

# Исследование живописи в ультрафиолетовом излучении

Исследование с использованием ультрафиолетовых лучей в техническом отношении достаточно простое и доступное средство научного анализа произведений искусства. В практике изучения живописи их применение сводится к визуальному наблюдению или фотографированию вызываемой ими видимой люминесценции, то есть свечения вещества в темноте под действием фильтрованных ультрафиолетовых лучей. Различают два вида такого свечения: флуоресценцию — свечение, прекращающееся в момент, когда кончается действие источника его возбуждения, и фосфоресценцию — свечение, продолжающееся некоторое время после окончания действия источника возбуждения. В исследовании произведений живописи используют только флуоресценцию.

Под действием ультрафиолетовых лучей вещества органического и неорганического происхождения, в том числе некоторые пигменты, лаки и другие компоненты, входящие в состав произведения живописи, светятся в темноте. При этом свечение каждого вещества относительно индивидуально: оно определяется его химическим составом и характеризуется конкретным цветом и интенсивностью, что позволяет идентифицировать то или иное вещество или обнаруживать его присутствие.

Понятие люминесценции. Ультрафиолетовая область спектра непосредственно следует за сине-фиолетовым участком его видимой части.

В этой области различают три зоны — ближнюю, примыкающую к видимому спектру (400-315 нм), среднюю (315-280 нм) и дальнюю, еще более коротковолновую. Ультрафиолетовое излучение, естественным источником которого является солнечный свет, подобно другим видам излучения, может поглощаться веществом, отражаться им или проходить сквозь него.

Для возникновения люминесценции необходимым является поглощение света веществом: поглощенная атомами и молекулами световая энергия возвращается в виде светового же излучения, которое носит название фотолюминесценции.

Частицы вещества, способного люминесцировать, поглотив световую энергию, приходят в особое возбужденное состояние, которое длится очень короткий промежуток времени (порядка 10<sup>-8</sup> сек.). Возвращаясь в исходное состояние, возбужденные частицы отдают избыток энергии в виде света — люминесценции. Согласно правилу Стокса, люминесцирующее вещество, поглотившее световую энергию определенной длины волны, излучает свет обычно большей длины волны. Поэтому, когда возбуждение производится невидимыми ближними ультрафиолетовыми лучами, люминесценция приходится на видимую область спектра и может быть любого цвета — от фиолетового до красного.

Спектральный состав излучения люминесценции не зависит от длины волны возбуждающего света: цвет свечения вещества определяется только составом вещества. Что же касается интенсивности свечения, она может зависеть от длины волны возбуждающего излучения. Это объясняется тем, что возбуждающий свет различных длин волн поглощается веществом неодинаково, вызывает и разный уровень люминесценции. Поэтому когда речь идет об обнаружении малых количеств вещества, приходится иметь дело с набором компонентов, состав которых не известен, желательно использовать источник возбуждения, излучающий ультрафиолетовые лучи в возможно более широком диапазоне длин волн; другое условие — применение источника, обладающего возможно более мощным излучением. Поскольку свечение вещества возникает за счет поглощения энергии возбуждаемого света, то, чем большее количество энергии поглощает единица объема люминесцирующего вещества, тем интенсивнее будет свечение. Как показывает практика люминесцентного анализа, среди люминесцирующих веществ наиболее часто встречаются такие, люминесценция которых хорошо возбуждается ближними ультрафиолетовыми лучами с длиной волны больше 300-320 нм

Источники ультрафиолетовых лучей и светофильтры. Для возбуждения фотолюминесценции желательно использовать такие источники света, в которых полезное излучение составляет большую долю. Наиболее полно этому условию отвечают газоразрядные лампы, среди которых широкое применение получили ртутные лампы, изготовленные в виде трубки или сферы из специального стекла или кварца.

В качестве источника длинноволнового ультрафиолетового излучения обычно применяют лампы высокого давления, рассчитанные на работу от сети переменного тока. Эксплуатация ламп производится с приборами включения и в арматуре заводского изготовления. Такие лампы удобны, когда надо возбудить люминесценцию больших поверхностей. Основная часть энергии этих ламп сосредоточена в видимой и ближней ультрафиолетовых областях.

Лампы высокого давления дают линейчатый спектр, то есть излучают в нескольких спектральных областях при отсутствии излучения в промежутках. Первой интенсивной линией в ультрафиолетовой области является линия 366 нм, затем идут более слабая линия 334 нм, интенсивная, но узкая линия 313 нм и серия слабых линий в границах от 303 до 248 нм.

Лампы сверхвысокого давления, у которых около 45% энергии приходится на ультрафиолетовую область, в отличие от предыдущих дают сплошной спектр (фон), над которым поднимаются отдельные пики максимумов, соответствующие примерно линиям излучения ламп высокого давления.

Коротковолновое излучение можно получить и при помощи ламп низкого давления, свечение которых возникает за счет возбуждения люминофора, покрывающего внутреннюю поверхность лампы. Такие лампы излучают в области 315-390 нм (максимум излучения 350 нм). Достоинством лампы является компактность, позволяющая использовать ее в разного рода переносных установках, работающих на постоянном токе или с небольшим дросселем от сети переменного тока. Интенсивность излучения лампы очень невелика, что позволяет вести с ее помощью только визуальное наблюдение.

В практике работы зарубежных музейных лабораторий популярностью пользуются лампы мощностью в 500 Вт, изготовленные из «черного» стекла. Благодаря стандартному цоколю эти лампы не требуют специальных монтажных устройств. Получили широкое распространение и люминесцентные лампы-трубки. Изготовленные из того же стекла, они пропускают только ультрафиолетовую часть спектра. Будучи установленными по сторонам исследуемого произведения, эти лампы дают более равномерное освещение большой поверхности. Лампы-трубки имеют еще одно немаловажное преимущество: они работают без предварительного разогрева, и их можно включать сразу же после выключения, не делая перерыва для охлаждения, что значительно экономит время на операторскую работу.

Поскольку интенсивность свечения, вызываемого ультрафиолетовыми лучами, очень невелика и обнаружить его можно только в темноте, необходимо в процессе исследования исключить видимый свет рассмотренных источников ультрафиолетового излучения. Это легко осуществить с помощью специальных светофильтров, изготовленных из стекла, содержащего никель, кобальт и некоторые другие элементы. В ходе исследования светофильтр помещают между источниками света и объектом изучения. Наиболее удобны стандартные светофильтры марки УФС, предназначенные для выделения определенных зон ультрафиолетового спектра.

Наиболее широкое применение получило стекло марки УФС-3 (стекло, или фильтр Вуда). Лучший фильтр для зоны 390-320 нм, оно пропускает до 90 % излучения 366 нм и поглощает всю видимую область. Отечественная промышленность выпускает также фильтр УФС-6. Имея максимум пропускания в области 360 нм и выделяя ту же область 390-320 нм, он имеет лучшие оптические характеристики и технологические свойства. Стекло УФС-4 отличается от рассмотренных фильтров несколько большим поглощением в указанной области, но является более термостойким.

Так как в целом ряде случаев видимая люминесценция какой-либо наиболее интересной детали, например подписи, бывает очень слабой, даже незначительное количество пропускаемого стеклами УФС видимого фиолетового и красного света может оказать мешающее действие. Для улучшения условий наблюдения и фотофиксации в этих случаях используют дополнительные светофильтры, хорошо пропускающие лучи, соответствующие свечению интересующей детали и поглощающие фиолетовые и красные лучи, которые могут отражаться от объекта, забывая люминесценцию. Необходимо помнить, что такие фильтры сами не должны люминесцировать. Чтобы убедиться в этом, достаточно поместить выбранное стекло в зону действия источника ультрафиолетовых лучей.

Исследование живописи с помощью фильтрованных ультрафиолетовых лучей следует начинать через 5-10 минут после того, как в темном помещении включена лампа. Это время необходимо, чтобы лампа перешла в режим рабочего горения и чтобы глаза адаптировались в темноте. Если лампа сразу не включается, делают еще одно или несколько повторных включений. После того как лампу выключили, нельзя ее включать вновь, если она не остыла, на что требуется 10-15 минут. Включение неостывшей лампы может привести к ее порче.

Нужно помнить, что ультрафиолетовые лучи вредны для глаз. Достаточно несколько секунд посмотреть на открытую лампу (или закрытую светофильтром), чтобы получить воспаление, наступающее через несколько часов. Слабее действуют, но также вредны для глаз ультрафиолетовые лучи, отраженные от исследуемого предмета. Поэтому при работе с ультрафиолетовыми лучами желательно надевать очки с простыми или оптическими стеклами, значительно снижающими количество ультрафиолетовых лучей, попадающих в глаза.

Ультрафиолетовые лучи значительно повышают ионизацию воздуха, усиливая при этом выделение озона и окислов азота. Поэтому в помещении, где проводится работа с ультрафиолетовыми лучами, должен быть обеспечен усиленный обмен воздуха приточно-вытяжной вентиляцией. После окончания работы желательно активное проветривание рабочего помещения.

Как показали специальные исследования и почти вековая музейная практика работы с этим излучением, при этом не происходят ни ухудшения сохранности картин, ни изменения колорита.

Фотофиксация проводимых исследований. При анализе данных люминесцентного исследования нельзя полагаться лишь на субъективные оценки: наблюдения должны быть зафиксированы и выражены какими-либо объективными показателями. Только в этом случае можно сравнивать и сопоставлять между собой факты, отмеченные при изучении разных произведений. Характерным признаком видимой люминесценции является ее цвет. Однако визуальное определение цвета, как уже говорилось, крайне субъективно. Поэтому было бы целесообразным проведение спектрофотометрирования отдельных участков живописи, что позволило бы однозначно характеризовать окраску свечения. Из-за сложности снятия спектрофотометрических характеристик с большого количества разнородных участков, разбросанных на большой площади произведения, получил распространение менее точный, но более доступный способ фиксации люминесценции — ее фотографирование.

Видимая люминесценция фиксируется фотографически с помощью тех же фотокамер и на тех же фотоматериалах, которые используются при обычной черно-белой репродукционной съемке, поскольку люминесценция является видимым излучением. Однако при фотографировании необходимо соблюдать следующие условия. Из-за слабости свечения съемку нужно вести в темном помещении, а источник ультрафиолетового излучения должен быть экранирован одним из названных выше светофильтров, поглощающих всю видимую часть спектра. Так как не все попавшие на поверхность живописи ультрафиолетовые лучи ею поглощаются, часть их может, отразившись, попасть в объектив фотоаппарата и в силу значительно большей активности, чем свет люминесценции, отрицательно повлиять на качество негатива. Чтобы этого не случилось, перед объективом помещают фильтр, задерживающий ультрафиолетовые лучи, но беспрепятственно пропускающий свет люминесценции.

Для обычной съемки, без специального выделения люминесценции определенного цвета, рекомендуется использовать фильтры ЖС-4 толщиной 1,5-2 мм в комбинации с фильтром ЖС-11 или ЖС-12 толщиной 2-3 мм. Так как стекло ЖС-11 люминесцирует, его надо помещать после стекла ЖС-4 (то есть ближе к объективу). Правильный подбор заграждающих светофильтров имеет очень большое значение для выявления слабо различимых цветовых отличий люминесценции. При этом следует руководствоваться теми же правилами, что и при обычной фотографии. Как и во всех прочих случаях, при работе со светофильтрами желательно пользоваться каталогом цветного стекла, руководствуясь графиками, характеризующими их свойства.

Наводка на резкость и кадрирование изображения при съемке люминесценции ведутся по матовому стеклу в условиях естественного или искусственного освещения. После того как все подготовлено к съемке, исключают весь видимый свет и, если источники ультрафиолетового света находятся в рабочем состоянии, производят съемку.

Проявление негатива ведется в стандартном проявителе. При изготовлении фотоотпечатков нужно следить за тем, чтобы они правильно передавали характер свечения (рис. 61).



*61. Б.Пассароти (?). Мадонна с младенцем и Иоанном Крестителем. Вторая пол. XVI в. Мягко отпечатанная фотография видимой люминесценции правильно передает характер свечения; более контрастный отпечаток делает очевиднее характер разрушения и тонировок*

Если фотографируют целиком произведение или крупный фрагмент, его необходимо осветить двумя источниками света, расположенными на небольшом расстоянии от него (около 1 м) по обеим сторонам от фотоаппарата. При одностороннем освещении действие ультрафиолетовых лучей окажется слишком неравномерным и исказит характер свечения. Кроме того, осветители должны быть установлены таким образом, чтобы весь световой поток был направлен на фотографируемый объект и не попадал в объектив.

Экспозиция при съемке зависит от интенсивности люминесценции, чувствительности пленок, мощности источников ультрафиолетовых лучей, удаленности их от объекта съемки, фильтров на объективе. Обычно при фотографировании произведения среднего размера (1x0,7 м) с двумя ртутными лампами по 1000 Вт, находящимися на расстоянии 1-1,2 м от ближнего края картины, и фильтром УФС-6, на пленке

чувствительностью 65 ед. ГОСТ, светофильтре на объективе ЖС-4 и диафрагме 22 экспозиция составляет 20-25 минут.

Нужно, однако, заметить, что съемка общего вида произведения не всегда бывает целесообразна. Как и в обычных условиях освещения, при съемке люминесценции гораздо эффективнее и богаче по информации оказываются макрофотографии или фотографии отдельных деталей.

Большую документальную ценность представляет цветная фотография люминесценции. Не говоря о том, что всю цветовую гамму свечения черно-белая фотография сводит к ахроматической шкале яркостей, некоторые участки, представляющие при визуальном наблюдении люминесценции достаточный контраст благодаря различию в цвете, на черно-белой фотографии могут оказаться практически трудно различимыми или вовсе неразличимыми. Источники света для возбуждения видимой люминесценции, их расположение по отношению к картине и увеолевые фильтры остаются теми же, что и при черно-белой съемке. Перед объективом фотокамеры целесообразнее поместить, чтобы не нарушать цветопередачу, бесцветное стекло БС-10 в комбинации со стеклом ЖС-3 или только стекло ЖС-3. Время экспозиции при съемке подбирается опытным путем. Как и при других видах фотосъемки, большое значение имеет цветное макрофотографирование деталей. На таких фотографиях цветные нюансы люминесценции воспринимаются значительно полнее.

Исследование в отраженных ультрафиолетовых лучах. Не все испускаемое источником ультрафиолетовое излучение поглощается исследуемой поверхностью и преобразуется в видимое свечение. Часть его отражается от объекта и может быть зафиксирована фотографически. Фотографирование живописи в отраженных ультрафиолетовых лучах является самостоятельным видом ее исследования, во многом дополняющим исследование в свете видимой люминесценции (рис. 62).



62. Фотография фрагмента росписи ц. Чуда архангела Михаила в Московском Кремле в свете видимой люминесценции, показывающая многочисленные разрушения живописи, и в отраженных ультрафиолетовых лучах, демонстрирующая технику исполнения пробелов (см. рис.14)

Для этой цели используют ту же пленку, что и для регистрации видимой люминесценции. Процесс фотографирования отличается от съемки видимой люминесценции лишь тем, что перед объективом фотокамеры помещают светофильтр, поглощающий весь видимый свет и пропускающий только ультрафиолетовые лучи. Источник света лучше не экранировать светофильтром, так как при этом неизбежно происходит ослабление ультрафиолетового излучения.

Наводка на резкость проводится при обычном освещении. Если фотографирование в ультрафиолетовых лучах осуществляется после фотографирования видимой люминесценции, никаких дополнительных манипуляций, кроме замены фильтра перед объективом и удаления фильтра с источника света, не требуется. Так как ультрафиолетовые лучи являются очень активными, экспозиция по сравнению с фотографированием в

свете видимой люминесценции намного короче и составляет при описанных выше условиях съемки от 15 секунд до 1 минуты.

Разница в преломлении видимого света и ультрафиолетовых лучей не сказывается на резкости изображения даже при макросъемке. При достаточном диафрагмировании объектива (до 22) фотографии отличаются высокой степенью резкости изображаемых деталей. Использование обычных фотообъективов позволяет проводить подобные исследования только в зоне ближних ультрафиолетовых лучей. Поэтому целесообразнее всего при съемке пользоваться теми источниками света и светофильтрами, максимум излучения и пропускания которых лежит в этой области спектра. Более коротковолновые ультрафиолетовые лучи, отраженные от картины, не могут быть зафиксированы фотографически, так как они полностью поглощаются стеклянными линзами фотообъектива. Для работы в коротковолновой зоне требуются специальные объективы, изготовленные из кварца, однако такие объективы довольно дороги и труднодоступны для рядовой лаборатории.

Для того чтобы быть уверенным в чистоте исследования, осуществляемого с помощью ультрафиолетовых лучей, желательно все виды фотофиксации проводить с применением специальных индикаторов, представляющих собой небольшую алюминиевую пластинку с нанесенным на нее люминофором, закрепляемую на поверхности фотографируемого объекта в ответственном месте. Приемником отраженных ультрафиолетовых лучей кроме светочувствительных эмульсий могут служить электроннооптические преобразователи, имеющие сурьмяно- или кислородно-цезиевые катоды. Такие преобразователи обладают значительной чувствительностью в области 340-360 нм. При работе с этими приборами перед объективом помещают один из фильтров серии УФС, а поскольку фотокатод преобразователя обладает высокой чувствительностью к инфракрасной области спектра, целесообразно дополнительно поместить перед объективом фильтр СС-8, поглощающий часть этого излучения. Источник света используется тот же, что и при фотографировании в отраженных ультрафиолетовых лучах.

***Первоисточник:***

*ТЕХНОЛОГИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ СТАНКОВОЙ И НАСТЕННОЙ ЖИВОПИСИ. ГосНИИР - М., 2000*