



№ 38 (2025) С. 75–90  
National Academy of Fine Arts and Architecture  
Collection of Scholarly Works  
«Ukrainian Academy of Art»  
ISSN 2411–3034  
Website: <http://naoma-science.kiev.ua>

УДК 75.021:535.37:543.42  
ORCID ID: 0000-0003-3835-6312  
DOI <https://doi.org/10.32782/2411-3034-2025-38-8>

**Олена Андріанова**

кандидатка хімічних наук,  
директорка Бюро науково-технічної експертизи «АРТ-ЛАБ»,  
доцентка кафедри мистецтвознавчої експертизи  
Національна академія керівних кадрів культури і мистецтв  
[andria.elena@gmail.com](mailto:andria.elena@gmail.com)

## АНАЛІЗ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХУДОЖНІХ МАТЕРІАЛІВ В УЛЬТРАФІОЛЕТОВОМУ ДІАПАЗОНІ ТА МОЖЛИВОСТІ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Анотація.** *Мета дослідження* — систематизація наукових підходів до аналізу флуоресценції художніх матеріалів у ближньому ультрафіолетовому діапазоні, визначення чинників, що впливають на колір та інтенсивність світіння, а також оцінка можливостей і обмежень цього методу в експертизі творів живопису та графіки. **Методологія** ґрунтується на комплексному підході, що поєднує загальнофілософські й загальнонаукові методи та спирається на ретельний аналіз широкого кола літературних джерел і результати авторських емпіричних досліджень. Особливу увагу приділено характеристикам флуоресценції лакових покриттів, в'язив, пігментів, ґрунтів та основ, а також впливу природних чинників старіння на отримані результати спостережень. **Результати дослідження** свідчать, що характер флуоресценції є комплексним проявом оптичних властивостей компонентів, продуктів їхньої деградації та впливу зовнішніх чинників. Встановлено, що найінтенсивнішу флуоресценцію мають покривні лаки та природні в'язива фарб. Систематизовано флуоресцентні характеристики свинцевого, цинкового та титанового білил, кадмій- і кобальтовмісних пігментів, а також низки органічних барвників. Проаналізовано вплив технології виробництва та наявності домішок на колір і інтенсивність флуоресценції. **Висновки.** Наукова новизна дослідження полягає в систематизації розрізнених літературних даних у поєднанні з авторськими емпіричними спостереженнями, що дало змогу уточнити діагностичні ознаки низки художніх матеріалів і визначити межі інтерпретаційних можливостей методу. Сформовано узагальнену базу характеристик флуоресценції поширених художніх матеріалів, яка може бути використана фахівцями для проведення мистецтвознавчої експертизи, а також реставраторами для попередньої ідентифікації компонентів творів мистецтва, виявлення реставраційних втручань і оцінювання стану їхньої збереженості.

**Ключові слова:** флуорофори, УФ-випромінювання, в'язива, пігменти, деструкція, реставраційні втручання.

## ANALYSIS OF ART MATERIALS FLUORESCENCE IN THE ULTRAVIOLET RANGE AND THE POSSIBILITIES FOR INTERPRETING RESEARCH

**Olena Andrianova**

PhD in Chemistry,  
Director of the Bureau of Scientific and Technical Expertise «ART-LAB»,  
Associate Professor, Department of Art Expertise  
National Academy of Culture and Arts Management  
[andria.elena@gmail.com](mailto:andria.elena@gmail.com)

**Abstract.** The aim of this study is to systematize scientific approaches to analyzing the fluorescence of art materials in the near-ultraviolet range, to identify the factors affecting its color and intensity, and to evaluate the potential and limitations of the method in the examination of paintings and works on paper. **The methodology** is based on a comprehensive approach that integrates general philosophical and scientific

*methods, combining an extensive review of literature with the author's empirical research. The study focused on the fluorescence characteristics of varnish coatings, binding media, pigments, grounds, and painting supports, as well as on the influence of natural aging factors on the results of observations. The findings demonstrate that fluorescence reflects a complex interplay of the optical properties of components, their degradation products, and external factors. It was shown that the most intense fluorescence is exhibited by surface varnishes and natural binding media. The fluorescence characteristics of lead, zinc, and titanium whites, cadmium- and cobalt-based pigments, and a number of organic dyes have been systematized. The impact of production methods and impurities on fluorescence color and intensity has also been analyzed. The scientific novelty of this work lies in the systematization of scattered literature data alongside the author's empirical observations, which allowed us to refine diagnostic features for a number of art materials and outline the interpretative limits of the method. A generalized database of fluorescence characteristics of common art materials has been developed, which can be used by art experts and conservators for the preliminary identification of components in artworks, the detection of restoration interventions, and the evaluation of preservation conditions.*

**Key words:** *fluorophores, UV radiation, binding media, pigments, degradation, restoration interventions.*

**Постановка проблеми.** Дослідження творів живопису та графіки в ближньому ультрафіолетовому (УФ) діапазоні електромагнітного спектра (320–400 нм) широко застосовуються в експертизі й реставрації з 1920-х рр. [1; 2; 3]. Вони дають змогу встановити ознаки природного старіння та побутування об'єктів, виявити сліди пізніших втручань і здійснити попередню ідентифікацію художніх матеріалів за характером їхньої флуоресценції. Протягом останніх десятиліть було вдосконалено методики УФ-рефлектографічного аналізу та отримання хибнокольорових зображень в УФ-випромінюванні, а також розроблено підходи до застосування методу мультиспектральної візуалізації [1; 4; 5; 6; 7]. Більшість сучасних наукових публікацій зосереджена на технічних аспектах зйомки та описі окремих прикладів застосування методу, тоді як відомості про флуоресцентні властивості основних складових творів живопису й графіки (лаків, в'язив, пігментів фарбового шару, наповнювачів ґрунтів тощо) та чинники, що впливають на їхні характеристики, залишаються несистематизованими. Такий брак узагальнень ускладнює інтерпретацію результатів дослідження флуоресценції художніх матеріалів в ультрафіолетовому діапазоні та знижує точність атрибуції, що зумовлює потребу в комплексному узагальненні сучасних наукових підходів і емпіричних спостережень у цій галузі.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблематика застосування ультрафіолетового (УФ) випромінювання під час дослідження творів живопису та графіки відображена в широкому спектрі наукових і методичних праць, які умовно можна поділити на кілька напрямів. Еволюція впровадження методу в дослідницьку та реставраційну практику висвітлена у низці публікацій О. Андріанової, Л. Хікі-Фрідман, Г. Марш, Е. Вебб [1; 2; 8; 9]. Необхідні умови фотофіксації флуоресценції

творів мистецтва, основні підходи до оптимізації та стандартизації процедур отримання зображень, а також вимоги до застосування відповідного обладнання, фотокамер, оптичних фільтрів і референтних шкал детально описані у працях О. Андріанової, Г. Едвардс і М. Оей, Ф. Майрінгера, Дж. Варди та С. Веббер [1, с. 12; 10, с. 6; 11; 12, с. 16–48; 13; 14, с. 43–54]. Можливості застосування методу під час вивчення об'єктів культурної спадщини викладено в статтях А. Пелаготті, Г. Марш, С. Веббер, Р. де ла Пі, К. Трагні [3; 8; 14; 15; 16; 17; 18], а також у розділах монографій Ф. Майрінгера, В. Спенгемана, Б. Стюарт, О. Андріанової, Д. Комеллі [11; 12; 19; 20; 21; 22]. Публікації останніх десятиліть спрямовані на вивчення природи флуоресцентних властивостей художніх матеріалів та впливу на характеристики флуоресценції хімічної природи й структури органічних і неорганічних сполук, а також методів їхнього виробництва [23; 24; 25; 26; 27; 28; 29].

В публікаціях українських авторів О. Андріанової, Т. Тимченко і В. Цитовича основна увага приділяється умовам фотофіксації видимої флуоресценції, збудженої УФ-променями, та можливостям методу [21, с. 28–30; 30, с. 29; 31, с. 24], проте, систематизація інформації про флуоресцентні властивості художніх матеріалів творів живопису та графіки в УФ-випромінюванні досі залишається поза увагою. Ця стаття спрямована на заповнення цієї прогалини.

**Мета статті** — систематизувати наукові підходи до аналізу флуоресценції художніх матеріалів у ближньому ультрафіолетовому діапазоні (320–400 нм), визначити чинники, що впливають на характер флуоресцентного світіння різних компонентів творів живопису та графіки (лаків, в'язив, пігментів, ґрунтів), а також обґрунтувати можливості й обмеження цього методу для експертного аналізу

та попередньої ідентифікації матеріалів творів мистецтва.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно з визначенням Р. Радвана [32, с. 18–19], флуоресценція — це вид люмінесценції (випромінювання світла у видимому діапазоні), що виникає при взаємодії певних речовин з електромагнітним випромінюванням, зокрема ближнім ультрафіолетовим (360–400 нм), і триває лише під час його дії. Ультрафіолетова флуоресценція виникає, коли флуорофор (флуоресцентна хімічна сполука, молекула або неорганічний кристал) поглинає УФ-випромінювання, що переводить його у збуджений електронний стан. Подальша релаксація збудженого стану призводить до втрати флуорофором надлишкової електронної енергії: частина енергії збудження втрачається у вигляді тепла або перетворюється на енергію коливань, а частина випромінюється у вигляді світла з довшою довжиною хвилі, ніж збуджувальне випромінювання [3, с. 2–3; 15, с. 2].

Флуоресценція певної сполуки відбувається на фіксованій довжині хвилі, що не залежить від довжини хвилі поглиненого випромінювання, а інтенсивність флуоресценції прямо пропорційна інтенсивності опромінення [3, с. 2–3; 15, с. 2]. Тому матеріали з однаковими оптичними характеристиками у видимому світлі можуть відрізнятися за кольором та інтенсивністю флуоресценції в УФ-діапазоні [3, с. 2–3; 21, с. 28]. Це дає змогу виявляти та ідентифікувати флуорофори на основі їхніх властивостей збудження та випромінювання. Найбільш флуоресцентними серед художніх матеріалів є хімічні сполуки органічної природи, світіння яких в УФ-діапазоні зумовлене наявністю  $\pi$ -електронів або неспарених (n-) електронів, особливо у спряжених та ароматичних системах [15, с. 2]. У випадку неорганічних речовин флуоресценція спостерігається лише в окремих сполуках і найчастіше пов'язана з дефектами кристалічної ґратки, такими як вакансії або наявність домішок [15, с. 2].

Варто зазначити, що ідентифікація складу матеріалів виключно на основі кольору та інтенсивності флуоресценції є неоднозначною і потребує подальшого підтвердження фізико-хімічними методами. Це пов'язано з низкою причин, оскільки характеристики флуоресценції матеріалів творів живопису та графіки залежать від типу джерела УФ-променів, наявності лакового покриття, типу в'язива, хімічного складу та структури пігментів, взаємодії

складових компонентів фарб та їхніх змін у процесі старіння тощо [3; 11, с. 65; 12, с. 47; 18, с. 10], а також індивідуального сприйняття спостерігачем кольору світіння об'єкта [18, с. 10].

Через відносно коротку довжину хвилі УФ-випромінювання має обмежену здатність до проникнення і взаємодіє лише з поверхнею об'єкта, що досліджується [3, с. 3]. Тому аналіз флуоресценції матеріалів творів живопису та графіки доцільно проводити у певній послідовності, звертаючи увагу на такі ключові параметри: наявність і характеристики лакового покриття; локалізацію і особливості пізніх тонувань та реставраційних втручань; флуоресценцію фарбового шару (з урахуванням можливої взаємодії в'язив та пігментів); флуоресцентні властивості ґрунтів; характеристики основ та ознаки побутування творів мистецтва.

*Аналіз покриттів.* Дослідження в УФ-діапазоні можуть дозволити визначити ступінь рівномірності лакового шару, виявити області видалення та потоншення покриття, а також зробити попередні висновки щодо природи лаку та приблизного часу його нанесення [8, с. 35; 12, с. 47; 21, с. 28–29; 33, с. 295].

Покривні лаки є органічними сполуками, що зазвичай містять кілька флуорофорів, кожен з яких має власні оптичні характеристики випромінювання, тому сумарна флуоресценція має обмежену специфічність. Крім того, флуоресцентні властивості лаків можуть істотно змінюватися унаслідок старіння й деградації, а також за наявності поверхневих забруднень, що значно ускладнює ідентифікацію матеріалів [22, с. 3].

Згідно з літературними даними [3, с. 7; 14, с. 19; 16, с. 68; 21, с. 28–29; 22; 33, с. 294] та нашими спостереженнями більшість нещодавно нанесених лаків у тонкому шарі не мають помітної флуоресценції. У щільніших шарах інтенсивність світіння лакових покриттів зростає, що пояснюється збільшенням концентрації флуорофорів.

Аналіз флуоресценції найпоширеніших природних лаків дав змогу виокремити три основні групи. До першої належать смоляні лаки (дамара, мастикс і сандарак), колір флуоресценції яких може варіюватися від бузково-блакитного до зеленкувато-блакитного [3, с. 7; 16, с. 68; 22]; до другої — лаки на основі згущеної (термообробленої) лляної олії та неочищеного шелаку (жовтувата та жовто-оранжева флуоресценція [3, с. 7; 22, с. 3; 34, с. 103; 35, с. 58]); до

третьої — більшість покриттів на основі очищеного шелаку, що проявляють біло-блакитну або синювато-зелену флуоресценцію [34, с. 103; 36, с. 141]. Покриття на основі бджолиного воску мають жовтувате світіння і з часом набувають оранжевого відтінку [35, с. 57]. Згідно з нашими дослідженнями, для лаків та покриттів синтетичного походження типовою є світло-блакитна або молочно-блакитна флуоресценція. Захисні покриття, що містять УФ-фільтри, залежно від природи добавок, характеризуються яскраво-блакитним світінням або значною абсорбуючою здатністю і виглядають темно-фіолетовими. [21, с. 28–29]. Протягом приблизно десяти років смоли та синтетичні полімери у складі лаків зазнають поступових хімічних змін, пов'язаних із утворенням продуктів окиснення, що спричиняють жовтувате світіння під дією УФ-випромінювання [3, с. 7; 16, с. 68; 33, с. 294].

Внаслідок подальшої деструкції покриття втрачають прозорість і набувають інтенсивнішої жовтої та жовто-зеленої флуоресценції у випадку синтетичних і смоляних лаків відповідно.

Варто зазначити, що аналіз характеру флуоресценції лакового покриття не може вважатися надійним способом ідентифікації лакових матеріалів, що було підтверджено нещодавніми дослідженнями [36].

У випадку, коли точне визначення складу смол є критично важливим, слід застосовувати точніші аналітичні методи, зокрема фізико-хімічний аналіз (ІЧ-спектроскопія, хроматографія тощо).

*Пізнє тонування живопису.* Аналіз творів живопису в ультрафіолетовому випромінюванні широко застосовується для оцінки стану збереженості творів, виявлення реставраційних втручань та пізніх тонувань [8, с. 35; 9, с. 42; 12, с. 47; 21, с. 28–29; 33, с. 295]. Пізніші тонування живопису переважно мають вигляд темних плям. Це пов'язано з тим, що реставраційні втручання виконувалися з використанням інших матеріалів (пігментів і в'язив), які мають менш інтенсивну флуоресценцію порівняно зі старим деградованим лаком та живописним шаром [33, с. 295]. За кольором та інтенсивністю флуоресценції можна визначити ділянки нанесення тонувань або глибину залягання реставрацій у структурі живопису [11, с. 65; 21, с. 28–29; 33, с. 295].

Згідно з нашими дослідженнями, пізнє тонування, нанесені менше ніж 30–50 років тому, виглядають темно-фіолетовими. З часом

ці ділянки тьмянішають (втрачають інтенсивність) або маскуються флуоресценцією лакового покриття, тоді їхнє світіння змінюється від блідо-фіолетового до світло-бузкового. Старі реставраційні втручання, виконані понад 80–100 років тому, в УФ-променях зазвичай не ідентифікуються, за винятком випадків, коли стає помітною флуоресценція окремих пігментів, використаних реставратором, які відрізняються від пігментів авторського живопису (наприклад, цинкове біло) [21, с. 28–29]. У такому разі для отримання точної інформації про розташування та кількість пізніх втручань необхідно застосовувати аналіз в інфрачервоному діапазоні спектра та рентгенографічні дослідження.

*Фарбовий шар.* Аналіз характеру флуоресценції фарбових шарів широко використовується у дослідницькій практиці для попередньої ідентифікації пігментів [8; 11, с. 65–66; 14; 19; 20; 21, с. 28–30]. У ході дослідження творів живопису та графіки слід враховувати низку факторів, що можуть впливати на результати спостереження. Як зазначалося вище, ультрафіолетове випромінювання не має значної проникаючої здатності і поглинається у верхніх шарах лакових покриттів, які переважно характеризуються інтенсивною власною флуоресценцією. Фарби є складними сумішами, у яких характер флуоресценції пігментів значною мірою залежить від типу в'язива, також флуоресценція пігментів може маскуватися за інтенсивного світіння в'язива.

Тому застосування аналізу флуоресценції для попередньої ідентифікації пігментів є найефективнішим у випадках відсутності лакових покриттів та під час дослідження клейових (акварель, гуаш) або темперних фарб з нефлуоресцентним в'язивом.

*В'язиво.* Найпоширенішим типом в'язива є лляна олія, характеристики флуоресценції якої в УФ-діапазоні вперше були ретельно досліджені на початку 1980-х років [16; 22, с. 4]. Дослідження, проведені Рене де ла Пі [16, с. 68], показали, що інтенсивність флуоресценції швидко висохлої лляної олії є незначною, але з часом вона істотно зростає, а колір флуоресценції поступово змінюється з блакитного на жовтуватий [16, с. 68].

Згідно з даними [37, с. 2] такі зміни пов'язані як з наявністю флуорофорів у складі олії, так і з продуктами її деградації, що утворюються в процесі старіння.

Рослинний і тваринний клеї, білок та жовток яйця мають біло-блакитне світіння



[22, с. 5; 35, с. 54; 38, с. 292]. Флуоресценція протейномісних в'язив пов'язана з утворенням флуорофорів внаслідок окиснення амінокислот [37, с. 2].

Наявність більшої кількості здатних до окиснення амінокислот у складі компонентів яйця [37, с. 2] обумовлює інтенсивніше світіння темперних фарб у порівнянні з клейовими. Синтетичні в'язива не флуоресціюють або мають молочно-блакитну флуоресценцію [9, с. 39].

Використання різних типів в'язива відображається на зміні оптичних характеристик фарб (відбивної здатності), однак найбільші відмінності спостерігаються саме за умови аналізу характеру їхньої флуоресценції в УФ-діапазоні.

Більшість неорганічних пігментів та органічних барвників у вигляді порошків не мають значної флуоресценції [3, с. 7], проте для фарбових сумішей у деяких випадках спостерігається збільшення інтенсивності флуоресцентного випромінювання, хоча ця тенденція не є однозначною. Вплив в'язива на інтенсивність флуоресценції є суттєвим: зокрема, олійні фарби часто характеризуються значно інтенсивнішим світінням пігментів порівняно з яєчною темперою [3, с. 7; 12–13].

На флуоресценцію органічних молекул в'язива фарб (як посилюючи її, так і повністю гасячи) можуть суттєво впливати іони металів у складі деяких пігментів внаслідок утворення хелатних сполук [17, с. 104].

*Пігменти фарбового шару.* Як зазначалося раніше, флуоресцентні властивості пігментів обумовлюються їхнім хімічним складом, електронною структурою та наявністю мікродомішок. Діоксид титану ( $\text{TiO}_2$ , титанове білило) проявляє здатність до абсорбції УФ-променів та, відповідно, до гасіння флуоресценції в'язива фарб [3, с. 7; 21, с. 29–30; 38, с. 292].

Більшість неорганічних жовтих пігментів, а саме: вохра, свинцево-олов'яниста жовта, неаполітанська жовта, масикот, кобальт жовтий в УФ-випромінюванні не проявляють флуоресценції [4, с. 7; 38, с. 292], їхнє світіння обумовлюється флуоресценцією в'язива.

Природний органічний барвник камбоджійська жовта [4, с. 7; 38, с. 292], синтетичні жовті та червоні пігменти на основі азобарвників, синтетичні барвники кармінового та алізаринового ряду також не флуоресціюють [11, с. 66; 39, с. 230].

Згідно з даними досліджень А. Косентіно [4, с. 7; 38, с. 292], кадмій червоний

(сульфід-селенід кадмію) та сурик свинцевий (оксид свинцю) не проявляють флуоресценції в УФ-випромінюванні незалежно від типу в'язива фарб.

Іони перехідних металів відомі своєю здатністю абсорбувати ультрафіолетове випромінювання та пригнічувати флуоресценцію в'язива [3, с. 7]. Тому органічні та неорганічні коричневі, зелені та сині пігменти, що містять марганець, залізо, хром та мідь ( $\text{Cu}$ ) – вохри, марси, умбри, зелена земля (глауконіт), хром зелений (оксид хрому), малахіт, яр-мідянка (ацетат міді), азурит, берлінська лазур, а також зелені та сині барвники фталоціанінового ряду – не флуоресціюють [3, с. 7; 4, с. 7; 17, с. 102; 20, с. 76; 38, с. 292; 40, с. 316]. Чорні пігменти (лампова чорна, палена кістка, графіт тощо), незалежно від типу в'язива чи художнього матеріалу, до складу якого вони входять (фарба, туш, олівець), характеризуються здатністю поглинати УФ-промені [17, с. 102; 38, с. 292; 41] і виглядають темними.

Далі розглянуто флуоресцентні властивості художніх фарб на основі найпоширеніших органічних та неорганічних пігментів.

*Білила.* До найпоширеніших білих пігментів відносять свинцеве, цинкове та титанове білила, кожне з яких характеризується певними флуоресцентними властивостями.

Флуоресценцію свинцевого білила дослідники Ф. Майрінгер, В. Спенгеман та Б. Стюарт [11, с. 66; 19, с. 162; 20, с. 76] описують як червоно-коричневу або коричнево-рожеву, очевидно, аналізуючи пігмент у вигляді порошку. На це вказують дані, наведені у публікації М. Карден [42, с. 27–28], згідно з якими основний карбонат свинцю у вигляді порошку має рожево-коричневе світіння, проте при змішуванні з ляною олією набуває рожево-білого або блакитно-білого світіння, яке з часом змінюється на біле. У статті А. Косентіно [4, с. 7] колір флуоресценції свинцевого білила описується як блакитний. У літературних джерелах щодо кольору флуоресценції цинкового білила є значні розбіжності: його вказують як жовтий та оранжевий [19, с. 162; 21, с. 29–30; 24; 38, с. 292; 42, с. 27; 43, с. 10], зелений [21, с. 29–30; 23, с. 29–30], світло-зелений або сірувато-зелений [19, с. 162; 20, с. 76], а також блакитний або сіро-бузковий [21, с. 29–30; 23, с. 29–30].

Останні дослідження показали, що характер флуоресценції цинкового білила ( $\text{ZnO}$ ) суттєво залежить від кристалічної структури оксиду цинку, наявності внутрішніх і зовнішніх

кристалічних дефектів у ґратці, присутності мікродомішок та методу виготовлення пігменту [24, с. 16–17; 26, с. 15–18; 44]. Згідно з дослідженнями Н. Палладіно, М. Очеллі [24, с. 16–17; 45] і В. Джонсон [45, с. 149–151], оксид цинку, отриманий непрямим (французьким) методом виробництва, має слабку синю флуоресценцію у ближньому УФ-діапазоні, тоді як пігмент, виготовлений прямим (американським) методом, характеризується яскраво-зеленою або жовто-зеленою флуоресценцією. Жовто-оранжева флуоресценція є характерною для цинкового білила, синтезованого гідротермальним методом [46], або пов'язана з утворенням продуктів деградації оксиду цинку під дією повітря [24].

Проведені нами дослідження дозволили встановити, що фарби на основі свинцевого білила переважно характеризуються яскравобілим світінням, а в низці живописних творів, виконаних після 1880-х рр., спостерігалася малоінтенсивна рожево-бузкова флуоресценція, що може вказувати на зміни технології виробництва і, відповідно, складу пігменту. Аналіз флуоресценції цинкового білила творів кінця XIX – початку XXI ст. показав, що яскраве жовто-зелене або світло-зелене світіння домінує у фарбах творів з кінця XIX ст. – і до 1930-х років, що може свідчити про пріоритетне використання діоксиду цинку непрямого методу виробництва.

У поодиноких випадках зелену флуоресценцію цинкового білила спостерігали у фарбах творів кінця XX – початку XXI ст. Блакитно-бузкова флуоресценція, типова для цинкового білила прямого методу виробництва (на зміну оптичних характеристик фарби може також впливати флуоресценція в'язива), була зафіксована в живописі кінця 1890-х – середини XX ст. Жовтувате та жовтогаряче світіння спостерігається під час аналізу фарб на основі цинкового білила у творах радянських та українських художників, створених після 1960-х років. Це може пояснюватися особливостями структури оксиду цинку та змінами в методах виробництва пігменту, причому інтенсивність флуоресценції є значно більшою для фарб у творах кінця XX – початку XXI ст. Діоксид титану значно поглинає УФ-випромінювання, тому зі збільшенням умісту титанового білила фарби в УФ-діапазоні візуально темнішають.

**Жовті пігменти.** Флуоресцентні властивості має низка неорганічних сірковмісних пігментів, а також природний органічний барвник – індійська жовта.

Природні пігменти на основі сульфідів миш'яку – ауріпігмент ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) та реальгар ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) – проявляють жовтувату флуоресценцію в темперних та олійних фарбах [3, с. 6; 4, с. 7; 38, с. 292]. Однак інтенсивність світіння є значно більшою для ауріпігменту, що пояснюється різним ступенем окиснення миш'яку [3, с. 6].

У низці публікацій зазначено, що фарби на основі сульфиду кадмію (кадмій жовтий,  $\text{CdS}$ ) можуть характеризуватися різними кольорами та інтенсивністю світіння – від темного коричнево-червоного до яскравого червоно-оранжевого [17, с. 105; 38, с. 292; 47, с. 248–249; 48].

Червона флуоресценція пігменту, згідно з дослідженнями М. Туррі [29], Г. В. дер Снікта [48, с. 2602], а також Дж. К. Делейні [49, с. 103–104], зумовлюється дефектами кристалічної ґратки пігменту. Унаслідок деградації фарби на основі сульфиду кадмію можуть демонструвати характерне яскраве червонувато-оранжеве світіння [26, с. 36–38; 27, с. 3422; 48, с. 2609]. Крім того, яскрава оранжева флуоресценція часто є характерною для кадмію лимонного ( $\text{CdZnS}$ ), що пояснюється зростанням кількості дефектів у структурі кристалічної ґратки [50] або утворенням флуорофорів унаслідок процесів фотоокиснення [51].

Індійська жовта характеризується яскравим жовтим або жовто-оранжевим світінням [25; 52; 53, с. 32–33], зумовленим високою флуоресцентною активністю її складових.

Наші дослідження показали, що більшість фарб на основі жовтих пігментів не мають помітної флуоресценції. Проаналізовані зразки акварельних та олійних фарб на основі сульфиду кадмію (європейських, радянських та українських виробників) в УФ-випромінюванні виглядають темно-червоними або коричневими, яскрава червоно-оранжева флуоресценція була виявлена для акварельної фарби «Кадмій лимонний» (ДСТ 11481-75).

Під час дослідження фарбових шарів живописних творів було встановлено, що мазки, в яких методом РФА виявлено одночасну присутність кадмію та цинку, мають переважно темно-червоне світіння. Яскрава червоно-оранжева флуоресценція спостерігалася лише в окремих фарбових мазках творів другої половини XX – початку XXI ст. Це дає підстави припустити, що в першому випадку було використано кадмій жовтий (сульфід кадмію,  $\text{CdS}$ ) у суміші з цинковим білилом, а в другому – кадмій лимонний ( $\text{CdZnS}$ ). Яскраве

жовто-оранжеве світіння індійської жовтої спостерігається у клейових фарбах (акварель) графічних творів ХІХ ст. У складі олійного живопису цей пігмент нами не був виявлений.

*Червоні пігменти.* Наведені в літературі дані щодо характеристик світіння фарб на основі червоних пігментів суттєво різняться.

Органічний природний барвник марена демонструє характерну інтенсивну флуоресценцію в усіх типах в'язив, обумовлену наявністю пурпуру у складі пігменту [54], колір випромінювання в літературі описується як оранжевий, оранжево-червоний або червоний [4, с. 7; 37, с. 8; 38, с. 292; 54; 55, с. 86]. Подібне яскраве оранжево-червоне світіння має геранієвий лак (Geranium lake), інтенсивні флуоресцентні властивості якого зумовлені флуорофором еозином [56, с. 2].

Як зазначають науковці, натуральні барвники кармінового ряду мають яскраво-рожеве [57, с. 273; 58, с. 26] або блакитне [59, с. 75] світіння, що зумовлене флуоресцентними властивостями барвників родини антрахіноідів [28, с. 841]. Проте в складі фарб світіння є малоінтенсивним, маскується в'язивом і значно зменшується за наявності наповнювачів.

Згідно з даними науковців Ф. Майрінгера [11, с. 66], М. Лонгоні [37, с. 8] і А. Косентіно [38, с. 292], сурик у яєчній темпері має інтенсивне червоно-оранжеве світіння. Фарби на основі кіноварі (сульфіду ртуті) проявляють слабку флуоресценцію, що маскується в'язивом, проте з часом набувають темного червоно-коричневого або червоного світіння [11, с. 66; 17, с. 102; 38, с. 292; 58, с. 31].

Кадмій оранжевий та червоний (сульфіди-селеніди кадмію) в олійних фарбах характеризуються слабкою, малоінтенсивною темно-червоною флуоресценцією, що зумовлена дефектами кристалічної ґратки, поверхневими дефектами або наявністю домішок [29; 60].

Згідно з нашими спостереженнями, більшість неорганічних червоних пігментів – сурик, кіновар, кадмій червоний (сульфід-селенід кадмію) – характеризуються малоінтенсивною червоно-оранжевою або темно-червоною флуоресценцією. Виняток становлять червоні залізовмісні пігменти (вохри червоні), які значно поглинають УФ-випромінювання і виглядають темними. Яскраву оранжево-червону флуоресценцію проявляють фарби на основі марени натуральної та синтетичного червоного барвника геранієвого лаку. Інші пігменти на основі органічних барвників, як природних,

так і синтетичних, не мають помітних флуоресцентних властивостей.

*Сині пігменти.* Згідно з дослідженнями А. Косентіно [38, с. 292], характер світіння пігментів індиго та ультрамарин у темперному (яєчна темпера) та олійному живописі зумовлений флуоресценцією в'язива.

Натомість автори А. Пелаготті, Л. Пеццати та ін. [3, с. 6] зазначають, що олійні та темперні фарби на основі ультрамарину характеризуються синьою флуоресценцією в УФ-випромінюванні, причому інтенсивність світіння більша для природного пігменту, ніж для штучного. Згідно з даними Е. Дженсен [61], штучний ультрамарин характеризується флуоресценцією помірної інтенсивності небесно-блакитного та синьо-зеленого відтінків.

Кобальтовмісні пігменти – смальта ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}$ ), кобальт синій ( $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) та церулеум ( $\text{CoO} \cdot \text{SnO}_2$ ) – характеризуються синьою флуоресценцією [4, с. 7; 3, с. 6], інтенсивність якої прямо пропорційна ступеню окиснення сполук у пігментах [3, с. 6] та є максимальною для церулеуму (містить  $\text{SnO}_2$ ) і кобальту синього (містить  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) й мінімальною для смальти (містить  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Проведені нами дослідження підтверджують літературні дані: усі кобальтовмісні пігменти – смальта, кобальт синій та церулеум – проявляють блакитне (світло-синє) світіння в УФ-випромінюванні. Малоінтенсивна блакитна флуоресценція спостерігається також у хром-кобальтових синьо-зелених фарбах (зменшення інтенсивності світіння пояснюється наявністю іонів хрому, здатних гасити флуоресценцію). Фарби на основі ультрамарину проявляють слабке синє світіння, яке часто маскується флуоресценцією в'язива. Азурит, берлінська лазур та сині барвники фталоціанінового ряду не флуоресціюють.

*Фіолетові пігменти.* Інформації про флуоресценцію фіолетових пігментів у науковій літературі вкрай мало. У публікації Д. Місдея, Ш. Уокера та Б. Пембертона [43, с. 9] зазначено, що кобальт фіолетовий має тьмяне блідо-фіолетове світіння у ближньому УФ-діапазоні, проте не уточнено, про який саме з відомих кобальтовмісних пігментів (арсенат кобальту, фосфат кобальту чи амоній кобальт фосфат гідрат) йдеться. Наші дослідження показали, що амоній кобальт фосфат гідрат характеризується рожево-фіолетовою флуоресценцією середньої інтенсивності. Для встановлення оптичних характеристик інших кобальтовмісних фіолетових пігментів

в УФ-випромінюванні необхідні подальші дослідження.

**УФ-флуоресцентні пігменти.** Варто зазначити, що у 1950–1960-х роках в Європі були розроблені та впроваджені у художню практику фарби на основі флуоресцентних пігментів (органічні флуоресцентні барвники, розчинені в полімерах на основі формальдегідної смоли, полівінілхлориду, алкідної смоли тощо) [62]. У Радянському Союзі флуоресцентну гуаш промислово виробляли з 1969 р. згідно з Держстандартом МРТУ 6-14-136-69.

**Грунти творів живопису.** Характер флуоресценції ґрунтів живописних творів визначається їхнім складом, зокрема типом в'язива (тваринний клей, олія, акрил, полівінілацетат тощо) та наповнювачів.

Крейда (карбонат кальцію,  $\text{CaCO}_3$ ), гіпс (дигідрат сульфату кальцію,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) та баритове білило (сульфат барію,  $\text{BaSO}_4$ ) в УФ-променях не флуоресціюють [19, с. 162; 20, с. 76], тому ґрунти, що містять значну кількість цих наповнювачів, виглядають темно-фіолетовими. Водночас природна крейда через наявність мікродомішок може проявляти флуоресценцію у широкому діапазоні кольорів – від жовтуватого та червоного до синього чи фіолетового – залежно від родовища видобутку мінералу [12, с. 47; 20, с. 76; 43, с. 9].

Низка публікацій [19, с. 162; 20, с. 76; 63; 64] присвячена аналізу флуоресценції літопону – співосаджені сульфат барію ( $\text{BaSO}_4$ ) і сульфід цинку ( $\text{ZnS}$ ). Дослідження, наведені у статті [64], показали, що флуоресценція зразків літопону, виготовленого наприкінці XIX ст. – у 1920-х роках, характеризується значною варіативністю, що пояснюється відмінностями у процесах синтезу, наявністю мікродомішок та внутрішніми дефектами кристалічної ґратки. Сучасні комерційні зразки літопону та сульфиду цинку ( $\text{ZnS}$ ) не мають помітної флуоресценції [63, с. 30; 64], що пов'язано з удосконаленням процесів виробництва.

Раніше нами був проаналізований характер флуоресценції ґрунтів творів живопису XX – XXI ст. [65, с. 11]. Подальші дослідження дозволили уточнити дані та встановити, що олійні та емульсійні ґрунти на основі свинцевого білила в УФ-променях мають жовто-оранжеве світіння, що може бути пов'язане з флуоресценцією в'язива. Інтенсивність їхнього світіння змінюється від насиченого оранжево-коричневого для ґрунтів у картинах кінця XIX ст. до тьмяного жовто-оранжевого у творах початку XX ст. Характер

флуоресценції ґрунтів на основі цинкового білила пов'язаний з технологією виготовлення оксиду цинку та впливом світіння в'язива: яскраве жовто-зелене світіння домінує у ґрунтах творів кінця XIX ст. – 1930-х років (у поодиноких випадках зелена флуоресценція була виявлена при аналізі авторських ґрунтів творів кінця XX ст.); у другій половині XX ст. спостерігається тьмяно-жовтувате світіння ґрунтів на основі оксиду цинку; наприкінці XX – на початку XXI ст. переважає тьмяна жовто-оранжева флуоресценція.

Олійні, емульсійні та синтетичні ґрунти зі значним вмістом діоксиду титану значно абсорбують УФ-промені і виглядають темними. ґрунти у творах першої половини XX ст., основним наповнювачем яких є літопон, мають переважно інтенсивне світло-жовте світіння.

**Основи.** Аналіз в УФ-випромінюванні дає змогу встановити характеристики та виявити ознаки деструкції матеріалів основ за характером їхньої флуоресценції, а також визначити наявність покриттів, поверхневих забруднень, біологічних пошкоджень і реставраційних втручань під час дослідження зворотного боку творів живопису та графіки [8; 18; 21; 66].

Поверхневі забруднення та ущільнення бруду на звороті, окрайках чи торцях основ творів мистецтва зазвичай не флуоресціюють, натомість частинки пилу можуть проявляти яскраве молочно-блакитне світіння. Колонії плісняви, ділянки біологічного ураження, спричиненого бактеріями або грибами, а також сліди патьоків і замокань можуть мати білу, жовто-оранжеву, сірувату або бузково-фіолетову флуоресценцію [12, с. 48; 67, с. 2; 68, с. 52; 69, с. 39]. Відмінності у характері флуоресценції матеріалів основ дозволяють виявити ознаки перетягування твору та зміни його розмірів, сліди від зберігання роботи у рамі чи паспарту, встановити наявність реставраційних латок, доповнень та укріплень проривів.

**Основи творів живопису.** У низці публікацій [8; 66] вказується, що характер флуоресценції полотна може бути використаний для орієнтовного визначення типу волокон та віку текстилю. Згідно з нашими спостереженнями, волокна коноплі, льону та бавовни не мають помітної флуоресценції, а з часом унаслідок деструкції набувають малоінтенсивного жовтуватого світіння, більш вираженого у випадку бавовняних волокон. Із другої половини XX ст. у процесі виробництва основ із бавовняних



волокон широко використовуються оптичні відбілювачі, які характеризуються яскравою молочно-блакитною флуоресценцією [70, с. 322].

Основи з металів та сплавів абсорбують УФ-випромінювання (виглядають темними), дерев'яні дошки та фанерні щити не мають помітної флуоресценції.

*Паперові основи графічних творів.* Дослідження характеру флуоресценції об'єктів на паперовій основі, зокрема документів, друкованих видань і графіки, дозволяє не лише виявляти сліди побутування та ділянки реставраційних втручань (доповнення втрачених фрагментів, латки, укріплення розривів тощо), а й робити попередні висновки щодо ймовірного складу паперу. Колір та інтенсивність флуоресценції або її відсутність переважно пов'язані з природою волокнистої маси (ганчір'я, однорічні рослини, деревна целюлоза тощо), типом наповнювачів і проклеювання та технологією вибілювання. Проведені раніше нами дослідження [71] і аналіз наукової літератури [18; 72] показали наступне.

Папір, виготовлений до початку XIX ст., в УФ-діапазоні має рівномірне світло-блакитне світіння. Флуоресценція паперу XIX ст. варіюється від жовтуватих до бузкових і сірих відтінків [67, с. 2; 71, с. 24], що пояснюється впровадженням змін у технологію виробництва, зокрема використанням наповнювачів і покриттів. Наприкінці XIX ст. папір в УФ-променях переважно виглядає тьмяно-фіолетовим, що пов'язано з використанням деревної целюлози у паперовій промисловості. З другої половини XX ст. переважає яскраве молочно-блакитне світіння паперу, зумовлене використанням оптичних відбілювачів [68, с. 52; 70, с. 322; 71, с. 24], або насичене

бузково-фіолетове світіння, що є типовим для паперу зі значним вмістом наповнювачів [71, с. 24; 72, с. 638]. Варто зазначити, що сучасний високоякісний художній папір із незначним вмістом наповнювачів, виготовлений з бавовняних волокон, зазвичай має слабе жовтувате світіння. Хоча огляд в УФ-діапазоні не дозволяє однозначно встановити склад паперу, проте цей метод є цінним інструментом для диференціації паперових основ, що виглядають ідентичними у видимому світлі.

**Головні висновки і перспективи використання результатів дослідження.** У статті проаналізовано можливості використання ультрафіолетового випромінювання для дослідження творів живопису та графіки і показано, що аналіз у ближньому УФ-діапазоні є ефективним засобом попередньої ідентифікації художніх матеріалів та виявлення реставраційних втручань. Продemonстровано, що характер флуоресценції фарбових шарів визначається комплексною взаємодією в'язив та пігментів і залежить від впливу зовнішніх чинників, зокрема наявності лакових покриттів та їхніх оптичних властивостей.

Окремо підкреслено важливість урахування змін інтенсивності та кольору флуоресценції внаслідок деструкції художніх матеріалів та необхідність підтвердження даних, отриманих при візуальних спостереженнях, фізико-хімічними методами аналізу.

Систематизація флуоресцентних характеристик поширених лаків, в'язив та пігментів, проведена в дослідженні, розширює можливості інтерпретації УФ-зображень та сприяє точнішій діагностиці стану збереженості творів мистецтва, що може мати практичне застосування в дослідницькій та реставраційній практиках.

#### Список використаних джерел

1. Андріанова О. Б. Еволюція становлення та сучасні тенденції розвитку досліджень творів мистецтва в ультрафіолетовому діапазоні. *Український мистецтвознавчий дискурс*. 2024. Вип. 1. С. 8–17. <https://doi.org/10.32782/uad.2024.1.1>.
2. Hickey-Friedman L. A review of ultra-violet light and examination techniques. *Objects Specialty Group Session: Proceedings of the 30th Annual Meeting* / Eds. V. Greene, P. Griffin. Washington DC : Objects Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works, 2002. Vol. 9. P. 161–168.
3. A study of UV fluorescence emission of painting materials / Pelagotti A., Pezzati L., Bevilacqua N. et al. *Non-Destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage* : Proceedings of the 8th International Conference (Lecce, Italy, 15–19 May 2005). 2005. P. 1–14. URL: [https://aata.getty.edu/permalink/f/egsiir/GETTY\\_AATA9934098379101551](https://aata.getty.edu/permalink/f/egsiir/GETTY_AATA9934098379101551) (дата звернення: 10.08.2025).
4. Cosentino A. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*. 2014. Vol. 2, № 1. P. 8. <https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8>.
5. Cosentino A. Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Patriminio*. 2015. Vol. 21. P. 53–62. <https://doi.org/10.14568/cp2015006>.

6. Dyer J., Verri G., Cupitt J. Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual. London : British Museum, 2013. 184 p. URL: <https://www.britishmuseum.org/pdf/charisma-multispectral-imaging-manual-2013.pdf> (дата звернення: 10.08.2025).
7. Paolini C. The diagnostic technique of False Colour and the application of Artificial Intelligence for its interpretation. *FINAIS Collection* / Eds. R. Kunz and A. Ghazarian. Zurigo : Finais, 2022. Vol. 3. C. 15–17.
8. Marsh G. S. The use of ultraviolet radiation in the examination of works of art, artefacts, and informational resources. *ICCM Bulletin*, 1978, 4(2–3), 29–40. <https://doi.org/10.1179/iccm.1978.4.2-3.005>.
9. Webb E. K. UV-Induced Visible Luminescence for Conservation Documentation / *Luminiscencia visible inducida por UV para la documentaciyn en conservaciyn. UV-Vis Luminescence Imaging Techniques / Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis*. Valencia : Editorial Universitat Politècnica de València, 2020. C. 35–60.
10. Edwards G., Oey M. Digital imaging workflow for treatment documentation. 3rd ed. Conservation Division, Preservation Directorate, Library of Congress, 2018. 201 p. URL: <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf> (дата звернення: 10.08.2025).
11. Mairinger F. The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. *Radiation in Art and Archeometry* / Eds. D.C. Creagh, D.A. Bradley. Amsterdam : Elsevier, 2000. P. 56–75. <https://doi.org/10.1016/b978-044450487-6/50050-x>.
12. Mairinger F. UV-, IR- and X-ray imaging. *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials* / Eds. K. Janssens and R. Van Grieken. Antwerp : Elsevier Science, 2004. C. 15–71. [https://doi.org/10.1016/s0166-526x\(04\)80006-0](https://doi.org/10.1016/s0166-526x(04)80006-0).
13. The AIC guide to digital photography and conservation documentation / Warda J., Frey F., Heller D. et al. 3rd ed. Washington : American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2017. 223 c.
14. Webber S. L. Technical Imaging of Paintings. *Art Conservator. Williamstown Art Conservation Center Technical Bulletin*. 2008. Vol. 3, № 1. P. 19–22.
15. De la Rie E. R. Fluorescence of paint and varnish layers (Part I). *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27, № 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1>.
16. De la Rie E. R. Fluorescence of paint and varnish layers (Part II). *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27, № 2. P. 65–69. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.2.65>.
17. De la Rie E. R. Fluorescence of paint and varnish layers (Part III). *Studies in Conservation*. 1982. Vol. 27, № 3. P. 102–108. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.3.102>.
18. Tragni C. The Use of Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence for Examination of Photographs. Capstone Research Project, Advanced Residency Program in Photograph Conservation, Third Cycle 2003–2005. Rochester : George Eastman House : Image Permanence Institute, 2005. 116 c.
19. Spengeman W. F. Chapter 2.8. Pigments. *Paint Testing Manual: Physical and Chemical Examination of Paints, Varnishes, Lacquers, and Colors*. 13th Ed. / Eds. H. A. Gardner and G. G., Sward. Philadelphia : ASTM International, 1972. p. 150–164.
20. Stuart B. H. Light Examination and Microscopy. *Analytical techniques in materials conservation* / B. H. Stuart. Chichester : John Wiley & Sons, 2007. P. 72–108. <https://doi.org/10.1002/9780470060520.ch3>.
21. Андріанова О. Технологічні дослідження в структурі мистецтвознавчої експертизи. *Український мистецтвознавчий дискурс : колективна монографія* / за заг. ред. В. В. Карпова ; НАКККІМ. Рига : Baltija Publishing, 2020. C. 20–70.
22. Fluorescence of Binders and Varnishes Used in Paintings. Springer Series on Fluorescence / Comelli D., Melo M. J., Romani A. et al. Cham : Springer, 2025. [https://doi.org/10.1007/4243\\_2025\\_52](https://doi.org/10.1007/4243_2025_52).
23. Johnson V., Colbourne J., Nicholson K. A Digital Imaging Tool for Identifying Photoactive Zinc Oxide Watercolor Pigments. *The Book and Paper Group Annual of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*. 2021. Vol. 40. P. 27–43.
24. An analytical survey of zinc white historical and modern artists' materials / Palladino, N., Occelli, M., Wallez, G. et al. *Heritage Science*, 2024. Vol. 12, № 1. Article number 47. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01082-4>.
25. Optical and theoretical investigation of Indian yellow (euxanthic acid and euxanthone) / De Fonjaudran Ch. M., Acocella A., Accorsi G. et al. *Dyes and Pigments*. 2017. Vol. 144. P. 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.05.034>.
26. Luminescent inorganic pigments used in ancient and modern times / Gonzalez V., Gourier D., Wallez G. et al. *Molecular Luminescence in Cultural Heritage*. Springer Series on Fluorescence / Romani A., Nevin A., Comelli D., Melo M. J. (eds.). Cham : Springer, 2023. P. 1–45. [https://doi.org/10.1007/4243\\_2022\\_43](https://doi.org/10.1007/4243_2022_43).
27. Degradation of cadmium yellow paint: new evidence from photoluminescence studies of trap states in Picasso's *Femme* (Époque des “*Demoiselles d'Avignon*”) / Comelli D., MacLennan D., Ghirardello M. *Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 91, № 5. P. 3421–3428. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04914>.

28. Fluorescence spectroscopy: a powerful technique for the noninvasive characterization of artwork / Romani A., Clementi C., Miliani C., Favaro G. *Accounts of Chemical Research*. 2010. Vol. 43, № 6. P. 837–846. <https://doi.org/10.1021/ar900291y>.
29. Near-infrared luminescence of cadmium pigments: In situ identification and mapping in paintings / Thoury M., Delaney J. K., De La Rie E. R. et. al. *Applied Spectroscopy*. 2011. Vol. 65, № 8. P. 939–951. <https://doi.org/10.1366/11-06230>.
30. Тимченко Т.Р. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис (історія та методологія) : навч. посіб. Київ : НАКККиМ, 2017. 120 с.
31. Цитович В.І. Експертиза творів образотворчого мистецтва: живопис : (методологія та практика) : навч. посіб. Київ : НАКККиМ, 2018. 232 с.
32. Multi-step Approach for Characterization of Artworks Based on Hyperspectral Imaging and Complementary Techniques / Radvan R., Ratoiu L., Cortea I. M. et. al. *Proceedings of the 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (Cambridge, UK, 02–05 Sept. 2018). 2018. <https://doi.org/10.1109/dese.2018.00025>.
33. MacBeth R., Breare C. The technical examination and documentation of easel paintings. Conservation of easel paintings / Eds. J. H. Stoner and R. Rushfield. London : Routledge, 2020. С. 302–321.
34. Norbutus A. J. Technical Investigation of the Materials and Methods Utilized in a Copy of a 17th Century Dutch Genre Painting: Gerrit Dou's "Man Interrupted at His Writing" (1635). Doctoral Diss. ProQuest, 2008. 217 с.
35. Koob S. Obsolete Fill Materials Found on Ceramics. *Journal of the American Institute for Conservation*. 1998. Vol. 37, № 1. P. 49–67. <https://doi.org/10.2307/3179911> 10.2307/3179911.
36. Rogge C. E., Lough K. Fluorescence fails: analysis of UVA-induced visible fluorescence and false-color reflected UVA images of tintype varnishes do not discriminate between varnish materials. *Journal of the American Institute for Conservation*. 2016. Vol. 55, № 2. P. 138–147. <https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1155813>.
37. Longoni M., Cacciola E. S., Bruni S. UV-excited fluorescence as a basis for the in-situ identification of natural binders in historical painting: a critical study on model samples. *Chemosensors*. 2022. Vol. 10, № 7. Article 256. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10070256>.
38. Cosentino A. Effects of different binders on technical photography and infrared reflectography of 54 historical pigments. *International Journal of Conservation Science*. 2015. Vol. 6, № 3. P. 287–298.
39. Aysha T., Elsedik M. S. Recent advances of functional fluorescent dyes: textile and non-textile applications. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2025. Vol. 68, № 10. P. 227–261. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2025.348628.11071>.
40. Puchtler H., Sweat F., Gropp S. An investigation into the relation between structure and fluorescence of azo dyes. *Journal of the Royal Microscopical Society*. 1967. Vol. 87, № 3–4. P. 309–328. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.1967.tb04513.x>.
41. Pfaff G. Carbon black pigments. *Physical Sciences Reviews*. 2022. Vol. 7, № 2. P. 109–125. <https://doi.org/10.1515/psr-2020-0152>.
42. Carden M. L. Use of ultraviolet light as an aid to pigment identification. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*. 1991. Vol. 23, № 3. P. 26–37. <https://doi.org/10.2307/1504337>.
43. Measday D., Walker C., Pemberton B. A summary of ultra-violet fluorescent materials relevant to Conservation. *AICCM National Newsletter*, 2017, № 137, P. 1–17. URL: <https://primastoria.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/uv-relevant-to-conservation.pdf> (дата звернення: 10.08.2025).
44. Photoluminescence properties of zinc oxide in paints: a study of the effect of self-absorption and passivation / Clementi C., Rosi F., Romani A. et. al. *Applied Spectroscopy*. 2012. Vol. 66, № 10. P. 1233–1241. <https://doi.org/10.1366/12-06643>.
45. Johnson V. Ultraviolet-induced fluorescence and photo-degradation in zinc oxide watercolour paints: Ph.D. diss. / Northumbria University. Newcastle Upon Tyne, United Kingdom, 2020. 224 p. URL: <http://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/44076/> (дата звернення: 10.08.2025).
46. Djurišić A. B., Leung Y. H., Tam K. H. et. al. Green, yellow, and orange defect emission from ZnO nanostructures: Influence of excitation wavelength / Djurišić A. B., Leung Y. H., Tam K. H. et. al. *Applied Physics Letters*. 2006. Vol. 88. P. 103–107. <https://doi.org/10.1063/1.2182096>.
47. MOLAB, a mobile facility suitable for non-invasive in-situ investigations of early and contemporary paintings: case study – Victory Boogie Woogie (1942–1944) by Piet Mondrian / Miliani C., Sgamellotti A., Kahrim K., et. al. *ICOM-CC Triennial Meeting*. 2008. P. 244–251.
48. Van der Snickt G., Dik J., Cotte M. et. al. Characterization of a degraded cadmium yellow (CdS) pigment in an oil painting by means of synchrotron radiation based X-ray techniques. *Analytical Chemistry*. 2009. Vol. 81, № 7. P. 2600–2610. <https://doi.org/10.1021/ac802518z>.
49. Delaney, J. K. Photo-luminescence imaging spectroscopy for polychrome objects. *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques/Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis* / Eds. Eds. Marcello Picollo, Maartje Stols-Witlox and Laura Fuster-Lopez. València : Universitat Politècnica de València, 2019. № 1. P. 103–118. [https://doi.org/10.4995/360\\_2019.110002](https://doi.org/10.4995/360_2019.110002).



50. Degradation of CdS yellow and orange pigments: A preventive characterization of the process through pump–probe, reflectance / Pisu F. A., Pier Carlo Ricci, Porcu S. et. al. *X-ray diffraction, and Raman spectroscopy. Materials*. 2022. Vol. 15, № 16. Article number 5533. <https://doi.org/10.3390/ma15165533>.
51. Monico L., Chieli A., De Meyer S. et. al. Role of the relative humidity and the Cd/Zn stoichiometry in the photooxidation process of cadmium yellows (CdS/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S) in oil paintings / Monico L., Chieli A., De Meyer S. et. al. *Chemistry – A European Journal*. 2018. Vol. 24, № 45. P. 11584–11593. <https://doi.org/10.1002/chem.201801503>.
52. Isacco E., Darrah J. The Ultraviolet-Infrared Method of Analysis, a Scientific Approach to the Study of Indian Miniatures. *Artibus Asiae*. 1993. Vol. 53, № 3/4. P. 470. <https://doi.org/10.2307/3250528>.
53. Indian yellow / Baer N. S. et. al. *Artists' Pigments: A Handbook of their History and Characteristics, Vol. 1* / Ed. R. L. Feller. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. P. 17–361.
54. Multi-technique characterisation of commercial alizarin-based lakes / Pronti L., Mazzitelli J.-B., Bracciale M. P. et. al. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2018. Vol. 200. P. 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.008>.
55. Kirby J., Spring M., Higgitt C. The Technology of Red Lake Pigment Manufacture: Study of the Dyestuff Substrate. *National Gallery Technical Bulletin*. 2005. Vol. 26. P. 71–87.
56. The issue of eosin fading: A combined spectroscopic and mass spectrometric approach applied to historical lakes / Sabatini F., Eis E., Degano I. et. al. *Dyes and Pigments*. 2020. Vol. 180. Article number 108436. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108436>.
57. Schweppe H., Roosen-Runge H. Carmine – cochineal carmine and kermes carmine. *Artists' Pigments: A Handbook of their History and Characteristics, Vol. 1* / Ed. R. L. Feller. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. C. 255–283.
58. Fiske B., Morenus L. S. Ultraviolet and infrared examination of Japanese woodblock prints: identifying reds and blues. *The Book and Paper Group Annual*. 2004. Vol. 23. P. 21–32.
59. Kirby J., Spring M., Higgitt C. The Technology of Eighteenth- and Nineteenth-Century Red Lake Pigments. *National Gallery Technical Bulletin*. 2007. Vol. 28. P. 69–87.
60. Deeper insights into the photoluminescence properties and (photo)chemical reactivity of cadmium red (CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>) paints in renowned twentieth century paintings by state-of-the-art investigations at multiple length scales / Monico L., Rosi F., Vivani R. et. al. *Eur. Phys. J. Plus*. 2022. Vol. 137. Article number 311. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02447-7>.
61. Jensen E. L. Ultramarine Blue Pigment, Synthetic [Електронний ресурс] / McCrone Research Institute. URL: <https://www.mccrone.com/mm/ultramarine-blue-pigment-synthetic/> (дата звернення: 10.08.2025).
62. Winter S. De. Conservation problems with paintings containing fluorescent layers of paint. *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art*. 2010. URL: <https://doi.org/10.4000/ceroart.1659>.
63. On the discovery of an unusual luminescent pigment in Van Gogh's painting "Les bretonnes et le pardon de pont Aven" / Comelli D., Nevin A., Brambilla A. et al. *Applied Physics A*. 2012. Vol. 106, № 1. P. 25–34. <https://doi.org/10.1007/s00339-011-6665-9>.
64. Multianalytical study of historical luminescent lithopone for the detection of impurities and trace metal ions / Bellei S., Nevin A., Cesaratto A. et al. *Analytical Chemistry*. 2015. Vol. 87, № 12. P. 6049–6056. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00560>.
65. Андріанова, О. Б., & Біскулова, С. О. Грунти живописних творів ХХ–ХХІ ст. Дослідження, аналіз, можливості датування. *Український мистецтвознавчий дискурс*, 2022. Вип. 4. С. 6–13. <https://doi.org/10.32782/uad.2022.4.1>.
66. Andrew S. R., Eastop D. Using ultra-violet and infra-red techniques in the examination and documentation of historic textiles. *The Conservator*. 1994. Vol. 18, № 1. P. 50–56. <https://doi.org/10.1080/01410096.1994.9995084>.
67. Simpson-Grant M. The Use of Ultraviolet Induced Visible-Fluorescence in the Examination of Museum Objects: Part II. *Conserve O Gram*. 2000. № 1/10. 4 p.
68. Davies A. Digital Ultraviolet and Infrared Photography. Focal Press, 2017. 200 p.
69. Cohn M. B. A Hazard of Float Washing: Regeneration of Papersizing. *The Book and Paper Group Annual*. 1982. Vol. 1. Washington : American Institute for Conservation. P. 31–49. URL: <https://cool.culturalheritage.org/coolaic/sg/bpg/annual/v01/bpga01-07.pdf> (дата звернення: 10.08.2025).
70. Craddock P. T. Scientific investigation of copies, fakes and forgeries. Oxford ; Burlington, MA : Elsevier ; Butterworth-Heinemann, 2009. 628 p.
71. Андріанова О., Біскулова С., Борисенко М. Технологічне дослідження як складова експертизи при атрибуції та реставрації творів мистецтва на паперовій основі. *Сучасні проблеми консервації і реставрації пам'яток мистецтва та писемної культури на пергаментній і паперовій основах : матеріали доповідей Першої міжнародної науково-практичної конференції* (23 лист. 2018, Львів). Львів : УАД, 2018. С. 23–31.
72. Tholl J. Ultraviolet in Court: Its Use Is No Longer for Experts Only. *American Bar Association Journal*. 1951, Vol. 37. № 8. P. 591–639. URL: <http://www.jstor.org/stable/25717738> (дата звернення: 10.08.2025).



### References

1. Andrianova, O.B. (2024). Evoliutsiia stanovlennia ta suchasni tendentsii rozvytku doslidzhen tvoriv mystetstva v ultrafioletovomu diapazoni [Evolution of formation and current trends in the development of art research in the ultraviolet range]. *Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs* [Ukrainian Art Discourse], 1, 8–17. <https://doi.org/10.32782/uad.2024.1.1> [in Ukrainian].
2. Hickey-Friedman, L. (2002). A review of ultra-violet light and examination techniques. In V. Greene & P. Griffin (Eds.). *Objects Specialty Group Session: Proceedings of the 30th Annual Meeting* (Vol. 9, pp. 161–168). Objects Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works [in English].
3. Pelagotti, A., Pezzati, L., Bevilacqua, N., Vascotto, V., Reillon, V., & Daffaral, C. (2005). A study of UV fluorescence emission of painting materials. In *Non-Destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage: Proceedings of the 8th International Conference* (Lecce, Italy, 15–19 May 2005) (pp. 1–14). Retrieved from [https://aata.getty.edu/permalink/f/egsiir/GETTY\\_AATA9934098379101551](https://aata.getty.edu/permalink/f/egsiir/GETTY_AATA9934098379101551) [in English].
4. Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging: A flowchart method. *Heritage Science*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8> [in English].
5. Cosentino, A. (2015). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Patriminio*, 21, 53–62. <https://doi.org/10.14568/cp2015006> [in English].
6. Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminescence modes: A user manual*. British Museum. Retrieved from <https://www.britishmuseum.org/pdf/charisma-multispectral-imaging-manual-2013.pdf> [in English].
7. Paolini, C. (2022). The diagnostic technique of False Colour and the application of Artificial Intelligence for its interpretation. In R. Kunz & A. Ghazarian (Eds.), *FINAIS Collection* (Vol. 3, pp. 15–17). Finais [in English].
8. Marsh, G. S. (1978). The use of ultraviolet radiation in the examination of works of art, artefacts, and informational resources. *ICCM Bulletin*, 4(2–3), 29–40. <https://doi.org/10.1179/iccm.1978.4.2-3.005> [in English].
9. Webb, E. K. (2020). UV-induced visible luminescence for conservation documentation [Luminiscencia visible inducida por UV para la documentaciyn en conservaciyn]. In *UV-Vis luminescence imaging techniques* [Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis] (pp. 35–60). Editorial Universitat Politècnica de València [in English and Spanish].
10. Edwards, G., & Oey, M. (2018). *Digital imaging workflow for treatment documentation* (3rd ed.). Conservation Division, Preservation Directorate, Library of Congress. Retrieved from <https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/Docs/Digital%20Imaging%20Workflow.pdf> [in English].
11. Mairinger, F. (2000). The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. In D.C. Creagh, & D.A. Bradley (Eds.), *Radiation in art and archeometry* (pp. 56–75). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-044450487-6/50050-x> [in English].
12. Mairinger, F. (2004). UV-, IR- and X-ray imaging. In K. Janssens, & R. Van Grieken (Eds.), *Non-destructive micro analysis of cultural heritage materials* (pp. 15–71). Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/s0166-526x\(04\)80006-0](https://doi.org/10.1016/s0166-526x(04)80006-0) [in English].
13. Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation* (3rd ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works [in English].
14. Webber, S. L. (2008). Technical imaging of paintings. *Art Conservator: Williamstown Art Conservation Center Technical Bulletin*, 3(1), 19–22 [in English].
15. De la Rie, E. R. (1982a). Fluorescence of paint and varnish layers (Part I). *Studies in Conservation*, 27(1), 1–7. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1> [in English].
16. De la Rie, E. R. (1982b). Fluorescence of paint and varnish layers (Part II). *Studies in Conservation*, 27(2), 65–69. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.2.65> [in English].
17. De la Rie, E. R. (1982c). Fluorescence of paint and varnish layers (Part III). *Studies in Conservation*, 27(3), 102–108. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.3.102> [in English].
18. Tragni, C. (2005). *The use of ultraviolet-induced visible fluorescence for examination of photographs* (Capstone Research Project, Advanced Residency Program in Photograph Conservation, Third Cycle 2003–2005). George Eastman House, Image Permanence Institute [in English].
19. Spengeman, W. F. (1972). Chapter 2.8. Pigments. In H. A. Gardner & G. G. Sward (Eds.), *Paint testing manual: Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers, and colors* (13th ed., pp. 150–164). ASTM International [in English].
20. Stuart, B. H. (2007). Light examination and microscopy. In B. H. Stuart, *Analytical techniques in materials conservation* (pp. 72–108). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470060520.ch3> [in English].
21. Andrianova, O. (2020). Tekhnolohichni doslidzhennia v strukturi mystetstvoznavchoi ekspertyzi [Technological research in the structure of art expertise]. In V. V. Karpov (Ed.), *Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs* [kolektyvna monohrafiia] [Ukrainian art discourse: collective monograph] (pp. 20–70). Izdevnieciba «Baltija Publishing» [in Ukrainian].

22. Comelli, D., Melo, M. J., Romani, A., Martinelli, E., & Nevin, A. (2025). Fluorescence of binders and varnishes used in paintings. *Springer Series on Fluorescence*. Springer. [https://doi.org/10.1007/4243\\_2025\\_52](https://doi.org/10.1007/4243_2025_52) [in English].
23. Johnson, V., Colbourne, J., & Nicholson, K. (2021). A digital imaging tool for identifying photoactive zinc oxide watercolor pigments. *The Book and Paper Group Annual of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, 40, 27–43 [in English].
24. Palladino, N., Occelli, M., Wallez, G., Coquinot, Y., Lemasson, Q., Pichon, L., Stankic, S., Etgens, V., & Salvant, J. (2024). An analytical survey of zinc white historical and modern artists' materials. *Heritage Science*, 12(1), Article 47. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01082-4> [in English].
25. De Fonjaudran, C. M., Acocella, A., Accorsi, G., Tamburini, D., Verri, G., Rava, A., Whittaker, S., Zerbetto, F., & Saunders, D. (2017). Optical and theoretical investigation of Indian yellow (euxanthic acid and euxanthone). *Dyes and Pigments*, 144, 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.05.034> [in English].
26. Gonzalez, V., Gourier, D., Wallez, G., Calligaro, T., Artesani, A., Rosi, F., Romani, A., Grazia, Ch., Miliani, C., Monico, L., Comelli, D., & Ghirardello, M. (2023). Luminescent inorganic pigments used in ancient and modern times. In A. Romani, A. Nevin, D. Comelli, & M. J. Melo (Eds.), *Molecular luminescence in cultural heritage* (pp. 1–45). Springer. [https://doi.org/10.1007/4243\\_2022\\_43](https://doi.org/10.1007/4243_2022_43) [in English].
27. Comelli, D., MacLennan, D., Ghirardello, M., Phenix, A., Schmidt Patterson, C., Khanjian, H., ... Nevin, A. (2019). Degradation of cadmium yellow paint: New evidence from photoluminescence studies of trap states in Picasso's *Femme (Époque des "Demoiselles d'Avignon")*. *Analytical Chemistry*, 91(5), 3421–3428. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04914> [in English].
28. Romani, A., Clementi, C., Miliani, C., & Favaro, G. (2010). Fluorescence spectroscopy: A powerful technique for the noninvasive characterization of artwork. *Accounts of Chemical Research*, 43(6), 837–846. <https://doi.org/10.1021/ar900291y> [in English].
29. Thoury, M., Delaney, J. K., De La Rie, E. R., Palmer, M., Morales, K., & Krueger, J. (2011). Near-infrared luminescence of cadmium pigments: In situ identification and mapping in paintings. *Applied Spectroscopy*, 65(8), 939–951. <https://doi.org/10.1366/11-06230> [in English].
30. Tymchenko, T. R. (2017). *Ekspertyza tvoriv obrazotvorchoho mystetstva: zhyvopys (istoriia ta metodolohiia)* [Examination of works of fine art: painting (history and methodology)]. NAKKKiM [in Ukrainian].
31. Tsytoych, V. I. (2018). *Ekspertyza tvoriv obrazotvorchoho mystetstva: zhyvopys (metodolohiia ta praktyka)* [Examination of works of fine art: painting (methodology and practice)]. NAKKKiM [in Ukrainian].
32. Radvan, R., Ratoi, L., Cortea, I. M., Chelms, A., Angheluta, L., & Marinescu, D. (2018). Multi-step approach for characterization of artworks based on hyperspectral imaging and complementary techniques. In *Proceedings of the 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)* (Cambridge, UK, 2–5 Sept.). <https://doi.org/10.1109/dese.2018.00025> [in English].
33. MacBeth, R., & Breare, C. (2020). The technical examination and documentation of easel paintings. In J. H. Stoner & R. Rushfield (Eds.), *Conservation of easel paintings* (pp. 302–321). [in English].
34. Norbutus, A. J. (2008). *Technical investigation of the materials and methods utilized in a copy of a 17th century Dutch genre painting: Gerrit Dou's "Man Interrupted at His Writing" (1635)* [Doctoral dissertation]. ProQuest. [in English].
35. Koob, S. (1998). Obsolete fill materials found on ceramics. *Journal of the American Institute for Conservation*, 37(1), 49–67. <https://doi.org/10.2307/3179911> 10.2307/3179911 [in English].
36. Rogge, C. E., & Lough, K. (2016). Fluorescence fails: Analysis of UVA-induced visible fluorescence and false-color reflected UVA images of tintype varnishes do not discriminate between varnish materials. *Journal of the American Institute for Conservation*, 55(2), 138–147. <https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1155813> [in English].
37. Longoni, M., Cacciola, E. S., & Bruni, S. (2022). UV-excited fluorescence as a basis for the in-situ identification of natural binders in historical painting: A critical study on model samples. *Chemosensors*, 10(7), Article 256. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10070256> [in English].
38. Cosentino, A. (2015). Effects of different binders on technical photography and infrared reflectography of 54 historical pigments. *International Journal of Conservation Science*, 6(3), 287–298 [in English].
39. Aysha, T., & Elsedik, M. S. (2025). Recent advances of functional fluorescent dyes: Textile and non-textile applications. *Egyptian Journal of Chemistry*, 68(10), 227–261. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2025.348628.11071> [in English].
40. Puchtler, H., Sweat, F., & Gropp, S. (1967). An investigation into the relation between structure and fluorescence of azo dyes. *Journal of the Royal Microscopical Society*, 87(3–4), 309–328. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.1967.tb04513.x> [in English].
41. Pfaff, G. (2022). Carbon black pigments. *Physical Sciences Reviews*, 7(2), 109–125. <https://doi.org/10.1515/psr-2020-0152> [in English].
42. Carden, M. L. (1991). Use of ultraviolet light as an aid to pigment identification. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 23(3), 26–37. <https://doi.org/10.2307/1504337> [in English].
43. Measday, D., Walker, C., & Pemberton, B. (2017). A summary of ultra-violet fluorescent materials relevant to conservation. *AICCM National Newsletter*, 137, 1–17. Retrieved from <https://primastoria.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/uv-relevant-to-conservation.pdf>

44. Clementi, C., Rosi, F., Romani, A., Vivani, R., Brunetti, B. G., & Miliani, C. (2012). Photoluminescence properties of zinc oxide in paints: A study of the effect of self-absorption and passivation. *Applied Spectroscopy*, 66(10), 1233–1241. <https://doi.org/10.1366/12-06643> [in English].
45. Johnson, V. (2020). *Ultraviolet-induced fluorescence and photo-degradation in zinc oxide watercolour paints* [PhD dissertation, Northumbria University]. Newcastle upon Tyne, UK. Retrieved from <http://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/44076/> [in English].
46. Djurišić, A. B., Leung, Y. H., Tam, K. H., Ding, L., Ge, W. K., Chen, H. Y., & Gwo, S. (2006). Green, yellow, and orange defect emission from ZnO nanostructures: Influence of excitation wavelength. *Applied Physics Letters*, 88, 103. Djurišić A. B., Leung Y. H., Tam K. H. et. al. 107. <https://doi.org/10.1063/1.2182096> [in English].
47. Miliani, C., Sgamellotti, A., Kahrim, K., Brunetti, B., Aldovandri, A., van Bommel, M. R., van den Berg, K. J., & Janssen, H. (2008). MOLAB, a mobile facility suitable for non-invasive in-situ investigations of early and contemporary paintings: Case study – Victory Boogie Woogie (1942–1944) by Piet Mondrian. *ICOM-CC Triennial Meeting* (244–251) [in English].
48. Van der Snickt, G., Dik, J., Cotte, M., Janssens, K., Jaroszewicz, J., De Nolf, W., Groenewegen, J., & Van der Loeff, L. (2009). Characterization of a degraded cadmium yellow (CdS) pigment in an oil painting by means of synchrotron radiation based X-ray techniques. *Analytical Chemistry*, 81(7), 2600–2610. <https://doi.org/10.1021/ac802518z> [in English].
49. Delaney, J. K. (2019). Photo-luminescence imaging spectroscopy for polychrome objects. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster-Lopez (Eds.), *UV-Vis luminescence imaging techniques [Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis]*, 1, 103–118. Universitat Politècnica de València. [https://doi.org/10.4995/360\\_2019.110002](https://doi.org/10.4995/360_2019.110002) [in English, in Spanish].
50. Pisu, F. A., Ricci, P. C., Porcu, S., Carbonaro, C. M., & Chiriu, C. (2022). Degradation of CdS yellow and orange pigments: A preventive characterization of the process through pump–probe, reflectance, X-ray diffraction, and Raman spectroscopy. *Materials*, 15(16), Article 5533. <https://doi.org/10.3390/ma15165533> [in English].
51. Monico, L., Chieli, A., De Meyer, S., Cotte, M., de Nolf, W., Falkenberg, G., Janssens, K., Romani, A., & Miliani, C. (2018). Role of the relative humidity and the Cd/Zn stoichiometry in the photooxidation process of cadmium yellows (CdS/Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>S) in oil paintings. *Chemistry – A European Journal*, 24(45), 11584–11593. <https://doi.org/10.1002/chem.201801503> [in English].
52. Isacco, E., & Darrah, J. (1993). The ultraviolet-infrared method of analysis: A scientific approach to the study of Indian miniatures. *Artibus Asiae*, 53(3/4), 470. <https://doi.org/10.2307/3250528> [in English].
53. Baer, N. S., Joel, A., Feller, R. L., & Indictor, N. (1986). Indian yellow. In R. L. Feller (Ed.), *Artists' pigments: A handbook of their history and characteristics* (Vol. 1, pp. 17–361). Cambridge University Press [in English].
54. Pronti, L., Mazzitelli, J.-B., Bracciale, M. P., Rosati, L. M., Vieillescazes, C., Santarelli, M. L., & Felici, A. C. (2018). Multi-technique characterisation of commercial alizarin-based lakes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 200, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.008> [in English].
55. Kirby, J., Spring, M., & Higgitt, C. (2005). The technology of red lake pigment manufacture: Study of the dyestuff substrate. *National Gallery Technical Bulletin*, 26, 71–87 [in English].
56. Sabatini, F., Eis, E., Degano, I., Thoury, M., Bonaduce, I., & Lluveras-Tenorio A. (2020). The issue of eosin fading: A combined spectroscopic and mass spectrometric approach applied to historical lakes. *Dyes and Pigments*, 180, 108436. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108436> [in English].
57. Schweppe, H., & Roosen-Runge, H. (1986). Carmine – Cochineal carmine and kermes carmine. In R. L. Feller (Ed.), *Artists' pigments: A handbook of their history and characteristics* (Vol. 1, pp. 255–283). Cambridge University Press [in English].
58. Fiske, B., & Morenus, L. S. (2004). Ultraviolet and infrared examination of Japanese woodblock prints: Identifying reds and blues. *The Book and Paper Group Annual*, 23, 21–32 [in English].
59. Kirby, J., Spring, M., & Higgitt, C. (2007). The technology of eighteenth- and nineteenth-century red lake pigments. *National Gallery Technical Bulletin*, 28, 69–87 [in English].
60. Monico, L., Rosi, F., Vivani, R., Cartechini, L., Janssens, K., Gauquelin, N., Chezganov, D., Verbeeck, J., Cotte, M., d'Acapito, F., Barni, L., Grazia, Ch., Buemi, L. P., Andral, L.-L., Miliani, C., & Romani, F. (2022). Deeper insights into the photoluminescence properties and (photo)chemical reactivity of cadmium red (CdS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>) paints in renowned twentieth century paintings by state-of-the-art investigations at multiple length scales. *European Physical Journal Plus*, 137, 311. <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02447-7> [in English].
61. Jensen, E. L. (2025, August 10). Ultramarine blue pigment – synthetic. McCrone Research Institute. Retrieved from <https://www.mccrone.com/mm/ultramarine-blue-pigment-synthetic/> [in English].
62. Winter, S. D. (2010). Conservation problems with paintings containing fluorescent layers of paint. *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art*. <https://doi.org/10.4000/ceroart.1659> [in English].



63. Comelli, D., Nevin, A., Brambilla, A., Osticioli, I., Valentini, G., Toniolo, L., Fratelli, V., & Cubeddu, R. (2012). On the discovery of an unusual luminescent pigment in Van Gogh's painting. *Les Bretonnes et le pardon de Pont-Aven. Applied Physics A*, 106(1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/s00339-011-6665-9> [in English].
64. Bellei, S., Nevin, A., Cesaratto, A., Capogrosso, V., Vezin, H., Tokarski, C., Valentini, G., & Comelli, D. (2015). Multianalytical study of historical luminescent lithopone for the detection of impurities and trace metal ions. *Analytical Chemistry*, 87(12), 6049–6056. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00560> [in English].
65. Andrianova, O. B., & Biskulova, S. O. (2022). Grunty zhyvopysnykh tvoriv XX–XXI st. Doslidzhennia, analiz, mozhlyvosti datuvannia [Grounds for easel painting of the 20th–21st centuries. Research, analysis, dating capabilities]. *Ukrainskyi mystetstvoznavchyi dyskurs [Ukrainian Art Discourse]*, (4), 6–13. <https://doi.org/10.32782/uad.2022.4.1>.
66. Andrew, S. R., & Eastop, D. (1994). Using ultra-violet and infra-red techniques in the examination and documentation of historic textiles. *The Conservator*, 18(1), 50–56. <https://doi.org/10.1080/01410096.1994.9995084> [in English].
67. Simpson-Grant, M. (2000). The use of ultraviolet induced visible-fluorescence in the examination of museum objects: Part II. *Conserve O Gram*, 1/10, 4 [in English].
68. Davies, A. (2017). *Digital ultraviolet and infrared photography*. Focal Press [in English].
69. Cohn, M. B. (1982). A hazard of float washing: Regeneration of paper sizing. *The Book and Paper Group Annual*, 1, 31–49. American Institute for Conservation. Retrieved from <https://cool.culturalheritage.org/coolaic/sg/bpg/annual/v01/bpga01-07.pdf> [in English].
70. Craddock, P. T. (2009). *Scientific investigation of copies, fakes and forgeries*. Elsevier ; Butterworth-Heinemann [in English].
71. Andrianova, O., Biskulova, S., & Borysenko, M. (2018). Tekhnolohichne doslidzhennia yak skladova ekspertyzy pry atrybutsii ta restavratsin tvoriv mystetstva na paperovii osnovi [Technological research as a component of expertise in the attribution and restoration of works of art on paper]. *Proceedings from Persha mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasni problemy konservatsin i restavratsin pam'iatok mystetstva ta pysemnon kultury na pergamentnii i paperovii osnovakh» – The First International Scientific and Practical Conference «Contemporary Issues in the Conservation and Restoration of Artworks and Written Cultural Heritage on Parchment and Paper»*. (pp. 23–31). UAD [in Ukrainian].
72. Tholl, J. (1951). Ultraviolet in court: Its use is no longer for experts only. *American Bar Association Journal*, 37(8), 591–639. <http://www.jstor.org/stable/25717738> [in English].

Подано до редакції 06.11.2025

Статтю прийнято 19.12.2025

Опубліковано 31.12.2025