован для исследований. Ультрафиолетовое излучение невидимо для человеческого глаза, однако попадая на поверхность краски и в особенности лака, ультрафиолет заставляет

молекулы излучать избыток падающей энергии, полученной от падающих лучей и, как результат, лак начинает светиться сам, и это называется флуоресценцией.

При старении лаков и красок на картинах конфигурация молекул меняется, и переизлучение меняет длину волны, т.е. цвет излучения становится

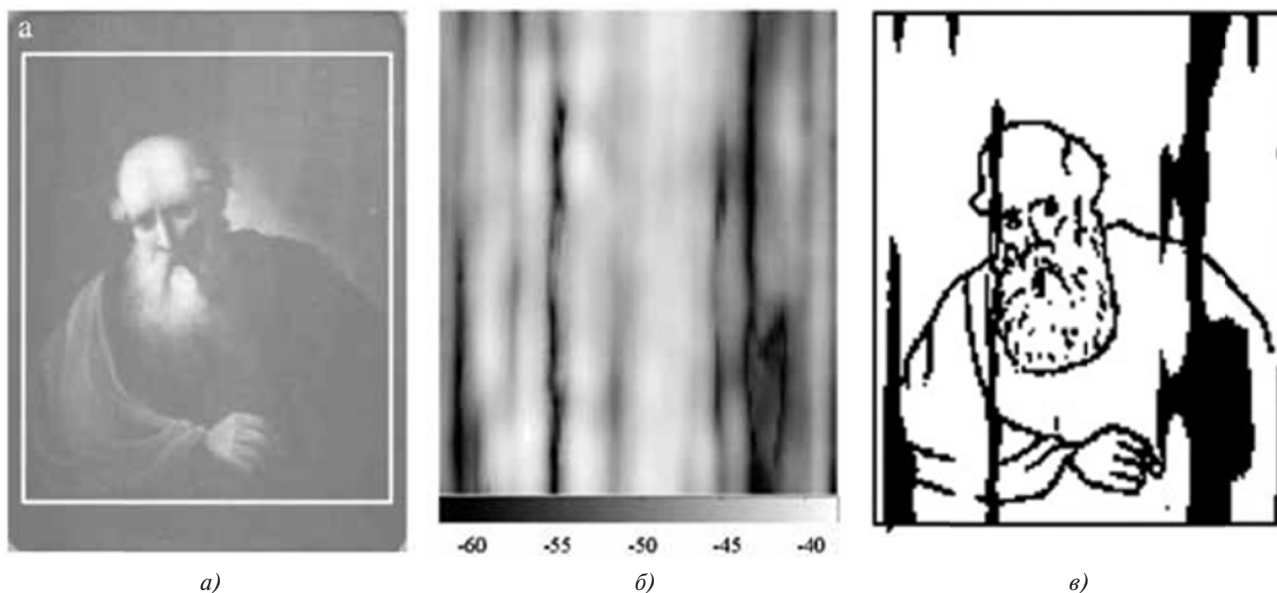


Рис. 5. Портрет неизвестного художника, XIV век, Антверпен:

а — общий вид исследованной картины; б — акустическое изображение исследованной картины; в — обработанное акустическое изображение с наложенной бинарной копией рисунка (расслоения материала видны как темные области)



Рис. 6. Роман Григорьевич Маев, Раймонд Давидович Беленков и Дамир Зиганишин работают над реставрацией скульптур фонтана «Четыре бронзовых коня Гелиоса», Пикадилли, Лондон

другим. Это является очень полезным для исследователя свойством материала при определении его возраста. Проще говоря, если относительно свежий лак выглядит темным в ультрафиолетовых лучах, то постаревший лак становится зеленоватым. И действительно, старый лак в ультрафиолете имеет настолько плотное зеленое свечение, что под ним становится трудно различить саму картину.

#### Инфракрасные и оптические методы

Инфракрасная рефлектография (IRR) также широко используется при исследовании живописи. Она позволяет визуализировать подмалевки, угольные или графитовые рисунки под красочным слоем, а также выявлять поздние записи.

Оптическая микроскопия, ультрафиолетовая флуоресценция и мультиспектральная съемка дают возможность:

- обнаруживать зоны реставрации;
- анализировать состояние лака и красочного слоя;
- фиксировать микротрещины и поверхностные дефекты.

Например, чтобы узнать, как создавалась картина, нужно увидеть, что скрывается под поверхностным слоем. Разумеется, зрение человека для

этого не подходит, поскольку люди не обладают способностью видеть сквозь непрозрачные материалы. Однако таким свойством обладает так называемый инфракрасный свет (ИК). Поэтому он традиционно используется для решения подобных задач, когда необходимо увидеть, что находится под поверхностью, оставаясь скрытым для глаз обычных наблюдателей. А скрыто там порой много интересного. То, что можно увидеть под слоями, очень часто связано с историей картины, например черновые наброски художника. По ним можно судить об изначальной композиции, т.е. до того, как автор по каким-то причинам решил ее изменить, а в ряде случаев и докопаться до этих причин, даже если это случилось много веков назад.

Замечательным примером таких изменений является картина Аньоло Бронзино «Святое семейство с Иоанном Крестителем», выставленная в ГМИИ им. А. С. Пушкина в Москве (рис. 4). В ходе исследования наши специалисты обнаружили, что положения рук, ног, контуры тел — все это имело несколько другие положения и даже форму в то время, когда художник начинал свое творение.

#### Ультразвуковой контроль

Ультразвуковые методы применяются преимущественно для исследования скульптуры, архитектурных элементов и многослойных объектов (рис. 5). С их помощью выявляют:

- внутренние трещины, пустоты и расслоения;
- зоны потери адгезии;
- неоднородности материала.

При реставрации камня, дерева и металла ультразвук позволяет оценить степень деградации самого красочного слоя и грунта, но также и материала основы и выбрать оптимальную стратегию консервации.

Вся эта очень важная и при этом нерадиационная и количественная информация может быть эффективно использована при регулярной диагностике «здоровья» картины и позволяет выявлять деградацию на ранних стадиях и вовремя предотвращать необратимые разрушения.

Ультразвук также показал серьезный потенциал при анализе скульптур, фресок и иных объектов сложной формы из различных материалов.

#### Тепловизионные и радиоволновые методы

Инфракрасная термография показала себя в качестве высокочувствительного метода для диагностики скрытых дефектов, выявляя с их помощью анализа тепловых аномалий. Метод эффективен при исследовании настенных фресок и росписей, а также крупных полотен.



Рис. 7. Этапы реставрации различных частей скульптур фонтана «Четыре бронзовых коня Гелиоса»

Радиоволновые и терагерцовые методы хотя и менее распространены, демонстрируют перспективы в изучении многослойных структур нерадиационной диагностикой.

#### Холодное напыление в реставрации

Одним из современных перспективных технологических направлений является холодное газодинамическое напыление (Cold Spray). Этот метод все чаще упоминается в публикациях и докладах о результатах реставрации скульптурных произведений. В отличие от традиционных методов наплавки и термического напыления, холодное напыление представляет собой исключительно щадящую технологию и осуществляется при температурах значительно ниже температуры плавления наносимого материала.

Принцип метода основан на ускорении порошковых частиц металла или сплава до сверхзвуковых скоростей в потоке сжатого газа. При ударе о поверхность частицы пластически деформируются и формируют плотное покрытие без термического воздействия на основу.

Холодное напыление перспективно при восстановлении скульптур, выполненных из разных видов металла, архитектурных элементов и декоративных деталей, пострадавших от коррозии, эрозии или механических утрат. При правильном подборе порошкового материала возможно достижение высокой степени визуального и структурного соответствия оригиналу.

Неразрушающий контроль является неотъемлемой частью такого процесса реставрации скульптур и играет важную роль на всех этапах

применения холодного напыления. Более того, еще до нанесения покрытия методы НК позволяют оценить степень деградации объекта и выявить наличие скрытых дефектов. В процессе и после реставрации НК используется для контроля адгезии, толщины и целостности восстановленного слоя, а также для документирования вмешательства в соответствии с музейными стандартами.

Одним из убедительных примеров использования методов холодного напыления в реставрации скульптур является реставрация скульптур фонтана «Четыре бронзовых коня Гелиоса», расположенного рядом с бульваром Пикадилли в Лондоне (рис. 6, 7).

#### Практические работы в области применения методов неразрушающего контроля в реставрации и экспертизе культурного наследия

Компания «Тессоникс» во главе с академиком РАН, доктором физико-математических наук, профессором Романом Григорьевичем Маевым более 20 лет занимается технической экспертизой культурного наследия, используя методы неразрушающего контроля (рис. 8). Результаты их работы впечатляют.

Например, по заданию Министерства культуры РФ компания «Тессоникс» работала в музее изобразительных искусств им. А. С. Пушкина. Тогда директором музея была Ирина Александровна Антонова, возглавлявшая этот музей с момента окончания Великой Отечественной войны. Сотрудникам «Тессоникс» удалось провести ряд интересных



Рис. 8. Исследование в церкви Святой Марии в Норт-Элмхэме (Англия). Объектом изучения являлась старая алтарная преграда (руд-скрин) — панели с отсутствующими на них изображениями. На левой фотографии четко видны проявившиеся изображения

исследований работ великих мастеров, таких как Караваджо, Тинторетто, Рубенс, Рембрандт. Самые значительные результаты были опубликованы и доложены на различных научных форумах. И заказчик Министерство культуры, и специалисты музея убедились, что методы НК являются важным инструментом для получения уникальной информации о картинах.

А в Лондоне, работая с одной из известных коллекций, специалисты «Тессоникс» обнаружили подпись Тициана на картине, которая до того момента считалась копией или картиной кого-то из его последователей.

В Англии же компания вела исследовательский проект в костеле. Историки университета Кембриджа обратились с просьбой провести исследования в одном из старинных костелов на восточном побережье Британии. Этот костел был разорен в середине XV в. при крайне болезненном для жителей Альбиона переходе от католицизма к протестантизму. Мало что осталось от богатого убранства собора. Однако сохранилась легенда об изображениях ликов святых, когда-то находившихся в соборе. Но доски, на которых были запечатлены эти лики, бесследно исчезли, и найти их не удавалось. За год до приглашения фирмы «Тессоникс» в Кембридж один из профессоров-историков университета наткнулся на записи о том, что незадолго до захвата костела протестантами прихожане-католики замазали лики краской и сделали из этих досок скамейки.

С тех пор прошло более 400 лет, и все это время люди сидели на скамейках, не подозревая, что сидят на ликах святых! Специалисты «Тессоникса» выехали в костел со специальным оборудова-

нием. Безрезультатно прошел первый день, прошел и второй. И уже было принято решение завершать работу, но в последний момент один из специалистов предложил попробовать соединить две методики и использовать одновременно два смежных диапазона частот.

И тут произошло чудо! Из глубины доски стал появляться образ святого, как будто он исходил изнутри, будто из глубины моря что-то всплывало на поверхность. Из 16 «подозреваемых» досок были найдены 12 с ликами святых. Они были потрясающей красоты. Доски были переданы для реставрации в Музей Кембриджского университета. Об этом исследовании вышла статья в газете «Гардиан» (The Guardian), а также были публикации в нескольких журналах, в том числе и в журнале «Территория NDT» (2021, № 2. С. 18 — 25)

### Заключение

Неразрушающий контроль занимает ключевое место на стыке науки и искусства. Он позволяет не только сохранять культурное наследие, но и глубже понимать технологии прошлого, выявлять скрытую историю произведений и противостоять художественным фальсификациям. Ну и, конечно, для специалистов в области НК это совершенно замечательная область применения их знаний и опыта, полная приключений и важных, а порой и сенсационных открытий!

В условиях роста ценности оригинальных произведений искусства и усложнения подделок роль НК будет только возрастать, превращая его в неотъемлемую часть современной реставрации и художественной экспертизы.